

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИВАНОВСКАЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ  
ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ  
МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

## **НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ**

**СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ X ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ИВАНОВО, 18 АПРЕЛЯ 2019 г.**

**MACHINES AND MECHANISMS RELIABILITY AND DURABILITY**

**COLLECTION OF MATERIALS OF THE X<sup>th</sup> ALL-RUSSIA  
SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE IVANOVO, APRIL 18, 2019**

Иваново 2019

УДК 621+614.842

ББК 30

Н 17

- Надежность и долговечность машин и механизмов** : сборник материалов  
Н 17 X Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 18 апреля 2019 г.  
– Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС  
России, 2019. – 599 с. – ISBN 978-5-6042853-1-2

В сборнике опубликованы материалы выступлений и статьи участников конференции, отражающие результаты научных исследований по направлениям: повышение надежности и долговечности машин и механизмов, смазочные материалы и процессы, трибология процессов механической обработки, актуальные вопросы инженерно-технической подготовки пожарных и спасателей.

Материалы сборника конференции предназначены для широкого круга научных и инженерно-технических работников, адъюнктов, аспирантов, курсантов и студентов, занимающихся вопросами повышения надежности и долговечности машин и механизмов, и могут быть использованы для совершенствования практической, научной и педагогической деятельности.

The collection contains materials of speeches and articles of the conference participants, reflecting the results of scientific research in the following areas: increasing the reliability and durability of machines and mechanisms, lubricants and processes, tribology of mechanical processing processes, pressing issues of engineering and technical training for firefighters and rescuers.

The materials of the conference collection are intended for a wide range of scientific and engineering-technical workers, adjuncts, graduate students, cadets and students involved in improving the reliability and durability of machines and mechanisms, and can be used to improve practical, scientific and educational activities.

**ББК 30**

***Организационный комитет***

д-р техн. наук, профессор **В. А. Годлевский** (председатель оргкомитета)  
канд. техн. наук, доцент **В. В. Киселев** (заместитель председателя оргкомитета)

**А. В. Маслов**

канд. техн. наук, доцент **А. В. Мальцев**

**Ю. Н. Моисеев**

д-р техн. наук, профессор **М. Ю. Колобов**

канд. техн. наук, доцент **А. В. Топоров**

канд. техн. наук **П. В. Пучков**

***Editorial Council***

dr. techn. sciences, prof. **V. A. Godlevsky** (chairman)  
cand. of techn. sciences, docent **V. V. Kiselev** (vice-chairman)

**A. V. Maslov**

cand. of techn. sciences, docent **A. V. Mal'cev**

**Yu. N. Moiseev**

dr. techn. sciences, prof. **M. Yu. Kolobov**  
cand. of techn. sciences, docent **A. V. Toporov**

cand. of techn. sciences **P. V. Puchkov**

ISBN 978-5-6042853-1-2

## ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

УДК 658.286

*О. И. Андреева, В. В. Киселев*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### АКТУАЛЬНОСТЬ ДИАГНОСТИКИ ДЕТАЛЕЙ ТОРМОЗНЫХ СИСТЕМ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

**Ключевые слова:** ремонт, автомобиль, техническое обслуживание.

**Аннотация:** Одной из важнейших систем автомобиля является тормозная система. Исправность тормозной системы обеспечивает безопасную эксплуатацию автомобиля. Для повышения ее надежности необходимо проведение своевременного обслуживания. В докладе рассмотрены типовые неисправности деталей тормозов автомобильной техники и предложены мероприятия по повышению их надежности.

*O. I. Andreeva, V. V. Kiselev*

### ACTUALITY OF DIAGNOSTICS OF DETAILS OF BRAKING SYSTEMS OF FIRE CARS

**Keywords:** repair, car, maintenance

**Abstracts:** One of the most important vehicle systems is the brake system. The serviceability of the brake system ensures safe operation of the vehicle. To increase its reliability it is necessary to conduct timely service. The report examined typical malfunctions of parts of automotive vehicle brakes and proposed measures to improve their reliability.

Система торможения любого автомобиля – это основная система, ответственная за надежное и безопасное движение на дороге. Минимальный сбой данной системы может привести к фатальному результату, а поэтому требует немедленному устранению.

Вряд ли нужно убеждать кого-либо в необходимости эффективного и правильного функционирования тормозной системы. Не сработавшие вовремя надлежащим образом тормоза способны стать причиной аварии. Ввиду этого каждый водитель должен взять за правило - регулярно проводить диагностику тормозной системы.

Диагностика тормозной системы необходима в следующих случаях:

- при торможении автомобиль «уводит» в сторону, существует вероятность того, что во время экстренного торможения водитель не сможет удержать транспортное средство на необходимой траектории, вследствие чего может быть нанесен вред имуществу, здоровью или жизни третьих лиц, а это, кроме материальной, может подразумевать и уголовную ответственность;

- в случае появления посторонних шумов также нежелательно эксплуатировать автомобиль, ведь любая неисправность тормозов ставит под сомнение безопасность

использования автомобиля, кроме того, посторонние шумы негативно влияют на комфорт при управлении транспортным средством;

- слишком большой ход педали тормоза, ее «мягкость» или, наоборот, чрезмерная тугость при торможении приводят к тому, что в случае экстренной необходимости водитель не сможет обеспечить необходимое воздействие на педаль тормоза, в таком случае тормозной путь увеличивается, что также является опасным;

- если во время торможения на педали тормоза или на рулевом колесе появляется сильная вибрация, если во время умеренного торможения какие-либо колеса блокируются, знайте – управлять автомобилем в экстренной ситуации или остановить его эффективно будет невозможно;

- если тормозные барабаны или диски колес во время движения сильно нагреваются – обращайтесь к специалистам, ведь если во время движения перегретый тормозной механизм заклинит, существует возможность аварии, а это, в лучшем случае, повлечет значительные расходы на ремонт автомобиля.

Диагностика тормозной системы пожарного автомобиля позволит выявить любые неисправности и устранить их на начальной стадии с наименьшими расходами. В ходе диагностики определяют оптимальные настройки тормозной системы, остаточный ресурс деталей. В процессе обследования часто выявляются такие неисправности, как загрязненные поверхности тормозных колодок, заклиненный поршень в суппорте, неправильное крепление суппорта, влияющие на эффективность торможения изношенные или поврежденные элементы подвески или рулевого управления, изношенность тормозных колодок или дисков, посторонние предметы между тормозным диском и тормозным щитом, поломка тормозного цилиндра, повреждение тормозных магистралей и другие. Без проведения всесторонней диагностики устранение симптомов поломки потребует вложения больших средств.

Тормозная система - пожалуй, одна из самых важных элементов в автомобиле и основной гарант безопасности водителя, поэтому ее своевременную диагностику и ремонт необходимо осуществлять регулярно. Халатное отношение к работе этого узла, может иметь самые грустные последствия. Поэтому рекомендую устранять имеющиеся небольшие неисправности сразу, нежели потом производить серьезный капитальный ремонт.

Современная рабочая тормозная система пожарного автомобиля – гидравлическая, т.е. усилие от нажатия на педаль тормоза на тормозную колодку передается жидкостью, в данном случае тормозной жидкостью. От качества тормозной жидкости (плотность, наличие микрочастиц износа уплотнителей тормозных цилиндров, наличие воды и продуктов химического распада в результате старения тормозной жидкости) напрямую зависит эффективность торможения. При проведении технического обслуживания пожарной техники рекомендуется производить операцию замены тормозной жидкости 1 раз в год.

При нажатии на педаль тормоза усилие через шток передается на поршень главного тормозного цилиндра, поршень выдавливает тормозную жидкость в тормозные трубки и шланги, жидкость давит на поршень рабочего тормозного цилиндра, который, в свою очередь, прижимает тормозную колодку к тормозному диску или барабану. В этой цепочке важнейшее значение имеет герметичность системы. Иначе сначала в систему попадет воздух, что резко снизит работоспособность тормозов, а затем произойдет утечка тормозной жидкости, что приведет к невозможности торможения.

На основе анализа данных основными причинами выхода из строя рабочей тормозной системы пожарных автомобилей – это слабое или неодновременное действие тормозов, плохое растормаживание или заклинивание колодок тормозных механизмов.

На пожарных автомобилях на базе КамАЗ работоспособность и герметичность контуров проверяют по показанию манометра, установленного в кабине и контрольного манометра, подсоединяемого поочередно к клапанам контрольного вывода контуров привода. На автомобилях Урал и ЗиЛ герметичность привода оценивается по падению давления в системе, которое не должно превышать 50 кПа за 30 минут по показанию манометра, установленного в кабине.

При тугом ходе тормозной педали, можно сделать заключение, что из строя вышел вакуумный усилитель, либо в местах соединения штуцера с трубопроводом двигателя нарушена герметичность. Для этого вам потребуется заменить неисправные детали вакуумного усилителя. А для восстановления герметичности, обработайте места соединения при помощи специального состава или пасты.

Если наблюдается самопроизвольное торможение автомобиля, то вероятнее всего неисправен суппорт или его положение нарушено. В случае попадания в тормозную жидкость бензина, уплотнители главного тормозного цилиндра разбухают, это тоже одна из возможных причин притормаживания колес. Для устранения этой поломки осуществляется промывка системы тормозной жидкостью, после этого, вышедшие из строя детали, нужно заменить и произвести прокачивание системы гидропривода.

Нередко причиной неисправности тормозной системы становятся, пришедшие в негодность, тормозные шланги. Причиной этому могут быть различные механические повреждения. Если шланг поврежден, в нем происходит увеличение давления, следовательно, его нужно немедленно заменить. Если шланг в порядке, но повреждена резьба соединения, необходимо заменить узел или же всю тормозную трубку.

Несмотря на то, что современные автомобили оборудованы надежными тормозными системами, тем не менее надежность их работы обуславливается прежде всего компетентностью водительского состава и своевременностью проведения необходимых диагностических и ремонтных работ.



**Рисунок.** Ремонт тормозной системы автомобиля

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Киселев В.В. Развитие технических средств для поведения обслуживания и ремонта пожарной техники. / NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 3. – № 57. – С. 151-156.

2. Киселев В.В. Использование современных методов при проведении ремонта и восстановления гидроцилиндров пожарных автомобилей. / NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 1. – № 52. – С. 3-6.

3. Пучков П.В., Топоров А.В., Киселев В.В. Разработка конструкции трибологически безопасного резьбового соединения. / Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2012. – № 1. – С. 28-31.

4. Пучков П.В., Киселев В.В., Топоров А.В. Разрушение строительных металлоконструкций в условиях пожара. / Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – № 3. – С. 29-32.

УДК 531.8:614.8:377/378

*А. А. Арбузова*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **ЭКЗОСКЕЛЕТ КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПОЖАРНОГО**

**Ключевые слова:** экзоскелет, пожарный, спасатель, боевая одежда, пожар, нагрузка.

**Аннотация:** Представлен анализ экзоскелета Advanced Firefighting Apparatus (A.F.A.). Рассмотрены его конструкционные характеристики. Выявлено, что экзоскелет возможно использовать в качестве дополнительного средства повышения физической силы пожарных.

*А. А. Arbuzova*

## **EXOSKELET AS A MEANS OF INCREASING THE EFFICIENCY OF WORK OF THE FIRE**

**Keywords:** exoskeleton, fireman, rescuer, combat clothing, fire, load.

**Abstracts:** An analysis of the exoskeleton Advanced Firefighting Apparatus (A.F.A.) is presented. Considered its design characteristics. It is revealed that the exoskeleton can be used as an additional means of increasing the physical strength of firefighters.

В настоящее время в МЧС активно применяются различные технологические разработки для повышения качества работы ведомства [1, 2]. Одной из существующих проблем при тушении пожара в традиционной боевой одежде является то, что она тяжелая, достаточно громоздкая, сковывает и затрудняет движения пожарных, когда они выполняют различные действия. Кроме того, при проведении спасательных работ к весу одежды добавляется вес снаряжения, который даже может превышать 50 кг. Все это, совместно с тяжелыми условиями труда при проведении тушения огня (высокая температура, задымленность, влажность) приводит к быстрой физической утомляемости пожарных. Облегчить их труд возможно с использованием специализированных экзоскелетов в качестве дополнения к его боевой одежде.

Проведен анализ различных литературных источников, посвященной проблеме разработки экзоскелетов для пожарных и спасателей. Установлено, что существует экзоскелет А.Ф.А. (Advanced Firefighting Apparatus), предложенный австралийским промышленным дизайнером Кен Ченом [3, 4]. Данный проект основан на существующих военных и промышленных системах экзоскелета и предназначен для помощи пожарному во время проведения специальных работ.

Экзоскелет спроектирован таким образом, чтобы имелась возможность одевать его прямо на боевую одежду, также он оснащен шарнирами, позволяющими легко сложить экзоскелет, чтобы облегчить его перевозку и хранение. Вес его составляет 23 килограмма, а при его использовании оператор (пожарный) может переносить вес до 90 килограмм. Предполагаемое время работы костюма – два часа. Внешний вид экзоскелета приведен на рис. 1.

Экзоскелет включает в себя следующие основные конструктивные элементы: компьютер, центр управления, джойстик управления, систему распределения веса, кислородные баллон, фонари. Для обеспечения движения суставов экзоскелета предусмотрены приводы (верхний и нижний) и блоки датчиков. Согласно проекту Чена конструкция экзоскелета обеспечивает перераспределение переносимой нагрузки, за счет чего снизится нагрузка на пожарного.

Также каждый костюм будет оснащен подвижным джойстиком для маневрирования во время работы (рис. 2а) и системой импульсного водяного пистолета (рис. 2б).

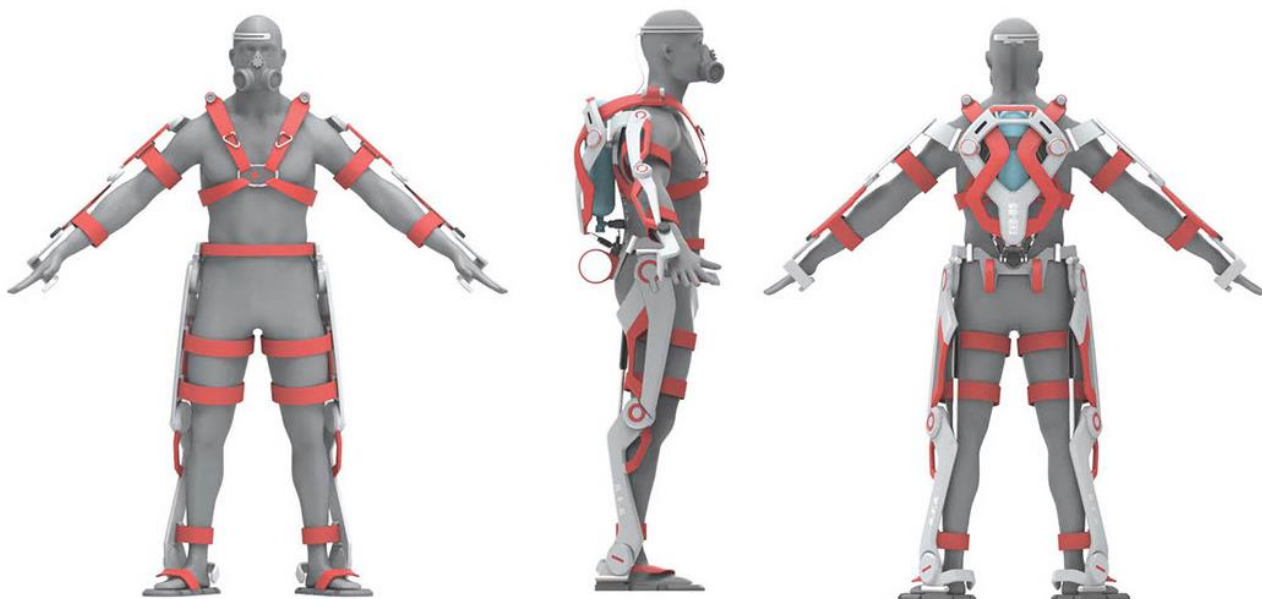


Рис. 1. Прототип экзоскелета пожарного А.Ф.А.



Рис. 2. Внешний вид: а – подвижного джойстика для маневрирования, б – системы импульсного водяного пистолета

Разработчиком предполагается две модификации экзоскелета: пожарный (The fire pioneer) и спасатель (The rescuer). Для закрепления экзоскелета на теле человека предусмотрена крепежная система (рис. 3).



**Рис. 3.** Внешний вид экзоскелета А.Ф.А., одетого на оператора

В заключении хотелось бы отметить, что в России также ведутся разработки экзоскелетов. В частности, по инициативе МЧС России в период с 2007 по 2011 гг. НИИ механики МГУ реализовывал проект «Экзоатлет» [5]. В 2013 году появился первый рабочий образец, который мог выдержать до 200 килограмм внешнего веса при собственном весе в 50 килограмм. Однако данный экзоскелет получился достаточно громоздким и требуется его дальнейшая доработка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов А.Д., Арбузова А.А. Исследование возможности использования беспилотных летательных аппаратов в деятельности МЧС России / XIII-я Международная научно-техническая конференция «Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации». 16-17 марта 2018 года. С.140-143.
2. Морозов А.Д., Арбузова А.А. Беспилотная авиация на службе МЧС России / Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов». Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. С. 164-167.
3. A.F.A.-Powered Exoskeleton Suit for Firefighter. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.behance.net/gallery/12324165/AFA-Powered-Exoskeleton-Suit-for-Firefighter> (дата обращения: 03.03.2019).
4. Экзоскелет для спасателей и пожарных. [Электронный ресурс]. URL: [https://uk-cert.ru/news/ekzoskelet\\_dlya\\_spasateley\\_i\\_pozharnykh/](https://uk-cert.ru/news/ekzoskelet_dlya_spasateley_i_pozharnykh/) (дата обращения: 03.03.2019).
5. Новости и публикации. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.exoatlet.com/ru/news> (дата обращения: 03.03.2019).



УДК 624.012.45

*А. А. Арбузова, Н. Е. Егорова*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Ключевые слова:** бетон, конструкционные материалы, разрушение, температура, влажность, пожар.

**Аннотация:** Данная статья касается рассмотрения вопроса об определении уровня надежности бетонных конструкций под действием влажности, температуры и нагрузки. Рассмотрен процесс, протекающий в композиционном материале под влиянием данных факторов.

*A. A. Arbuzova, N. E. Egorova*

## **TO THE QUESTION OF DETERMINING THE LEVEL OF RELIABILITY OF CONCRETE STRUCTURES**

**Keywords:** concrete, construction materials, destruction, temperature, humidity, fire.

**Annotation:** This article concerns the consideration of determining the level of reliability of concrete structures under the influence of humidity, temperature and load. The process in the composite material under these factors is considered.

Во время эксплуатации все здания и сооружения испытывают как природные, так и искусственные нагрузки и воздействия. Вопросом снижения природных нагрузок занимаются специалисты строительной сферы при проектировании зданий и сооружений. Также учитываются некоторые возможные искусственные нагрузки, в частности вес объектов, которые будут размещаться в здании при последующей его эксплуатации. Однако учесть такое воздействие как пожар, когда к рабочим нагрузкам на конструкции здания добавляются еще воздействия высоких температур и повышенной влажности, достаточно проблематично. Основная опасность этих воздействий – снижение надежности здания за счет накопления напряжений и постепенного разрушения.

В строительстве зданий и сооружений в России значительная доля приходится на применение конструкций из железобетона. Это обусловлено тем, что благодаря комплексному применению в структуре материала стальной арматуры и бетона, образуется материал, который обладает высокими показателями сопротивления сжатию и хорошо поддается растяжению.

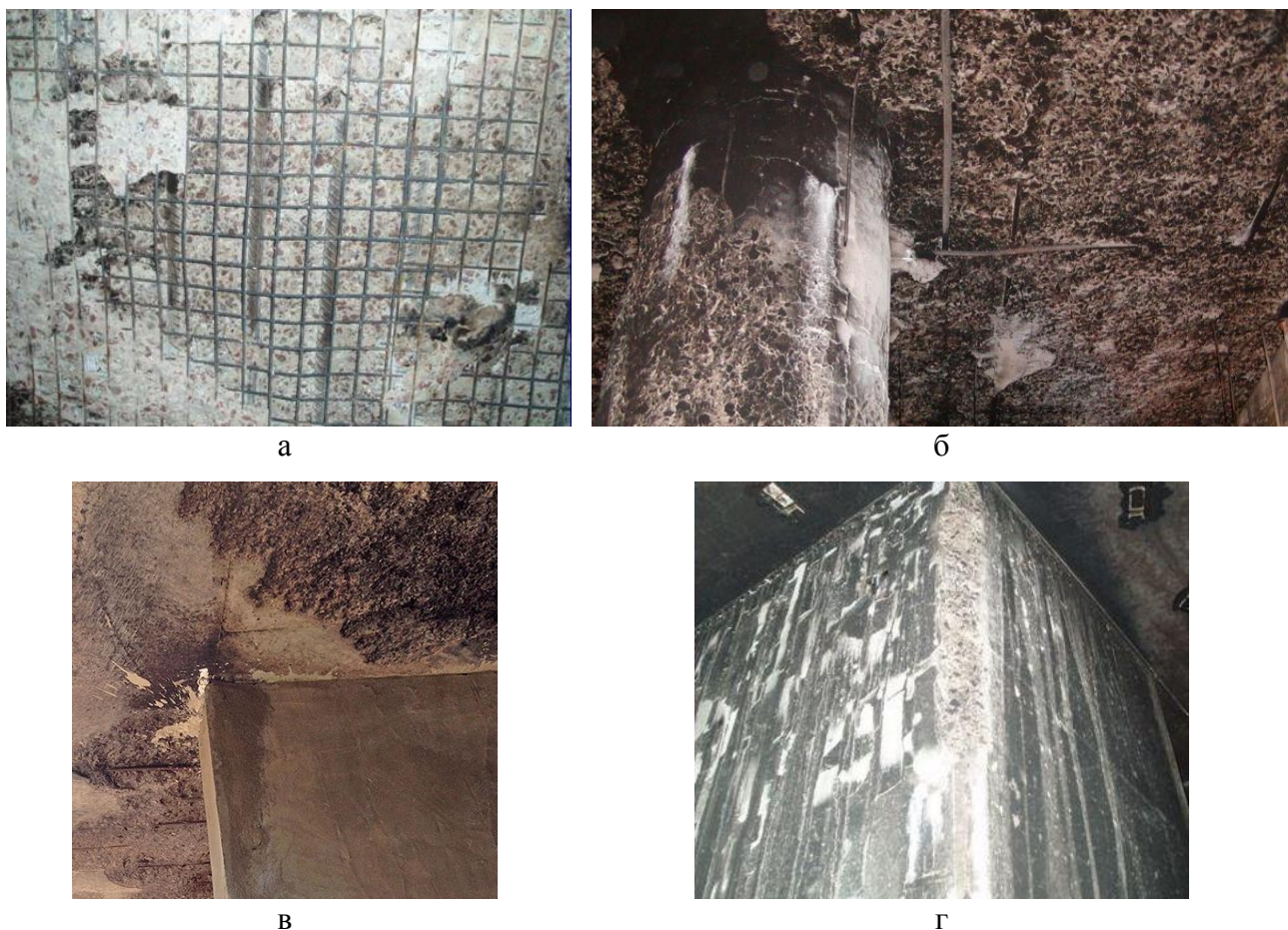
Необходимо отметить, что в настоящее время доля панельных домов среди всех жилых построек весьма существенна и составляет от 18% до 34% в различных городах России [1].

Еще одним несомненным преимуществом бетона и конструкций из него является достаточно высокий уровень пожаробезопасности. Огонь воздействующий на такие конструкции в течение короткого времени не вызывает ухудшения прочностных

показателей. Однако при долговременном воздействии и достаточно высоких температурах начинается потеря прочности. Так при температуре 250-300<sup>0</sup>С потеря прочности составляет 25%, а при 500-550<sup>0</sup>С происходит полное разрушение материала.

Для изучения механизма разрушения строительных конструкций под действием пожара существует ряд методов [2], позволяющих оценивать уровень разрушения конструкционных материалов в процессе пожара. В процессе исследования измеряются различные диагностические параметры, такие как, скорость ультразвука, влажность и пр., а по полученным результатам измерения проводится оценка.

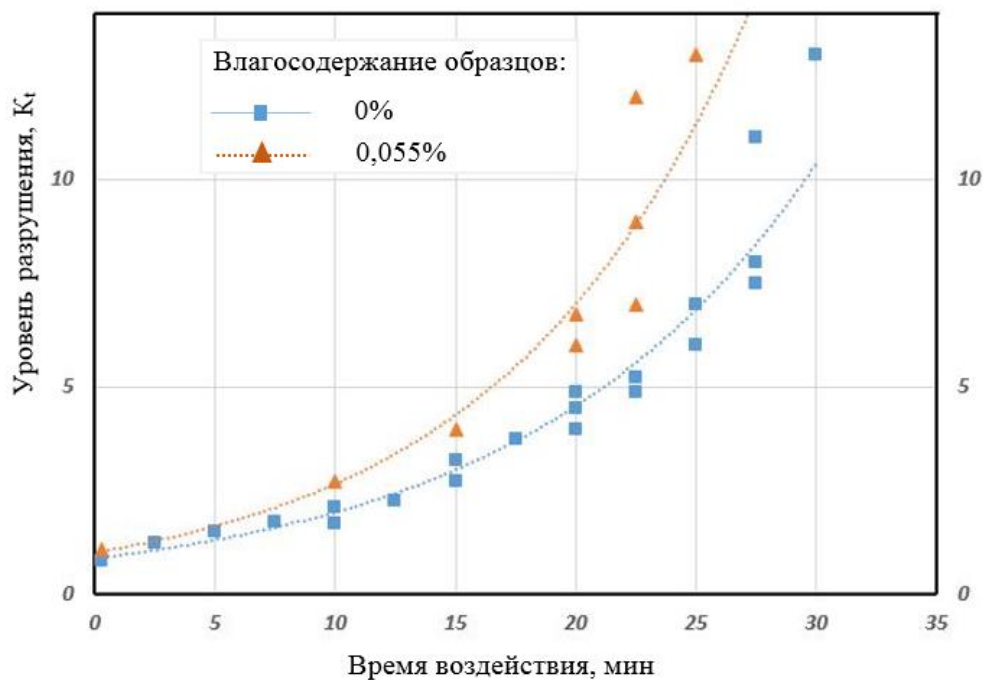
Необходимо отметить, что резкое увлажнение или охлаждение уже подогретого материала приводит к образованию разрушений (трещин) и ослабеванию арматурной конструкции [2] (рис. 1).



**Рис. 1.** Отколы бетона: а, б, в – в плите; г – в колонне

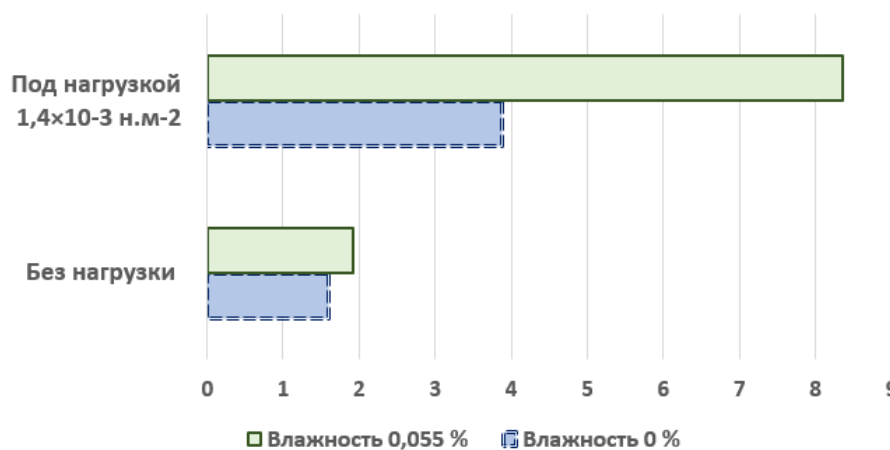
Согласно данным, представленным в [2], при проведении экспериментальных исследований использовались образцы, которые отличались по величине начальной влажности. Данные образцы подвергались тепловому воздействию разной продолжительности и силы, после чего к ним применялись различные механические нагрузки. Через равные промежутки фиксировалась величина разрушения образцов.

На рис. 2 представлены построенные зависимости изменения уровня разрушения бетонной плиты от величины и длительности воздействия температуры. Представленные данные показывают то, что во время пожара процесс разрушения композиционных материалов носит накопительный, а не самопроизвольный характер. Первоначальный этап разрушения характеризуется отсутствием видимых трещин на поверхности материала. В дальнейшем происходит появление разного рода повреждений на микроуровне, а также уменьшается однородность структуры материала. Проявление и дальнейшее развитие данного накопительного эффекта позволяет говорить о кинетическом характере развития процесса разрушения материалов. Данный процесс является промежуточным и в дальнейшем под действием высоких температур, которые воздействуют на конструкционные материалы в процессе пожара, наступает его предельное состояние, сопровождающееся разделением материала на части.



**Рис. 2.** Зависимость уровня разрушения композиционного материала от времени воздействия на него температуры

Наличие влаги в структуре материала приводит к ускорению процесса разрушения [3-5]. Увеличение значения прикладываемой механической нагрузки на образцы материалов в условиях высоких температур приводит к более активному развитию процесса разрушения материалов по сравнению с образцами, которые нагревались без приложения внешней нагрузки. Также присутствие влаги совместно с внешней нагрузкой и повышенной температурой еще более значительно инициирует процесс разрушения (см. рис. 3).



**Рис. 3.** Сравнение степени разрушения бетонной конструкции при варьировании влагосодержания и степени нагружения

Таким образом, можно заключить, что присутствие влаги в структуре материала ускоряет процесс его разрушения. А повышение величины механической нагрузки в условиях высокотемпературного воздействия приводит к интенсификации разрушающего процесса по сравнению с материалами, которые нагреваются без внешней нагрузки. В целом можно заключить, что наиболее разрушительный характер имеет тепловое воздействие на влажные конструкционные материалы, чем аналогичное воздействие на сухие материалы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краткий обзор жилищного строительства в РФ. [Электронный ресурс]. URL: <http://365-tv.ru/index.php/analitika/rossiya/33-kratkij-obzor-zhilishchnogo-stroitelstva-v-rf> (дата обращения: 10.03.2019).
2. Поведение бетонных конструкций при пожаре. [Электронный ресурс]. URL: <https://sevparitet.ru/raznoe/razrushenie-betona-na-pozhare-nachinaetsya-pri-temperature.html> (дата обращения: 10.03.2019).
3. Ройтман В.М., Демеин В.Н. Фильтрационная диагностика поврежденности материалов строительных конструкций при воздействии пожара и взрыва. – В кн.: Современные методы и технические средства контроля качества строительных материалов и конструкций. – М.: Знание, 1983, с.116-121.
4. Соколов А.К., Егорова Н.Е., Есина М.Г., Хонгорова О.В., Арбузова А.А. О распределении температур в наружных ограждениях помещений до начала пожара с учетом времени года // сб. материалов II Межвузовской научно-практической конференции «Актуальные вопросы естествознания» / ИПСА ГПС МЧС России. – Иваново, 2017 г. - С.57-59.
5. Соколов А.К., Егорова Н.Е., Арбузова А.А. Методы определения теплофизических свойств материалов по измеренным в экспериментах температурным полям // сб. материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны «Современные пожаробезопасные материалы и технологии». / ИПСА ГПС МЧС России. – Иваново, 2017 г. С.142-148.
6. Егорова Н.Е., Арбузова А.А. Математическое моделирование расчета распределения температуры в ограждениях помещений в процессе пожара / сб. материалов XXVIII Международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь» по направлению секции 15. Академия гражданской защиты МЧС России. 2018. С.9-12.

УДК 614.846

*М. С. Атабаев, А. Н. Бочкарев, А. Д. Семенов*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЖАРНОГО ДВУХЗВЕННОГО ГУСЕНИЧНОГО ТРАНСПОРТЕРА ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

**Ключевые слова:** лесные пожары, пожарно-спасательные подразделения, специальные пожарные автомобили, двухзвенный гусеничный транспортер.

**Аннотация:** в работе показаны возможности применения гусеничного транспортера для тушения лесных пожаров. Проведена оценка эффективности использования транспортера, по сравнению с основными и специальными пожарными автомобилями. Предложена методика по расчету тягового усилия и скоростных характеристик.

*M. S. Atabaev, A. N. Bochkarev, A. D. Semenov*

## **ANALYSIS OF THE EFFICIENCY AND PROSPECTS OF USE OF FIRE TWO-LINK CRAWLER TRANSPORTER TO EXTINGUISH FOREST FIRES**

**Keywords:** forest fires, fire and rescue units, special fire trucks, two-link caterpillar transporter.

**Abstracts:** the work demonstrates the possibility of the use of caterpillar conveyor for fighting forest fires. The estimation of efficiency of use of the conveyor, in comparison with the main fire trucks is carried out. A method for calculating the traction force and speed characteristics is proposed.

Анализ статистических [5] данных показал, что ежегодный рост численности населения Земли составляет 1,7%, вследствие этого увеличивается количество потребляемых природных ископаемых. Переработка природных ресурсов требует увеличения производственных мощностей предприятий, что достигается созданием новых и совершенствованием имеющихся производств. Создание и функционирование предприятий связано с увеличением вероятности возникновения и роста количества природных, техногенных и производственных аварий и катастроф.

Статистические данные о чрезвычайных ситуациях, пожарах, авариях и катастрофах в мире показывают, что происходит ежегодный рост их числа. Ежегодный материальный ущерб от лесных пожаров составляет 20-30 млрд. рублей, поэтому они объединены в отдельную группу. Чрезвычайные ситуации (ЧС) возникающие в труднопроходимых районах местности, а именно, лесные и лесоторфянные пожары, стихийные бедствия приводят к гибели людей, десятков тысяч диких животных, а также к уничтожению сельскохозяйственных посевов, лесных угодий, поэтому необходимо осуществлять постоянный мониторинг, а также поиск новых технических решений и возможностей по сокращению временных показателей на реагирование и ликвидацию природных и техногенных катастроф.

Как показывает практика основной проблемой при ликвидации чрезвычайных ситуаций и тушении пожара в удаленных от города, труднопроходимых районах является доставка сил и средств. Анализ литературных данных показал, что нормативное время прибытия на тушение пожара или ликвидацию чрезвычайных ситуаций в населенных пунктах составляет 10 минут, а на ликвидацию чрезвычайных ситуаций природного характера, лесных пожаров и катастроф не регламентируется, однако реагирование на них и временные показатели доставки сил и средств должны быть минимизированы.

В процессе работы на месте чрезвычайных ситуаций в труднодоступных районах местности возникают проблемы:

- с трудностью в обеспечении пожарно-спасательных подразделений (водой, пищей, инструментами, топливом);
- с необходимостью работать по ночам.

Анализ литературных источников [2, 3 ,4] показал, что на сегодняшний день существует большое количество моделей специальной техники.

Проанализировав основные тактико-технические характеристики специальных автомобилей, установил, что наиболее перспективным в использовании на чрезвычайных ситуациях является двухзвенный гусеничный транспортер пожарного типа ДТП-ЗП.

Целью работы является проведение оценки возможностей по использованию двухзвенного гусеничного транспортера пожарного типа по доставке сил и средств и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории России.

Основные средства, используемые при ликвидации чрезвычайных ситуаций это специальная техника, которая оснащена широким перечнем пожарно-технического вооружения и оборудования размещаемого на шасси повышенной проходимости. Однако при тушении лесных и лесоторфяных пожаров используемая техника имеет ряд существенных недостатков.

Автоцистерна имеет малый запас огнетушащих средств при большом расходе топлива. Пожарный насосно-рукавный автомобиль целесообразен лишь тогда, когда вблизи пожара располагается какой-либо водоисточник. Аварийно-спасательный автомобиль при тушении лесных и лесоторфяных пожаров может использоваться для освещения места тушения пожара, но непосредственно для ликвидации пожара нецелесообразен. Несмотря на то, что вся техника оборудована на шасси повышенной проходимости, не всегда представляется возможным добраться своим ходом до места тушения лесного или лесоторфяного пожара, так как рельеф местности очень разнообразен. Имеются заболоченные места, овраги, крутые подъемы, небольшие речки, завалы, образовавшиеся от упавших деревьев и т.д.

Водный транспорт целесообразен при тушении прибрежных полос и на расстоянии до 500 метров от них. Тушение места пожара, которое располагается в глубине леса, не представляется возможным, так как водного напора создаваемого мотопомпой не хватит для подачи воды на большие расстояния.

Воздушный транспорт применяемый при тушении лесных и лесоторфяных пожарах эффективен лишь на первоначальной стадии развития пожара, когда пожар еще не приобрел больших масштабов. Во-первых, тушение лесных и лесоторфяных развившихся пожаров значительно осложняется, так как тепловой поток и густой дым поднимается вверх, что представляет большую опасность. Во-вторых, использование

воздушного транспорта является очень дорогостоящим мероприятием, связано это с тем, что авиационное топливо быстро расходуется. В среднем топлива хватает на 2-3 часа полета, при этом требуется постоянная дозаправка огнетушащих средств на аэродроме от гидранта или пожарного автомобиля. Также возможен забор огнетушащих средств из открытого водоема со значительным запасом объема воды и площадью водного покрытия. Поэтому необходим поиск технических средств, которые сочетают в себе возможности специальной техники, используемой для тушения лесных пожаров.

Анализ литературных источников [1] показал, что на сегодняшний день существует большое количество моделей специальной техники. Проанализировав основные тактико-технические характеристики специальных автомобилей, установил, что наиболее перспективным в использовании на чрезвычайных ситуациях является двухзвенный гусеничный транспортер пожарного типа ДТП-ЗП.

Вездеход имеет два сварных герметичных корпуса-звена. В первом расположена кабина экипажа, рассчитанная на 4-7 человек, включая механика-водителя, а также моторно-трансмиссионное отделение. Второй корпус отдан под пожарно-техническое оборудование, которое размещено в съемном контейнере. Модульный принцип исполнения позволил, подстраиваясь под боевую задачу, иметь в составе машины отсеки с аварийно-спасательным или медицинским оборудованием. А благодаря бортовому погрузочно-разгрузочному механизму замену контейнера можно произвести в течение 2-3 минут.

Анализ тактико-технических характеристик двухзвенного гусеничного транспортера показал, что он превосходит по мощности двигателя практически в 2 раза, по скоростным характеристикам на 15 км/ч, по времени прибытия к месту чрезвычайной ситуации, сложившейся в лесном массиве, на каждые 100 километров на 36,2 минут. Предлагаемый автомобиль имеет запас по полной снаряженной массе на 13702,15 кг, а также по мобильности и проходимости технику такого же функционального назначения и способен заменить несколько пожарных автомашин, используемых при тушении лесных пожаров так, как имеет в своей базовой комплектации сменные модули и возможность установки грейдера.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Аварийно-спасательные машины на службе МЧС России / Системы безопасности, январь, 2002.
2. Копылов С.Н. Технические средства борьбы с лесными пожарами. Возможность совершенствования и дальнейшее их развитие: доклад на XXIII Международную конференцию «Актуальные проблемы пожарной безопасности» (17 мая 2011). — М., 2011.
3. Пожарные автомобили предприятий России: Сборник нормативных документов. Вып. 8. — М.: ВНИИПО, 2006. — 346 с.
4. Пожарная техника: Учебник / Под ред. М.Д. Безбородько. — М.: Академия ГПС МЧС России, 2004, — 550 с.
5. Ю.Л. Воробьева, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Под общ.ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. — М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. — 312 с. ISBN 5-9517-0008-6.

УДК 621.1

*С. В. Базаркин, И. И. Ведерникова*

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

## **КОНСТРУКЦИЯ ИЗОЛИРУЮЩЕЙ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНОЙ НАКЛАДКИ**

**Ключевые слова:** рельсовые стыки, металлокомпозиционные накладки, сердечник, технологический процесс, изготовление.

**Аннотация:** Объектом исследования является конструкция изолирующей металлокомпозитной накладки, применяемая в изолирующем стыке рельсового крепления на железнодорожном транспорте с учетом устранения недостатков существующих видов накладок, а именно снижение деформации в зоне стыка и уменьшение намагниченности концов рельсов.

*S. V. Bazarkin, I. I. Vedernikova*

## **DESIGN OF METAL-COMPOSITE INSULATING LINING**

**Keywords:** rail joints, composite metal plates, core, process, manufacturing.

**Abstract:** The object of the study is the design of the insulating metal composite lining used in the insulating joint of the rail fastening on the railway transport, taking into account the elimination of shortcomings of existing types of overlays, namely, reducing deformation in the joint zone and reducing the magnetization of the ends of the rails.

Актуальность проблемы заключается в усложнении условий эксплуатации, связанных с увеличением массы поездов и скорости движения, сказывающиеся на работе всех элементов железнодорожного пути, в том числе в зоне повышенного уровня динамического воздействия подвижного состава на путь – в зоне стыка, особенно изолирующего.

Эффективность перевозочного процесса железнодорожного транспорта в значительной степени зависит от уровня его управляемости и степени обеспечения безопасности.

Для этого железные дороги мира оснащаются все более новыми и совершенными техническими средствами управления и обеспечения безопасности движения поездов. При этом важнейшей задачей является непрерывный контроль местоположения и параметров движения подвижных составов. Информация о местоположении подвижных составов необходима для оптимального использования пропускной и провозной способности железных дорог и исключения опасных ситуаций (опасного попутного сближения, проезда светофоров с запрещающими сигналами, движения на занятый путь, превышения допустимой скорости в местах ограничения скорости).

Рельсовые цепи являются средством определения местоположения поезда, которое определяется с точностью до длины рельсовой цепи. Эффективность рельсовых цепей настолько велика, что, непрерывно совершенствуясь, они на большинстве железных дорог остаются основным средством определения местоположения поездов.



В силу специфики конструкции изолирующих стыков, выполняющих функции изоляции одного блок-участка от другого, в условиях повышения грузонапряженности, скоростей движения и осевых нагрузок, при одновременном увеличении межремонтного срока эксплуатации пути и снижении эксплуатационных затрат актуальной остается проблема создания надежных и долговечных изолирующих стыков рельсов.

Недостаточные жесткость и несущая способность стыка с композитными накладками приводят к провисанию шпалы на принимающем конце рельса, образованию ступеньки на поверхности катания стыкуемых рельсов и, соответствующими этому повышению динамики взаимодействия с подвижным составом и ускоренному повреждению металла на поверхности катания головки принимающего рельса.

Вторым аспектом, обуславливающим необходимость изменения конструкции изолирующего сборного стыка с композитными накладками, является периодическое электрическое замыкание стыков, приводящее к сбою в работе систем сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и возникновению ложной занятости, а также создающее помехи для автоматической локомотивной связи (АЛС) сильное магнитное поле таких стыков.

По причине нарушений в работе изолирующих стыков происходит около 45% отказов в рельсовых цепях или около 20% всех отказов устройств СЦБ.

Причиной электрического замыкания стыков с композитными накладками является образование между рельсами в стыке шунтирующих мостиков на участках где осуществляется разгон и торможение проходящих поездов из частиц металла - продуктов износа рельсов и колес при механическом воздействии тормозных колодок, которые возникают в магнитном поле стыка. Помимо сбоев в работе СЦБ, нарушения графика движения поездов это обуславливает и дополнительные расходы на текущее содержание, связанные с постоянными осмотрами и удалением металлической стружки из стыков с композитными накладками.

Для решения вопроса обеспечения жесткости пути в зоне стыка в работе были определены следующие направления - это применение металлической заготовки с определенным уровнем механических свойств и изолирующее покрытие с надежным сопротивлением электрической изоляции стыка с работоспособностью в климатических условиях сети российских железных дорог.

В настоящей работе связанной с разработкой технологии обработки металлокомпозитных накладок, для электроизоляции стыков звеньевых и бесстыковых путей, определены возможности замены материала сердечника накладки, изложены исследования по возможности эксплуатации изолирующих накладок, а так же произведена модернизация производства и технологического процесса производства сердечников.

Накладка состоит из металлического сердечника, изолирующей прокладки из стеклопластика и двух обечаек. Электрическое сопротивление изолирующего слоя между сердечником и каждой из обечаек и между обечайками не менее 1 МОм. Накладки в стыке должны выдерживать без разрушения продольную нагрузку при полностью затянутых стыковых болтах 2,5 МН. Область применения – для установки в изолирующих стыках с рельсами типа Р65 на деревянных или железобетонных шпалах и брусках.

При выполнении исследований по оценке возможности использования стали 30ХГСА для изготовления сердечников накладок в первую очередь, решались вопросы обеспечения физико-механических свойств изолирующих накладок. Это связано с подтверждением и обоснованием актуальности работы по научной новизне, а имен-

но, разработкой ресурсосберегающей технологии производства сердечников изолирующих накладок и подтверждением правильности выбора материала несущей конструкции накладки.

Анализ приведенных материалов и отчетов о работе изолирующих стыков говорит о том, что современные условия эксплуатации требуют применения более качественных материаловедческих решений в изолирующих стыках.

Химический состав и механические свойства стали 30ХГСА для изготовления несущего профиля изолирующей накладки должны соответствовать требованиям по п.1.5 – 1.13 ГОСТ 4133-73 и НБ ЖТ 095-2001. При контроле химического состава стали, макроструктуры и механических свойств металлической заготовки проверяется их соответствие требованиям нормам безопасности.

Испытаниям подвергались образцы, специально изготовленные из профиля сердечника. Испытания показали, что химический состав стали, определенный на установке Spectrolab, соответствует требованиям нормативной документации.

Испытания проводились для оценки уровня механических свойств, усталостных характеристик и напряженности магнитного поля при использовании для изготовления сердечников вместо стали М54 сталь 30ХГСА, обеспечивающей необходимые требования по механическим свойствам, усталости, жесткости и сопротивлению. Результаты испытаний стыков с накладками Р65МК (сердечники из стали 30ХГСА) характеризуются надежным закреплением стыков рельсов, обеспечивающим стабильность, геометрических характеристик пути и отсутствием его расстройств. Прочностные характеристики стали 30ХГСА, из которой сделаны сердечники накладок, удовлетворяют требованиям на поставку заготовок сердечников.

Геометрические размеры и качество поверхности металлокомпозитных накладок и их металлической основы, химический состав стали, макроструктура, механические свойства соответствуют требованиям ГОСТ 4543-71 и НБ ЖТ 095-2001. Установлено, что при использовании металлокомпозитных накладок достигается снижение намагниченности концов рельсов от 4 до 10 раз по сравнению с использованием композитных накладок, за счет применения металлической основы в конструкции металлокомпозитной накладки, который является магнитопроводящим шунтом на концах рельсов.

Накладки Р65МК (сердечники из стали 30ХГСА) могут эксплуатироваться в составе изолирующих стыков на станционных путях, в звеньевом пути магистральных железных дорог, стрелочных переводах без каких-либо ограничений по скоростям движения и грузонапряженности, в уравнильных пролетах бесстыкового пути при скоростях движения до 200 км/ч.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Методика по измерению напряженности магнитного поля изолирующих стыков рельсов, при применении изолирующих накладок и клееболтовых стыков различной конструкции: утв. Департаментом сигнализации, централизации и блокировки МПС России 28.11.2003.

2. Ушаков А.Е., Инякин В.М., Штейнберг Р.Л.. Патент RU 2040622 от 29.08.1994 Электрически изолирующие рельсовые стыковые соединения.

3. Ушаков А.Е., Штейнберг Р.Л., Инякин В.М и др. Патент RU 2061137 от 13.11.1995 Накладка рельсового стыкового изолирующего соединения.

4. Борц А.И., Федин В.М., Светозарова И.В. (Шарапова И.В.) Испытания новых конструкций изолирующих накладок рельсовых стыков.// Промышленный транспорт XXI век. 2005. № 2. С. 36-39.

УДК 629.083

**С. В. Балаба<sup>1</sup>, А. В. Филиппов<sup>1</sup>, В. В. Крудышев<sup>1</sup>, Л. А. Новопашин<sup>2</sup>, Ю. В. Гребнев<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Уральский ГАУ

<sup>3</sup>1 ПСЧ ФГКУ «1 ОФПС по Свердловской области»

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОЧИСТКИ РАБОЧЕЙ ТОРМОЗНОЙ ЖИДКОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**Ключевые слова:** тормозная жидкость, гигроскопичность, условия эксплуатации, тормозная система, привод сцепления.

**Аннотация:** Качество выполнения технического обслуживания пожарной техники на прямую связано с безопасностью движения на пожар и обратно. Анализ неисправностей пожарных автомобилей позволил выявить наиболее частые отказы большее количество которых относится к элементам тормозной системы и привода сцепления. При работе данных элементов используется тормозная жидкость, от состояния которой зависит их исправность и работоспособность.

*S. V. Balaba, A. V. Filippov, V. V. Krudyshev, L. A. Novopashin, Yu. V. Grebnev*

## **A STUDY OF THE CLEANING ABILITY OF THE WORKING BRAKE FLUID FIRE FIGHTING CAR**

**Keywords:** brake fluid, hygroscopicity, operating conditions, brake system, clutch drive.

**Abstract:** the Quality of maintenance of fire equipment is directly related to the safety of movement to the fire and back. Failure analysis of fire-fighting vehicles allowed to identify the most frequent failures greater number of which relate to the elements of the braking system and clutch. When these elements are used brake fluid, the state of which depends on their serviceability and performance.

Особые условия эксплуатации техники подразделений МЧС заставляют задуматься о более внимательном отношении к ней. Эксплуатация техники в подразделениях осуществляется в соответствии с общероссийскими и ведомственными нормативными документами. Одним из важнейших факторов влияющих на эксплуатационные свойства техники, являются климатические условия. Уральский регион отличается тем, что осенью и весной регистрируются значительные перепады температур и это негативно влияет на состояние дорожного покрытия и самих автомобилей. За безопасность при движении автомобиля отвечает тормозная система, выход из строя которой может привести к тяжелым последствиям.

Собрав информацию о поломках автомобилей Екатеринбургского гарнизона, была сделана выборка, одной наиболее распространенной марки пожарного автомобиля для анализа неисправностей. Наиболее распространенным автомобилем в гарнизоне является автоцистерна АЦ 3,0-40 (43206) 1МИ и наибольшее количество отказов приходится на тормозную систему и привод сцепления [1].

Рассмотрев привод сцепления и тормозную систему, мы выяснили, что при их работе используется воздух и тормозная жидкость. Наибольшему воздействию подвергаются: резиновые шланги, пыльники, уплотнительные манжеты и кольца. Причем последние работают и в парах трения, соответственно их износ приводит к снижению герметичности, как тормозного привода, так и привода сцепления. В результате снижается эффективность работы тормозной системы и привода сцепления, что неблагоприятно влияет на безопасность движения автомобиля. К наиболее распространенным неисправностям относят: утечка тормозной жидкости через резиновые уплотнения, закусывание поршня в цилиндре, разрушение уплотнительного элемента в следствии «прихвата», разрушение уплотнительного элемента в следствии неровности поверхности цилиндра. Проанализировав неисправности можно прийти к выводу, что причиной может являться тормозная жидкость [2].

В настоящее время в Российской Федерации не существует единого стандарта на производство тормозной жидкости. При производстве используются следующие международные стандарты:

- Спецификация FMVSS №116 — разработана Департаментом транспорта США (USDOT);
- Спецификации SAE J1703 и SAE J1704 — разработаны в Обществе автомобильных инженеров (Society of Automotive Engineers, SAE).

За основу принят стандарт, разработанный Департаментом транспорта США (USDOT) DOT. В соответствии с этой спецификацией тормозная жидкость делится на классы от DOT-1 до DOT-5. Ниже представлена классификация DOT по основному веществу [3]:

- DOT-1, DOT-2 — в настоящее время практически вышли из употребления;
- DOT-3, DOT-4 — наиболее популярные тормозные жидкости на основе полиэтиленгликоля;
- DOT-5 — жидкость на силиконовой основе;
- DOT-5.1 — модифицированный вариант DOT-4, имеющая улучшенные характеристики.

В соответствии с данным международным стандартом разработаны минимальные требования к следующим показателям [4]:

- Температура кипения тормозной жидкости (выпущенная заводом);
- Температура кипения «увлажненной» жидкости (находящееся в эксплуатации);
- Вязкость, мм<sup>2</sup>/с, при -40<sup>0</sup> С;
- Вязкость, мм<sup>2</sup>/с, при 100<sup>0</sup> С;

Основным недостатком самой распространенной в России тормозной жидкости марки DOT-4 является её гигроскопичность. Гигроскопичность - это способность материала поглощать и конденсировать водяные пары из воздуха. При эксплуатации автомобиля происходит постепенное обводнение тормозной жидкости, которое приво-

дит к снижению её свойств. На рисунке показана зависимость температуры кипения тормозной жидкости от процентного содержания воды [5].

Таким образом, существует проблема нахождения воды в тормозной жидкости и в следствии этого ухудшения её характеристик. Самым простым путем решения данной проблемы является её замена через каждые 2 года, как требуют нормативные документы завода изготовителя. Изучив ряд работ по исследованию гигроскопичности тормозных жидкостей [6,7] установлено, что за первый год эксплуатации автомобиля после замены тормозной жидкости содержание воды может достигать до 3,5 %, а снижение температуры кипения с 240 °С до 130-140 °С.

Другим способом удаления воды из тормозной жидкости может быть фильтрация. Аналогичный способ для отделения воды от топлива успешно используется. Данный вопрос требует тщательной проработки, так как есть ряд проблем, главными из которых являются необходимость создания циркуляции тормозной жидкости в рабочей тормозной системе автомобиля и выбор фильтрующего элемента.

В настоящее время на автомобилях используется так называемая «тупиковая» тормозная система, где жидкость не циркулирует, а лишь передает усилие к исполнительным элементам. Создание циркуляции требуется для прохождения жидкости через фильтр и обратного возвращения в систему.

Таким образом, описываемый способ позволит очистить тормозную жидкость от примесей, продлить срок службы деталей тормозной системы и привода сцепления, обеспечить безопасность движения в сложных дорожных и климатических условиях.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новопащин Л.А., Балаба С.В., Крудышев В.В., Лазарев И.С., Филиппов А.В., Хабибуллина Н.В., Тимкин В.А. Оценка и прогнозирование ресурса и эксплуатации сцепления пожарных автомобилей // Вестник биотехнологии. - 2018. - № 2 (16). - С. 8.
2. Балаба С.В., Крудышев В.В., Зубарев И.А., Новопащин Л.А., Нагорских В.С. Анализ возможности применения полиамидных и полиуретановых материалов в качестве уплотнений рабочих тормозных цилиндров // Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции. -2018. - С. 10-13
3. За рулем [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [https://www.zr.ru/content/articles/468532-ekspertiza\\_tormoznyh\\_zhidkостей\\_dot\\_4\\_-\\_0A\\_ne\\_kipatis/#](https://www.zr.ru/content/articles/468532-ekspertiza_tormoznyh_zhidkостей_dot_4_-_0A_ne_kipatis/#) - Заглавие с экрана. - (Дата обращения 28.02.2019)
4. Спецификация FMVSS №116

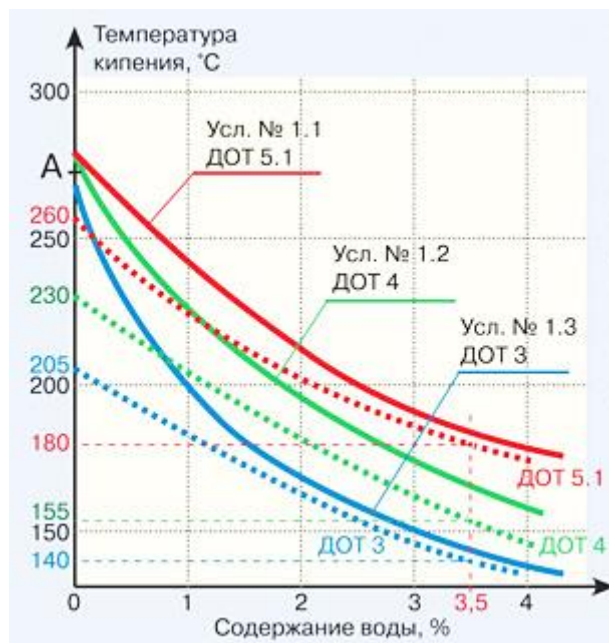


Рисунок. Зависимость температуры кипения тормозной жидкости от процентного содержания воды

5. Тормозные жидкости для автомобиля: виды, свойства, маркировка [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://unit-car.com/termini-i-sokrasheniya/252-tormoznaya-zhidkost.html>- Заглавие с экрана. - (Дата обращения 28.02.2019)

6. Носова Е.В. Экспериментальное исследование «увлажненных» тормозных жидкостей методом рефракции. ВЕСТНИК ИрГТУ. - 2015. - №10 (105). - С. 178-181.

7. Носова Е.В., Демин Н.А., Погуляев А.С. Экспериментальное исследование влияния «увлажненности» тормозных жидкостей на снижение температуры кипения при эксплуатации автомобилей в условиях холодного климата // ВЕСТНИК ИрГТУ. - 2016.- №5.(112). - С. 181-186.

УДК 821.833; 621.835

*Т. А. Балабина, А. Н. Мамаев*

Московский политехнический университет

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ В МЕХАНИЗМЕ С ТОЧНЫМ ВЫСТОЕМ ВЫХОДНОГО ЗВЕНА**

**Ключевые слова:** зубчато-рычажный механизм, точный фиксированный выстой, периодический поворот, колебания, стенд.

**Аннотация:** Для обеспечения периодического поворота выходного звена с точным фиксированным выстоем используются кулачково-зубчато-рычажные механизмы. Наличие в конструкции механизма упругого элемента лимитирует ускорение выходного колеса и предохраняет механизм от жесткого удара в момент восстановления упругим элементом своей исходной длины, однако в то же время он является источником возникновения колебаний выходного колеса механизма в момент начала движения после окончания выстоя. Для измерения колебаний был спроектирован и изготовлен специальный стенд, позволяющий измерять колебания выходных колес и длины шатуна механизма.

*T. A. Balabina, A. N. Mamaev*

## **EXPERIMENTAL STUDY OF OSCILLATIONS IN THE MECHANISM WITH THE EXACT SYSTEM OUTPUT LINK**

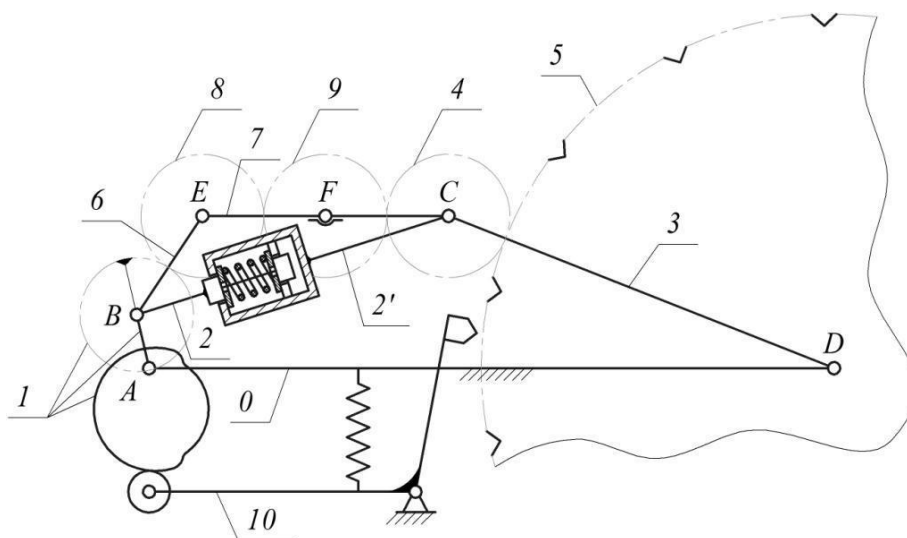
**Keywords:** gear-linkage, accurate fixed dwell, periodic rotation, oscillation, stand.

**Abstract:** Cam-gear-lever mechanisms are used to ensure periodic rotation of the output link with an accurate fixed stand. The presence of an elastic element in the design of the mechanism limits the acceleration of the output wheel and protects the mechanism from a hard impact at the time of recovery of the elastic element of its original length, but at the same time it is a source of oscillations of the output wheel of the mechanism at the start of movement after the end of the standoff. A special stand was designed and manufactured to measure the vibrations of the output wheels and the length of the connecting rod of the mechanism.

Зубчато-рычажные и кулачково-зубчато-рычажные механизмы находят широкое применение в технологическом оборудовании автоматического и полуавтоматического действия для преобразования одностороннего вращательного движения

входного звена механизмов в одностороннее вращательное движение выходного звена с периодическими остановками. Эти механизмы используются в приводах поворотных столов, в шаговых транспортерах, для периодической подачи в рабочую зону материалов и оборудования, для сообщения движения с остановками выходным звеньям исполнительных и вспомогательных механизмов и т.д.

В работе [1] был предложен кулачково-зубчато-рычажный механизм (рис. 1), отличительной особенностью которого является осуществление точного выстоя выходного звена без разрыва кинематической цепи, что играет важную роль в производстве деталей и узлов автомобилей, отвечающем современным требованиям безопасности.



**Рис. 1.** Кулачково-зубчато-рычажный механизм с упругим элементом и фиксированным выстоем выходного звена

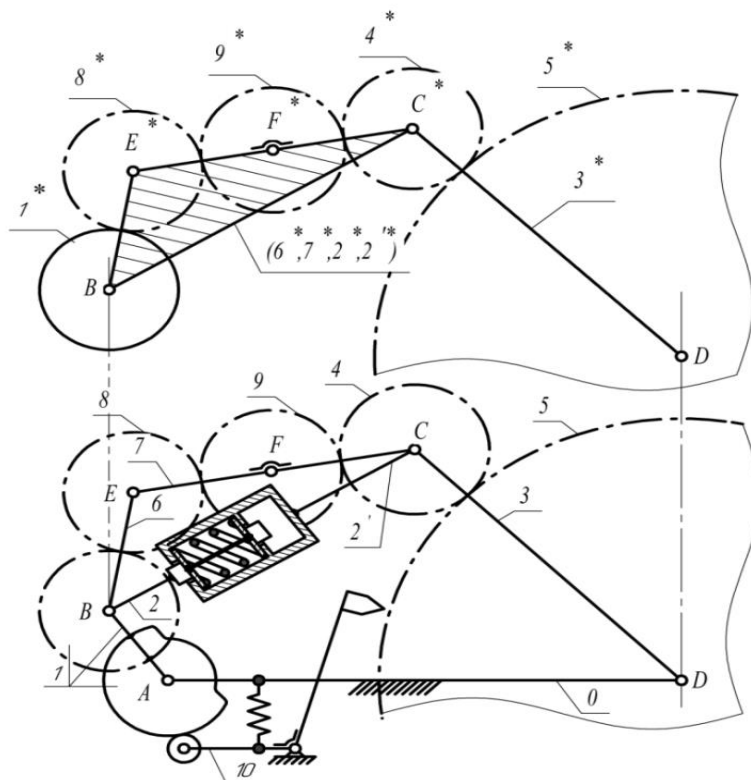
Точный (фиксированный) выстой выходного звена, осуществлялся за счет выполнения шатуна ВС его четырехзвенника из двух частей 2 и 2', соединенных между собой упругим элементом с предварительным натягом двухстороннего действия.

Наличие в конструкции механизма упругого элемента является источником возникновения колебаний колеса 5 в момент начала его движения после окончания выстоя относительно того положения, которое оно занимало бы в механизме с жестким шатуном [2]. Продолжительность и амплитуда этих колебаний [3], зависящие от параметров упругого элемента, трения в кинематических парах [4,5] и угловой скорости кривошипа, существенно влияют на работоспособность механизма, поэтому их определение представляет несомненный интерес.

Для измерения колебаний был спроектирован и изготовлен специальный стенд, состоящий из двух механизмов: механизма с упругим элементом и фиксатором и механизма с жестким шатуном, параллельно расположенных друг над другом, имеющих одинаковые размеры и общий ведущий кривошип (рис. 2). На стенде исследовались: 1) колебания выходного колеса механизма с упругим элементом, в момент начала движения после окончания выстоя; 2) колебания шатуна механизма с упругим элементом после окончания выстоя; 3) изменения длины шатуна механизма с упругим

элементом в период выстоя; 4) угол обратного поворота выходного колеса механизма с жестким шатуном в период выстоя.

Выходное колесо механизма с жестким шатуном являлось базой при измерении колебаний выходного колеса механизма с упругим элементом в период начала движения после окончания выстоя, а зафиксированное колесо 5 механизма с упругим элементом являлось базой при измерении угла обратного поворота выходного колеса механизма с жестким шатуном.



**Рис. 2.** Кинематическая схема стенда для экспериментального исследования механизма

Частота вращения кривошипа составляла  $n_1 = 40, 60, 90, 120$  и  $150$  [об/мин] и обеспечивалась набором сменных шкивов. Выходное колесо механизма с упругим элементом вместе с жестко связанной с ним массой имело момент инерции, равный  $I_5 = 0.63$  [кг м<sup>2</sup>], а момент сопротивления вращению ведомого колеса  $M_5 = 4$  [Нм]; жесткость пружины варьировалась в диапазоне  $C = 5 \dots 40$  [Н/мм].

Для определения углов поворота одного колеса относительно другого использовалась аппаратура (Рис.3), состоящая из осветителя 11 и фотодиодного датчика 12. Осветитель устанавливался в отверстии колеса 5\* механизма с жестким шатуном, а фотодиодный датчик 12 в расположенном под ним отверстии колеса 5 механизма с упругим элементом.

Осветитель и фотодиодный датчик соединялись с аппаратурой через токосъемники 13. Осветитель состоял из источника света и устройства, фокусирующего луч. Сигнал от фотодиодного датчика 12 после усиления подавался на вход осциллографа. Первоначально оба колеса устанавливались таким образом, чтобы луч от осветителя 11, установленного на колесе 5\*, попадал на фотодиодный датчик 12 колеса 5. Это



достигалось с помощью специальной регулировки колеса 1\*. При этом размеры луча устанавливались меньше размеров фотомишени датчика 12.

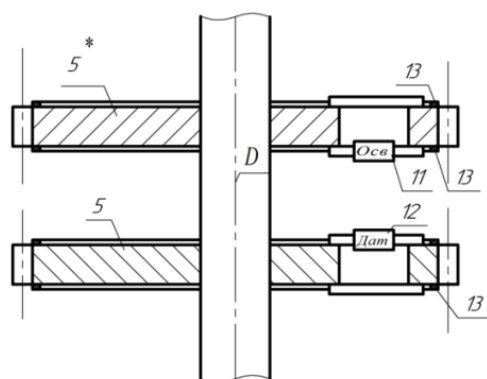
На стадии движения, когда колеса 5 и 5\* вращаются синхронно, фототок датчика постоянен, что отображается в виде прямой линии.

В период выстоя выходного звена, когда выходное колесо 5\* механизма с жестким шатуном совершает некоторый обратный поворот, имеет место рассогласование в движении колес, изменяется освещенность фотодиодного датчика 12. В этом случае на компьютере фиксируется некоторая величина, пропорциональная углу рассогласования  $\delta^*$ .

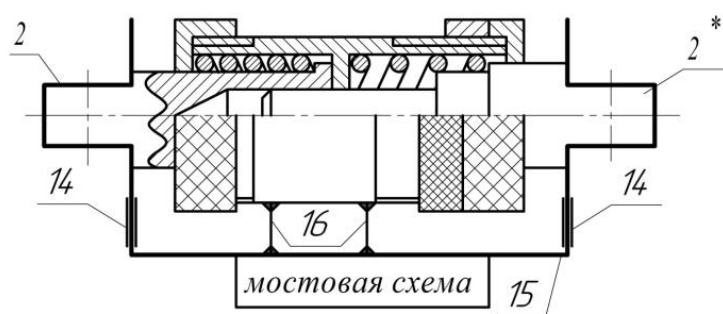
В момент начала движения после окончания выстоя, когда колесо механизма с упругим элементом совершает колебания относительно колеса 5\* механизма с жестким шатуном, также имеет место рассогласование в движении колес в виде колебательных движений.

Амплитуда колебаний оценивалась с помощью автоколлиматора, для чего на выходном колесе 5 механизма с упругим элементом закреплялась плоскопараллельная концевая мера длины, на которую наводилась светящаяся метка автоколлиматора.

Измерение приращения длины шатуна проводилось с помощью тензометрической системы. Измерительный комплект состоял из электронного усилителя, осциллографа и блока питания. В качестве первичного преобразователя использовались тензодатчики 14, наклеенные на П-образную пластину 15, соединенные по мостовой схеме. Упругий элемент с предварительным натягом двухстороннего действия представляет собой две пружины, не взаимосвязанные между собой (рис. 4). При этом уменьшению длины шатуна соответствует сжатие одной пружины, а его удлинению – сжатие другой.



**Рис. 3.** Схема установки осветителя и фотодиодного датчика на выходных колесах механизмов



**Рис. 4.** Схема установки пластины с датчиками для измерения приращения длины шатуна

П-образная пластина 15 охватывает с двух сторон подвижные части шатуна 2 и 2', в которых для этих целей предусмотрены соответствующие пазы. Пластина 15 крепится с помощью хомутов 16 к корпусу упругого элемента.

В период изменения длины шатуна возникает напряжение изгиба пластин 15, а, следовательно, разбаланс моста. Появляется электрический сигнал от датчиков 14,

представляющий собой разность потенциалов, которая отражается в виде кривой, амплитуда которой пропорциональна изменению длины шатуна.

Система установки датчиков на шатуне такова, что один датчик фиксирует только удлинение шатуна, а другой - укорочение. Соответственно прочерчиваются две независимые кривые, в каждой из которых фиксируется чередование паузы и укорочения шатуна у одной части и паузы и удлинения у другой части шатуна. Совместив по вертикали уровни пауз этих кривых, можно получить полную картину колебаний длины шатуна.

При  $n_1 = 90, 120$  и  $150$  [об/мин] имели место относительные колебания выходных колес механизмов в момент начала движения после окончания выстоя, причем с увеличением частоты вращения кривошипа их амплитуда и период увеличивались.

С уменьшением частоты вращения до  $n_1 = 60$  [об/мин] и менее относительные перемещения колес зафиксированы не были.

При частоте вращения  $n_1 = 90, 120$  и  $150$  [об/мин] наблюдались колебания длины шатуна в период начала движения после окончания выстоя.

При  $n_1 = 60$  [об/мин] и менее, как и в записи колебаний зубчатых колес, относительные перемещения частей шатуна 2 и 2' зафиксированы не были. Фиксировалось лишь уменьшение длины шатуна на участке выстоя.

С увеличением жесткости пружины и силы предварительного натяга упругого элемента амплитуда колебаний уменьшалась, а частота увеличивалась. Момент сопротивления вращению ведомого колеса  $M_5$  влияния на характер колебаний не оказывал.

В результате проведенных исследований кулачково-зубчато-рычажного механизма на представленном стенде установлена максимальная частота вращения ведущего звена, при которой механизм работает стабильно и остается работоспособным; изучен процесс возникновения и затухания колебаний частей шатуна механизма с упругим элементом; установлена фаза движения механизма с упругим элементом, когда его функция положения соответствует функции положения аналогичного механизма без упругого элемента; показано влияние жесткости пружины упругого элемента и силы его предварительного натяга на амплитуду колебаний выходного звена.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балабина Т.А. Влияние упругого элемента на движение ведомого звена кулачково-зубчато-рычажного механизма / Т.А. Балабина, А.Н. Мамаев, А.Н. Соболев // Вестник МГТУ «Станкин». – 2017. – № 1 (40) – с. 43 – 47.
2. Балабина Т.А., Мамаев А.Н., Костюк И.В., Рогов В.Р., Черепнина Т.Ю. «Сравнительный анализ динамики кулачково-зубчато-рычажных механизмов с различными вариантами установки упругого элемента». Вестник МАДИ, вып.3(54), 2018.
3. Балабина Т.А.» Специфика кинематического и силового расчета кулачково-зубчато-рычажных механизмов с упругим элементом и фиксированным выстоем выходного звена». Проблемы машиностроения и автоматизации. 1993 г., № 3-4, с. 52.
4. Мамаев А.Н., Балабина Т.А. «Основы расчета механизмов». Учебное пособие. М.: Московский государственный машиностроительный университет МАМИ, 2012 г., - 149 с.
5. Мамаев А.Н., Балабина Т.А. Теория механизмов и машин: учебник для вузов. – М.: Издательство «Экзамен», 2008. – 254 с.

УДК 629.3

*А. Л. Бараш, Л. В. Жуков, А. В. Татаркин, А. К. Чарыков, И. А. Антюхов*  
ФГКВОУ ВО Военный институт (инженерно-технический) Военной академии  
материально-технического обеспечения

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ КОМПЛЕКТОВАНИЯ ЗАПАСНЫМИ ЧАСТЯМИ И ПРИНАДЛЕЖНОСТЯМИ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

**Ключевые слова:** Дизельная энергетическая установка, цилиндропоршневая группа, запасные инструменты и принадлежности.

**Аннотация:** В русле совершенствования системы комплектования дизельных энергетических установок (ДЭУ) запасными частями и принадлежностями (ЗИП) целесообразно рассмотреть вопрос прогнозирования наработки деталей ДЭУ на отказ. В данной статье детально разобрана методика расчета износа деталей ДЭС с приведением примера расчета сопряжения «верхнее кольцо – канавка в поршне» в двигателе Д-246.1 дизельной электростанции ЭД30-Т400-1РПУ1.

*A. L. Barash, L. V. Zhukov, A. V. Tatarkin, A. K. Tcharykov, I. A. Antyukhov*

## IMPROVING THE SYSTEM OF ACQUISITION OF SPARE PARTS AND SUPPLIES DIESEL POWER PLANTS

**Keywords:** Diesel power plant, cylinder piston group, spare tools and accessories.

**Abstract:** in line with the improvement of the system of acquisition of diesel power plants (DPP) spare parts and accessories (SPA), it is advisable to consider the issue of forecasting the operating time of DPP parts for failure. This article describes in detail the method of calculating the wear of parts of DPS with an example of calculating the interface «upper ring-groove in the piston» in the engine D-246.1 diesel power ED30-T400-1RPU1.

Своевременность, ритмичность комплектования комплекта запасных частей и принадлежностей (ЗИП), оптимальный его состав, наряду с общей системой снабжения дизельных энергетических установок (ДЭУ) запасными частями, оказывает значительное влияние на качество реализации мероприятий по профилактике и восстановлению работоспособности ДЭУ, следовательно, на надежность функционирования всей системы энергоснабжения объектов инфраструктуры и военной в том числе.

Основными элементами ДЭУ, как сложной технической системы, являются дизельный двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и генератор, которые в значительной степени и определяют ее надежность. Как показывают исследования, меньшей надежностью обладает силовая установка ДЭУ, так, например, по данным, полученным в результате наблюдения в процессе эксплуатации за дизельной электростанцией ЭД30-Т400-1РПУ1 интенсивность отказов генератора (марка генератора Marathon GM-30-4 или Sincro) составляла в среднем  $0,045 \text{ ч}^{-1}$ , а дизельного двигателя Д – 246.1 – в среднем  $0,248 \text{ ч}^{-1}$ , причем значительная доля отказов приходилась на детали цилиндропоршневой группы [2, 3].

В этой связи, в русле совершенствования системы комплектования ЗИП ДЭУ запасными частями целесообразно рассмотреть вопрос прогнозирования требуемых замен отказавших деталей, например, цилиндропоршневой группы.

Основной причиной отказов деталей ДВС ДЭУ являются износные отказы, на долю которых приходится более 60% от общего количества событий потерь ДВС работоспособности.

В настоящее время используется множество методов планирования и прогнозирования потребности в запасных частях.

Все они подразделяются по ряду признаков:

- для восстанавливаемых и невосстанавливаемых деталей (узлов, агрегатов);
- по видам процессов восстановления (простой, при котором функции распределения наработок детали до первого  $F_1(T)$  и между последующими отказами  $F_{i, i+1}(T)$  равны, т. е.  $F_1(T) = F_{i, i+1}(T) = F(T)$ ; общий, при котором ограничение на равенство функций распределения не распространяется на первую из них, т. е.  $F_{i, i+1}(T) = F(T)$ ,  $F_1(T) \neq F(T)$ ; сложный, при котором  $F_1(T)$  и все  $F_{i, i+1}(T)$  различны);
- по виду расчета (аналитические, численные, по методу статистического моделирования, из которых наиболее распространен метод Монте-Карло);
- по способу расчета (аппроксимация выборочных характеристик процесса восстановления, свертка функций распределения, операционное исчисление, теория случайных процессов, с учетом и без учета корреляций между параметрами).

Не останавливаясь подробно на всем комплексе вопросов, связанных с оценкой требуемого количества запасных частей, можно рассмотреть расчет требуемого их количества, связанный с так называемыми износными отказами, являющимися одной из основных причин потери ДВС ДЭУ работоспособности.

Следует отметить, что реализация износов представляет собой случайный процесс со слабым перемешиванием (формирование потока отказов деталей, узлов, агрегатов ДЭУ с учетом ремонтных воздействий фактически означает смешивание как минимум двух потоков (например, деталей и агрегата), такие процессы по сути являются нестационарными), и так называемая модель расчета «случайный процесс – поле допуска» является наиболее общей, на основе которой можно получить ряд частных моделей, основанных на преобразовании случайных величин. Для такой модели, представленной на рис. 1, а, расчет плотности распределения ресурса  $f(t)$  производится по формуле

$$f(t) = \left| \frac{dF(u, t)}{dt} \right|_{u = c_n} \quad (1)$$

где  $F(u, t)$  – функция распределения износов  $u$  в момент времени  $t$ , параметры которой являются функциями времени;

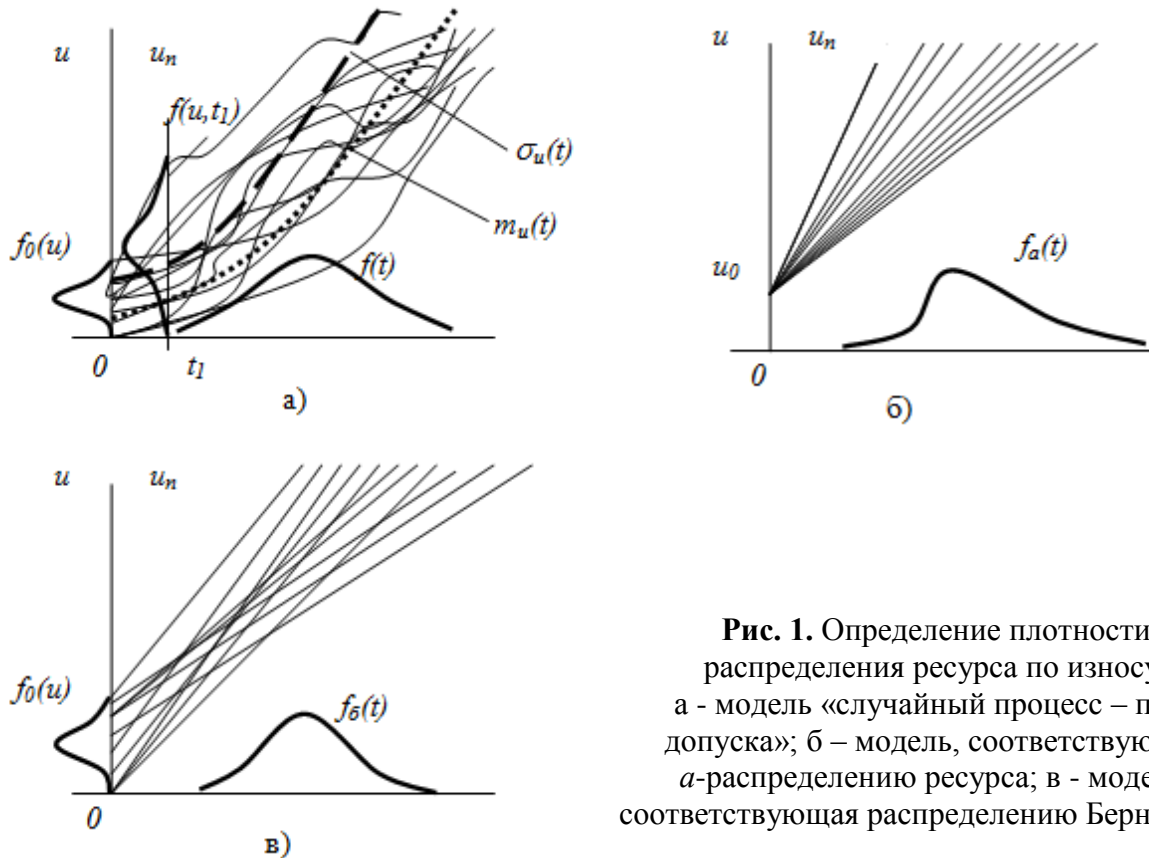
$c_n$  – предельное значение износа

Знак  $|u = c_n|$  означает, что результат дифференцирования берется по модулю при подстановке в формулу  $u = c$ .

Допустим, что каждая реализация случайного процесса износа подчиняется зависимости

$$u(t) = u_0 + u_1 \cdot t^a, \quad (2)$$

где  $u_0$  - случайная величина износа в начальный момент времени (после приработки);  
 $u_1$  - случайная величина, характеризующая скорость (интенсивность) изнашивания;  
 $a$  - неслучайная величина,  $a > 0$



**Рис. 1.** Определение плотности распределения ресурса по износу: а - модель «случайный процесс – поле допуска»; б - модель, соответствующая  $a$ -распределению ресурса; в - модель, соответствующая распределению Бернштейна

Если случайные величины  $u_0, u_1$  подчиняются нормальным законам распределения с параметрами  $\bar{u}_0, \bar{u}_1$  средние значения;  $\sigma_0, \sigma_1$  - средние квадратичные отклонения, то функция распределения износов  $F(u, t)$  также подчиняется нормальному закону с параметрами:

$$\left. \begin{aligned} m_u &= \bar{u}_0 + \bar{u}_1 t^a \\ \sigma_u(t) &= \sqrt{\sigma_0^2 + \sigma_1^2 t^{2a}} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

При подстановке  $F(u, t)$  в формулу (1) находим плотность распределения ресурса:

$$f(t) = \frac{a t^{a-1} [-\bar{u}_0 \sigma_0^2 - (c_n - \bar{u}_0) \sigma_1^2 t^2]}{\sqrt{2\pi(\sigma_0^2 + \sigma_1^2 t^{2a})}^3} \cdot \exp\left[-\frac{(c_n - \bar{u}_0 - \bar{u}_1 t^a)^2}{2(\sigma_0^2 + \sigma_1^2 t^{2a})}\right]. \quad (4)$$

Из формулы (4) вытекают частные случаи. Если  $a = 1$ , т. е. реализации износа от времени являются линейными (рис. 1, б), а начальный разброс отсутствует ( $\sigma_0 = 0$ ), то получается так называемое  $a$  – распределение (рис. 1 б). Если  $a = 0$ , а  $u_0$  – случайная величина (см. рис. 1, а), то  $f(t)$  подчиняется распределению Бернштейна (рис. 1, в). При  $u_0 = 0$  получаем распределение, описанное в [1].

В случае, когда можно ограничиться средним ресурсом  $t_{cp}$  и средним квадратичным значением ресурса  $\sigma_T$ , для их определения целесообразно воспользоваться методом линеаризации, согласно которому

$$t_{cp} = [(c_n - \bar{u}_0) / \bar{u}_1]^{1/a}. \quad (5)$$

$$\sigma_T = (t_{cp} / a) \sqrt{\left(\frac{\sigma_0}{c_n - \bar{u}_0}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_1}{\bar{u}_1}\right)^2}. \quad (6)$$

Пример расчета: Рассмотрим сопряжение «верхнее кольцо – канавка в поршне» в двигателе Д-246.1 дизельной электростанции ЭД30-Т400-1РПУ1. Для нового двигателя по условиям сборки начальный зазор в сопряжении подчиняется нормальному закону распределения с параметрами  $\bar{u}_0 = 60$  мкм,  $\sigma_0 = 20$  мкм. По результатам ускоренных испытаний с учетом коэффициента перехода к условиям эксплуатации, соответствующим второй категории, находим, что интенсивность увеличения зазора также подчиняется нормальному закону с параметрами  $\bar{u}_1 = 2,2$  мкм/100 ч,  $\sigma_1 = 0,6$  мкм/100 ч. Предельный зазор в сопряжении (по аналогии с предыдущими конструкциями двигателей этой марки) примем  $c_n = 360$  мкм. Тогда по формулам (5), (6) при  $a = 1$  находим ресурс колец до первой замены  $t_{cp} = 136 \cdot 10^2$  ч;  $\sigma_T = 38 \cdot 10^2$  ч.

При достижении предельного зазора сопряжения производится текущий ремонт с заменой колец. Поскольку кольца устанавливаются в поршни с изношенными канавками, то начальный зазор после ремонта характеризуется следующими параметрами:  $\bar{u}_{0p} = 120$  мкм,  $\sigma_{0p} = 30$  мкм. Известно, что интенсивность износа колец и канавок поршней после ремонта возрастает, что приводит и к росту интенсивности увеличения зазора  $u_{1p}$ . Примем, что после ремонта  $\bar{u}_{1p} = 2,86$  мкм/100 ч, т. е. эта величина, возросла в 1,3 раза, а  $\sigma_{1p} = 0,95$  мкм/100 ч. Так же, как для нового двигателя, полагаем, что законы распределения  $u_{0p}$  и  $u_{1p}$  подчиняются нормальным законам распределения. При подстановке данных в формулы (4), (5) находим средний ресурс между отказами  $t_{cp} = (360 - 120) / 2,86 = 84 \cdot 100^2$  ч; среднее квадратичное отклонение ресурса между отказами

$$\sigma_T = 84 \sqrt{\left(\frac{30}{360-120}\right)^2 + \left(\frac{0,95}{2,86}\right)^2} = 29 \cdot 10^2 \text{ ч}$$

Рассчитаем количество комплектов поршневых колец, поставляемых в фонд запасных частей, на наработке до первого капитального ремонта двигателя. Допустим, что средний ресурс двигателя до первого капитального ремонта составляет  $200 \cdot 10^2$  ч. Тогда среднее число замен составит:

$$Q = \frac{200 - 136}{84} + \frac{1}{2} \left[ \left(\frac{29}{84}\right)^2 + 1 \right] = 1,32$$

с учетом верхней доверительной границы (при  $u_p = 1,24$ , соответствующей доверительной вероятности  $P = 0,9$ ), число замен комплектов

$$Q_v = 1,32 + 1,24 \sqrt{\frac{29^2 \cdot 200}{84}} = 1,98$$

Таким образом, следует принять две замены, то есть для данного типа двигателя потребуется на планируемую наработку до капитального ремонта два комплекта поршневых колец. Имея данные по наработке машин того же типа в составе всего парка ДЭУ с аналогичными ДВС, можно определить весь требуемый объем запаса деталей и агрегатов данного наименования на планируемый период.

В качестве справочных можно привести следующие данные для двигателей Д – 246.1 (см. таблицу).

Таблица. Параметры наработок между отказами дизельных двигателей ДЭУ

Показатель	Нарботка между отказами, $10^2$ ч		
	1-м и 2-м	2-м и 3-м	3-м и 4-м
Нарботка до отказа, $T_0$	120	90	60
$\sigma$	40	130	20

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябинин И. А., Черкесов Г. Н. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно – сложных систем. – М.: Радио и связь, 1981. – 264 с.
2. РД 51-00158623-06-95. Применение аварийных источников электроэнергии на КС МГ, УКПГ и других объектах газовой промышленности. – М.: ВНИИГАЗ, 2001. – 38 с.
3. ВРД 39-1.10-071-2003. Правила технической эксплуатации электростанций собственных нужд объектов ОАО «Газпром». - М. – ВНИИГАЗ, 2003. – 47 с.

УДК 629.3

*А. Л. Бараш, Л. В. Жуков, А. В. Татаркин, А. К. Чарыков, И. А. Антюхов*  
ФГКВОУ ВО Военный институт (инженерно-технический) Военной академии  
материально-технического обеспечения

## **ПРИМЕНЕНИЕ МОБИЛЬНЫХ СЕРВИСНЫХ ГРУПП В ПРОЦЕССЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПЕРЕДВИЖНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОБЪЕКТАХ ПРИМЕНЕНИЯ**

**Ключевые слова:** Дизельная электростанция, техническое обслуживание, ремонт.

**Аннотация:** В статье представлена методика определения оптимального количества мобильных сервисных групп передвижных дизельных электростанций для своевременного и качественного выполнения мероприятий системы технического обслуживания и ремонта.

*A. L. Barash, L. V. Zhukov, A. V. Tatarkin, A. K. Tcharykov, I. A. Antyukhov*

## **THE USE OF MOBILE SERVICE GROUPS IN THE PROCESS OF TECHNICAL OPERATION OF MOBILE DIESEL POWER PLANTS ON THE OBJECTS OF APPLICATION**

**Keywords:** Diesel power plant, maintenance, repair.

**Abstract:** The article presents a method of determining the optimal number of mobile service groups of mobile diesel power plants for timely and high-quality implementation of the maintenance and repair system.

Основой технической эксплуатации передвижных дизельных электростанций (далее ДЭС) является их техническое обслуживание и ремонт (ТО и Р).

Техническое обслуживание и ремонт ДЭС выполняют на основе диагностирования их технического состояния. Мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту ДЭС разрабатывают и осуществляют с учетом эксплуатационной и ремонтной документации заводов-изготовителей, а также требований к техническому состоянию машин и правил безопасной эксплуатации, установленных Госгортехнадзором, Госавтоинспекцией и государственными нормативно-техническими документами [2, 3]. В целом ряде случаев, учитывая специфику применения перебазируемых ДЭС, плановые мероприятия их технической эксплуатации целесообразно проводить непосредственно на объекте применения мобильными сервисными группами (подвижными средствами ТО и Р).

Исходя из предполагаемого перечня работ по ТО и Р, хранению, консервации и расконсервации ДЭС, целесообразно иметь бригаду специалистов, занятых на одном подвижном средстве в составе 3 человек, включая водителя базового автомобиля: механик-бригадир, специалист по топливной аппаратуре и слесарь по разборно-сборочным и монтажным работам, при этом механик специализируется по электро-техническим работам, а слесарь может выполнять обязанности водителя базового автомобиля. Увеличение численности, как правило, нецелесообразно, так как это сни-



жает выработку на одного работника и связано с трудностями с размещением личного состава в транспортном средстве при перевозке к месту выполнения работ.

В качестве прототипов подвижного средства ТО и Р ДЭС целесообразно рассмотреть предлагаемые отечественными производителями специализированные передвижные мастерские по ремонту электрооборудования МРЭ-АМ2.2 (базовый автомобиль КАМАЗ-5350), либо МРЭ-АМ2.1 (базовый автомобиль УРАЛ-43203), рекомендованные к оснащению ремонтных подразделений воинских частей и организаций Министерства обороны РФ и других силовых ведомств, соответствующим образом дооборудованные.

Указанные мастерские в стандартном оснащении позволяют выполнять следующие виды работ:

- разборку, сборку и дефектовку генераторов, стартеров, реле-регуляторов и распределителей
- проверку и регулировку генераторов до 6,5 кВт, стартеров до 11 кВт, реле-регуляторов и реле-прерывателей указателей поворотов
- проверку диодов и выпрямительных блоков генераторов переменного тока
- проверку изоляции электрооборудования
- измерение сопротивления в цепях
- контроль технического состояния и испытание изоляции якорей генераторов, стартеров и электродвигателей по состоянию тока
- проверку и регулировку приборов системы зажигания двигателей
- очистку от нагара и проверку исправности свечей
- зажигания на бесперебойность искрообразования
- ремонт электропроводки
- проверку датчиков температуры

В этом случае возникает проблема определения оптимального количества мобильных сервисных групп (подвижных средств ТО и Р) ДЭС для своевременного и качественного выполнения мероприятий системы ТО и Р.

Количество подвижных средств ТО и Р находится в прямой зависимости от количества и объема мероприятий системы ТО и Р, планируемых к выполнению, состава бригады и использования времени смены.

В первом приближении количество подвижных средств ТО и Р можно определить следующим образом [1]:

$$N_{nc} = \frac{0,1\Pi_{nc}}{m_{nc} D_p t_{cm} n_{cm} \eta_{nc} \eta_{op}}, ед. \quad (1)$$

где  $0,1\Pi_{nc}$  – программа наиболее напряженного месяца обслуживания ДЭС на объекте, чел-ч;

$m_{nc}$  – количество специалистов ТО и Р в бригаде подвижного средства;

$D_p$  – количество рабочих дней в месяце (25,6 дня при шестидневной рабочей неделе, 22 дня при пятидневной рабочей неделе);

$t_{cm}$  – продолжительность смены;

$n_{см}$  – количество смен;

$\eta_{нс}$  – коэффициент использования времени подвижных средств;

$\eta_{оп}$  – время на маневры машины для установки на площадку обслуживания или ремонта, принимается  $\eta_{оп} = 0,92...0,95$

Коэффициент использования времени подвижных средств определяется следующим образом

$$\eta_{нс} = \frac{t_{см} - t_{дв}}{t_{см}} = 1 - \frac{R_{дв}}{v t_{см}}, \quad (2)$$

где  $R_{дв}$  – расстояние до объекта проведения ТО или Р ДЭС;

$\bar{v}$  – средняя скорость движения подвижного средства, принимается по предложенному прототипу.

При расчете по формулам (1), (2) предполагается полная загрузка подвижных средств по времени, отсутствие их простоев в ожидании вызова на линию и простоев машин в ожидании прибытия к ним подвижных средств. Однако в реальных условиях, в силу воздействия различных факторов, имеют место простои, как подвижных средств, так и машин в ожидании обслуживания или ремонта.

С учетом этого целесообразно оптимизировать требуемое количество подвижных средств ТО и Р ДЭС по одному (или нескольким) критериям.

Такую задачу можно решить с применением аппарата теории массового обслуживания.

В качестве критерия оптимизации в большинстве случаев рассматривается экономический критерий. В этом случае целевая функция будет иметь вид

$$\gamma(x) = (\omega \bar{L}_{очх} + \bar{R}_x) \rightarrow \min, \quad (3)$$

где  $\gamma(x)$  – суммарные убытки от простоев ДЭС и подвижных средств, отнесенные к средней стоимости одного подвижного средства;

$\omega$  – коэффициент, показывающий, во сколько раз средняя стоимость одной обслуживаемой ДЭС больше стоимости одного подвижного средства,  $\omega=1...3$ ;

$\bar{L}_{очх}$  – среднее число ДЭС, простаивающих в течении года в ожидании обслуживания при числе подвижных средств ТО и ремонта, равном  $x$ ;

$\bar{R}_x$  – среднее число подвижных средств, простаивающих из-за отсутствия вызова их на линию или ремонта ДЭС.

Среднее число машин, простаивающих в ожидании ремонта в единицу времени при числе подвижных средств, равном  $x$ , определяется по формуле

$$\bar{L}_{очх} = N_{тор}^{н.с} \cdot \bar{\theta}_x, \quad (4)$$

где  $N_{тор}^{н.с}$  – количество ТО и текущих ремонтов ДЭС, выполняемых подвижными средствами;

$\bar{\theta}_x$  – средняя продолжительность простоя одной ДЭС в единицу времени в

ожидании подвижных средств (определяется по номограмме, рис. 1).

Среднее число простаивающих подвижных средств из общего их количества, равного  $x$ :

$$\bar{R}_x = x(1 - \Psi_x), \quad (5)$$

где  $\Psi_x$  – коэффициент загрузки одного подвижного средства при общем их количестве, равном  $x$ .

$$\Psi_x = \frac{N_{\text{тор}}^{n.c}}{x\mu'}, \quad (6)$$

где  $\mu'$  – средняя интенсивность технического обслуживания или ремонта ДЭС одним подвижным средством

Средняя интенсивность технического обслуживания или ремонта ДЭС одним подвижным средством определяется по формуле

$$\mu' = \frac{T_{\text{ф.п.с}}}{H_{\text{тор}}^{nc}}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{ф.п.с}}$  – действительный годовой фонд времени подвижных средств и ремонта;

$H_{\text{тор}}^{nc}$  – средняя трудоемкость одного технического обслуживания и ремонта,

выполняемых подвижными средствами в планируемом году.

В свою очередь,

$$T_{\text{ф.п.с}} = (D_k - D_{\text{пр}}) t_{\text{см}} m n_{\text{см}} p_{\text{п.с}} p_{\text{г}} \text{ чел-ч}, \quad (8)$$

где  $\eta_{\text{п.с}}$  – коэффициент использования по времени подвижных средств технического обслуживания и ремонта ДЭС,  $0,9 \geq \eta_{\text{п.с}} \geq 0,5$ ;

$p_{\text{г}}$  – коэффициент, учитывающий простои подвижного средства на ремонте и техническом обслуживании его базовой машины,  $0,9 \leq p_{\text{г}} \leq 0,96$ .

Средняя трудоемкость одного технического обслуживания или текущего ремонта, выполняемого бригадой подвижного средства на объекте  $\bar{H}_{\text{тор}}^{nc}$ , определяется по формуле

$$\bar{H}_{\text{тор}}^{nc} = \bar{H}_{\text{тор}} - H_{1\text{тор}} \frac{e^{-H_{1\text{тор}} / \bar{H}_{\text{тор}}}}{1 - e^{-H_{1\text{тор}} / \bar{H}_{\text{тор}}}} \text{ чел-ч}. \quad (9)$$

Для удобства вычислений необходимо использовать имеющиеся в справочной литературе по математической статистике таблицы, отражающие зависимости значений показателей функционирования разомкнутой системы массового обслуживания,

по которым для определенного значения  $x$  и соответствующего ему  $\Psi_x$  можно определить значения  $\bar{L}_{очх}$  и  $\bar{R}_x$ , необходимые для вычисления целевой функции (3).

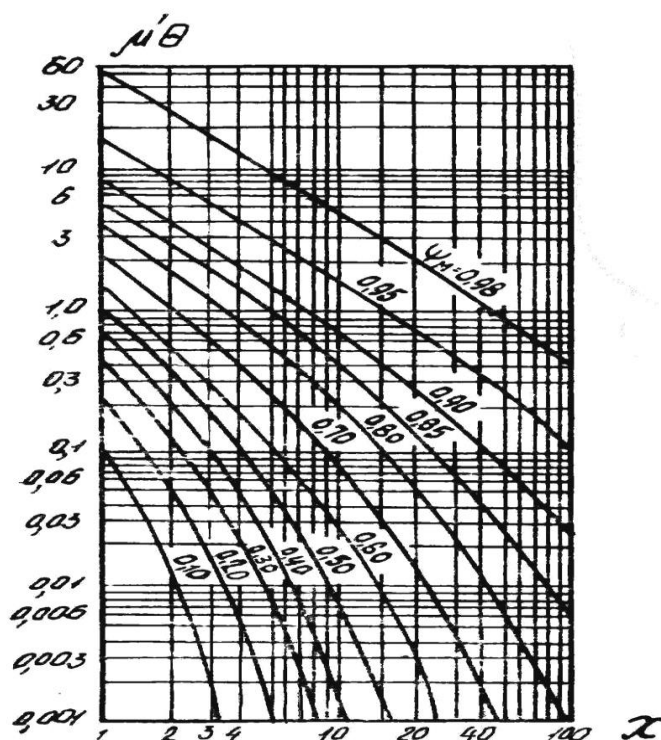


Рисунок. Номограмма для определения средней длительности ожидания обслуживания

Пример расчета.

Определить оптимальное количество подвижных средств ТО и Р ДЭС для следующих условий:

Таблица 1. Годовой объем работ по техническому обслуживанию и ремонту ДЭС

Номер типа машин $i$	Наименование и марка машин	Количество однотипных ДЭС в парке $z_i$	Вид ТО и Р	Количество ТО и Р на планируемый год для ДЭС одного типа $N_{т.о.р.}$	Расчетное значение трудоемкости ТО и Р $H_p$ , чел.-ч	Годовой объем работ по ТО и Р ДЭС одного типа, чел.-ч
1	Модуль энергетический МПУ 0.5	10	ТР	17,5	475	8312,5
			ТО-3		(23)	(402,5)
			СО	20	27,5	550
			ТО-2	60	8,4	504
2	Электростанция дизельная	8	ТО-1	320	3,3	1056
			ТР	16	422,4	6758,4
			ТО-3		(20)	(320)
			СО	16	21,1	337,6
			ТО-2	57,6	6,3	362,9

Номер типа машин $i$	Наименование и марка машин	Количество однотипных ДЭС в парке $z_i$	Вид ТО и Р	Количество ТО и Р на планируемый год для ДЭС одного типа $N_{т.о.р.}$	Расчетное значение трудоемкости ТО и Р $H_p$ , чел.-ч	Годовой объем работ по ТО и Р ДЭС одного типа, чел.-ч
	ЭД2х60-Т400-1РН		ТО-1	307,2	3,2	983
...	... $P_{тор см}$			778,3 <sup>1)</sup>		18864,4
$P_{тор а}$				1104,8 <sup>1)</sup>		19603
$P_o$						38467,4

Таблица 2. Годовой объем работ по техническому обслуживанию и ремонту ДЭС подвижными средствами

Наименование работ	Обозначение	Численное значение чел.-ч
1. Общий годовой объем работ по техническому обслуживанию и ремонту ДЭС и вспомогательных работ.	$P_{общ}$	48084,4
2. Годовой объем работ по техническому обслуживанию и ремонту строительных машин, приходящийся на подвижные средства	$P_{тор}^{nc}$	4949

Известно, что  $m=3$  чел,  $D_{пр}=114$ ;  $n_{см} = 1$ ;  $p=0,9$ ;  $\eta_{п.с}= 0,7$ ;  $t_{см}= 8,2$ ;  $\omega= 2$ ;  $p_r = 0,9$ .  
Решение:

1. Годовой фонд времени подвижных средств определяем по формуле (8)

$$T_{ф.п.с} = (365 - 114) \cdot 8,0 \cdot 3 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 0,9 = 3415,6 \text{ чел.-ч.}$$

2. Средняя трудоемкость всех технических обслуживаний и текущих ремонтов ДЭС, подлежащих выполнению в планируемом году

$$\bar{H}_{тор см} = \frac{18864,4}{778,3} = 24,2 \text{ чел.-ч}$$

3. Средняя трудоемкость одного технического обслуживания или текущего ремонта, выполняемого бригадой подвижного средства на объекте

$$\bar{H}_{тор см}^{nc} = 24,2 - 24 \frac{e^{-\frac{24}{24,2}}}{1 - e^{-\frac{24}{24,2}}} = 10,1 \text{ чел.-ч}$$

4. Среднюю интенсивность технического обслуживания или ремонта одной ДЭС одним подвижным средством (7)

$$\mu' = \frac{3415,6}{10,1} = 338,2$$

5. Коэффициент загрузки одного подвижного средства при общем количестве  $x$  определяем по формуле (6) с использованием данных таблиц

$$\psi_x = \frac{490}{x \cdot 338,2} = \frac{1,45}{x}.$$

При этом варианты следует начинать рассматривать с такого целого числа  $x$ , которое больше полученного по формуле (1), т. е. значение коэффициента  $\psi_x$  должно быть меньше единицы.

6. По таблицам Приложения 4 для  $\psi_x = 0,725$  и  $x=2$  находим  $\bar{L}_{очx} = 1,672$ .

При  $\psi_x$ , меньших 0,5,  $\bar{L}_{очx}$  следует определять по формуле (7), для чего  $\bar{\theta}_x$  берется из номограммы, рис. 1.

Так, для  $x=3$  и  $\psi_x = 0,48$  из номограммы  $\mu'\bar{\theta}_x = 0,18$ . Тогда имеем

$$L_{оч,x=3} = 490 \cdot 0,0005 = 0,245$$

$$\bar{\theta}_{x=3} = \frac{0,18}{338,2} = 0,0005.$$

Для  $x=4$  и  $\psi_x = 0,36$  находим таким же образом  $\mu'\bar{\theta}_x = 0,045$ . Тогда

$$L_{оч,x=4} = 490 \cdot 0,00013 = 0,064$$

$$\bar{\theta}_{x=4} = \frac{0,045}{338,2} = 0,00013.$$

7. Среднее число простаивающих подвижных средств ТО и ремонта  $\bar{R}_x$  определяется по формуле (5) и результаты сводятся в таблицу.

Значения целевой функции  $\gamma(x)$  вычисляется по формуле (3) и результаты сводятся в таблицу.

**Таблица 3. Значения показателей для определения оптимального количества подвижных средств ТО и Р**

Показатель	Численное значение показателя при $x$ подвижных средств ТО и Р		
	2	3	4
Коэффициент загрузки подвижного состава $\psi_x$	0,725	0,48	0,36
Среднее число ДЭС, простаивающих в ожидании обслуживания или ремонта, $\bar{L}_{очx}$	1,672	0,245	0,064
Среднее число простаивающих подвижных средств ТО и Р, $\bar{R}_x$	0,55	1,56	2,56
Суммарные убытки от простоев ДЭС и подвижных средств, $\gamma(x)$	3,89	2,05	2,69

Сравнивая полученные численные значения функции  $\gamma(x)$ , можно определить оптимальное количество подвижных средств технического обслуживания и ремонта  $x_{опт}=3$ , при котором относительные суммарные убытки за год от простоев машин и подвижных средств минимальны, и равны 2,05.

Используя приведенную методику, можно добиться существенного повышения эффективности технической эксплуатации мобильных дизельных электростанций.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). Определения, теоремы, формулы. 6-е изд., стер. – СПб.: Издательство «Лань», 2003. – 832 с.
2. ГОСТ 2.601-95 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Эксплуатационные документы (с Изменением N 1).
3. ГОСТ 2.602-95 Единая система конструкторской документации (ЕСКД). Ремонтные документы (с Изменениями N 1, 2).

УДК 519.718:004.722

**К. А. Батенков**

Академия ФСО России

### АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ СТРУКТУР НА ОСНОВЕ НИЖНЕЙ ГРАНИЦЫ ЭЗАРИ–ПРОШАНА

**Ключевые слова:** сети связи, надежность, метод полного перебора типовых состояний, граница Эзари–Прошана.

**Аннотация:** В работе представлен подход к анализу надежности сложных структур на основе нижней границы Эзари–Прошана. На примере показан метод расчета надежности на основе показателя вероятности связности для двухполюсных и многополюсных структур.

**К. А. Batenkov**

### RELIABILITY ANALYSIS OF COMPLEX STRUCTURES BASED ON LOWER ASARI–PROSANA BOUNDARY

**Keywords:** network reliability, the method of complete enumeration of the model States, boundary Asari–Prosana.

**Abstracts:** The paper presents an approach to reliability analysis of complex structures based on the lower Asari–Prosana boundary. The example shows a method of calculating the reliability based on the indicator of the probability of connectivity for two-pole and multi-pole structures.

Сложные многокомпонентные технологические сети являются характерной чертой современного общества [1]. Урбанизация и глобализация, сопровождающиеся быстрым развитием инфраструктуры и технологий, создали возможности построения производительных сетей со все более взаимозависимыми компонентами. Данные сети предназначены для распределения какого-либо ресурса или товара, а их наиболее яркими представителями являются сети связи, например телефонные сети или Интернет [2]. Кроме того, к ним относятся транспортные сети (сети автомобильных, железных дорог и авиасообщений), инженерные сети (сети электро-, газо- и водоснабжения) и т.д.

При расчете нижней границы Эзари–Прошана используется полный набор несвязных состояний сети связи (сечений) [2, 3].

Напомним, что  $G'_i, i = 1, 2, \dots, n$  – множество всех сечений (двухполюсной сети) исходного графа  $G$ , а событие, состоящее в том, что все элементы сечения  $G'_i$  неисправны, также обозначено как  $G'_i$ . Кроме того, пересечение обратных событий  $\overline{G'_i}$  однозначно свидетельствует о связности исходного графа  $G$ :

$$p_G = P\left(\bigcap_{i=1}^n \overline{G'_i}\right).$$

Следовательно, на основе неравенства для вероятности одновременной реализации связанных случайных событий справедливо [4]

$$p_G \geq \prod_{i=1}^n P(\overline{G'_i}),$$

Таким образом, нижняя оценка Эзари–Прошана для вероятности связности сети имеет вид

$$p_G \geq p_e^- = \prod_{i=1}^n p_i,$$

где  $p_i = P(\overline{G'_i})$  – вероятность связности хотя бы одного элемента сечения  $G'_i, i = 1, 2, \dots, n$ .

Если сечение  $G'_i$  состоит из  $n_i$  элементов с вероятностью неисправной работы  $q_{i,j}, j = 1, 2, \dots, n_i$ , вероятность связности хотя бы одного элемента этого сечения определяется выражением

$$p_i = 1 - \prod_{j=1}^{n_i} q_{i,j}.$$

Пример.

Граф исследуемой сети связи приведен на рис. 1. Все узлы сети являются абсолютно надежными, а вероятность исправности любой линии связи равна 0,9. Определить нижнюю границу Эзари–Прошана для сети связи в целом и в направлении 1–5.

Дано:  $G, p = 0,9$ .

Найти:  $p_e^-, p_e'^-$ .

Используем наборы несвязных состояний (сечений). Минимальные сечения в направлении связи 1–5 (рис. 2):

$$G'_1 = \{12\}, G'_2 = \{23, 26\}, G'_3 = \{34, 56\}, G'_4 = \{45, 56\},$$

$$G'_5 = \{23, 36, 56\}, G'_6 = \{26, 34, 36\}, G'_7 = \{26, 36, 45\}.$$

а для графа в целом (рис. 3)

$$G_1 = \{12\}, G_2 = \{23, 26\}, G_3 = \{34, 45\}, G_4 = \{34, 56\}, G_5 = \{45, 56\},$$

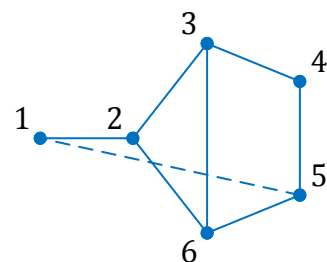


Рис. 1. Граф исследуемой сети связи



$$G_6 = \{23, 34, 36\}, G_7 = \{23, 36, 45\}, G_8 = \{23, 36, 56\}, G_9 = \{26, 34, 36\}, \\ G_{10} = \{26, 36, 45\}, G_{11} = \{26, 36, 56\}.$$

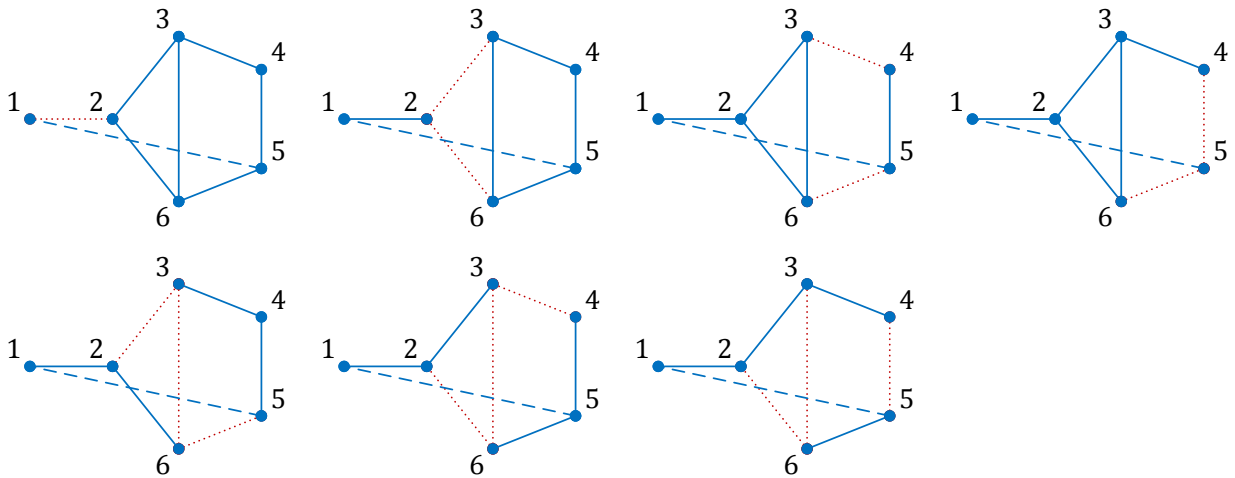


Рис. 2. Сечения в направлении 1–5 графа, представленного на рис. 1

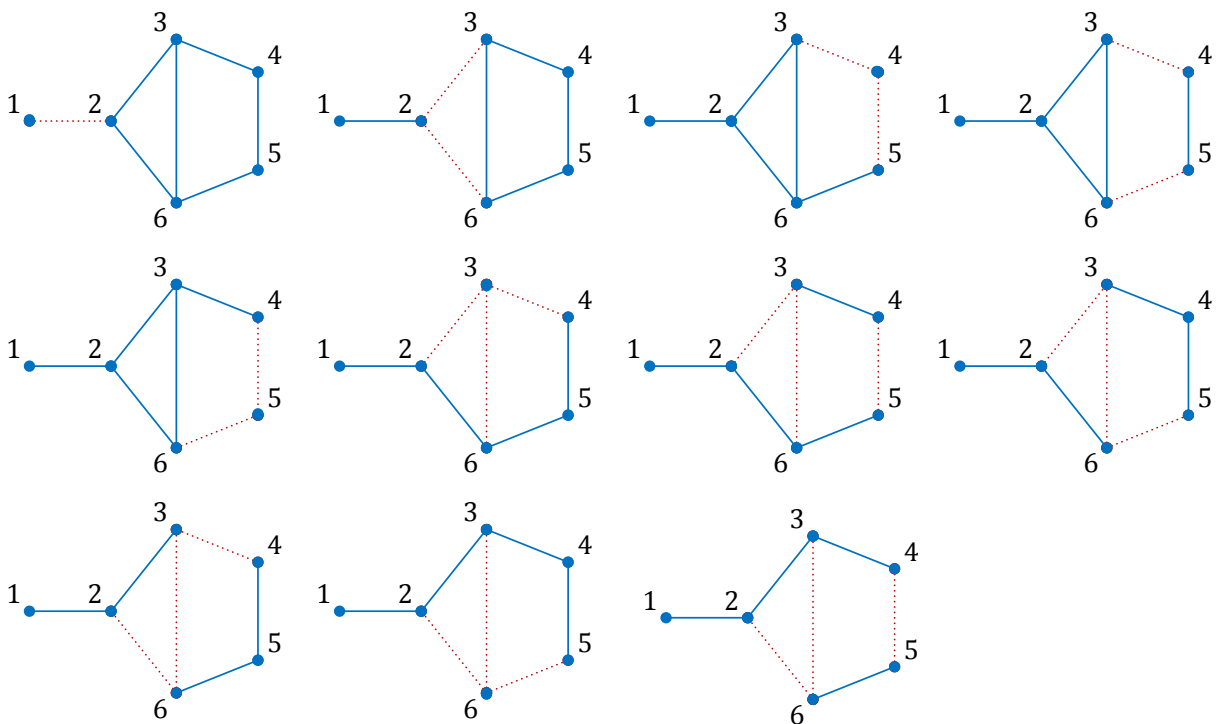


Рис. 3. Сечения графа, представленного на рис. 1

Тогда нижние границы Эзари–Прошана

$$p_e^- = \prod_{i=1}^n q_i = (1 - q_{12})(1 - q_{23}q_{26})(1 - q_{34}q_{56})(1 - q_{45}q_{56}) \times \\ \times (1 - q_{23}q_{36}q_{56})(1 - q_{26}q_{34}q_{36})(1 - q_{26}q_{36}q_{45}) = \\ = (1 - q)(1 - q^2)^3(1 - q^3)^3 = (1 - 0,1)(1 - 0,1^2)^3(1 - 0,1^3)^3 = \\ = 0,871;$$

$$p_e^+ = 1 - \prod_{i=1}^n q_i = (1 - q)(1 - q^2)^4(1 - q^3)^6 =$$

$$= (1 - 0,1)(1 - 0,1^2)^4(1 - 0,1^3)^6 = 0,859.$$

Следует отметить, что с вычислительной точки зрения границы Эзари–Прошана обладают огромным недостатком: они требуют перечисления всех связанных подграфов для вычисления верхней границы и всех минимальных разрезов для нижней, что само по себе нетривиально [5, 6, 7].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zuev K. M., Wu S. & Beck J. L. Network reliability problem and its efficient solution by Subset Simulation // Probabilistic Engineering Mechanics 40. P. 25–35.
2. Батенков К. А. Общие подходы к анализу и синтезу структур сетей связи // Современные проблемы телекоммуникаций: Материалы Российской научно-технической конференции. 2017. С. 19–23.
3. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности // Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
4. Батенков К. А. Числовые характеристики структур сетей связи // Труды СПИИРАН. 2017. № 4 (53). С. 5–28.
5. Ушаков, И. А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов / И. А. Ушаков. – Москва : Дрофа, 2008. – 239 с.
6. Батенков К. А. Об анализе живучести сетей связи на основе вероятностного подхода // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2016. С. 6–8.
7. Батенков К. А. Особенности оценки качества функционирования сетей связи // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : сборник научных трудов V Международной конференции школьников, студентов, аспирантов, молодых ученых. В 3 томах. Том 1 / Томский политехнический университет. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2016. С. 30–31.

УДК 621.879

*И. Р. Бондаренко, М. С. Сафонов*

ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова

### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ИЗНОСА ЗУБЬЕВ КОВША ЭКСКАВАТОРА

**Ключевые слова:** износ, зубья ковша экскаватора, усилие, трение, энергия.

**Аннотация:** В данной работе на основании закона сохранения энергии, представлен подход к определению величины износа зубьев ковша экскаватора. На основании использованного подхода установлена взаимосвязь между технологическими параметрами работы машины и величиной износа его рабочих элементов (зубьев ковша).

I. R. Bondarenko, M. S. Safonov

## ENERGY APPROACH TO ASSESSING THE WEAR OF EXCAVATOR BUCKET TEETH

**Keywords:** wear, excavator bucket teeth, force, friction, energy.

**Abstracts:** In this paper, based on the law of energy conservation, an approach is presented to determine the amount of wear of the excavator bucket teeth. Based on the approach used, the relationship between the technological parameters of the machine and the amount of wear of its work items (bucket teeth) has been established.

Техническое обслуживание, своевременный ремонт и замена изношенных частей землеройных машин, в частности, таких, как экскаваторы, позволяет повысить производительность и эффективность их работы, а также строительных работ в целом [1]. Среди перечисленного ряда ремонтно-восстановительных мероприятий одним из самых востребованных является замена зубьев ковша, повышенный износ которых в свою очередь обусловлен высокими значениями нагрузок, приложенными к ним в процессе работы экскаватора.

Исследования, представленные в [2,3], позволяют сказать, что в процессе работы зубья экскаваторов претерпевают значительные изменения формы. Одним из таких изменений является образование поверхности износа по задней грани зубца (рис. 1). Очевидно, что данный тип износа значительно влияет на производительность, так как от него зависит величина усилия и глубины внедрения ковша в грунт и, следовательно, производительность работы.

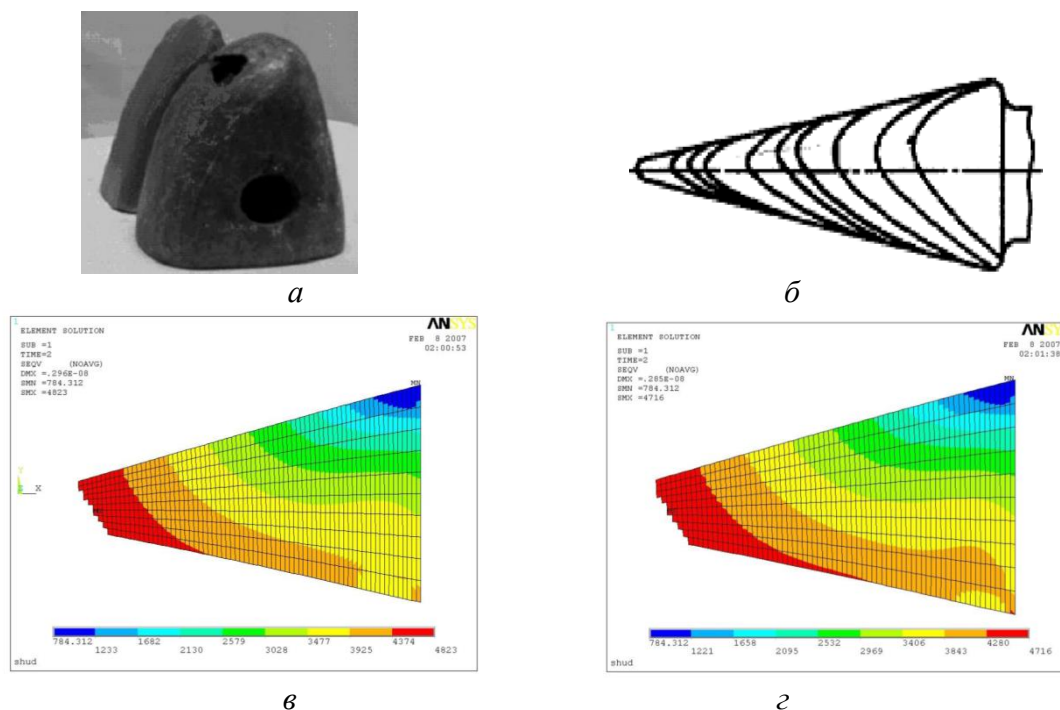


Рис. 1. Характер изменения формы зуба: а, б – после производственной эксплуатации; в, г – полученный по результатам компьютерного моделирования

В процессе работы на ковш экскаватора действует сила сопротивления грунта копанию  $P_k$  (рис. 2), сила нормального сопротивления внедрению ковша в грунт  $P_n$ . При этом усилие  $P_k$  можно представить в виде:

$$P_k = P_p + P_{тр} + P_{пр},$$

где  $P_p$  – сопротивление грунта резанию,  $P_{тр}$  – сопротивление трения ковша о грунт,  $P_{пр}$  – сопротивление перемещению призмы волочения и грунта в ковше.

При этом усилия  $P_n$  и  $P_k$  связаны между собой зависимостью

$$P_n = \psi P_k, \tag{1}$$

где  $\psi$  – коэффициент, зависящий от физико-механических свойств грунта, формы зубьев ковша, их затупления, глубины их внедрения.

Величину  $P_k$  в свою очередь можно выразить с помощью зависимости, разработанной Н. Г. Домбровским [1], которая имеет вид:

$$P_k = K_k b h, \tag{2}$$

где  $K_k$  – удельное сопротивление грунта копанию,  $b$  и  $h$  – ширина и высота срезаемого слоя грунта соответственно.

Учитывая схему сил, действующих на ковш экскаватора (рис. 1), а также учитывая характер износа зубьев ковша (рис. 2), предположим, что износ происходит под действием силы трения, возникающей вследствие прижатия ковша к поверхности грунта [4,5]. Тогда допуская, что в процессе работы ковш опирается главным образом на зубья, выразим силу трения с учетом (1) как

$$P_{тр} = \mu P_n = \mu \psi P_k,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения зубьев ковша о грунт.

Тогда работа трения выразится как:

$$A_{тр} = P_{тр} L = \mu \psi P_k L, \tag{3}$$

где  $L$  – суммарное рабочее перемещение ковша.

На основании положений [4] принимаем, что энергия  $U$ , необходимая для отделения объема материала зубьев  $V_{отд}$  при изнашивании, определяется как

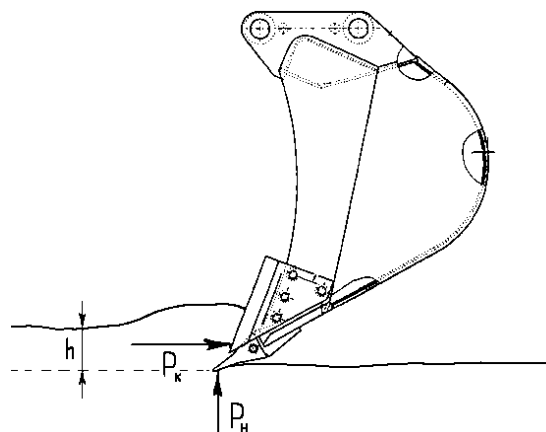


Рис. 2. Схема сил, действующих на ковш

$$U = \frac{\sigma_p^2 V_{\text{отд}}}{E}, \quad (4)$$

где  $\sigma_p$  – прочность материала зуба при растяжении,  $E$  – модуль Юнга материала зубьев.

Исходя из закона сохранения энергии, приравняв (3) и (4), приняв во внимание (2), а также допуская, что работа трения и энергия износа распределяются между зубьями ковша равномерно, определим объемный износ зуба ковша с учетом их количества  $N_3$ , как:

$$V_3 = \frac{V_{\text{отд}}}{N_3} = \frac{\mu\psi K_k bhLE}{\sigma_p^2 N_3}. \quad (5)$$

Подводя итог, отметим, что с помощью выражения (5) можно установить взаимосвязь между технологическими параметрами работы экскаватора, физико-механическими свойствами разрабатываемого грунта, а также физико-механическими свойствами материала ковша. Дальнейшим этапом исследования будет проведение сопоставительного анализа результатов расчета с данными, полученными в ходе производственной эксплуатации.

В результате исследований планируется получить уточненную аналитическую зависимость, которую можно с достаточной точностью использовать при оценке износа зубьев ковшей экскаваторов, а также других землеройных машин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Добронравов, С. С. Строительные машины и основы автоматизации: учеб. для строит. вузов / С. С. Добронравов, В. Г. Дронов. – М.: Высш. шк., 2001. – 575 с.
2. Дэлэг, Д. Исследование самозатачивания зуба ковша экскаватора [Электронный ресурс] / Д. Дэлэг, С. Ванчинжав, Н. Пурэвдорж. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/novoe-o-protseste-rezaniya>. – (дата обращения: 25.05.17).
3. Кузнецова, В. Н. Тенденции повышения износостойкости зубьев ковшей экскаваторов / В.Н. Кузнецова, Е. С. Авдеева // Омский научный вестник. – 2010. – №1 (87) – С. 99-101.
4. Протасов, Ю. И. Теоретические основы механического разрушения горных пород / Ю.И. Протасов. – М.: Недра, 1985. – 242 с.
5. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.

УДК 623.355.6

*А. А. Бурлаков, В. С. Воловиков*

ФГБОУ ВО Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного

## ПЛАНИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ СВЯЗИ

**Ключевые слова:** техника связи и автоматизированных систем управления, план восстановления элементов сети связи.

**Аннотация:** При восстановлении элементов сети связи очередность восстановления находится в зависимости от многих факторов, важнейшими из которых являются трудоемкость ремонта и важность восстанавливаемого объекта для обеспечения готовности системы связи.

*A. A. Burlakov, V. S. Volovikov*

## PLANNING ITEM RECOVERY COMMUNICATION SYSTEM

**Keywords:** communication technology and automated control systems, recovery plan of communication network elements.

**Abstracts:** When restoring the elements of the communication network, the order of restoration depends on many factors, the most important of which are the complexity of repair and the importance of the restored object to ensure the readiness of the communication system.

Следствием массированного применения противоборствующими сторонами различных средств поражения в ходе современных боевых действий является рост потерь вооружения и техники, в том числе техники связи и автоматизированных систем управления (ТС и АСУ).

Восстановление ТС и АСУ в ходе боевых действий является основным источником восполнения потерь. При этом очередность восстановления ТС и АСУ находится в зависимости от многих факторов, важнейшими из которых являются трудоемкость ремонта и важность восстанавливаемого объекта для обеспечения готовности системы связи [1].

Принятие решения на восстановление ТС и АСУ должностными лицами должно быть подкреплено всесторонним анализом сложившейся обстановки с учетом важности решаемых элементов системы связи задач [2]. Данные решения являются основой планирования восстановления ТС и АСУ.

В плане восстановления ТС и АСУ определяются очередность и сроки выполнения работ на поврежденных элементах с учетом выделяемых сил и средств. Решение данной задачи требует согласованной работы должностных лиц и исполнителей системы технического обеспечения.

После проведения технической разведки, оценки степени повреждения и требуемых затрат сил и средств могут возникнуть неочевидные ситуации, которые связаны с определением последовательности и сроков восстановления элементов систе-

мы связи. В подобных случаях должностными лицами могут быть использованы разработанные методики поддержки принятия решения.

Рассмотрим один из подходов к формированию плана восстановления ТС и АСУ в ходе боевых действий.

Исходные данные для планирования восстановления элементов системы связи определяются по результатам технической разведки.

Время восстановления поврежденного  $i$ -го элемента определяется по формуле

$$\tau_{vi} = \sum_{j \in J_K} \tau_{vji}, \quad (1)$$

где  $J_K$  – множество индексов поврежденных средств, принадлежащих критическому пути сетевого графика восстановления элемента;

$\tau_{vji}$  – время устранения  $j$ -го повреждения.

Состав и количество ресурсов определяются с учетом повреждений элемента и требуемых для их устранения сил и средств. В качестве единицы исчисления сил и средств можно использовать выездной расчет специальности  $\lambda$ , оснащенный необходимыми средствами выполнения ремонтных работ. В результате координаты вектора

$$D_i(t) = \{d_{1i}(t), d_{2i}(t), \dots, d_{mi}(t)\} \quad (2)$$

будут определять количество выездных расчетов специальности  $\lambda$ , требуемых для устранения повреждений  $i$ -го элемента в момент  $t$ .

Разработка плана восстановления сети связи производится в следующей последовательности:

1. Определение исходных данных:

состояние сети связи после воздействия противника в момент  $t_0 = 0$ , задаваемое перечнем индексов поврежденных элементов  $I = \{i\}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;

прогнозируемая продолжительность выполнения восстановительных работ на каждом поврежденном элементе  $\tau_{vji}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;

требуемые для восстановления элемента  $i$  ресурсы:  $D_i$  – специалисты-ремонтники, оборудование и  $R_i$  – используемый при ремонте ЗИП;

наличие ресурсов  $D_0, R_0$ ;

матрица времен перемещения освобождающихся ресурсов  $D_i$  от одного элемента к другому  $\|\tau_{ji}\|$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

состояние объектов управления, задаваемое множеством индексов  $J = \{j\}$  боеспособных или поврежденных, но подлежащих восстановлению объектов,  $j = 1, 2, \dots, n$ ;

время, выделяемое для проведения разведки и формирования плана  $\tau_p$ .

2. Определение плана восстановления

$$u = \{i_1, t_1; i_2, t_2; \dots; i_k, t_k; \dots; i_m, t_m\} \quad (3)$$

при котором

$$S(u) = \min_u \sum_{n=1}^n t_n W_n(z_1, z_2, \dots, z_n), \quad (4)$$

где  $S(u)$  – целевая функция оптимизации плана  $u$ ;

$W_n$  – коэффициент структурной важности восстанавливаемых объектов;

$z_j$  – состояние  $j$ -го элемента в момент  $t$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Задача минимизации  $S$  равносильна задаче максимизации среднего числа управляемых объектов на фиксированном интервале времени.

Данная задача в сравнении с известными постановками и методами решения задач планирования имеет следующие особенности:

- зависимость целевой функции (4) от структурной важности восстанавливаемых элементов;
- учет динамики поступления запасных частей в процессе восстановления системы связи;
- применение ограничений, зависящих от состояния и взаимного расположения восстанавливаемых элементов [3].

Анализ указанных особенностей и используемых ограничений показывает, что для решения задачи можно использовать следующие методы:

- последовательного анализа;
- полного перебора вариантов плана;
- «важность - время»;
- динамического программирования.

Проведенные с использованием указанных методов расчеты показывают, что применение метода полного перебора ограничено числом восстанавливаемых элементов, а метод «важность - время» может приводить к ошибочным результатам. Для исключения этих недостатков целесообразно применять метод динамического программирования, который позволяет получать оптимальное решение при реализации процесса восстановления.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чихачев А. В., Третьяков С. М., Бурлаков А. А., Баринов М. А., Морозов Р. В. Техническое обеспечение связи и автоматизации: – СПб.: ВАС, 2018. – 302 с.
2. Арсланов Х. А., Башкирцев А. С., Лихачев А.М. Автоматизированная система управления связью Вооруженных Сил Российской Федерации и приоритетные направления ее развития // Связь в Вооруженных Силах Российской Федерации – 2016. Тематический сборник. – М: Компания «Информационный мост», 2016. С. 17-20.
3. Бурлаков А.А., Воловиков В.С., Корягин С. А. Определение оптимального плана восстановления элементов системы связи // Проблемы технического обеспечения войск в современных условиях. Сборник материалов III Межвузовской научно-практической конференции. – С-Пб.: ФГБОУ ВО Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С.М. Буденного, 2018. С. 178-181.



УДК 621.62-515

*А. В. Бурцев, С. Н. Дульцев*

ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России

## **СРАВНИТЕЛЬНО-КОНСТРУКТИВНЫЙ АНАЛИЗ РУЛЕВЫХ МЕХАНИЗМОВ ПОЖАРНОЙ И АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

**Ключевые слова:** рулевое управление, рулевой механизм, КПД рулевого механизма, передаточное отношение рулевого механизма.

**Аннотация:** в статье рассмотрены вопросы применения различных типов рулевых механизмов на пожарных и аварийно-спасательных транспортных средствах, характеристики механизмов, влияющие на безопасность и комфорт управления автомобилем.

*A. V. Burtsev, S. N. Dultsev*

## **COMPARATIVE-CONSTRUCTIVE ANALYSIS OF STEERING MECHANISMS OF FIRE AND EMERGENCY RESCUE EQUIPMENT**

**Keywords:** steering, steering mechanism, efficiency of the steering mechanism, transfer relation of the steering mechanism.

**Abstracts:** in article questions of application of various types of steers on fire and rescue vehicles, the characteristics of gears affecting safety and comfort of driving are considered.

В пожарной и аварийно-спасательной технике множество различных систем, устройств и механизмов, которые постоянно совершенствуются и изменяются, но есть одно устройство, без которого любой автомобиль общего или специального назначения просто не сможет быть полезным и пригодным для безопасного и комфортного использования человеком. Этим устройством является рулевое управление. Тип рулевого управления зависит от типа автомобиля, его компоновочной схемы и веса, приходящегося на управляемые колеса. При выборе рулевого управления определяющими факторами являются: расчетное усилие, необходимое для поворота автомобиля на месте; обеспечение безопасности движения на высоких скоростях при разрыве шины; уменьшение утомляемости водителя, особенно при движении в тяжелых дорожных условиях. Оценочными параметрами рулевого привода являются передаточные числа, КПД и податливость деталей привода.

Рулевое управление пожарной и аварийно-спасательной техники, включающее рулевой механизм, рулевой привод, а у некоторых автомобилей и рулевой усилитель, является устройством, в значительной степени обеспечивающим безопасность движения, вследствие чего к нему предъявляются высокие требования:

- повышенная надежность, так как выход из строя рулевого управления приводит к аварии;
- возможно меньшее значение минимального радиуса поворота для обеспечения хорошей маневренности автомобиля;
- малое усилие на рулевом колесе, обеспечивающее легкость управления;

- оптимальная упругая характеристика рулевого управления, определяющая его чувствительность и исключающая возможность возникновения автоколебаний управляемых колес;
- кинематическая согласованность элементов рулевого управления с подвеской для исключения самопроизвольного поворота управляемых колес при деформации упругих элементов;
- силовое и кинематическое следящее действие, т.е. пропорциональность между усилием на рулевом колесе и моментом сопротивления повороту управляемых колес и заданное соответствие между углом поворота рулевого колеса и углом поворота управляемых колес;
- минимальное боковое скольжение колес при повороте;
- минимальная передача толчков на рулевое колесо от удара управляемых колес о неровности дороги;
- минимальное влияние на стабилизацию управляемых колес [5, 7].

Рулевой механизм является основой рулевого управления обеспечивающий преобразование вращательного движения рулевого колеса в поступательное движение рейки или в поворот сошки. Оценочными параметрами рулевого механизма являются угловое передаточное число, прямой и обратный КПД и величина зазора в зацеплении.

Рулевой механизм выполняет следующие функции:

- увеличение усилия, приложенного к рулевому колесу;
- передача усилия рулевому приводу;
- самопроизвольный возврат рулевого колеса в нейтральное положение при снятии нагрузки.

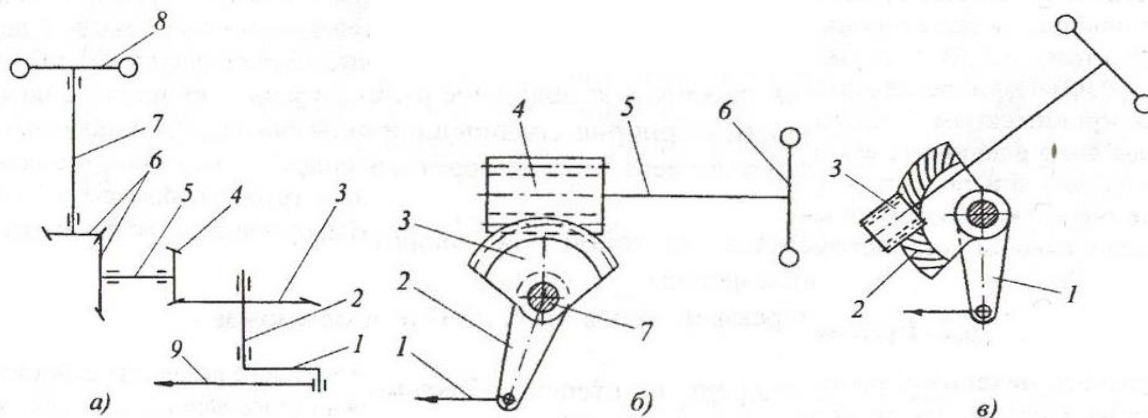
По своей сути рулевой механизм является механической передачей (редуктором), поэтому основным его параметром является передаточное число. В зависимости от типа механической передачи различают следующие типы рулевых механизмов применяемых в автомобилях (рис.1, 2), в том числе на пожарной и аварийно-спасательной технике:

- шестеренный (редукторный (рис. 1, а), реечный (рис. 2, в));
- червячный (секторный (рис. 1, б), роликовый (рис. 2, а));
- винтовой (винторычажный, винтореечный (рис. 2, б)) [5].

Рассмотрим подробно каждый из вышеперечисленных рулевых механизмов.

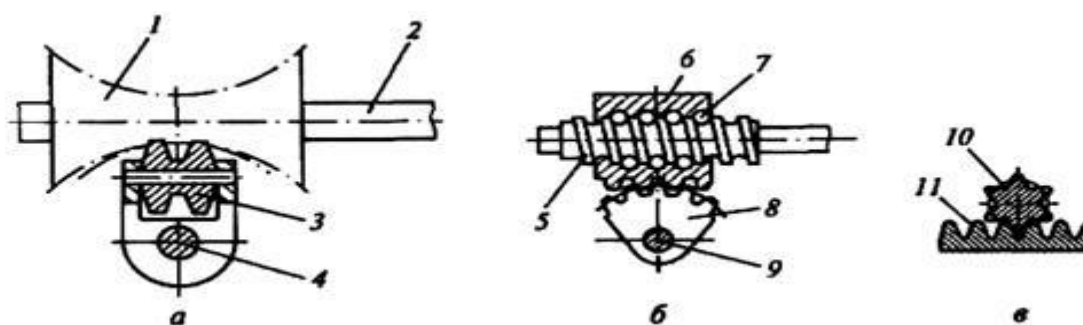
Шестеренные рулевые механизмы (рис. 1) обычно выполняют в виде зубчатой пары из шестерни и рейки и реже в виде редуктора из зубчатых цилиндрических или конических колес [6]. Вследствие повышенных габаритов редуктора, относительно малого передаточного числа и полной обратимости передачи (прямой и обратный КПД равны), шестеренные рулевые механизмы имеют очень ограниченное применение.

Реечные рулевые механизмы имеют широкое применение на пожарных и аварийно-спасательных автомобилях сверхлегкого и легкого классов на базовом шасси ВАЗ или ГАЗ (служебные автомобили; автомобили оперативной службы, штабные, автомобили первой помощи (АПП) и автоцистерны сверхлегкого класса) [1, 2, 3]. Достоинствами реечных рулевых механизмов являются высокий КПД ( $\eta = 0,9 \dots 0,95$ ), простота и компактность конструкции, обеспечивающие им наименьшую стоимость по сравнению с рулевыми механизмами других типов.



**Рис. 1.** Кинематические схемы некоторых рулевых механизмов:

- а – редукторный: 1 – рулевая сошка, 2, 5 – внутренние валы, 3 – ведомая шестерня, 4 – ведущая шестерня, 6 – ведущая пара шестерен, 7 – внешний рулевой вал, 8 – рулевое колесо; б – червячно-секторный: 1 – продольная тяга, 2 – рулевая сошка, 3 – сектор, 4 – цилиндрический червяк, 5 – внешний рулевой вал, 6 – рулевое колесо, 7 – соединительный вал; в – червячный с боковым червячным сектором: 1 – рулевая сошка, 2 – червячный сектор, 3 – червяк



**Рис. 2.** Рулевые механизмы: а – червячно-роликовый; б – винтореечный; в – реечный; 1 – червяк; 2, 4, 9 – валы; 3 – ролик; 5 – винт; 6 – гайка; 7 – шарик; 8 – сектор; 10 – шестерня; 11 – рейка

При независимой подвеске колес реечный рулевой механизм оснащается четырехшарнирным рулевым приводом. Из-за высокого значения обратного КПД такой механизм без усилителя целесообразно устанавливать только на легковых автомобилях легкого класса, так как в этом случае толчки со стороны дороги, которые передаются на рулевое колесо, в некоторой степени могут поглощаться в результате трения рейки и металлокерамического упора. На легковых автомобилях более высокого класса устанавливают рулевой усилитель, который поглощает толчки [4, 5, 6].

Червячные рулевые механизмы нашли широкое применение, как на легковых, так и на грузовых пожарных и аварийно-спасательных автомобилях и автобусах. Наибольшее распространение получили червячно-роликовые рулевые механизмы (ВАЗ-2107, ВАЗ-21041, ГАЗ-3102, УАЗ-3151, УАЗ-3909).



ВАЗ-21041



ГАЗ-3102



УАЗ-3151



УАЗ-3909

Рулевые пары состоят из глобоидного червяка и двух или трехгребневого ролика. Глобоидный червяк предназначен для увеличения рабочего угла (угла, определяемого зацеплением рулевой пары) поворота вала сошки.

Червяк устанавливают на радиально-упорных шариковых или конических роликовых подшипниках, а ролик – на шариковых или игольчатых подшипниках в пазу вала сошки. Иногда и в опорах вала сошки используют подшипники качения. Все это обеспечивает таким механизмам сравнительно высокий КПД: до 0,85 в обоих направлениях, что значительно важно для пожарной и аварийно-спасательной техники, особенно при выполнении сложных маневровых операций в труднодоступных подъездных путях.

Передаточное число рулевых механизмов с двух и трехгребневым роликом, определяемое отношением числа зубьев червячного колеса (ролик рассматривается как сектор червячного колеса) к числу заходов червяка, практически постоянное. Червяк, как правило, однозаходный. Зазор в зацеплении ролика с червяком переменный, что может быть обеспечено при разных значениях радиусов дуги образующей червяка и траектории ролика. Разница этих радиусов позволяет регулировать зазор в зацеплении, т.е. сближать элементы пары, не опасаясь их заклинивания в крайних положениях. Для расширения зоны беззазорного зацепления в ряде конструкций червячно-роликовых пар червяк посажен эксцентрично относительно оси рулевого вала [7].

Винтовые рулевые механизмы имеют различное конструктивное исполнение: винторычажные («винт-гайка-рычаг», «качающийся винт и гайка», «винт и качающаяся гайка») и винтореечные. Винторычажные рулевые механизмы в настоящее время применяются редко, так как имеют низкий КПД и компенсировать износ регулировкой невозможно. Винтовые рулевые механизмы широко применяются на пожарных и аварийно-спасательных автомобилях всех типов (ЗИЛ, КамАЗ, МАЗ, Урал и др.).



Автоцистерна пожарная АЦ 3,0-40 (ГАЗ 3309)



Автоцистерна пожарная АЦ 4,0-40 (КА-МАЗ -5350)



Автоцистерна пожарная АЦ 8,0-40(МАЗ-631708)



Пожарная автоцистерна АЦ 5,8-40 (5557)

Винтореечные рулевые механизмы, включающие в себя винт, шариковую гайку и сектор, выполненный за одно целое с валом сошки. КПД винтореечного механизма высокий в обоих направлениях (от 0,8 до 0,85), поэтому без усилителя,

воспринимающего толчки со стороны дороги, его целесообразно устанавливать только на легковые автомобили.

КПД рулевого механизма в значительной степени влияет на легкость управления пожарным и аварийно-спасательным автомобилем. Как прямой, так и обратный КПД зависят от конструкции рулевого механизма и имеют следующие значения:  $\eta_{\downarrow PM} = 0,6 \dots 0,95$ ;  $\eta_{\uparrow PM} = 0,55 \dots 0,85$ .

Если учитывать трение только в зацеплении рулевой пары, пренебрегая трением в подшипниках и сальниках, то для червячных и винтовых механизмов:

$$\eta_{\downarrow PM} = \frac{\operatorname{tg} \beta}{\operatorname{tg}(\beta - \rho)} \quad (1)$$

$$\eta_{\uparrow PM} = \frac{\operatorname{tg}(\beta - \rho)}{\operatorname{tg} \beta}, \quad (2)$$

где  $\beta$  – угол подъема винтовой линии червяка или винта;

$\rho$  – угол трения.

Так, если принять  $\beta = 12^\circ$  и  $\rho = 8^\circ$ , то  $\eta_{\downarrow PM} = 0,6$ , а  $\eta_{\uparrow PM} = 0,33$ , т.е. обратный КПД в 2 раза ниже прямого. Пониженный обратный КПД, хотя и способствует поглощению толчков на рулевое колесо, но в то же время затрудняет стабилизацию управляемых колес. При прямом КПД  $10 \eta_{\downarrow PM} \leq 0,5$  обратный КПД  $\eta_{\uparrow PM} \approx 0$ , рулевая пара становится необратимой и стабилизация отсутствует.

Потери на трение в рулевом механизме составляют примерно половину потерь на трение во всем рулевом управлении.

Резкие удары и толчки, передающиеся на рулевое колесо, могут стать причиной потери управляемости. Помимо упомянутого уменьшения обратного КПД для снижения или исключения возможности передачи толчков на рулевое колесо принимаются следующие меры:

- увеличивают передаточное число рулевого механизма в нейтральном положении управляемых колес;
- уменьшают плечо обкатки управляемых колес;
- увеличивают податливость рулевого управления (должно быть найдено оптимальное значение, так как при большой податливости элементов рулевого управления запаздывает реакция управляемых колес на управляющее воздействие – поворот рулевого колеса);
- применяют амортизирующие устройства в рулевом механизме или приводе;
- устанавливают рулевой гидроусилитель, воспринимающий и поглощающий толчки и удары от управляемых колес.

Подводя краткий итог обзора рулевых механизмов применяемых в пожарной и аварийно спасательной технике разных классов выделим следующие показатели, которые определяют их широту использования и ограничивающие их применение недостатки:

1. К преимуществам реечного рулевого механизма относятся: малая масса, компактность, невысокая цена, минимальное количество тяг и шарниров, простота соединения рулевого механизма с управляемыми колесами, прямая передача усилия, высокая жесткость и КПД, легкость в оснащении гидроусилителем.

В качестве недостатков для реечных механизмов следует отметить наиболее значимые:

- из-за простоты конструкции любой толчок от колес передается на руль;
- трудности в изготовлении механизма с высоким передаточным числом, поэтому для тяжелой пожарной и аварийно-спасательной техники такие механизмы не подходят.

2. К преимуществам рулевых механизмов «червяк-ролик» следует отнести низкую склонность к передаче ударов от дорожных неровностей, большие углы поворота колес и возможность передачи больших усилий, а в качестве недостатков следует отметить большое количество тяг и шарнирных сочленений с вечно накапливающимися люфтами, «тяжелый» и малоинформативный руль и сложности в технологии изготовления.

3. К преимуществам рулевого механизма «винт – шариковая гайка – рейка – сектор» наиболее значимым можно выделить возможность создания конструкции с большим передаточным числом, а к недостаткам следует отнести такие показатели как нетехнологичность, дороговизна, большие габариты и масса.

Таким образом, рулевые механизмы имеют высокую значимость при проектировании и эксплуатации пожарной и аварийно-спасательной техники. Правильный выбор рулевого механизма повышает эффективность управления автомобилем, а также позволяет улучшить комфорт и безопасность на дороге.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безбородько М.Д. и др. Пожарная техника. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1989. 236 с.
2. Кулаковский Б.Л. и др. Пожарные аварийно-спасательные и специальные машины: учебное пособие / Б.Л. Кулаковский, В.И. Маханько, А.В. Кузнецов. – Мн.: Технопринт, 2002 – 382 с.: ил.
3. Пехальский А.П. Устройство автомобилей: Учебник для студ.учреждений сред.проф. образования / А.П. Пехальский, И.А. Пехальский. – М.: Издательский центр «Академия», 2005. – 525 с.
4. Преснов А.И., Каменцев А.Я., Иванов А.Г. и др. Пожарные автомобили: Учебник водителя пожарного автомобиля. – Санкт-Петербург, 2006. – 507 с.
4. 5.Рулевой механизм [Электронный ресурс]. - Режим доступа:
5. <http://systemsauto.ru/wheel/steering.html> (Дата обращения 05.03.2019)
5. Рулевой механизм тракторов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://vostok-agro.info/dokumentatsiya/310-rulevoj-mekhanizm-traktorov.html> (Дата обращения 05.03.2019)
6. Чайковский И.П., Саломатин П.А.Рулевые управления автомобилей.- М: Машиностроение, 1987. – 177с.
7. Яковлев В.Ф. Учебник по устройству легкового автомобиля. – М.: Издательский дом «Третий Рим», 2008. – 80с.

УДК 522+623.1

**В. Е. Веселовацкий, О. В. Хонгорова**

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## РОБОТОТЕХНИКА, ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

**Ключевые слова:** робототехника, пожаротушение, инновации.

**Аннотация:** С появлением технологии люди заменяются роботами в опасных для жизни ситуациях. Создавая и внедряя автономные роботы, способные обнаруживать и тушить пламя, можно избежать бедствий с минимальным риском для жизни человека. В данном исследовании сделан обзор на инновационную робототехнику, применяемую при тушении пожаров.

**V. E. Veselovskii, O. V. Khongorova**

## ROBOTICS USED TO EXTINGUISH FIRES

**Keywords:** robotics, fire fighting, innovation.

**Abstracts:** With the advent of technology, people are replaced by robots in life-threatening situations. By creating and implementing Autonomous robots capable of detecting and extinguishing flames, disasters can be avoided with minimal risk to human life. This study provides an overview of innovative robotics used in fire fighting.

Пожаротушение и спасение людей - это рискованная работа.

Пожарным приходится сталкиваться со многими опасными ситуациями:

- при тушении пожара. Пожарные тушат пожары в зданиях, тянут тяжелые шланги, поднимаются по высоким лестницам и переносят жертв из одного здания в другое. Они должны выполнять свою работу в течение длительного и нерегулярного рабочего времени.
- во время пожара. Пожарные также сталкиваются с недружественными условиями, такими как высокая температура, пыль и низкая влажность. Кроме того, им приходится бороться с такими опасными для жизни ситуациями, как взрывы и разрушения зданий.

С увеличением урбанизации, дорожного движения, более высокими коммерческими и жилыми зданиями и новыми опасными веществами, которые используются в строительстве, пожарные смотрят на достижения в области технологий робототехники, чтобы помочь им в достижении своих целей. Технологии, такие как электронные и газовые датчики, термостойкие материалы, улучшенные камеры, автономные и роевые операции, добавляются к коммерческим роботам, чтобы помочь пожарным.

Обзор инновационной робототехники, используемой для тушения пожаров.

Thermite 3.0. Американская компания разработала роботизированный «танк», который можно использовать для борьбы с пожарами, которые слишком опасны для пожарных.

Он может перекачивать 2,500 галлонов воды в минуту из пушки, сила, созданная от мощности насоса, будет контролироваться 6-8 людьми, но Thermite 3.0 обрабатывает ее в одиночку. Данный робот в работе представлен на рис. 1.

Система пенного пожаротушения. Эта система пожаротушения прекращает огонь в течение пяти минут. Пена смешивается с водой для расширения и плавления над топливом. Она растворяется прямо через бетонный пол. Данная роботизированная система представлена на рис. 2.

«Огненный шар элида». Он активируется через три секунды после касания огня, мгновенно высвобождая химикаты для подавления огня.

Фанатан Каймрат изобрел Elide Fire Extinguishing Ball после того, как он пережил пожар в отеле Royal Jomtien в 1997 году, в результате которого погибло около 100 человек. Его безопаснее использовать, чем обычный огнетушитель: он распространяет сухой порошок, который не вредит людям или окружающей среде, и вы можете забросить его дальше, чем диапазон нормального огнетушителя. Он весит всего три фунта, а его радиус взрыва - более четырех футов. Принцип работы данного шара представлен на рис. 3.



**Рис. 1.** Thermite 3.0



**Рис. 2.** Роботизированная система пожаротушения в зданиях



**Рис. 3.** Шар «Элида» в действии

Далее проведём краткий обзор беспилотных дронов для пожаротушения.

Большинство беспилотных летательных аппаратов, используемых для пожаротушения, оснащены надстройками, в том числе:

- Термокамеры для идентификации источников огня и горячих точек;
- Инфракрасные камеры, которые обнаруживают людей и животных;
- Используется средство тушения, в том числе порошок, пена, вода или специальные жидкости;
- Распределители тумана, которые распыляют охлаждающий туман, чтобы дроны и пожарные приближались к огню;
- Камеры высокой четкости, которые могут помочь идентифицировать продукты и коды на упаковке для определения потенциально опасных и легковоспламеняющихся товаров.



Дрон Aerones. Характеристики:

Латвийская компания Aerones разработала прототип пожарного дрона, который за шесть минут может подняться на 984 фута (300 метров), что не только превышает расстояние до обычных лестниц. Дрон Aerones имеет следующие характеристики:

- 20 минут эфирного времени, которое может быть увеличено за счет привязного источника питания или подзарядки в воздухе;
- Может достигать непосредственной близости от огня, около 98 футов (30 метров);
- Распылять «специальную химическую смесь», чтобы максимизировать массу и давление распыления;
- Дополнительное использование пены.

Действие дрона в действии представлено на рис. 4.

В МЧС России успешно зарекомендовали себя пожарные роботы серии RSS, передающие изображение на монитор оператора, которые выполняют тушение компактной струей воды, пены или порошка. Роботы данной серии могут найти даже небольшой горящий объект в радиусе 25 м.

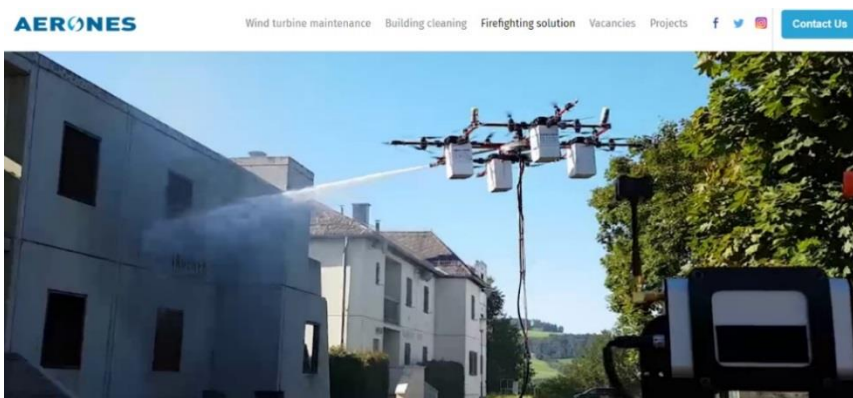


Рис. 4. Действие робота Aerones в действии

Их успешно применяют в закрытых пространствах – тоннелях, хранилищах газов, нефти и горючих жидкостей, ангарах и прочих местах массового скопления людей.

Тактико-технические характеристики пожарных комплексов позволяют использовать их в различных отраслях нефтегазовой промышленности, минимизируя затраты на установку стационарных систем пожаротушения.

Различные модели РПК успешно работают в аэропортах, хранилищах, местах переработки и транспортировки нефтепродуктов, предприятиях химической промышленности и культурно-массовых объектах.

Модель «Кузнечик» МРК-25 выполняет работу в экстремальных условиях, совместно с комплексом АБР-РОБОТ. Они выполняют тушение тонкораспыленными фракциями воды из ёмкости объёмом 1 т, подают воздушно-механическую пену из пенобака 0,5 м<sup>3</sup> объёма, осуществляют спасательные операции при помощи оборудования «Спрут». (см. рис. 5).

Мобильная роботизированная установка пожаротушения МРУП-МКД-СП-ЭТВ-У-10 находится в настоящий момент в опытной эксплуатации в составе высокоманевренного пожарно-спасательного автомобиля для работы в условиях плотной застройки и сложного дорожного движения ПСА 3,5-40/100-4/400 «ПОВОРОТ». Данный робот представлен на рис. 6.



Рис. 5. Модель «Кузнечик» МРК-25



Рис. 6. МРУП-МКД-СП-Э-ТВ-У-10

В качестве заключения можно сказать, что на сегодняшний день робототехника внедряется в нашу повседневную жизнь большими темпами, но нужно помнить, что роботами управляют люди, и корпорациям следует делать основной уклон на людские ресурсы для того, чтобы робототехника была не столь дорогостоящей и была людям только на пользу.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Есина М.Г., Суматохин Е. Е., Захаров Д. Ю. Инновационные технологии в структуре ГПС МЧС России // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции. - Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2018. - С. 607 – 610.

2. Есина М.Г., Демидов А.Ю. Роботы на вооружении МЧС РОССИИ // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. - Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2017. - С. 71 – 77.

УДК 66.065.5

*Ю. Г. Гоголев*

ФГБОУ Ивановский государственный химико-технологический университет

#### ПОВЫШЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ДЕСУБЛИМАТОРА-СМЕСИТЕЛЯ

**Ключевые слова:** десублимация, надежность, инкрустация, перфорация стенок.

**Аннотация:** Показана необходимость уменьшать отложение десублимированного продукта на стенках оборудования. Предложена конструкция десублиматора-смесителя повышающая технологическую надежность установки за счет снижения отложений на стенках, благодаря их перфорации и продува через них воздуха.

Yu. G. Gogolev

## IMPROVING THE TECHNOLOGICAL RELIABILITY OF THE WORK OF THE DIALIST-MIXER

**Keywords:** deposition, reliability, inlay, punching walls.

**Abstract:** the need to reduce the deposition of desublimirovannogo product on the walls of the equipment. The construction of desublimatora-mixer improves the technological reliability of installation at the expense of deposits on the walls of their perforation and blow air through them.

Проводилось исследование процесса десублимации бензойной кислоты и фталевого ангидрида в аппарате объемного типа [1]. Использование десублимации позволяет получать продукционные частицы сверхмалых размеров. Важной особенностью объемной десублимации является возможность осаждения десублимированного продукта на внутренних стенках аппарата. Это приводит к потере продукта и уменьшает период нормальной эксплуатации оборудования из-за необходимости его периодической очистки.

Проведено экспериментальное исследование осаждения фталевого ангидрида и бензойной кислоты на стенках десублиматора. Для определения интенсивности осаждения веществ на стенке по высоте аппарата, использовались пробоотборники настенные из органического стекла диаметром 15 мм (рис. 1). Пробоотборники взвешивались до ввода в аппарат и по окончании опыта, то есть подачи парогазовой смеси рассматриваемого вещества.

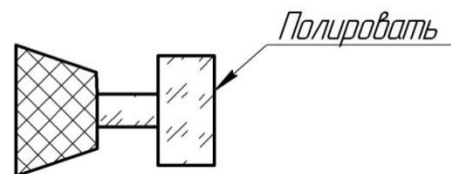


Рис. 1. Пробоотборник настенный

Данные пробоотбора десублимата на стенках для бензойной кислоты и фталевого ангидрида сведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Данные пробоотбора осадка бензойной кислоты на стенках аппарата

№ пробоотборника	Высота отбора, мм	Вес до отбора, г	Вес после отбора, г	Чистый вес осадка, г	Интенсивность осаждения, кг/(м <sup>2</sup> ·с)
1	150	1,8917	1,8929	0,0012	18·10 <sup>-7</sup>
2	250	1,8061	1,8076	0,0015	21,5·10 <sup>-7</sup>
3	350	2,0885	2,09	0,0015	22,5·10 <sup>-7</sup>
4	450	1,7464	1,7478	0,0015	21,5·10 <sup>-7</sup>
5	550	1,7517	1,7531	0,0014	21·10 <sup>-7</sup>

Таблица 2. Данные пробоотбора осадка фталевого ангидрида на стенках аппарата

№ пробоотборника	Высота отбора, мм	Вес до отбора, г	Вес после отбора, г	Чистый вес осадка, г	Интенсивность осаждения, кг/(м <sup>2</sup> ·с)
1	150	1,8917	1,8929	0,0012	14,2·10 <sup>-7</sup>
2	250	1,8061	1,8074	0,0013	15,4·10 <sup>-7</sup>
3	350	2,0885	2,0898	0,0013	15,4·10 <sup>-7</sup>
4	450	1,7464	1,7475	0,00115	13,65·10 <sup>-7</sup>
5	550	1,7517	1,7528	0,0011	13,05·10 <sup>-7</sup>

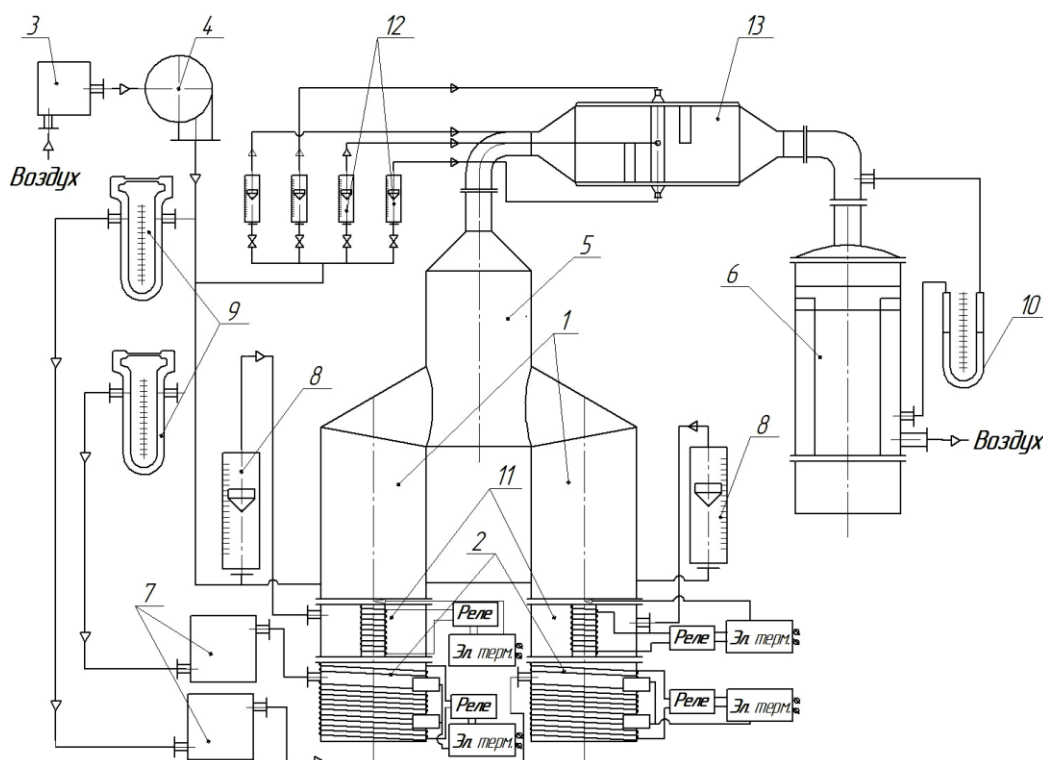
Для определения интенсивности осаждения веществ на стенке по высоте аппарата, использовались пробоотборники настенные из органического стекла диаметром 15 мм (рис. 1). Пробоотборники взвешивались до ввода в аппарат и по окончании опыта, то есть подачи парогазовой смеси рассматриваемого вещества.

Время отбора проб бензойной кислоты составило 1 час 35 минут, фталевого ангидрида - 2 часа от начала эксперимента. Интенсивность осаждения веществ на стенках аппарата рассчитывалась по формуле:

$$Q = \frac{M}{F \cdot \tau}; \quad (1)$$

где  $M$  - масса осадка вещества, кг;  $F$  - площадь поверхности пробоотборника  $m^2$ ;  $\tau$  - время отбора проб, с.

Таким образом, для повышения технологической надежности десублиматора и увеличения выхода продукционных частиц целесообразно уменьшить отложения на стенках. Предложено техническое решение [2] для получения смесей органических продуктов десублимацией позволяющее снизить отложение на стенках. Это достигается использованием перфорированных стенок, через которые продувается воздух, отделяющий десублимированные частицы непосредственно от стенки. На рис. 2 приведена технологическая схема установки для получения смесей продуктов.



**Рис. 2.** Технологическая схема установки: 1 - десублиматоры; 2 - сублиматоры; 3 - теплообменник; 4 - газодувка; 5 - смеситель вертикальный; 6 - рукавный фильтр; 7 - жидкостная ловушка; 8 - реометры сублиматоров; 9 - ротаметры; 10 - дифманометр; 11 - распределительные камеры; 12 - ротаметры горизонтального смесителя; 13 - горизонтальный смеситель

В качестве модельных веществ использовались бензойная кислота и фталевый ангидрид. В сублиматоры 2 засыпались бензойная кислота и фталевый ангидрид. Производился разогрев сублиматоров до рабочей температуры, которая поддерживалась с помощью реле и потенциометра. При работе в сублиматоры через реометр подавался воздух. Происходило испарение находящегося в сублиматорах компонентов. Образовавшаяся паровоздушная смесь поступала в десублиматоры в соответствии с принятой схемой ввода по центру аппарата, где происходил процесс кристаллизации. Осуществление десублимации в объеме достигалось охлаждением пара десублимируемого вещества путем смешения его с равномерно распределенным потоком холодного очищенного воздуха, подаваемого под распределительную решетку десублиматоров. Далее полученный аэрозоль с потоком уносился в смесители 5,13 и рукавный фильтр, где происходило отделение частиц готового продукта и соответственно очищение газа носителя. Воздуходувка нагнетает воздух в сублиматоры через реометр и предохранительный сосуд, а также в распределительные камеры через ротаметры после охлаждения в теплообменнике.

Эксперимент показал отсутствие отложений десублимированного продукта на стенках смесителей 5, 13. Основной объем производимых частиц в виде качественной смеси выгружался из фильтра 6.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гоголев Ю.Г. Получение ультра и мелкодисперсных продуктов десублимацией. / Ю. Г. Гоголев, А. Ю. Донченко // Исследование и разработка в области нанотехнологии – 2013: монография. / Под ред. В. И. Светцова.- Иваново: ИГХТУ, 2013.- с. 20 – 33.
2. Патент № 2426576, МПК В01В 7/02. Устройство для десублимации твердых веществ / Гоголев Ю.Г., Блиничев В.Н., Донченко А.Ю., Касицын А.В.: заявитель и патентообладатель ГОУВПО «Ивановский государственный химико-технологический университет». - № 2010115544/05, заявл. 19.04.10, опубл. 20.08.11, Бюл. № 23.

УДК 621.316.001.2

**М. И. Голубкина, Н. А. Морозов**

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

#### ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВОЗВРАТА И ВРЕМЕНИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА НА НАДЕЖНОСТЬ РАБОТЫ КОНТАКТОРА

**Ключевые слова:** контактор постоянного тока, время срабатывания, время отпадения, коэффициент возврата

**Аннотация:** Показана связь коэффициента возврата и времени срабатывания, отключения и полного рабочего цикла, оказывающих влияние на надёжность работы контактора постоянного тока.

*M. I. Golubkina, N. A. Morozov*

## **INFLUENCE OF RETURN AND RATE TIME OF THE WORKING CYCLE ON THE RELIABILITY OF THE CONTACTOR'S WORK**

**Keywords:** DC contactor, response time, time of failure, return coefficient.

**Abstracts:** The relationship between the return coefficient and the response time, shutdown and full duty cycle is shown that affect the reliability of the DC contactor.

В современных электроприводах всё шире применяют силовые полупроводниковые приборы, которые заняли ведущее место в устройствах распределения электрической энергии, например в системах аварийного включения, требующих минимального времени срабатывания. Системы управления электроприводами оперируют временем срабатывания в диапазоне 0,5–10,0 с, что позволяет успешно использовать в них электромагнитные устройства, обладающие по сравнению с полупроводниковыми системами большей устойчивостью к перегрузкам по току и напряжению, скорости нарастания этих параметров и большей мощностью коммутации. Используют гибридные устройства, в которых решение логических задач управления возложено на полупроводниковые системы, а коммутация силовых цепей на контактную аппаратуру: промежуточные реле и контакторы.

В качестве исполнительных устройств часто используются устройства и машины постоянного тока с обеспечивающими их надёжную работу различного вида реле и контакторов постоянного тока. Это машины и аппараты аварийной поддержки тепловых станций, шахтное оборудование, автокары, погрузчики и ветрогенераторные установки, использующие аккумуляторные батареи. В подобных электроустановках важную роль играют контакторы постоянного тока, надёжность работы которых обеспечивает бесперебойное функционирование всей установки. Одними из важнейших параметров контакторов являются коэффициент возврата и тесно связанные с ним время срабатывания и отпадания, определяющие продолжительность рабочего цикла контактора. Повышение коэффициента возврата и уменьшение времени рабочего цикла контактора увеличивают надёжность работы контактора, что определяет актуальность исследования влияющих на эти параметры факторов.

Собственное время включения контактора состоит из времени нарастания потока в электромагните контактора до значения потока трогания и времени движения якоря. Значительная часть этого времени, в зависимости от противодействующей силы, тратится на нарастание магнитного потока до момента трогания якоря. У рационально спроектированных электромагнитов при притягивании якоря к сердечнику время его движения практически равно времени трогания [1–3]. Время срабатывания контакторов постоянного тока в наибольшей степени зависит от значения тока главных контактов, определяющее габариты аппарата и массу подвижной части. При номинальном токе 100 А собственное время включения составляет 0,14 с, для контакторов с током 630 А оно увеличивается до 0,37 с.

Собственное время отключения контактора это время с момента обесточивания электромагнита контактора до момента размыкания его контактов. Оно определяется в основном временем спада магнитного потока от установившегося значения до потока отпадания. Время от начала движения якоря до момента размыкания контак-

тов заметно меньше времени его движения при срабатывании аппарата, что объясняется большими значениями противодействующей силы при конечном зазоре магнитной системы аппарата. В результате у контакторов постоянного тока клапанного типа время отключения заметно меньше времени срабатывания: при номинальном токе 100 А собственное время отключения составляет 0,07 с, а при токе 630 А – 0,23 с.

Уменьшение времени рабочего цикла контактора постоянного тока, определяемой суммой времени срабатывания и отключения аппарата, может осуществляться воздействием на эти составляющие: время движения и трогания. Методы воздействия на эти составляющие различны.

Время движения якоря при срабатывании определяется силой действия на якорь со стороны электромагнитной системы. Анализ влияния различных факторов на время движения достаточно полно проведён в [1, 2]. От вида характеристики противодействующих усилий, коэффициента запаса по срабатыванию и мощности электромагнита, подаваемого напряжения, соотношения активного сопротивления и индуктивности катушки управления, начального зазора магнитной системы и начального противодействующего усилия возвратной пружины, трения и массы подвижных частей зависит динамическая сила, действующая на якорь и время движения до притяжения к сердечнику электромагнита.

Основной сложностью в расчёте времени движения является отсутствие известной динамической тяговой характеристики электромагнита, на вид которой оказывает влияние скорость движения якоря, а, следовательно, все факторы, воздействующие на неё. Наилучшие результаты расчёта времени движения даёт метод последовательных интервалов Н.Е. Лысова, который в настоящее время не сложно реализовать на базе известных компьютерных программ.

Контакторы постоянного тока выпускаются в основном с замыкающими контактами, в результате время трогания у них заметно меньше времени движения, которое составляет основную долю времени срабатывания.

При отпадании якоря время движения заметно меньше, чем при притягивании якоря к сердечнику. Время прохождения якорем начального участка при отпадании  $t_{отп}$  и при срабатывании  $t_{ср}$  можно оценить по соотношению средних значений сил, действующих на этих участках при отпадании  $F_{отп}$  и при срабатывании  $F_{ср}$ .

$$\frac{t_{отп}}{t_{ср}} = \sqrt[3]{\frac{F_{отп}}{F_{ср}}} \quad (1)$$

Для примера, приведённого в [3] (С 518) имеем  $F_{отп} = 140$  Н и  $F_{ср} = 15$  Н, что даёт соотношение времени равное 2,1. Следовательно, скорость движения якоря при отпадании значительно больше, чем при срабатывании аппарата. Это явление сохраняется в пределах четырёх отрезков пути якоря, согласно величине провала контактов, что сокращает время движения при отпадании в 16 раз.

Методом последовательных отрезков можно рассчитать время движения якоря, как при срабатывании аппарата, так и при отпадании. Для первого отрезка конечную  $V_1$ , среднюю скорость  $V_{ср1}$  и время  $t_1$  прохождения отрезка определяют по формулам

$$V_1 = \frac{F_1 t_1^2}{2m}; \quad V_{CP1} = \frac{F_1 t_1^2}{4m}; \quad t_1 = \sqrt[3]{\frac{4ms}{F_1}}. \quad (2)$$

Здесь  $F_1$  – действующая на якорь сила на первом участке пути;  $m$  – масса якоря;  $s$  – длина участка движения якоря. Для следующего второго участка с конечной  $V_2$ , средней скоростью  $V_{CP2}$  и временем движения  $t_2$  получаем

$$V_2 = V_1 + \frac{a_2 t_2^2}{2} = \frac{F_1 t_1^2}{2m} + \frac{F_2 t_2^2}{2m}; \quad V_{CP2} = \frac{F_1 t_1^2}{2m} + \frac{F_2 t_2^2}{4m}; \quad \frac{F_2}{2m} t_2^2 + \frac{F_1 t_1^2}{4m} t_2 - s = 0. \quad (3)$$

Из квадратичного уравнения определяем значения времени  $t_2$  движения и скоростей на втором участке. Далее продолжают расчёт на всех участках движения. При расчёте времени отпадания берут силу противодействующую на рассматриваемом участке, при расчёте времени срабатывания разность тягового усилия электромагнита и противодействующей характеристики на данном участке. Недостатком предлагаемого аналитического метода расчёта времени движения является невозможность учёта снижения тягового усилия электромагнита при его динамическом характере движения.

Основную часть времени отпадания составляет время трогания, когда магнитный поток в магнитопроводе спадает от установившегося до значения отпадания, определяемого противодействующей силой при конечном зазоре в магнитной системе. Здесь наблюдается тесная связь времени отпадания и коэффициента возврата аппарата. В соответствии с обозначениями рис. 1 коэффициент возврата можно найти по формуле

$$k = \sqrt{1 - \frac{\Delta F}{F_1}}. \quad (4)$$

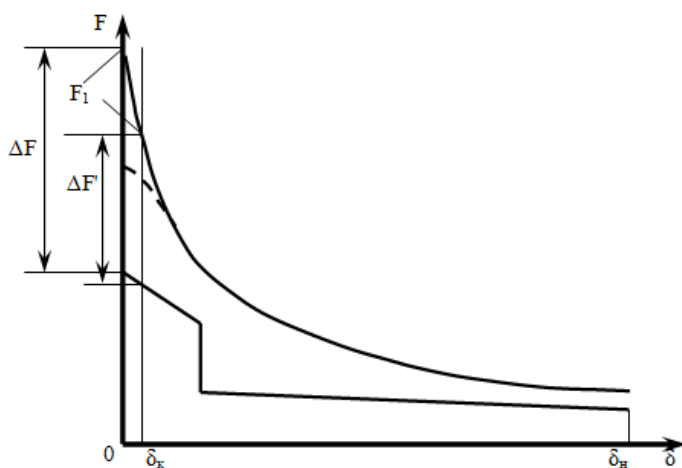


Рисунок. К расчёту коэффициента возврата

Величина  $\Delta F$  определяет разность сил тяговой и противодействующей при конечном зазоре  $\delta_k$ . Если его увеличить, то разность сил уменьшится до значения  $\Delta F'$ , что соответствует повышению коэффициента возврата и уменьшению диапазона спада магнитного потока и необходимого для этого времени. Лучшие результаты даёт установление немагнитной прокладки между сердечником и полюсным наконечником, показано штриховой линией от тяговой характеристики. Таким образом, увеличение коэффициента возврата позволяет уменьшить время отключения контактора и полное время рабочего цикла контактора.



Исследование времени срабатывания и отпадания контактора постоянного тока позволит современными методами и средствами измерения определить соотношения времени трогания и движения якоря контактора при включении и отключении катушки управления. Это позволит выбрать рациональные пути уменьшения времени рабочего цикла контактора и повысить надёжность его работы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тер-Акопов, А.К. Динамика быстродействующих электромагнитов / А.К. Тер-Акопов. – М.–Л.: Энергия, 1965. – 168 с.
2. Мурадов, Э. Ш. Автоматические быстродействующие выключатели постоянного тока для городского наземного электротранспорта (разработки, исследования и реализация): диссертационная работа / Мурадов Эльхан Шахбаба оглы. – Екатеринбург: Изд-во УФУ, 2016 г. – 317 с.
3. Сахаров, П.В. Проектирование электрических аппаратов: учеб. пособие для студентов электротехнических вузов / П.В. Сахаров. – М.: Энергия, 1971. – 560 с.

УДК 533.6.08

*М. В. Гомонай, В. И. Булгаков, В. А. Ермилова, Н. В. Морозова*  
ФГБВОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России

### РАЗРАБОТКА АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СТЕНДА ДЛЯ ОТРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ВЕТРОГЕНЕРАТОРОВ ВОЗДУШНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ

**Аннотация:** Разработан аэродинамический стенд для создания воздушных потоков, используемых для отработки ветрогенераторов воздушного размещения. Определены профили скоростей воздушного потока в двух взаимно перпендикулярных направлениях на расстоянии 0,6 м от выходной плоскости диффузора.

**Ключевые слова:** аэродинамический стенд, ветрогенератор, профиль скоростей, электроэнергия.

*V. I. Bulgakov, M. V. Gomonay, V. A. Ermilova, N. V. Morozova*

### DEVELOPMENT OF AN AERODYNAMIC STAND FOR TESTING MODELS OF WIND TURBINES AIR PLACEMENT

**Abstracts:** Developed an aerodynamic test bench for creating air flows for wind turbine used for working out. The velocity profiles were determined in two mutually perpendicular directions at a distance of 0,6 m from the exit plane of the air distribution diffuser.

**Keywords:** aerodynamic stand, wind turbine, velocity profile, electricity.

Для проведения спасательных и восстановительных работ в зоне ЧС, расположенных в труднодоступных местах или в местах, где отсутствуют стационарные линии электропередачи, требуются автономные источники электрической энергии. Од-

нако, применение традиционных автономных источников электроэнергии, требующих для своей работы жидкое топливо, не всегда возможно, если доставка его сопряжена с большими трудностями, или с большими затратами, или вовсе невозможна.

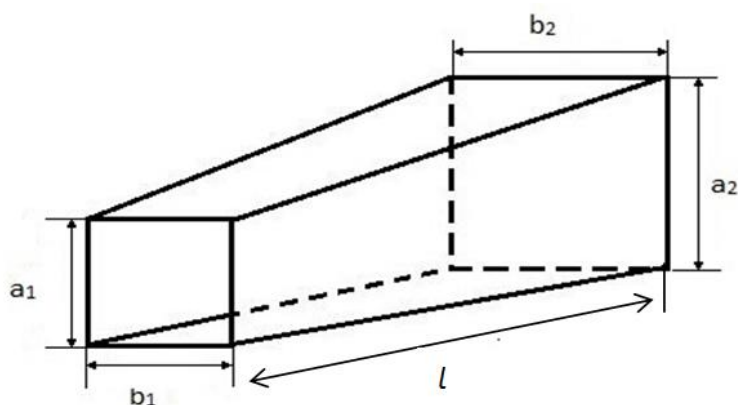
Поэтому необходимо применять другие источники электроэнергии, которые должны быть автономными, мобильными и использовать для своей работы возобновляемые источники энергии. К таким устройствам относятся ветрогенераторы воздушного размещения [1], одним из достоинств которых является использование энергии воздушного потока, причем на высоте всегда дуют ветры, а с высотой скорость ветра возрастает. Поэтому их применение позволяет получать электроэнергию постоянно.

В Академии гражданской защиты был получен патент на изобретение [2] на такое устройство и разработан ряд различных схем подобных ветрогенераторов.

Для отработки конструкции ветрогенератора и выбора наиболее работоспособной конструкции, необходимо проводить их испытания в лабораторных условиях. Для этого каждую модель ветрогенератора требуется помещать в воздушный поток, имитирующий ветровой поток на высоте.

В первой серии экспериментов воздушный поток создавался бытовым вентилятором CROWN мощностью 70 Вт. Была определена принципиальная возможность получения электроэнергии на таком ветрогенераторе [1]. Однако мощности используемого вентилятора не хватало для полномасштабного испытания разрабатываемой модели.

Вторым этапом в проведении работ в этом направлении было использование в качестве генератора воздушного потока радиальный центробежный вентилятор низкого давления ВР 80-75-2,5 мощностью 0,55 кВт и производительностью до  $2 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>/ч. Однако при первых же включениях этого вентилятора была обнаружена сильная неравномерность воздушного потока на выходе из вентилятора. Поэтому для выравнивания поля скоростей воздушного потока, а также увеличения площади поперечного сечения воздушного потока на выходе из вентилятора был установлен прямоугольный диффузор (рис. 1) с сетками на входе и выходе из диффузора. На входе в диффузор устанавливалась сетка с пористостью 0,64, а на выходе – с пористостью 0,26.



**Рис. 1.** Схема прямоугольного диффузора с углом раствора  
 $a_1=b_1=0,17$ м;  $a_2=b_2=0,44$ м;  $l=0,88$ м

Производились измерения скорости воздушного потока на выходе из диффузора в двух взаимно перпендикулярных направлениях, на различных расстояниях 0,1...0,6 м от плоскости диффузора. Измерение местной скорости производилось при помощи термоанемометра GM 8903с шагом 2 см. В каждой точке фиксировалось 15 значений скорости и при построении графиков использовались средние значения скорости воздушного потока в фиксированной точке пространства.

На рис. 2, 3 показаны распределения скоростей в вертикальной плоскости на различных расстояниях от выходной плоскости диффузора, а на рис. 4, 5 – распределения скоростей в горизонтальной плоскости.

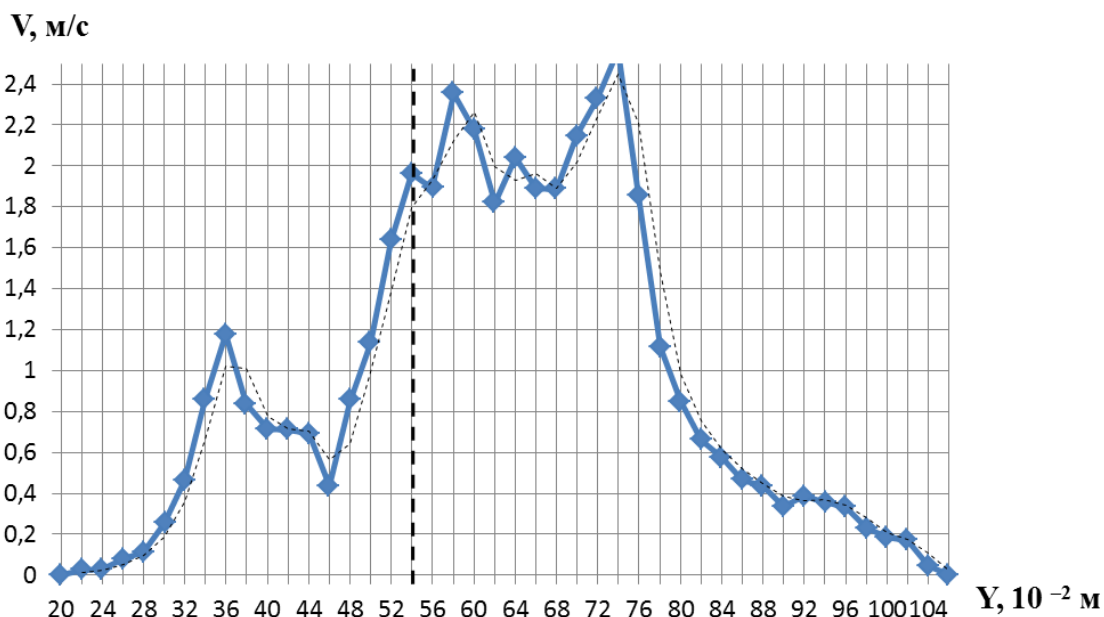


Рис. 2. Распределение скорости воздушного потока в вертикальной плоскости на расстоянии 0,1 м от плоскости диффузора

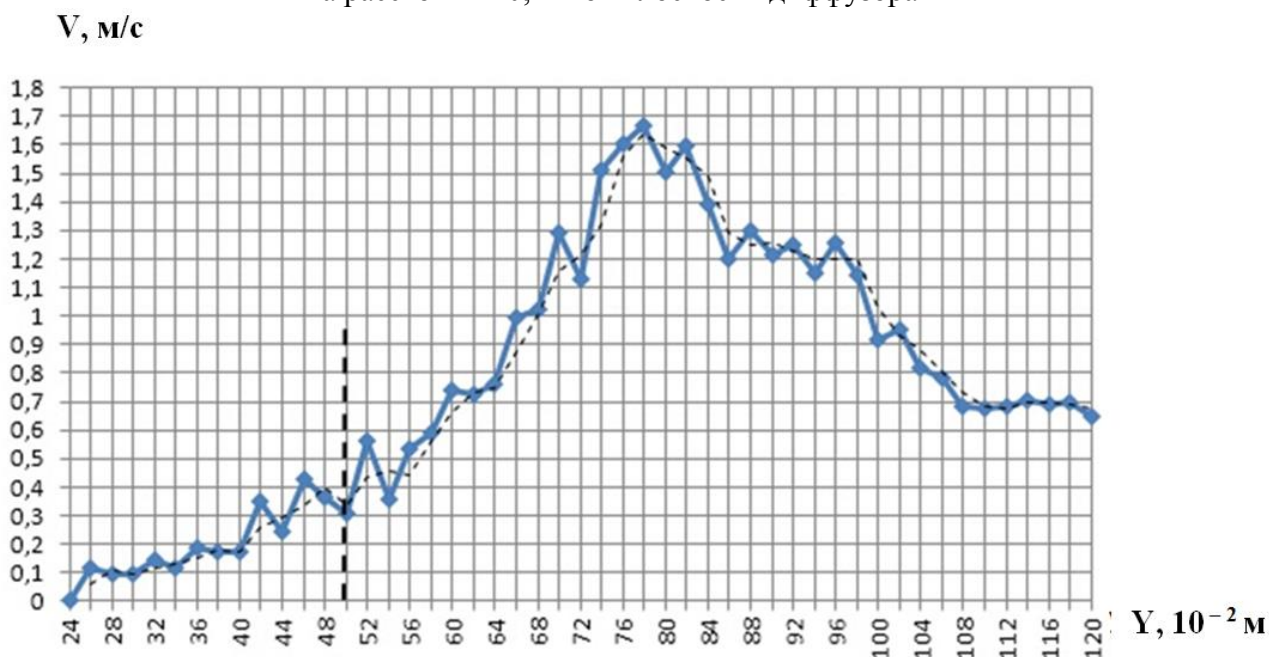
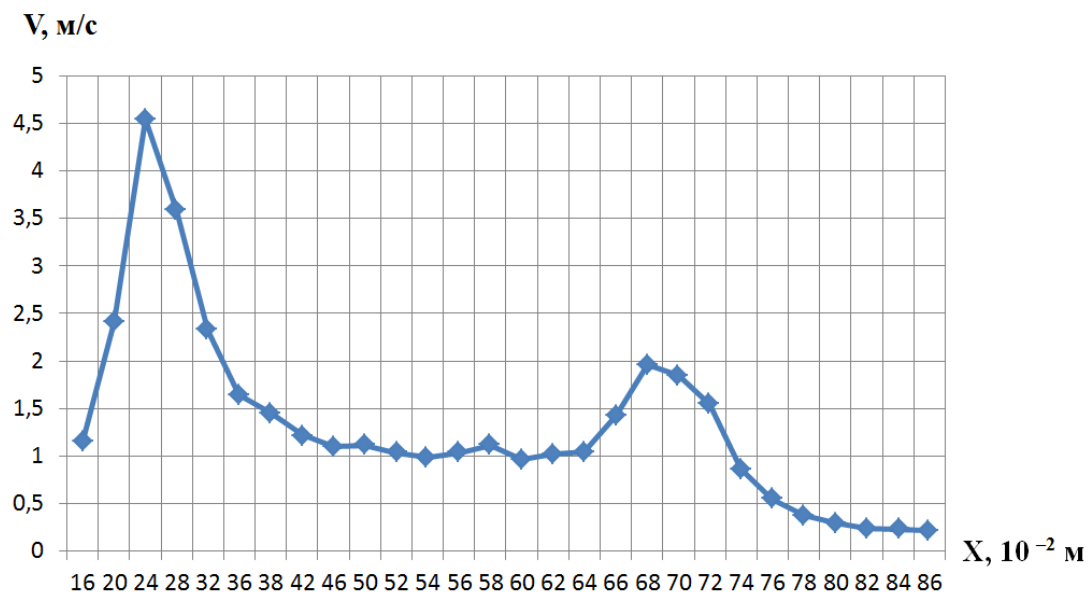
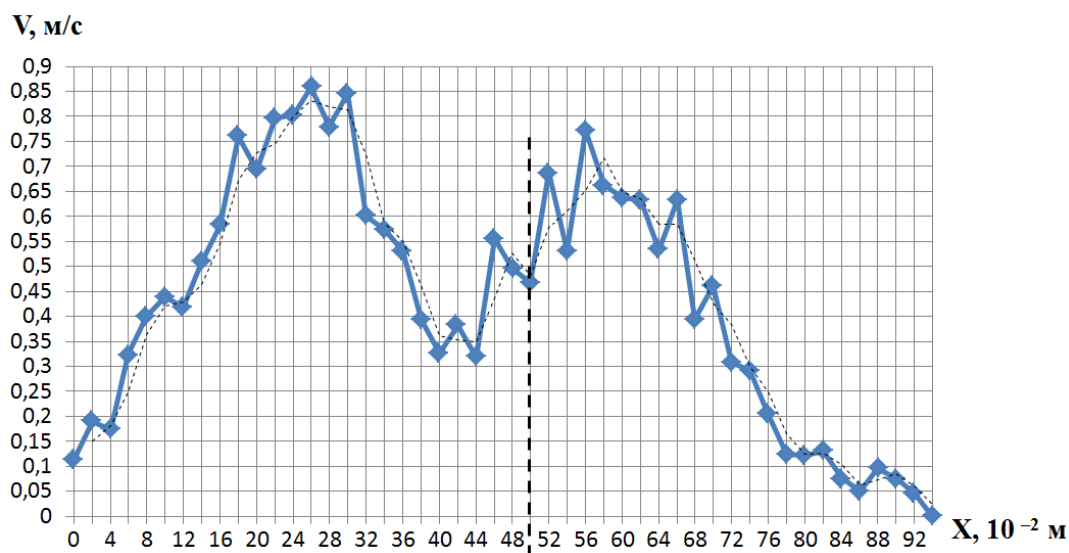


Рис. 3. Распределение скорости воздушного потока в вертикальной плоскости на расстоянии 0,6 м от плоскости диффузора



**Рис. 4.** Распределение скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 0,1 м от плоскости диффузора



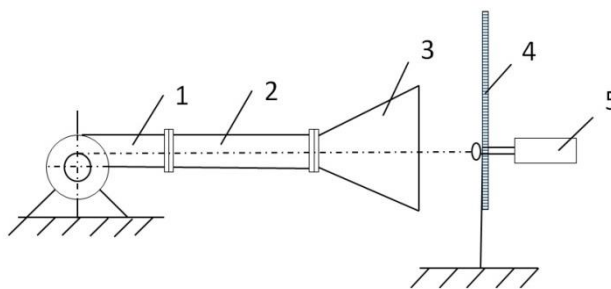
**Рис. 5.** Распределение скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 0,6 м от плоскости диффузора

Как показали эксперименты распределение скоростей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях также неравномерно, хотя с расстоянием эта неравномерность уменьшается. Причем в вертикальной плоскости неравномерность больше, чем в горизонтальной плоскости. Это объясняется тем, что крыльчатка вентилятора в большей степени подает воздух в верхнюю полуплоскость диффузора.

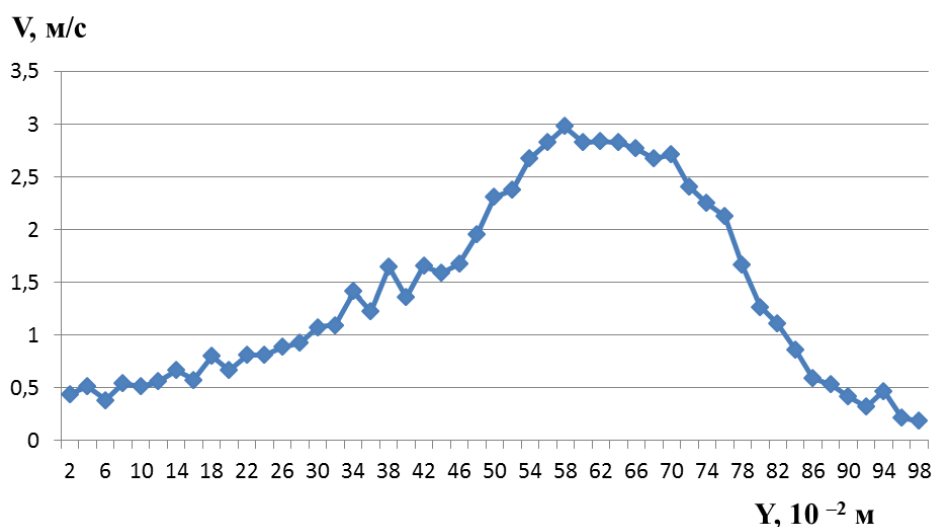
Для дальнейшего уменьшения неравномерности воздушного потока между вентилятором и диффузором был установлен промежуточный короб с размерами 20×20×172 см.

На рис. 6 показана схема аэродинамического стенда с промежуточным коробом. Кроме этого на выходе из диффузора была закреплена сетка с пористостью 0,64.

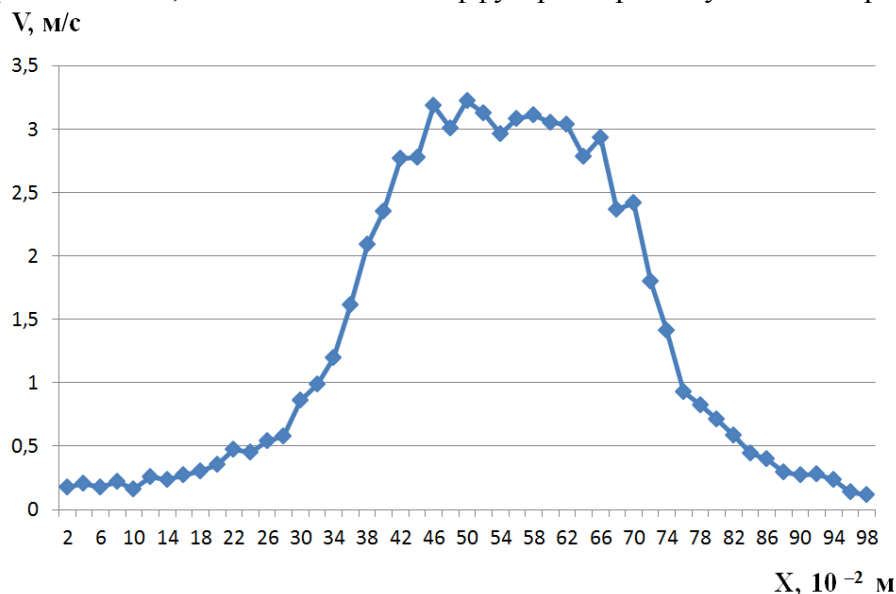
Последующая серия экспериментов по определению профиля скоростей воздушного потока в двух взаимно перпендикулярных плоскостях проводилась на расстоянии 0,6 м от выходной плоскости диффузора. На рис. 7 и 8 показаны результаты экспериментов.



**Рис. 6.** Схема аэродинамического стенда с участком стабилизации:  
1 – вентилятор; 2 – стабилизирующий участок;  
3 – диффузор; 4 – линейка; 5 – термоанемометр



**Рис. 7.** Распределение скорости воздушного потока в вертикальной плоскости на расстоянии 0,6 м от плоскости диффузора с промежуточным коробом



**Рис. 8.** Распределение скорости воздушного потока в горизонтальной плоскости на расстоянии 0,6 м от плоскости диффузора с промежуточным коробом

Из графиков хорошо видно, что профили скоростей существенно выровнялись и стали симметричны относительно оси диффузора.

Таким образом, модернизированный аэродинамический стенд с промежуточным коробом позволяет получать при выходе симметричные потоки воздуха, которые можно использовать для моделирования воздушных потоков, воздействующих на крыльчатку ветрогенератора воздушного размещения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет о научно-исследовательской работе по теме: «Анализ возможности использования аппаратов легче воздуха с целью получения электрической энергии для проведения спасательных работ в Арктическом регионе». АГЗ, Химки, 2014. – 40 с.

2. Патент на изобретение № 2637161 «Высотная ветроэнергетическая станция воздушного размещения». Авторы: Булгаков В.И., Гомонай М.В. – 2017.

УДК 614.84

*А. В. Гутовский, М. В. Гомонай, Ю. О. Беспалова*  
ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»

### ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МОБИЛЬНОМУ СРЕДСТВУ ЗАЩИТЫ БОЕВОГО РАСЧЕТА ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ ОТ ПОВЫШЕННЫХ ТЕПЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ОЧАГЕ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

**Ключевые слова:** технические требования, средство защиты, верховой пожар, мобильность, пожарные.

**Аннотация:** В статье рассмотрен вопрос о технических требованиях к мобильному средству защиты боевого расчета пожарного автомобиля от повышенных тепловых воздействий в очаге лесного пожара.

*A. V. Gutovskiy, M. V. Gomonay, J. O. Bepalova*

### TECHNICAL REQUIREMENTS FOR A MOBILE MEANS OF PROTECTION FIGHTING CREW OF THE FIRE TRUCK AGAINST HIGH THERMAL EFFECTS IN THE OUTBREAK OF A FOREST FIRE

**Keywords:** technical requirements, means of protection, crown fire, mobility, firefighters.

**Abstracts:** The article deals with the technical requirements for a mobile means of protection of the firefighting crew of a fire truck from increased thermal effects in the hearth of a forest fire.

В Российской Федерации лесные пожары периодически достигают таких масштабов, что их приходится классифицировать как чрезвычайную ситуацию. При этом, в установленном порядке Постановлением правительства РФ [5] для ликвидации привлекаются и подразделения МЧС России, как элемент системы РСЧС.

Согласно таблице оснащенности подразделений федеральной противопожарной службы МЧС России для защиты от тепловых воздействий могут применяться технические средства защиты: боевая одежда пожарного, каска пожарного, средства индивидуальной защиты рук пожарных, средства индивидуальной защиты ног пожарных, специальная защитная одежда от повышенных тепловых воздействий ТК-800, термоагрессивостойкий костюм, радиационно-защитный комплект одежды, теплозащитный экран с водяным орошением. Они в основном предназначены для применения в техногенных пожарах, однако, при попадании людей в окружение горячей кромкой лесного пожара, средства защиты не обеспечивают необходимой безопасности, что неоднократно приводило к гибели или травмированию личного состава пожарных подразделений. Это связано с тем, что при разработке требований к указанным средствам защиты не учитывались параметры тепловых воздействий, которые способны создавать лесные пожары. Согласно исследований [8] на высоте до 3 м от поверхности земли плотность тепловых потоков верховых лесных пожаров может составлять  $260 \text{ кВт/м}^2$  и температура окружающей среды  $640 \text{ }^\circ\text{C}$  с временем воздействия до 900 с., при этом, с учетом скорости движения и ширины горячей кромки пожара, человек может контактировать с открытым пламенем и нагретыми твердыми поверхностями (лесными горючими материалами) в течение 96 с. Необходимо учесть показатели выше указанных параметров в теплофизических требованиях к материалам средства защиты, поскольку именно от их свойств на 70% зависят параметры защиты изделия. Теплофизические требования, прежде всего, характеризуют защиту и стойкость изделия к тепловым нагрузкам: воздействию ИК-излучения, открытому пламени, газовой среде с высокой температурой, контакту с нагретыми твердыми поверхностями [3].

С учетом того, что предполагается нахождение пожарного в эпицентре очага горения, необходимо предусмотреть его изоляцию от тепловых нагрузок со всех сторон в течение всего времени воздействия опасных факторов пожара. Выполнение данного условия можно обеспечить применением конструктивного исполнения изделия в виде палатки в форме полусферы, обеспечивающей наибольшую устойчивость по сохранению формы под воздействием сильных конвективных потоков воздуха [4], создаваемых лесными пожарами. Такая конструкция позволяет, за счет обеспечения достаточной толщины воздушной прослойки между средством защиты и человеком, исключив контакт (т.е. передачу тепла теплопроводностью) во время его нахождения во внутреннем пространстве, влиять на время наступления предельно допустимой температуры, тем самым обеспечить достаточную тепловую защиту в течение заданного времени (900 с).

Для обеспечения мобильности пожарных подразделений, необходимо, что бы применяемые материалы, помимо соответствия теплофизическим требованиям, обладали минимальной массой и объемом. Современные материалы позволяют создать мобильное средство защиты, перевозимое в автомобиле [2], при этом, для обеспечения возможности снятия средства с автомобиля и переноски его к месту разворачивания одним пожарным, согласно Правил по охране труда [6], его масса не должна превышать 30 кг. и согласно эргономических требований стандарта [1] изделие должно иметь следующими габаритные размеры в транспортном положении: длина менее 1,6 м, ширина менее 0,6 м, высота менее 1,2 м., т.е. объем не должен превышать  $1,125 \text{ м}^3$ . При этом материалы мобильного средства должны иметь минимальную стоимость.

С целью защиты пожарных в период нахождения во внутреннем пространстве мобильного средства защиты от воздействия таких опасных факторов пожара как повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения и пониженная концентрация кислорода [7] должна быть обеспечена совместимость изделия со средствами индивидуальной защиты органов дыхания изолирующего типа (СИЗОД). Вследствие чего, температура воздуха внутри средства защиты не должна превышать пределов рабочего диапазона температур СИЗОД (т.е. 60 °С).

Так как после прохождения горячей кромки предусматривается выход пожарных из средства защиты с последующей эвакуацией в безопасное место в противоположном направлении движения пожара по выгоревшей местности, необходимо что бы личный состав был экипирован боевой одеждой пожарного, каской, средствами защиты рук и ног, что также должно учитываться при создании средства защиты, обеспечивая их совместимость при применении.

Одним из важных требований к конструктивному исполнению является обеспечение минимального времени приведения из походного в рабочее положение, это продиктовано экстремальными условиями при окружении огнем, когда время до подхода горячей кромки стремительно убывает.

В случае возникновения аварийной ситуации, конструкция должна предусматривать возможность экстренной эвакуации людей из средства защиты.

Согласно требований эргономики и физиолого-гигиены должно обеспечиваться поддержание допустимого теплового состояния организма человека в течение всего времени нахождения внутри средства защиты, а также исключение выделения вредных веществ из материалов под воздействием высоких температур, оказывающих негативное влияние на организм.

Не исключается создание средства защиты с назначением однократного применения с последующей его утилизацией без восстановления. Однако, с целью достижения наименьшей стоимости изделия и повышения надежности, необходимо обеспечить простоту конструкции, минимизировав количество составных элементов, что позволит снизить вероятность выхода из строя одной из составляющих частей способной воспрепятствовать выполнению защитной функции изделия.

Анализ патентных исследований существующих решений выявил ряд недостатков, которые были учтены при разработке новой конструкции (заявка на изобретение №2018120912 от 06.06.2018). В настоящий момент получено положительное решение на выдачу патента. В данном направлении ведутся диссертационные исследования, целью которых является создание мобильного средства защиты боевого расчета пожарного автомобиля от повышенных тепловых воздействий в очаге лесного пожара.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования. [Электронный ресурс] URL: <http://www.internet-law.ru/gosts/gost/15210/>. (дата обращения: 09.03.2019).
2. Гутовский А.В. К вопросу создания мобильного средства защиты пожарных подразделений от тепловых воздействий при окружении верховым лесным пожаром // Сб. материалов Международной научно-практической конференции «Инновационные подходы к решению проблем «Сендайской рамочной программы по снижению риска бедствий на 2015-2030 годы»», 19-20 октября 2018 г. – Казань: Изд-во КНИТУ-КАИ, 2018. – С. 34-38.



3. Логинов В.И. «Конструирование и комплексная оценка качества специальной защитной одежды пожарных». Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М., 2010, 244 с.

4. Пневматические строительные конструкции: [Сб. ст.] / Под ред. В.В. Ермолова. – М. : Стройиздат, 1983. – 437 с.

5. Постановление Правительства Российской Федерации от 5 мая 2011 г. № 344 «Об утверждении Правил привлечения сил и средств подразделений пожарной охраны для ликвидации чрезвычайной ситуации в лесах, возникшей вследствие лесных пожаров». – М.: 2011. – 3 с.

6. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 17.09.2014 г. № 642н «Об утверждении Правил по охране труда при погрузочно-разгрузочных работах и размещении грузов». [Электронный ресурс] URL: <https://base.garant.ru/70788876/>. (дата обращения: 09.03.2019).

7. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». [Электронный ресурс]. <http://base.garant.ru/12161584/>. (дата обращения: 10.03.2019).

8. Butler B.W., Cohen J.D., Latham D.J., Schuette R.D., Sopko P., Shannon K.S., Jimenez D. and Bradshaw L.S. Measurements of radiant emissive power and temperatures in crown fires.// Canadian Journal of Forest Research. – 2004. – Vol. 34, no. 8. – Pp. 1577-1587.

УДК 614.842

*Н. Р. Ерженин, М. В. Гомонай*

ФГБВОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России

## **РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ТУШЕНИЯ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ**

**Ключевые слова:** низовой пожар, средства и способы тушения, робототехническое средство, применение.

**Аннотация:** приведен анализ современных средств для тушения низовых пожаров и предложен роботизированный комплекс для выполнения этой операции.

*N. R. Erzhenin, M. V. Gomonay*

## **ROBOTIC COMPLEX FOR GROUND FIRE FIGHTING**

**Keywords:** ground fire, extinguishing agents, robotic means, application.

**Abstracts:** Analyzed modern means for ground fire fighting and propose a solution to robotic complex for performing this operation.

Каждый год по всему миру происходят различного рода происшествия, катастрофы и бедствия. Пожары являются одним из факторов природных и техногенных катаклизмов, которые несут за собой большой экологический и экономический ущерб, и что самое главное огонь уносит и жизни людей [1].

Часто встречающимся видом лесного пожара является низовой. В основе его лежит возгорание лесной подстилки и характеризуется он распространением огня по напочвенному покрову. В этом случае горит лесной опад, состоящий из мелких ветвей, хвои, коры, листьев и пр. Низовой пожар также имеет место в полях, где горит трава это так называемый «пал».

Низовые пожары по интенсивности горения подразделяются на слабые, средние и сильные (таблица). Интенсивность пожара определяется количеством тепла, которое выделяется с единицы длины фронта пожара в единицу времени (кВт/ч), а в полевых условиях определяется глазомерно по высоте пламени.

*Таблица 1. Характеристика низовых пожаров*

<b>Интенсивность</b>	<b>Скорость распространения, м/мин</b>	<b>Высота, м</b>
Слабый	менее 1	до 0,5
Средний	1 – 3	0,5 – 1,5
Сильный	свыше 3	от 1,5

По скорости распространения огня низовые пожары делятся на устойчивые и беглые. Первые характеризуется полным сгоранием напочвенного покрова и лесной подстилки, а также в большей степени развиваются в засушливые времена года, когда подстилка просыхает по всей толщине залегания.

Беглая форма проявляется чаще всего в весенний период, когда подсыхает лишь самый верхний слой мелких горючих материалов напочвенного покрова и прошлогодняя травянистая растительность. Скорость распространения огня находится в прямой зависимости от скорости ветра в приземном слое. В результате такого пожара погибает большая часть самосева леса, сгорает кора внизу деревьев, подлесок и подрост получает повреждения, даже при том, что такая форма низового пожара считается наиболее безвредной [2].

Также к видам низовых пожаров относится горение валежника, возникновение которого обусловлено большим скоплением так называемого «лесного хлама». К данной категории можно отнести усохшие или упавшие деревья из-за болезней и повреждений, плохо убранные лесосечные места от остатков вырубки, неочищенные ветровальники. Указанный пожар обладает большой интенсивностью горения и скоростью распространения. Ликвидация таких возгораний усложняется тем, что эти зоны труднодоступны для технических средств.

Потушить пожар означает прекратить процесс горения, который в свою очередь можно прервать с помощью исключения одного из трех элементов: кислород, горючий материал или высокой температуры. Для ликвидации горения можно использовать один или несколько физических принципов: ограничение поступления кислорода; охлаждение горящих материалов до прекращения пиролиза; лишение огня проводников горения путем уборки горячих материалов на пути пожара или обработки последних составами, препятствующими горению; отрыв пламени от горючего.

Методы тушения природных пожаров определяются способами тушения и применяемыми при этом техническими средствами. Наиболее распространенными из таковых являются:

1. Захлестывание кромки низовых пожаров;
2. Засыпка кромки низовых пожаров грунтом;

3. Тушение пожара водой;
4. Тушение пожара химикатами;
5. Тушение пожара воздуходувками;
6. Прокладка заградительных минерализованных полос и канав.

Борьба с лесными пожарами низового типа при помощи штатных пожарных расчётов подразумевает использование техники и подразделений службы пожарной безопасности муниципальных образований. Тушение производится с применением пожарных брандспойтов и машин, обеспечивающих подвоз воды в зону тушения. А также активно используются средства пенообразования, огнетушители.

Так, например, при горении валежника, буреломов и завалов производят засыпку и захлестывание кромки огня. С помощью подручных средств можно бороться с локальными очагами возгорания, однако использование людей в качестве землекопов при прокладке огнезащитных полос нерационально — темп работы будет существенно ниже необходимого, и пожар вряд ли удастся оперативно остановить.

При тушении лесных низовых пожаров активно используются и ранцевые огнетушители различных модификаций (РЛО-М, ОЛУ-16 и др.).

При мощном слое подстилки и на задернелых почвах ранцевая аппаратура менее эффективна и имеет ограниченное применение.

Для тушения кромки пожара можно использовать переносные лесопожарные воздуходувки, которые обеспечивают тушение пламени лесного пожара, так называемым, воздушно-сухим и воздушно-жидкостным потоком, а также увлажнением подстилки или обработка пенным раствором, а также для организации встречного огня. Использование воздуходувок позволяет повысить производительность труда на лесопожарных работах в 3-5 раз, снизить удельные затраты на тушение пожаров в 1,5-2 раза, по сравнению с ручными инструментами.

При тушении пожаров водными ресурсами большое применение получили мотопомпы, подающие воду из гидроисточника по пожарным рукавам на кромку пожара [3].

Большинство возникающих в стране пожаров ликвидируются с использованием пожарно-спасательной техники, основу которой составляют мобильные средства пожаротушения. Отечественные производители специально для тушения лесных пожаров выпускают пожарные автоцистерны, работающие на укрепленных шасси, имеющих повышенную проходимость (модели ГАЗ 4x4, КамАЗ 4x4 и 6x6, ЗИЛ 6x6), а также лесопожарные агрегаты, работающие на базовой основе гусеничного и колёсного тракторного парка.

Существующие технические средства, используемые при тушении низовых пожаров, как показал анализ, имеют ряд недостатков:

1. Низкий темп работы при захлестывании и засыпка грунтом кромки низовых пожаров;
2. Ранцевые огнетушители охватывают слишком малую область тушения и требуют постоянной дозаправки.
3. Тушения воздуходувками, осложняется технологией их применение, а также их высокой стоимостью.
4. При использовании мотопомп ограничена высота установки над водой без применения дополнительных устройств (около 7 метров).

Для повышения эффективности процесса тушения низового пожара, на основе применения морфологического анализа решения технической проблемы, авторами предложен многофункциональный роботизированный комплекс, который позволит бороться с данным типом пожара удаленно, без непосредственного участия спасателя на месте работы и, что куда важнее, более результативно, по сравнению с представленными ранее средствами тушения. Главным принципом тушения низового пожара будет засыпка верхним слоем земли огненного пламени, за счет вращающегося вала с щетками, который будет находиться в передней части робота. Также данный роботизированный комплекс обладает возможностью прокладывать минерализованную полосу, расчистку пути с помощью небольшого отвала, орошением близлежащей поверхности и слежением за изменяющейся ситуацией в ходе выполнения работ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон ФЗ № 69 «О пожарной безопасности» от 21.12.1994.
2. Иванов В.А., Иванова Г.А., Москальченко С.А. Справочник по тушению природных пожаров; проект ПРООН/МКИ “Расширение сети ООПТ для сохранения Алтае-Саянского экорегиона”-2-е изд., перераб. и доп.-Красноярск, 2011.-130 с.
3. Терехин В.В., Артемьев Н.С., Думилин А.И.- Противопожарная защита и тушение. Книга 2. – М.: Пожнаука, 2006. – 412 с.

УДК 629.3

*Л. В. Жуков, И. И. Гребенюк, А. Л. Бараш*

ФГКВОУ ВО Военный институт (инженерно-технический) Военной академии материально-технического обеспечения

### РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ НАГРЕВАТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ДИЗЕЛЯ АВТОМОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

**Ключевые слова:** Дизель, нагревательный элемент, моторное масло.

**Аннотация:** В статье представлены результаты экспериментальных исследований работы нагревателя масла дизеля автомобильной техники, разработанного с целью повышения эффективности тепловой подготовки двигателя внутреннего сгорания.

*L. V. Zhukov, I. I. Grebenyuk, A. L. Barash*

### THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE HEATING ELEMENT OF THE DIESEL AUTOMOTIVE EQUIPMENT

**Keywords:** Diesel, heating element, engine oil.

**Abstract:** the article presents the results of experimental studies of the diesel oil heater of automotive equipment, designed to improve the efficiency of thermal preparation of the internal combustion engine.

Большая часть Российской Федерации находится в зоне сурового климата, который охватывает территорию трех военных округов (Западный, Центральный и Восточный), где продолжительность морозного периода составляет более 200 дней в году. Температура воздуха в такой зоне (Крайний Север, Дальний восток и т.д.) может опускаться до минус 50°C. Согласно метеоданных минимальная температура на Дальнем Востоке составляет минус 30°C, в Арктике от минус 40 до минус 60°C [3].

Проведенные исследования эксплуатации военной автомобильной техники, размещенной в арктической климатической зоне показали, что использование штатных предпусковых подогревателей при температуре воздуха ниже минус 25°C является неэффективным, что в свою очередь оказывает влияние на пусковые качества и техническое состояние дизельных двигателей и как следствие затраты на техническое обслуживание и ремонт увеличиваются примерно с до 12%.

Для достижения требуемого уровня готовности автомобильной техники к пуску в условиях низких (особо низких) температур была разработана методика подготовки к пуску дизелей автомобильной техники в условиях низких температур, учитывающая влияние тепловых процессов, протекающих в рабочей жидкости системы смазки и устройство тепловой подготовки масла дизеля [1, 2].

Для контроля теплового состояния экспериментальной установки на нее были установлены хромель-копелевые термодатчики в следующих точках (рис. 1):

- в устройство – 3 шт.;
- в головку блока цилиндров перед термостатом системы охлаждения;
- в систему смазки: в центре объема моторного масла в поддоне картера;
- под пробку в электролит штатных АКБ.

Серии опытов эксперимента по тепловой подготовке масла проверялись на воспроизводимость по критерию Кохрена при числе параллельных опытов  $m = 3$  и степеней свободы  $f = 2$  при доверительной вероятности 0,95. Рассчитанные значения  $G_{расч}$  по каждому опыту были меньше значения  $G_{(0,05,N,u)} = 0,629$ , что указывает на воспроизводимость процесса.

Далее рассчитав коэффициенты уравнения регрессии по указанной выше методике проведения экспериментальных исследований тепловой подготовки масла, и обработки полученных результатов опытов в программе статистика *STATISTICA 10* были получены следующие эмпирические зависимости (рис. 2–4):

1. Математическая зависимость температуры масла в зоне нагрева от значения времени и силы тока на нагревателе.

$$T_7 = -12808,7638 + 977,0487 \cdot I + 0,0599 \cdot t \quad (1)$$

где  $T_7$  – температура масла в зоне нагрева;

$I$  – сила тока, проходящая через нагреватель;

$t$  – время нагрева масла.

2. Математическая зависимость температуры масла у левой стенки смазочной емкости от значения силы тока в цепи нагревателя и времени нагрева масла.

$$T_8 = 980,8395 - 78,5781 \cdot I + 0,0708 \cdot t \quad (2)$$

где  $T_8$  – температура моторного масла у левой стенки смазочной емкости;

$I$  – сила тока, проходящая через нагреватель;

$t$  – время нагрева масла.

3. Математическая зависимость температуры масла у правой стенки смазочной емкости от значения силы тока в цепи нагревателя и времени нагрева масла.

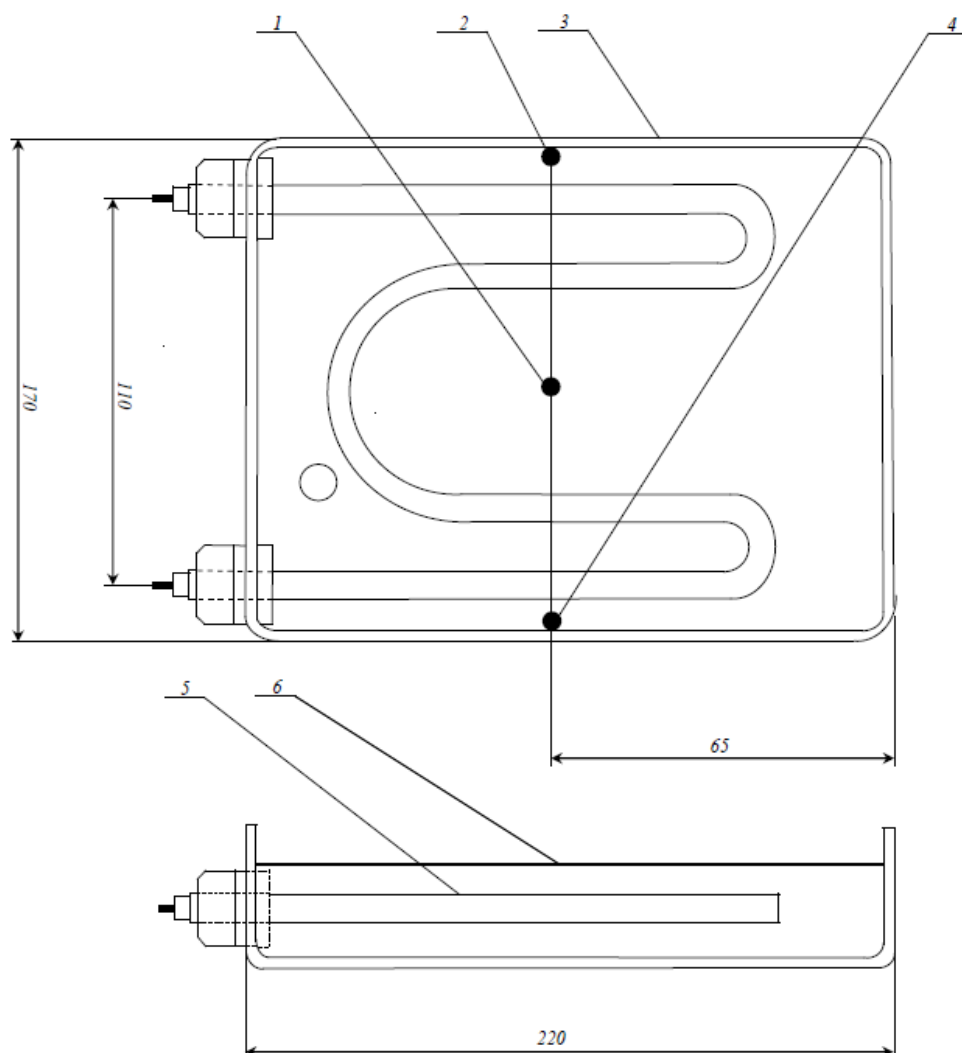
$$T_3 = 1303,1131 - 103,304 \cdot I + 0,0732 \cdot t \quad (3)$$

где  $T_3$  – температура моторного масла у правой стенки смазочной емкости;

$I$  – сила тока, проходящая через нагреватель;

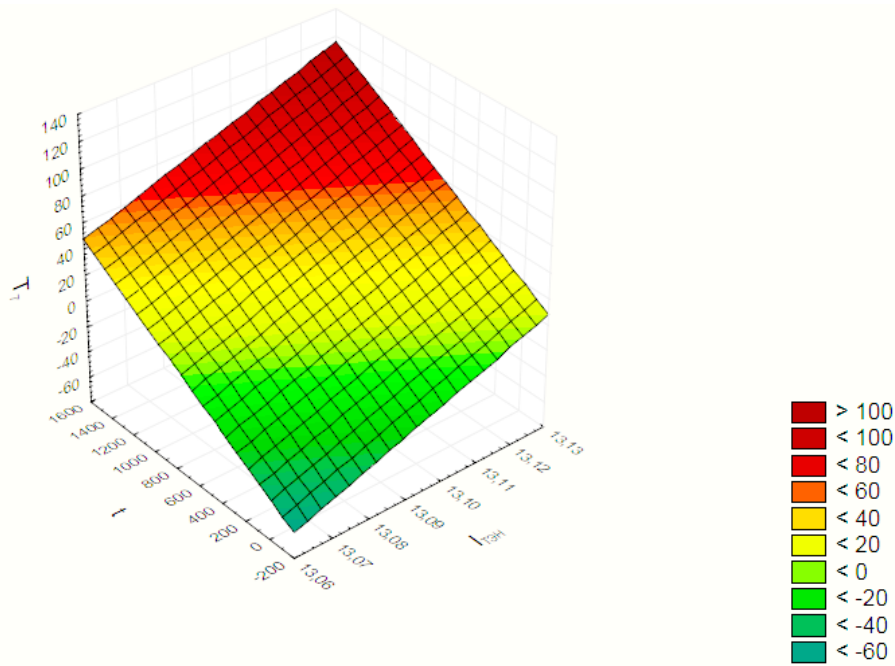
$t$  – время нагрева масла.

Проверка значимости коэффициентов уравнений регрессии по критерию Стьюдента для двухфакторного эксперимента при числе опытов в соответствии с матрицей планирования равном  $N = 4$  показал, что все коэффициенты значимы и их значение больше  $t_{кр} = 3,832$  ( $t_N = 4$ ,  $m = 3$ ,  $f = 8$ ,  $p = 0,95$ ).

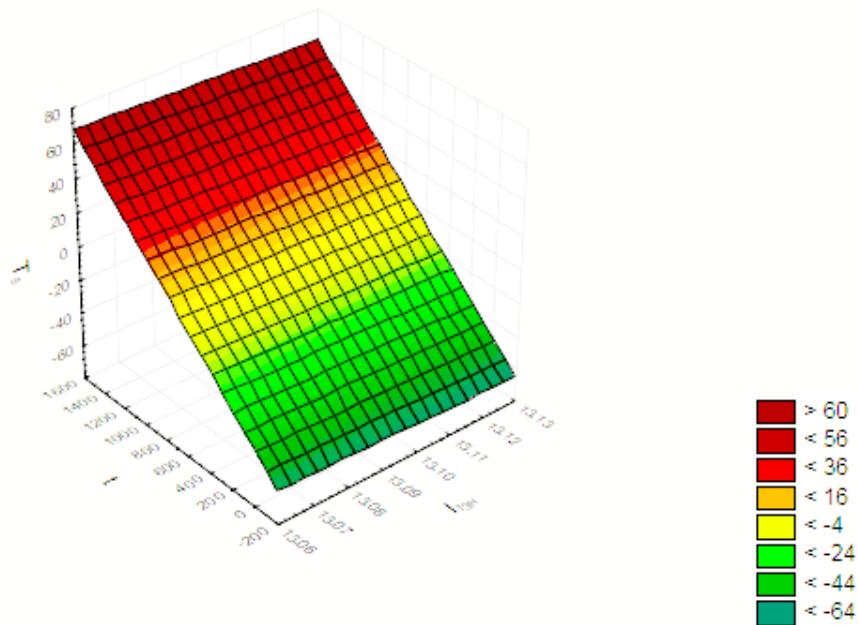


**Рис. 1.** Схема размещения термодпар на устройстве тепловой подготовки:

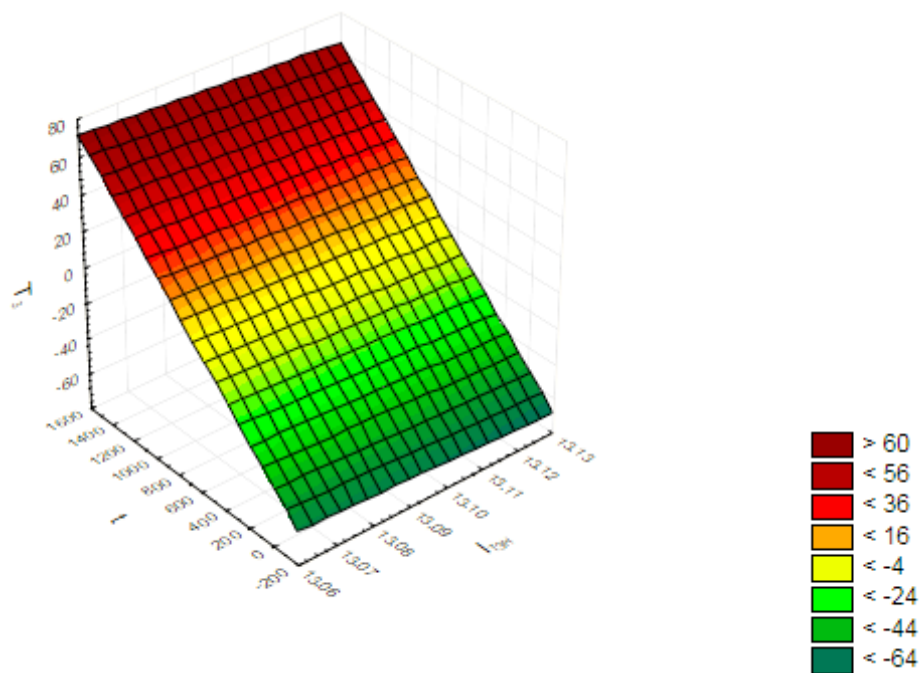
1 – термодпара №7; 2 – термодпара №8; 3 – корпус устройства тепловой подготовки масла;  
4 – термодпара №3; 5 – нагреватель; 6 – уровень масла



**Рис. 2.** 3d-модель зависимости температуры масла в зоне нагрева от значения силы тока в цепи нагревателя и времени нагрева масла  
 $T_7(z)$  – температура масла в зоне нагрева;  $I(x)$  – сила тока в цепи нагревателя;  
 $t(y)$  – время нагрева масла



**Рис. 3.** 3d-модель зависимости температуры масла у левой стенки смазочной емкости от значения силы тока в цепи нагревателя и времени нагрева масла  
 $T_8(z)$  – температура масла у левой стенки смазочной емкости;  $I(x)$  – сила тока в цепи нагревателя;  
 $t(y)$  – время нагрева масла



**Рис. 4.** 3d-модель зависимости температуры масла у правой стенки смазочной емкости от значения силы тока в цепи нагревателя и времени нагрева масла  
 $T_3(z)$  – температура масла у правой стенки смазочной емкости;  $I(x)$  – сила тока в цепи нагревателя;  $t(y)$  – время нагрева масла

Проверка адекватности уравнений регрессии по критерию Фишера для двухфакторного эксперимента при числе опытов в соответствии с матрицей планирования равном  $N = 4$  показал, что все уравнения адекватны и их расчетные значения меньше  $F_{(0,05,f_{ad},f_u)} = 5,32$  ( $t_N = 4, f_{ad} = 8, f_u = 1$ ) и  $F_{(0,05,f_{ad},f_u)} = 3,84$  ( $t_N = 4, f_{ad} = 8, f_u = 4$ )

Проверка достоверности результатов теоретического исследования проводилась по нескольким основным параметрам сила тока, проходящая через нагреватель и температура масла в исследуемой области смазочной емкости. Проведенные экспериментальные исследования позволили уточнить значения температуры масла в смазочной емкости при тепловой подготовке дизеля к пуску и необходимой силе тока, проходящей через нагревательный элемент масла в смазочной емкости.

Таким образом время тепловой подготовки масла при температуре минус  $50^{\circ}\text{C}$  не превысит общего времени подготовки двигателя к пуску, а даже снизит его на 17% (25 минут). Результаты теоретических и экспериментальных исследований обладают удовлетворительной сходимостью, что позволяет утверждать о достаточной точности математической модели тепловой подготовки масла и ее адекватности. Средняя температура в зоне нагрева масла смазочной емкости составит  $70^{\circ}\text{C}$ . Температура масла в зоне нагрева изменяется по экспоненциальной зависимости со скоростью  $5...6^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , а в районе стенок смазочной емкости температура изменяется линейно со скоростью нагрева  $4...5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ . Погрешность в расчетах силы тока, проходящей через нагреватель, составила менее 5%.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуков, Л.В. Методика обоснования подготовки к пуску дизельных двигателей военной автомобильной техники в условиях низких температур [Текст] Дис... канд. техн. наук. – СПб: ВА МТО, 2016. – 249 с.
2. Жуков, Л.В. Методика расчета нагревательного элемента устройства тепловой подготовки двигателя внутреннего сгорания спецтехники [Текст] // Строительные и дорожные машины: ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – М.: СМД-Пресс, 2015. - №12. – С.19-22.
3. Жуков, Л.В. Повышение сохраняемости специальной техники в особых условиях эксплуатации [Текст] / Л.В. Жуков, И.Н. Кравченко // Предупреждение. Спасение. Помощь: сборник материалов XXIV Международной научно-практической конференции. – Химки: АГЗ МЧС России, 2014. – С. 56-62.

УДК 519.21

*Е. С. Калинина, С. Л. Сивцов*

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

## ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛУМАРКОВСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РАСЧЕТЕ НАДЕЖНОСТИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Ключевые слова:** сложная техническая система, полумарковская модель, оценка надежности.

**Аннотация:** В статье предложен общий алгоритм построения полумарковской модели для оценки обобщенного показателя надежности сложных технических систем. Рассмотренная модель используется в учебном процессе.

*E. S. Kalinina, S. L. Sivtsov*

## APPLICATION OF SEMI-MARKOV PROCESSES IN CALCULATING THE RELIABILITY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS

**Keywords:** complex technical system, semi-Markov model, reliability assessment.

**Abstracts:** In the article the general algorithm of construction of semi-Markov model for an estimation of the generalized indicator of reliability of complex technical systems is offered. The considered model is used in the educational process.

Многие образцы современной пожарной техники можно отнести к сложным техническим системам периодического применения, представимым в виде конечной совокупности взаимосвязанных элементов, а также совокупности протекающих в них процессах.

Функционирование сложных технических систем (СТС) во времени представляет собой последовательный переход из состояния в состояние (работоспособное, отказ, сбой в работе, контроль технического состояния, восстановление и т.п.). Поскольку этот переход носит вероятностный характер, то эффективным средством для

оценивания состояний СТС, с целью расчета надежности и обеспечения безопасной эксплуатации, является аппарат марковских процессов и их обобщений.

В отличие от логико-вероятностных методов аппарат марковских процессов обладает следующими основными преимуществами [1]:

1) Марковские модели позволяют учитывать особенности процесса восстановления элементов СТС (приоритеты, ограниченность числа ремонтных бригад, останов системы при ремонте и др.). Логико-вероятностные модели описывают только случай неограниченного, независимого восстановления элементов, причем восстановление производится при работающей системе, что не всегда выполнимо на практике.

2) С помощью марковских моделей можно вычислить все основные показатели надежности, как точечные, так и интервальные, например, вероятность безотказной работы (или отказа) на интервале времени  $(0, t)$ , среднюю наработку до отказа. Для систем с восстановлением на логико-вероятностных моделях рассчитываются лишь точечные показатели надежности, определяемые в момент времени  $t$ , например, коэффициенты простоя и готовности.

3) Вычислительные мощности современных компьютеров позволяют находить численное решение систем дифференциальных и алгебраических уравнений большой размерности, порождаемых марковскими графами. При этом одним из наиболее рациональных путей является использование сертифицированного программного обеспечения, входящего в универсальные математические пакеты, примером которых могут служить вычислительные системы MatLab, Maple, Mathematica, Mathcad.

Марковские модели для расчета показателей надежности можно использовать, когда все случайные величины, характеризующие СТС, подчиняются экспоненциальному закону распределения. В случае, когда даже некоторые из показателей подчиняются другим законам распределения, следует использовать обобщение марковских процессов – полумарковские модели [2].

Проблема моделирования сложных технических систем с помощью полумарковских процессов является предметом исследований уже более 50 лет, однако остается актуальной и в настоящее время [3].

Рассмотрим общий алгоритм применения полумарковских процессов при расчете надежности СТС. При этом под обобщенным показателем надежности будем понимать вероятность отсутствия отказа (сбоя в работе) СТС в произвольный момент времени в процессе эксплуатации [4].

1) Необходимо выделить состояния, в которых может находиться СТС. Выделяемые состояния должны составлять полную группу событий.

2) Составить граф переходов  $G(P, Q)$ , где  $P$  – множество вершин графа, представляющее вектор вероятностей  $P_i$ , а  $Q$  – множество ветвей графа, операторами которых выступают условные вероятности перехода процесса  $P_{ij}$  из  $i$ -го состояния в  $j$ -е и средние значения времени пребывания процесса в  $i$ -м состоянии до перехода в  $j$ -е состояние. Условные вероятности должны удовлетворять равенству:

$$\sum_{i=1}^n P_{ij} = 1.$$

3) Составить матрицы функций распределения времени пребывания процесса в каждом состоянии до перехода в следующее состояние:

$$F = (F_{ij}).$$

4) Составить систему алгебраических уравнений [5]:

$$\pi^T = \pi^T P \quad \left\{ \pi_i = \sum_{j=1}^n \pi_j P_{ij} \right\}, \quad (1)$$

при  $\sum_{i=1}^n \pi_i = 1$ , где  $\pi^T = (\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n)$  – вектор-строка, определяющая стационарные вероятности  $\pi_i$  пребывания системы в произвольный момент времени в  $i$ -м состоянии;  $n$  – общее число состояний системы.

5) Решить систему (1) с целью получения коэффициентов  $H_i$  путем выражения всех вероятностей  $\pi_i$  через одну, принимаемую за базовую:

$$\pi_i = H_i \pi_{\text{баз}},$$

например,  $\pi_{\text{баз}} = \pi_1, H_1 = 1$ .

В ряде практических случаев (например, при использовании систем компьютерной алгебры) оказывается полезным иметь выражение для вероятностей  $\pi_i$  в матричном виде.

6) Выбрать подмножества состояний, суммарная вероятность пребывания в которых нас интересует.

7) Определить средние времена пребывания процесса в каждом состоянии по формуле [5]:

$$V_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} \cdot \tau_{ij}, \quad \tau_{ij} = \int_0^{\infty} \tau \cdot dF_{ij}(\tau),$$

где  $\tau_{ij}$  – математическое ожидание длительности перехода из  $i$ -го в  $j$ -е состояние;  $V_i$  – осредненное  $\tau_{ij}$  по направлению возможных переходов.

8) Определить обобщенный показатель надежности по формуле [5]:

$$PH = \frac{\sum_{i \in K} \pi_i V_i}{\sum_{i=1}^n \pi_i V_i} = \frac{\sum_{i \in K} H_i V_i}{\sum_{i=1}^n H_i V_i}.$$

Преимущество построенной математической модели состоит в получении результатов расчета в виде аналитических зависимостей, а не набора числовых значений, что позволяет проводить анализ влияния различных параметров на показатели безопасности СТС и исследовать различные пути повышения надежности.

Рассмотренный алгоритм достаточно прост и применим для многих типов СТС, что позволяет использовать его в образовательном процессе вузов МЧС России при реализации прикладной направленности обучения математическим дисциплинам [6] и развитии дидактических систем профессионально-ориентированных вариативных компонентов учебных предметов [7, 8].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Викторова В.С., Лубков Н.В., Степанянц А.С. Надёжность технических систем. Обеспечение и анализ // В сборнике: Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта (CAD/CAM/PDM – 2016) труды XVI-ой международной молодёжной конференции. 2016. С. 14-18.
2. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Полумарковские процессы и их приложения. Киев: Наукова думка, 1976. 184 с.
3. Шатских В.О., Тетеревков И.В. Расчет показателей надежности систем автоматизации с применением полумарковских процессов // В сборнике: «Энергия-2015». Десятая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных Сборник конкурсных докладов. 2015. С. 28-31.
4. Дайнеко С.Г. Оценка достоверности контроля сложных многопараметрических объектов диагностирования // Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции. ВМИРЭ. СПб., 2001. С.73-79.
5. Мозгалевский А.В., Койда А.Н. Вопросы проектирования систем диагностирования. Л: Энергоатомиздат, 1985. 112 с.
6. Калинина Е.С. Использование математических методов оценки безопасности сложных технических систем при подготовке обучающихся вузов МЧС России // Постулат. 2018. № 11 (37). С. 32.
7. Власов Д.А., Синчуков А.В. Стратегия развития методической системы математической подготовки бакалавров // Наука и школа. 2012. № 5. С. 61-65.
8. Власов Д.А., Синчуков А.В. Новое содержание прикладной математической подготовки бакалавра // Преподаватель XXI век. 2013. № 1-1. С. 71-79.

УДК 658.286

*Ю. А. Кальмагаев, И. С. Ключихин, С. В. Ковалев, В. В. Киселев*  
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ ЗА СЧЕТ КАЧЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ЕЕ РЕМОНТА И ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ**

**Ключевые слова:** ремонт, автомобиль, техническое обслуживание.

**Аннотация:** Рациональные организация и технология технического обслуживания и ремонта автомобилей, внедрение новой техники и передовой технологии, механизация и автоматизация производственных процессов, максимальное сокращение ручного труда способствуют повышению производительности труда, созданию благоприятных санитарно-гигиенических и безопасных условий труда. В докладе рассмотрено технологическое и подъемно-транспортное оборудование, используемое при организации ремонта автомобилей.

*Yu. A. Kalmagaev, I. S. Klyuchikhin, S. V. Kovalev, V. V. Kiselev*

## **IMPROVED RELIABILITY OF FIRE ENGINEERING AT THE EXPENSE OF THE QUALITY ORGANIZATION OF ITS REPAIR AND MAINTENANCE**

**Keywords:** repair, car, maintenance.

**Abstracts:** The rational organization and technology of vehicle maintenance and repair, the introduction of new technology and advanced technology, the mechanization and automation of production processes, the maximum reduction of manual labor contribute to higher labor productivity, the creation of favorable sanitary and hygienic and safe working conditions. The report considers the technological and lifting-transport equipment used in the organization of car repairs.

Рациональное использование пожарной автомобильной техники предполагает не только грамотную эксплуатацию, но и эффективную систему технического обслуживания и ремонта.

Эта система должна быть научно обоснована, должна учитывать состояние пожарных автомобилей и их загруженность. Для поддержания работоспособности машин, техническое состояние которых в процессе эксплуатации ухудшается, необходима хорошая ремонтная база.

Важным фактом в экономии средств на содержание автомобильного парка, является уменьшение издержек на ремонт и техническое обслуживание автомобилей. Чтобы снизить эти издержки при достаточно высоком качестве ремонтных работ необходимо решить две задачи: Во-первых, организовать эффективное диагностирование автомобилей с тем, чтобы знать фактическое состояние их агрегатов и проводить ремонты там, где это действительно необходимо. Во-вторых, наладить восстановление изношенных деталей собственными силами, так как это дешевле, чем покупать эти детали в виде запчастей.

Своевременное и качественное техническое обслуживание пожарной техники является важнейшим элементом ее эксплуатации и должно обеспечивать: постоянную готовность техники к использованию; безопасность ее применения; устранение причин, вызывающих преждевременный износ, старение, разрушение, неисправности и поломки составных частей и механизмов; надежную работу техники в течение установленных межремонтных ресурсов и сроков их службы до ремонта и списания; минимальный расход горючего, смазочных и других эксплуатационных материалов.

Техническое состояние любого автомобильного транспорта постепенно ухудшается, причем это справедливо даже для тех машин, которые долгое время не эксплуатируются. Разумеется, основная часть деталей таких автомобилей не страдает, ведь они не работают, но резиновые элементы, а именно всевозможные уплотнения, сальники, шины стареют и со временем приходят в негодность. То же касается моторного масла и прочих жидкостей. Так или иначе, в них попадает влага, в результате

теряются важные свойства. Поэтому в ситуации, когда автомобиль с пробегом 3-4 тысячи километров простояла в течение года в гараже, прежде чем возобновить эксплуатацию, ей также необходимо провести техническое обслуживание.

Техническое обслуживание автомобилей должно проводиться по так называемой планово-предупредительной системе. Особенность этой системы заключается в том, что все автомобили проходят техническое обслуживание по плану-графику в обязательном порядке. Основная цель технического обслуживания – предупреждение отказов и неисправностей, предотвращение преждевременного износа деталей, своевременное устранение повреждений, препятствующих нормальной работе автомобиля. Таким образом, техническое обслуживание является профилактическим мероприятием.

В техническое обслуживание входят уборочно-моечные, контрольно-диагностические, крепежные, смазочные, заправочные, регулировочные и другие работы, выполняемые, как правило, без разборки агрегатов и снятия с автомобиля отдельных узлов.

Рациональные организация и технология ТО и ремонта автомобилей, внедрение новой техники и передовой технологии, механизация и автоматизация производственных процессов, максимальное сокращение ручного труда способствуют повышению производительности труда, созданию благоприятных санитарно-гигиенических и безопасных условий труда ремонтных рабочих.

Технологическое оборудование, предназначенное для механизации производственных процессов ТО и ремонта, по своему назначению делится на следующие группы:

- оборудование для выполнения работ ЕО автомобилей – уборки, мойки, заправки и других работ;

- оборудование для выполнения работ ТО-1 – подъемно-транспортное, для обслуживания шин, экспресс-диагностики (Д-1), диагностирования тормозной системы, рулевого управления, установки колес, выполнения крепежных работ, обслуживания приборов системы питания, электрооборудования и т. д.;

- оборудование для выполнения работ ТО-2 – подъемно-транспортное диагностическое оборудование и приборы для углубленного диагностирования (Д-2) тягово-экономических качеств автомобиля, тормозной системы, переднего моста, рулевого управления, электрооборудования, двигателя и его систем, ходовой части, трансмиссии и т. д.;

- оборудование для выполнения ТР автомобилей, комплектующее производственные участки – агрегатный, моторный, кузнечно-рессорный, медницких работ, кузовной, малярный, электротехнический, ремонта аккумуляторов, ремонта систем питания отдельно карбюраторных двигателей и дизелей, ТР газобаллонных автомобилей, шиномонтажных и шиноремонтных работ.

Подъемно-транспортное оборудование, применяемое при ТО автомобилей, в зависимости от назначения и устройства подразделяется на следующие группы:

- конвейеры для перемещения автомобилей на поточных линиях ЕО и ТО-1 грузовых автомобилей, автобусов и легковых автомобилей;

- подъемники напольные для ТО и ТР автомобилей бывают стационарные и передвижные, электрогидравлические и электромеханические, одноплунжерные и двухплунжерные, стоечные и др.;

– подъемники канавные – передвижные, стационарные, гидравлические, одно-плунжерные и т. д.;

– тележки передвижные применяются для снятия и установки колес грузовых автомобилей и автобусов, снятия рессор грузовых автомобилей, транспортировки деталей и агрегатов и т. п.;

– краны передвижные для замены агрегатов и механизмов грузовых автомобилей и автобусов, снятия и перемещения двигателей;

– приспособления для снятия и установки коробок передач грузовых автомобилей, гидромеханических передач автобусов с гидравлическим, пневматическим или механическим приводом;

– домкраты для вывешивания на небольшую высоту передней или задней части автомобиля (передвижные грузоподъемные механизмы, состоящие из силового агрегата и подъемного устройства гидравлического действия и ручного привода).

Как известно, ремонт представляет собой комплекс конкретных операций по восстановлению работоспособного состояния автомобилей и оборудования по обеспечению их безотказной работы. Он может выполняться по потребности или после определенного пробега. Ремонт, связанный с разборкой или заменой агрегатов и узлов выполняется по результатам предварительного диагностирования.

В соответствии с назначением и характером выполняемых работ ремонт пожарных автомобилей подразделяется на следующие виды: для автомобилей – текущий, средний, капитальный; для агрегатов - текущий, капитальный.

Соблюдение всех правил проведения технического обслуживания, а также своевременность его выполнения позволит в значительной степени увеличить надежность и безотказность работы пожарной техники.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Киселев В.В. Развитие технических средств для поведения обслуживания и ремонта пожарной техники. / NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 3. – № 57. – С. 151-156.

2. Киселев В.В. Использование современных методов при проведении ремонта и восстановления гидроцилиндров пожарных автомобилей. / NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 1. – № 52. – С. 3-6.

3. Пучков П.В., Топоров А.В., Киселев В.В. Разработка конструкции трибологически безопасного резьбового соединения. / Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2012. – № 1. – С. 28-31.

4. Легкова И.А., Зарубин В.П., Киселев В.В., Иванов В.Е., Покровский А.А. Инновационные технологии при обучении графическим дисциплинам. / В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность. Материалы IX Международной научно-практической конференции. – 2014. – С. 300-301.

5. Пучков П.В., Киселев В.В., Топоров А.В. Разрушение строительных металлоконструкций в условиях пожара. / Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – № 3. – С. 29-32.

УДК 658.286

*А. А. Клычков, М. А. Романович*

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ**

**Ключевые слова:** техническая готовность, машинно-тракторный агрегат, периодичность технического обслуживания, кран-манипулятор.

**Аннотация:** для обеспечения эффективности использования машинно-тракторного парка сельскохозяйственных предприятий необходимо поддерживать непрерывную техническую готовность техники, в частности тракторов, используемых в составе машинно-тракторных агрегатов.

*A. A. Klychkov, M. A. Romanovich*

## **PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MOTOR CRANE MANIPULATORS**

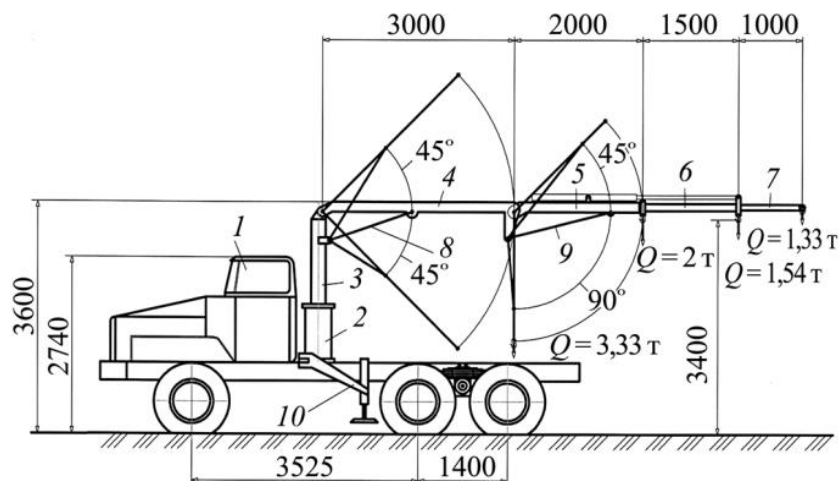
**Keywords:** technical readiness, machine-tractor unit, frequency of maintenance, crane-manipulator.

**Abstract:** to ensure the effectiveness of the use of machine-tractor fleet of agricultural enterprises, it is necessary to maintain continuous technical readiness of equipment, in particular tractors used as part of machine-tractor units.

Современные грузовые автомобили являются одной из баз для создания специальных кранов-манипуляторов. Широкая популярность этого сравнительно нового вида грузоподъемного оборудования обусловлена значительным разнообразием технологий и видов работ, выполняемых в различных отраслях экономики (строительство, транспорт, сельское хозяйство и др.) [1, 2]. Применение кранов-манипуляторов позволяет решить в строительстве такую важную задачу, как создание дополнительных механизированных рабочих мест. Российские заводы наращивают объемы производства кранов-манипуляторов [3]. В настоящее время накоплен достаточный объем технической информации, позволяющий выявить некоторые тенденции и особенности применения кранов-манипуляторов в строительстве и на транспорте.

Базовой машиной такого крана-манипулятора является грузовой автомобиль 1 (рис. 1), на раме которого монтируется основание 2 и поворотная колонна 3, обеспечивающая вращение стрелы с грузом. Стрела обычно состоит из нескольких основных секций. Первая 4 из них шарнирно закреплена на поворотной колонне 3, а вторая 5, выполненная в виде рукояти, установлена на свободном конце первой и кинематически связана соответствующей системой с третьей выдвигной телескопической секцией, содержащей звенья 6 и 7.





**Рис. 1.** Общий вид крана-манипулятора общего назначения на базе автомобиля УРАЛ в рабочем положении при максимальном вылете стрелы (вариант проектирования)

Основными параметрами крана-манипулятора являются: грузовой момент  $M$ , кН·м; максимальная грузоподъемность  $Q$ , т; максимальный вылет стрелы  $L_{max}$ , м; максимальная высота подъема груза  $H$ , м; масса кранового оборудования  $m_k$ , кг и др. Механизм поворота стрелы крана с грузом может быть реечным или винтовым. Перспективными исполнительными механизмами являются системы поворота с червячным редуктором и гидромотором, не имеющие ограничений на величину угла вращения стрелы грузоподъемного оборудования в горизонтальной плоскости.

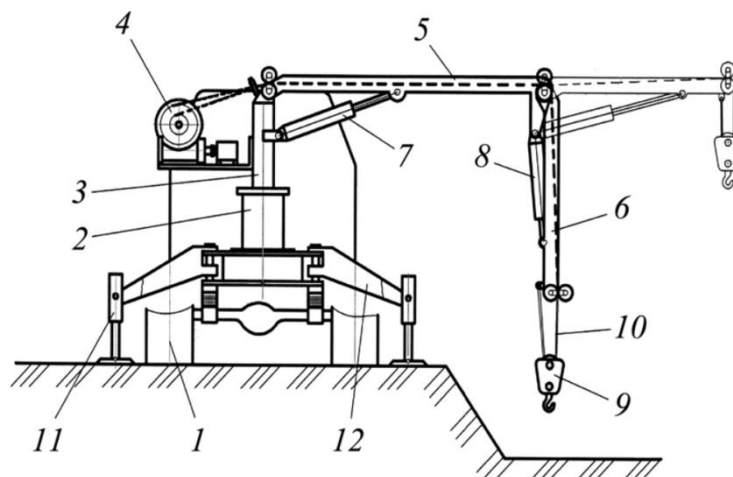
К автомобильным кранам-манипуляторам предъявляются специфические требования, формирующие минимальную стоимость и высокие потребительские качества. Наиболее напряженными силовыми механизмами такого рабочего оборудования являются поршневые гидроцилиндры 8 и 9 поступательного действия, осуществляющие перемещение стрелы с грузом в вертикальной плоскости.

Несмотря на простую конструкцию крана-манипулятора режим работы гидроцилиндра стрелы характеризуется многими взаимосвязанными параметрами. Эксплуатационная надёжность грузоподъемного оборудования такого типа зависит от правильного выбора при проектировании расчётных нагрузок и размерно-геометрических параметров. Рассмотрим современные краны-манипуляторы по величине грузового момента  $M$ , выпускаемые российскими и зарубежными производителями, условно можно разделить на группы:

- 1 – грузоподъемностью порядка 2 т с  $M = 65\text{--}70$  кН·м;
- 2 – грузоподъемностью около 3 т с  $M = 90\text{--}100$  кН·м;
- 3 – грузоподъемностью более 4 т с  $M = 129\text{--}140$  кН·м и др.

Эффективность работы крана-манипулятора зависит от сложности конструкции и надёжности работы основных исполнительных механизмов в течение всего периода эксплуатации.

На рис. 2 приведён кран-манипулятор, который может поднимать грузы из глубоких колодцев и котлованов, для чего его рабочее оборудование смещено от кабины и снабжено грузовой лебёдкой 4 и крюковой обоймой 9 на канатном полиспасте 10.



**Рис. 2.** Общий вид крана-манипулятора в рабочем положении (вариант подъёма груза из котлована):

- 1 – шасси грузового автомобиля; 2 – неподвижное основание поворотной колонны;  
 3 – поворотная колонна; 4 – грузовая лебёдка; 5, 6 – секции стрелы; 7, 8 – гидроцилиндры;  
 9 – крюковая подвеска; 10 – полиспаст

Для современных кранов-манипуляторов грузоподъёмность  $Q$  крана рассматривается как максимальная  $Q_{max}$  и минимальная  $Q_{min}$  при минимальном и максимальном вылетах стрелы. В табл. 1 приведены параметры кранов-манипуляторов, которые производятся в настоящее время [3] и выпускались в 90-е [4] и 80-е годы [5].

Анализ табл. 1 свидетельствует о том, что за последние 30 лет произошло увеличение максимальной  $Q_{max}$  и минимальной  $Q_{min}$  грузоподъёмностей кранов-манипуляторов. При этом наблюдается тенденция повышения вылета стрелы с целью увеличения высоты подъёма груза и радиуса действия грузоподъёмного крана. Происходит увеличение грузового момента  $M$  и массы  $m_k$  кранового оборудования. Массовые (весовые) характеристики крана удобно связывать с его грузоподъёмностью, вылетом и грузовым моментом.

*Таблица 1. Характеристика автомобильных кранов-манипуляторов*

Кран-манипулятор	Параметр				
	$Q_{max}, T$	$Q_{min}, T$	$L_{max}, T$	$M, кН$	$m_k, кг$
4030 П	0,5	0,5	3,6	17,65	820
5912	1,0	1,0	5,0	49,05	1600
4903	2,5	1,0	4,5	44,14	1460
МКС-4531	2,5	1,22	2,72	67,0	1800
ЛВ-1184А-10	2,4	0,95	7,4	70,0	1600
ОМЛТ-70-20	2,1	0,96	7,3	70,0	2360
СФ-65	2,0	0,895	7,1	65,0	1900
Е 65L (Epsilon, Австрия)	2,5	0,89	7,6	65,0	1550
2006 (Kesla, Финляндия)	2,2	0,91	7,0	65,0	1750
ЛВ-185-16	3,3	1,307	7,8	100,0	1980
ОМЛТ-97	3,17	1,27	7,3	97,0	2470

На рис. 3 приведена зависимость грузоподъемности  $Q$  от грузового момента  $M$  крана, где определенному значению грузового момента для конкретного рабочего оборудования соответствуют две предельные грузоподъемности  $Q_{max}$  и  $Q_{min}$ .

На рис. 4 приведена зависимость массы  $m_k$  кранового оборудования от вылета  $L$  стрелы. Уравнение регрессии этих параметров имеет низкий коэффициент корреляции  $R^2 = 0,33$ . Это означает, что масса  $m_k$  кранового оборудования зависит главным образом от других параметров – грузоподъемности и грузового момента.

На рис. 5 приведена зависимость массы  $m_k$  кранового оборудования от грузоподъемности  $Q$  крана.

Технический уровень оценивают с помощью удельной металлоёмкости крана-манипулятора [6]:

$$\mu(Q_{max}) = m_k / Q_{max} ; \mu(Q_{min}) = m_k / Q_{min} \quad (1)$$

Масса кранового оборудования изменяется в пределах  $m_k = 750\text{--}2500$  кг при увеличении грузоподъемности  $Q = 0,5\text{--}3,5$  т. В этом случае наблюдается тенденция к уменьшению удельной металлоёмкости. Для минимальной грузоподъемности  $Q_{min}$  показатель удельной металлоёмкости характеризуется тангенсом угла наклона линии 2 (см. рис. 5).

На рис. 4 приведена зависимость массы  $m_k$  кранового оборудования от вылета  $L$  стрелы. Уравнение регрессии этих параметров имеет низкий коэффициент корреляции  $R^2 = 0,33$ . Это означает, что масса  $m_k$  кранового оборудования зависит главным образом от других параметров – грузоподъемности и грузового момента.

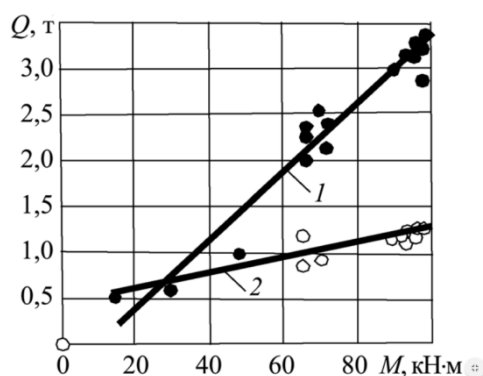


Рис. 3. Зависимость грузоподъемности  $Q$  крана-манипулятора от грузового момента  $M$ :  
1 –  $Q_{max}$ ; 2 –  $Q_{min}$

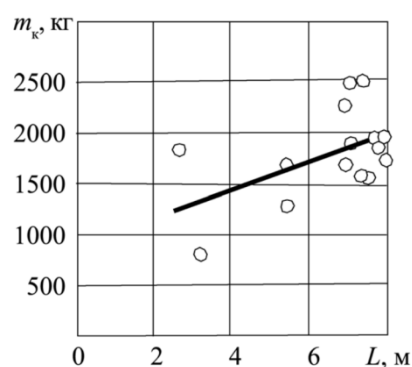


Рис. 4. Зависимость массы  $m_k$  кранового оборудования от вылета  $L$  стрелы

На рис. 5 приведена зависимость массы  $m_k$  кранового оборудования от грузоподъемности  $Q$  крана.

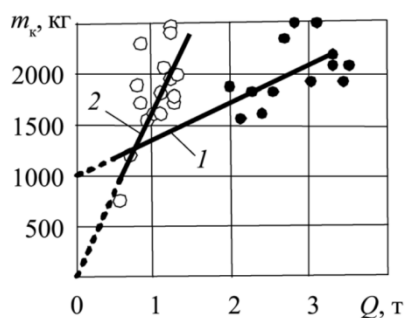
Технический уровень оценивают с помощью удельной металлоёмкости крана-манипулятора [6]:

$$\mu(Q_{max}) = m_k / Q_{max} ; \mu(Q_{min}) = m_k / Q_{min} \quad (2)$$

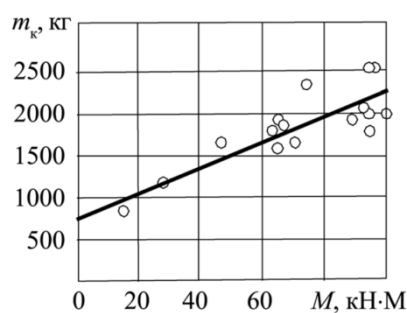
Масса кранового оборудования изменяется в пределах  $m_k = 750\text{--}2500$  кг при увеличении грузоподъёмности  $Q = 0,5\text{--}3,5$  т. В этом случае наблюдается тенденция к уменьшению удельной металлоёмкости. Для минимальной грузоподъёмности  $Q_{min}$  показатель удельной металлоёмкости характеризуется тангенсом угла наклона линии 2 (см. рис. 5).

На рис. 6 приведена зависимость массы  $m_k$  кранового оборудования от грузового момента  $M$ , уравнение регрессии которой имеет следующий вид:

$$m_k = 14,455M + 769.73 \quad (3)$$



**Рис. 5.** Зависимость массы кранового оборудования  $m_k$  от грузоподъёмности  $Q$ :  
1, 2 – то же, что на рис. 3



**Рис. 6.** Зависимость массы  $m_k$  кранового оборудования от грузового момента  $M$

Особенность проектирования крана-манипулятора состоит в том, что исходными параметрами для этого процесса являются грузоподъёмность и грузовой момент. Грузовой момент  $M$  крана-манипулятора не является параметром, который можно использовать непосредственно для выполнения расчётов каких-либо механизмов крана. Это обусловлено тем, что действительный (расчётный) грузовой момент  $M_p$  крана-манипулятора представляет собой сумму момента от величины грузоподъёмности и моментов от сил тяжести масс элементов стрелы относительно её шарнира.

*Расчётный момент стрелы* определяется по формуле:

$$M_p = M + M(G) \quad (4)$$

где  $M$  – грузовой момент;

$M(G)$  – момент от сил тяжести элементов стрелы и гидроцилиндров.

Для определения расчётного момента  $M_p$  на стреле крана-манипулятора при проектировании сначала определяется масса  $m_k$  кранового оборудования по формуле (3). Например, для крана-манипулятора, выполненного на базе автомобиля УРАЛ, грузовой момент  $M = 98,1$  кН·м, масса кранового оборудования  $m_k = 2188$  кг.

С помощью табл. 2 установлено ориентировочное распределение массы  $m_k$  кранового оборудования по конкретным элементам конструкции и механизмам [5].

Из табл. 2 следует, что масса стрелы  $m_c$  с гидроцилиндрами составляет долю 0,345 от массы  $m_k$  кранового оборудования. Для крана-манипулятора на автомобиле УРАЛ масса стрелы с гидроцилиндрами  $m_c = 755$  кг. Далее массу стрелы  $m_c$  распределяют на четыре отдельные массы по секциям (см. рис. 1).

Таблица 2. Распределение масс кранового оборудования

Элемент крана-манипулятора	Доля массы элементов крана-манипулятор от массы $m_k$ кранового оборудования
Стрела	0,165
Гидроцилиндры	0,180
Рама	0,170
Кронштейн стрелы	0,075
Механизм поворота	0,152
Выносные опоры	0,09
Трубопроводы	0,03
Гидрооборудование	0,06
Прочие элементы	0,78

После распределения массы стрелы  $m_c$  по элементам (секциям стрелы) определяют дополнительный момент от сил тяжести

$$M(G) = \sum_{i=1}^{i=n} m_i g l_i$$

где  $m_i$  и  $l_i$  – соответственно массы отдельных секций стрелы и их расстояния от шарнира стрелы на колонне до центров масс элементов стрелы.

Расчётный момент крана-манипулятора зависит от грузового момента  $M$  и от момента  $M(G)$  сил тяжести стрелы. Величина дополнительного момента  $M(G)$  от сил тяжести отдельных масс стрелы составляет примерно 15–20% от величины грузового момента  $M$ . Анализ табл. 1 свидетельствует о том, что в настоящее время главным образом сформировались предельные значения основных параметров кранов-манипуляторов.

Проведя анализ автомобильных кранов-манипуляторов, мы можем сделать следующие выводы, что основными направлениями дальнейшего развития кранов-манипуляторов являются:

- совершенствование конструкции грузоподъёмных кранов;
- улучшение удельных показателей (металлоёмкости, энергозатрат, стоимости);
- совершенствование гидропривода на основе выбора номинального давления гидросистемы 25–32 МПа,
- применение легированных сталей, полученных на основе нанотехнологий, для уменьшения массы кранового оборудования;
- повышение уровня композиционной целостности и информационной выразительности конструктивного исполнения в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазунов В.А. Управление механизмами параллельной структуры при переходе через особые положения. В.А. Глазунов, М.Г. Есина, Р.Э. Быков. Проблемы машиностроения и надежности машин. –2004. –№ 2. – С.78-84.

2. Епифанов С.П., Поляков В.И. Пневмоколесные и гусеничные краны. М.: Высшая школа, 1985. 312 с.
3. Зайцев Л.В., Полосин М.Д. Автомобильные краны. М.: Высшая школа, 1987. 208 с.
4. Рось Я.В. Автокраны с объёмным гидроприводом. Киев: Техника, 1978. 128 с.
6. Бояркина И.В. Технологическая механика одноковшовых фронтальных погрузчиков: монография. Омск: СибАДИ, 2011. 336 с.
5. Смыков А.А. Повышение эффективности применения гидроманипуляторов ОАО «ММЗ» для лесохозяйственных и лесозаготовительных работ //Строительные и дорожные машины. 2013. № 1. С.11–15.
6. Управление сайтом, URL: <https://www.tehnoniki.ru/articles/kran-manipulyatory.html> (Дата обращения 10.02.2019).
7. Romanovich, A.A. Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // A.A. Romanovich, M.A. Romanovich, E.I. Chekhovskoy // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. - Vol. 194 (032025). - doi. pp: 1-6.
8. Romanovich A.A., Romanovich L.G. and E.I. Chekhovskoy, 2018. Determination of rational parameters for process of grinding materials pre-crushed by pressure in ball mill // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 327 (042091). doi. pp: 1-6.
9. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Belov A.I. and E.I. Chekhovskoy, 2018. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. Vol. 1118 (012035). doi. pp: 1-6.

УДК 621.37

*М. Ю. Колобов, А. Э. Козловский, С. Е. Сахаров,  
В. В. Бойцова, П. Н. Грименицкий*

ФГБОУ ВО Ивановский химико-технологический университет

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОЙ МЕЛЬНИЦЫ**

**Ключевые слова:** центробежная мельница, эффективность, гранулометрический состав.

**Аннотация:** разработана мельница центробежно-ударного действия. Применение паза для закрепления сменных колец, отбойных элементов с возможностью использовать вторую грань позволяет повысить эффективность процесса измельчения и увеличить срок службы отбойных элементов в 1,5-2 раза.

*M. Yu. Kolobov, A. E. Kozlovsky, S. E. Sakharov, V. V. Boytsova, P. N. Grimenitsky*

## **IMPROVING THE EFFICIENCY OF CENTRIFUGAL MILL**

**Keywords:** centrifugal mill, efficiency, granulometric composition.

**Abstracts:** developed mill centrifugal impact action. The use of a groove for fastening replaceable rings, breaker elements with the ability to use the second facet allows you to increase the efficiency of the grinding process and increase the service life of the breaker elements 1.5-2 times.

Широкое распространение в различных отраслях промышленности получили центробежные мельницы [1-5]. Положительными факторами применения таких мельниц являются компактность и мобильность, гибкость переналадки их, умеренные энерго- и металлозатраты на обработку, небольшие капиталовложения, возможности автоматизации процесса, непрерывность действия, возможность использования создаваемого роторами вентиляционного потока.

Зачастую требуется определенный гранулометрический состав готового продукта после измельчения.

Разработана центробежная мельница [6]. На рис. 1 показана центробежная мельница в продольном разрезе.

Центробежная мельница содержит корпус 1 с размещенным в нем ротором 5. На роторе 5 радиально установлены плоские разгонные элементы 6. На боковой стенке корпуса 1 закреплены отбойные элементы 4. Отбойные элементы 4 выполнены с углом наклона рабочей грани относительно радиуса ротора, составляющим  $50-70^{\circ}$ . Нижняя часть корпуса 1 выполнена с пазом для закрепления сменных дисков 7. В верхней части корпуса 1 установлен патрубок 2 для подачи исходного материала. В нижней части корпуса 1 имеется выгрузочный патрубок 3.

Центробежная мельница работает следующим образом. Подлежащий измельчению материал поступает через патрубок 2 в центральную часть мельницы. Далее за счет центробежных сил материал попадает под плоские разгонные элементы 6 ротора 5, ускоряется и выбрасывается на отбойные элементы 4. Отбойные элементы 4 выполнены сменными. По мере износа отбойные элементы поворачиваются на  $180^{\circ}$ , чтобы использовать вторую грань для измельчения материала.

Нижняя часть корпуса 1 выполнена с пазом для закрепления сменных дисков 7. Используя диски 7 с различными диаметрами отверстий можно регулировать гранулометрический состав готового продукта. Измельченный материал удаляется из мельницы через выгрузочный патрубок 3.

Использование паза для закрепления сменных колец, отбойных элементов центробежной мельницы позволит повысить эффективность процесса измельчения и увеличения срок службы отбойных элементов в 1,5-2 раза.

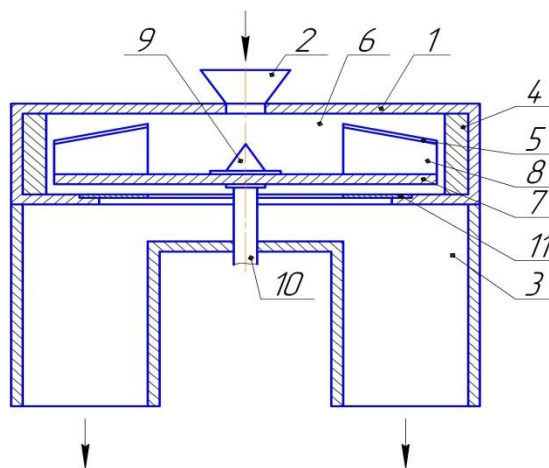


Рис. 1. Центробежная мельница

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапшин В.Б., Колобов М.Ю., Колобова В.В., Рязанцева А.В. Применение дезинтегратора в различных технологиях // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – Иваново, 2004. – Т. 47, вып. 8. – С. 71-75.
2. Колобов М.Ю., Лапшин В.Б., Сахаров С.Е., Абалихин А.М. Оборудование для обработки дисперсных материалов // Международная научная конференция "Теоретические основы создания, оптимизации и управления энерго- и ресурсосберегающими процессами и оборудованием". Сборник трудов. Том II. – Иваново, 2007. – С. 13-15.

3. Колобов М.Ю., Сахаров С.Е., Сахарова С.Г. Технология приготовления комбикормов // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. – Иваново, 2013. – № 1. – С. 71-75.

4. Колобова В.В., Колобов М.Ю. Особенности измельчения фосфоросодержащих руд // Аграрный вестник Верхневолжья. – Иваново, 2016. – № 4 (16). – С. 77-82.

5. Колобов М.Ю., Сахарова С.Г., Сахаров С.Е. Измельчитель сыпучих материалов // Ремонт, восстановление, модернизация. – Москва, 2017. – № 1. – С. 9-12.

6. Патент № 143236, МПК В 02 С 13/14. Центробежная мельница / Колобов М.Ю., Миронов М.В., Мугаев К.М., Баранов Н.М.; заявитель и патентообладатель ИГХТУ. – № 2014109759; заявл. 13.03.2014; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20.

УДК 534.2:621.37/39 (075)

*А. Б. Колобов, Ф. Б. Огурцов*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## **ТЕХНОЛОГИЯ ВИБРОМОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННЫХ РОТОРНЫХ МАШИН**

**Ключевые слова:** техническое состояние, контроль, вибрация, вибрационная диагностика, прогнозирование работоспособности, остаточный ресурс.

**Аннотация:** приведены структура вибрационного контроля широкополосной вибрации, цели и задачи вибромониторинга и вибродиагностики, предложены методика выбора уровней оценки состояний и прогнозирования работоспособности.

*A. B. Kolobov, F. B. Ogurtsov*

## **TECHNOLOGY FOR VIBRATION MONITORING OF INDUSTRIAL ROTARY MACHINE**

**Keywords:** technical condition, control, vibration, vibration diagnostics, prediction of efficiency, residual life.

**Abstract:** the structure of vibration control of broadband vibration, goals and objectives of vibration monitoring and vibration diagnostics are presented, the method of selecting the levels of assessment of states and prediction of performance is proposed.

В настоящее время вступило в действие много стандартов, регламентирующих требования, предъявляемые как к программно-техническому, так и структурно-функциональному выполнению систем контроля состояния и диагностики машин в рамках концепции неразрушающего контроля, в том числе, и вибродиагностическим методом. Целью штатного контроля состояния машин является предотвращение аварийных ситуаций при работе и повышение эффективности эксплуатации, прежде всего, за счет принятия объективных решений по техническому обслуживанию (ТО) на основе результатов контроля.



Когда для машин регламентом не предусмотрен обязательный контроль технического состояния, предприятия могут сами формировать программу контроля используя концепцию, изложенную в ГОСТ Р ИСО 17359–2015.

Программа вибрационного контроля состояния машин, предложенная ГОСТ Р ИСО 13373-1–2009, и поддерживаемая ГОСТ Р ИСО 13373-2–2009 и ГОСТ Р ИСО 13373-3–2016, имеет общий характер, поэтому требует корректировки с учетом назначения и конструкции машины, а также понимания и разделения задач, стоящих перед вибромониторингом и вибродиагностикой, объединенных в одном подходе – контроль технического состояния.

На рис. 1 приведена предлагаемая относительно универсальная структура вибрационного контроля промышленных роторных машин различного типа и назначения, предназначенная для организации контроля как по параметрам абсолютной вибрации опор, так и относительной вибрации валов.

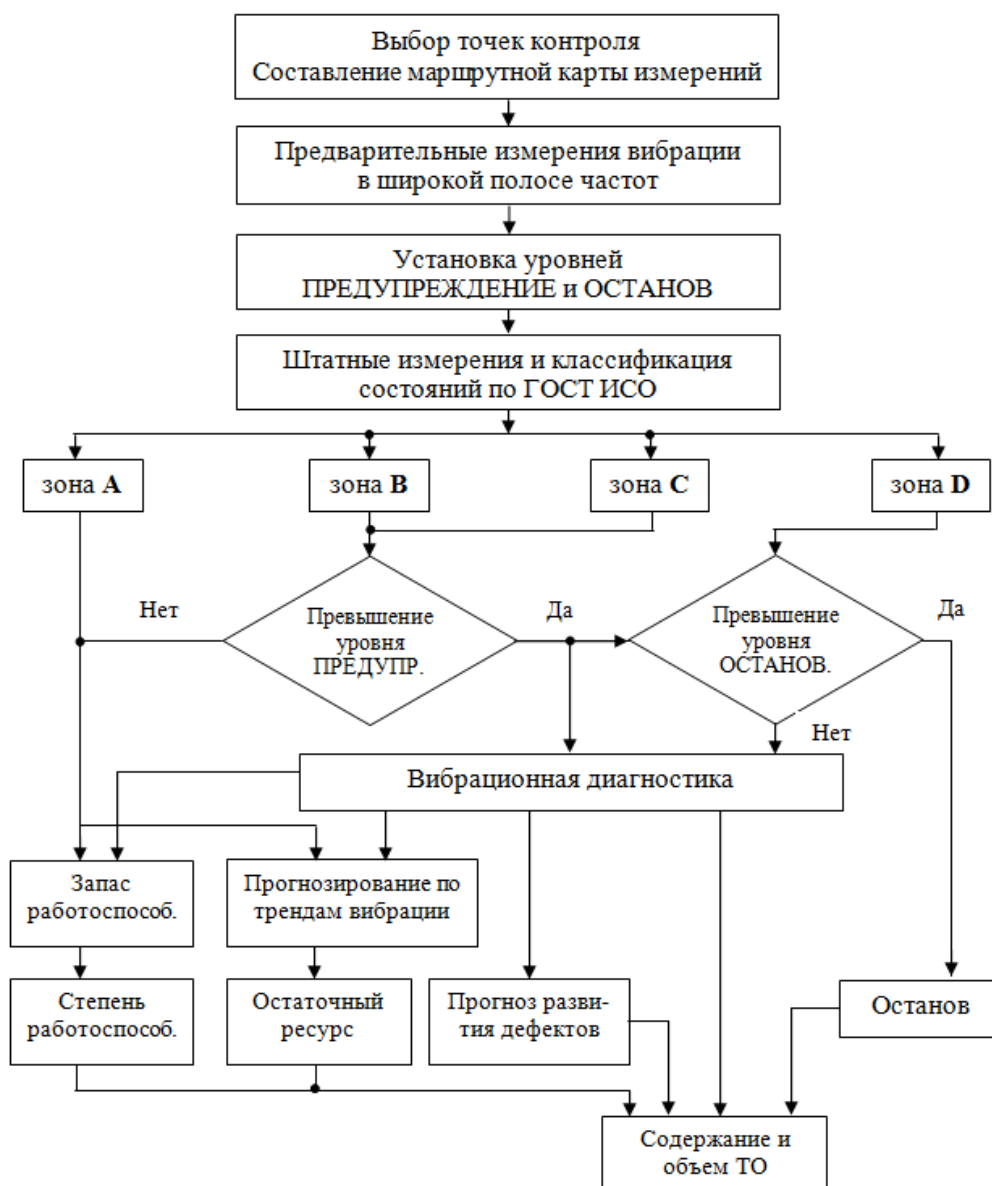


Рис. 1. Блок-схема вибрационного контроля состояния машин

Отметим, что вибромониторинг в предлагаемой постановке представляет процесс измерения и наблюдения во времени интегральных параметров широкополосной вибрации, который решает следующие задачи:

- оценка вибрационного состояния в соответствии с заданными границами зон состояний (серия ГОСТ ИСО 10816 или серия ГОСТ ИСО 7919) и установленными уровнями ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ;
- оценка запаса работоспособности, представление изменения параметров вибрации в виде трендов с прогнозированием остаточного ресурса.

Вибродиагностика решает задачи по обнаружению и распознаванию дефектов машины в случаях, когда общие параметры вибрации превышают заданные уровни ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ (рис. 1). В результате выполнения диагностики оценивается влияние выявленных дефектов на текущий запас работоспособности, формируется прогноз развития дефекта/дефектов и влияние его на остаточный ресурс, определяется содержание и объем ТО. Безусловно, при решении этих задач должны быть использованы методы частотного (спектрального) анализа, а также иные методы вибродиагностики [1].

Как видно из содержания решаемых задач, вибромониторинг не предназначен для выявления дефектов на ранней стадии их развития, его назначение – обнаружение изменения состояния, которое вызвано уже развитым дефектом или группой дефектов.

Основные методические положения организации вибромониторинга приведены для случая контроля абсолютной вибрации опор роторных машин в виде среднего квадратичного значения (СКЗ) виброскорости. Выбор точек контроля и составление маршрутной карты измерений производится исходя из конструкции машины. Предварительные измерения ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) позволяют установить базовые уровни вибрации для каждой ( $j = 1, 2, \dots, m$ ) точки контроля по каждому из направлений измерения:

- среднее значение СКЗ виброскорости  $V_{e0j}$

$$V_{e0j} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{eji}; \quad (1)$$

- среднее квадратичное отклонение (СКО) среднего СКЗ  $V_{e0j}$

$$S_{Ve0j} = \left( \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (V_{eji} - V_{e0j})^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2)$$

Если  $S_{Ve0j} \leq 0,1V_{e0j}$ , то базовый уровень принимается равным расчетному, иначе необходимо проведение большего числа измерений. Уровень ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ рассчитывается по условию

$$V_{ej}^{PP} = V_{e0j} + 0,25V_e^{B/C}, \quad (3)$$

где  $V_e^{B/C}$  – граница зон состояний **В** и **С** по ГОСТ ИСО 10816 и, в зависимости от величины, принимается: если  $V_{ej}^{PP} > 1,1V_e^{B/C}$ , то  $V_{ej}^{PP} = 1,25V_e^{B/C}$ , если же

$V_e^{B/C} < V_{ej}^{PP} \leq 1,1V_e^{B/C}$ , то, как и при  $V_{ej}^{PP} < V_e^{B/C}$  остается равным расчетному.

Уровень ОСТАНОВ, который определяет динамическую прочность конструкции машина-фундамент, рекомендуется устанавливать в двух вариантах:

$$V_{ej}^{OCT} = 0,9V_e^{C/D}, \text{ «мягкий» уровень;} \quad (4)$$

$$V_{ej}^{OCT} = 1,25V_e^{C/D}, \text{ «жесткий» уровень,} \quad (5)$$

в зависимости от ответственности машины и наличия технического резерва ( $V_e^{C/D}$  – граница зон состояний С и D по ГОСТ ИСО 10816).

Результаты расчета уровней сводятся в технологическую карту контроля.

При вибромониторинге по широкополосной вибрации целесообразно прогнозирование, основанное на анализе трендов изменения СКЗ виброскорости. Данными для тренда являются: даты измерений  $\dots, t_{i-3}, t_{i-2}, t_{i-1}$  (предыдущие),  $t_i$  (текущая) и измеренные величины СКЗ виброскорости  $\dots, V_{e\ i-3}, V_{e\ i-2}, V_{e\ i-1}$  (предыдущие) и  $V_{e\ i}$  (текущая). В качестве модели тренда принята линейная регрессия, параметры которой определяются статистически:

$$V_e(t) = V_{e\ cp} + b(t_i - t_{cp}), \quad (6)$$

где  $V_{e\ cp}$  – среднее значение СКЗ виброскорости за период измерений;  $b$  – аппроксимирующий коэффициент;  $t_{cp}$  – среднее время в интервале контроля.

При  $n$  числе измерений СКЗ виброскорости  $V_{ei}$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ), коэффициенты регрессии определяются:

$$V_{e\ cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n V_{ei}; \quad t_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n t_i; \quad b = \frac{(V_e \cdot t)_{cp} - V_{e\ cp} \cdot t_{cp}}{t_{cp}^2 - (t_{cp})^2}, \quad (7), (8), (9)$$

где в (9)  $t_{cp}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n t_i^2$  и  $(V_e \cdot t)_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n V_{ei} \cdot t_i$  – среднее произведение.

Определение ресурсных показателей, т.е. времени достижения величиной вибрации заданных уровней, производится из уравнения (6). При этом могут решаться следующие задачи:

- *определение времени сохранения работоспособности (остаточного ресурса) машины до достижения величиной вибрации границы зон С/D или установленных уровней ОСТАНОВ по (4) или (5), когда предшествующие результаты измерений определяли нахождение машины в зоне С;*

- *определение времени нахождения машины в состоянии, определяемой зоной В, до достижения величиной вибрации границы зон В/С или установленных уровней ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ, когда предшествующие результаты измерений показывают нахождение машины в зоне В с целью установления необходимости увеличения частоты контроля и выполнения вибродиагностики.*

Для учета случайного отклонения СКЗ виброскорости из-за ошибок и погрешностей измерения, влияния режимов работы и окружающей среды, в качестве прогнозирующей модели может быть принята верхняя доверительная граница тренда (6), что позволит получить наименьшую величину ресурса.

При решении вопросов оценки и прогнозирования работоспособности график контроля вибрации должен составляться с учетом фактической наработки и ответственности машин, их загруженности (число смен работы за сутки).

Поскольку параметры вибрации существенно зависят от режима работы, то для обеспечения сравнимости результатов измерений, необходимо проводить их в примерно одинаковых условиях работы машины (частота вращения вала и параметры, характеризующие нагрузку: мощность, характеристики потока жидкости/газа, давление).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колобов, А.Б. Вибродиагностика: теория и практика: учебное пособие / А.Б.Колобов. – М.: Инфра-Инженерия, 2019. – 252 с.

УДК 621.81

*А. Б. Колобов*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

### РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕДУКТОРА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОДНОБОРОТНОГО МЕХАНИЗМА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

**Ключевые слова:** исполнительный однооборотный механизм, редуктор, цилиндрическая передача, планетарная передача, кинематический расчет, расчет на прочность.

**Аннотация:** приведены основные положения методики расчета редуктора исполнительного однооборотного механизма в режимах прямого и ручного приводов, основные результаты численного расчета напряженного состояния в зацеплении зубчатой передачи.

*A. B. Kolobov*

### DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR THE DESIGN OF THE GEARBOX EXECUTIVE SINGLE TURN MECHANISM SYSTEM AUTOMATIC CONTROL

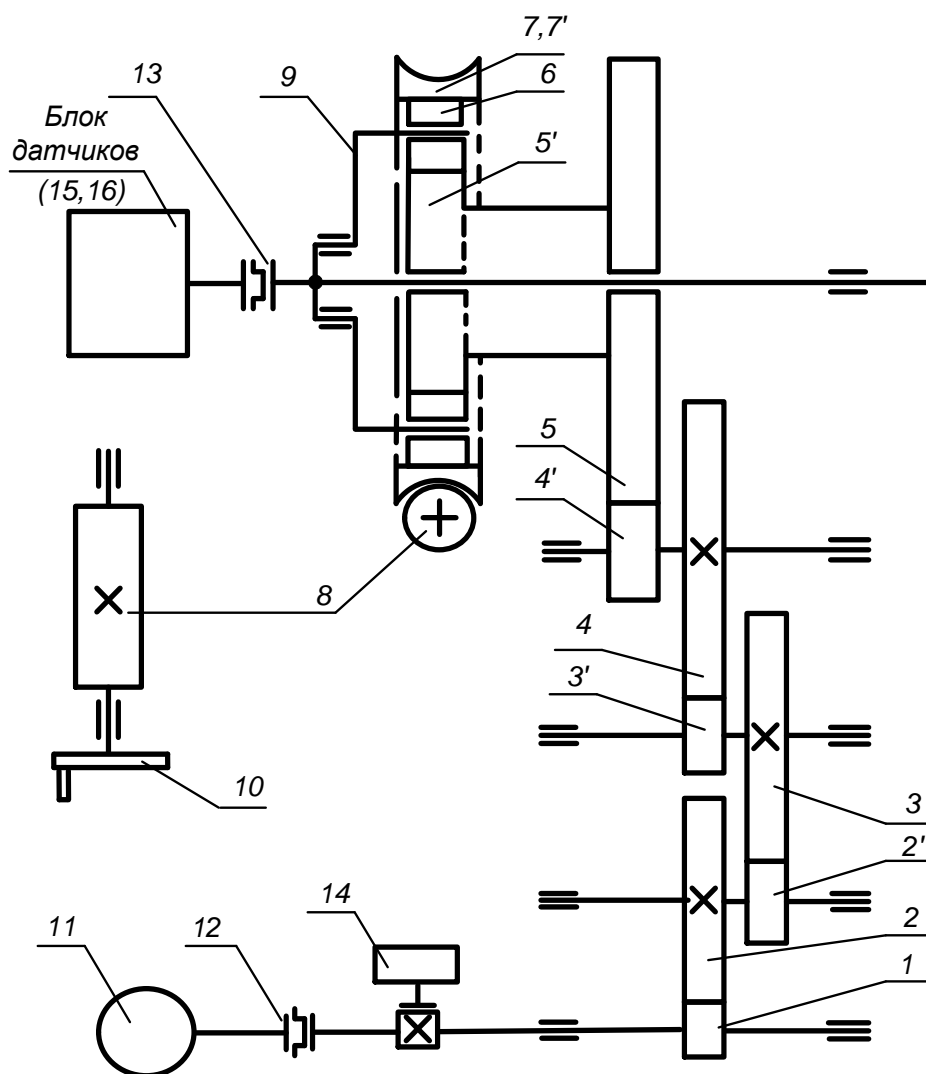
**Keywords:** Executive single-turn mechanism, reducer, cylindrical transmission, planetary transmission, kinematic calculation, strength calculation.

**Abstract:** the main provisions of the method of calculating the gearbox of the executive single-turn mechanism in the modes of direct and manual drives, the main results of the numerical calculation of the stress state in the gearing gear.

При изучении технологий производства и распределения тепловой и электрической энергии, а также систем автоматического управления этими процессами студенты старших курсов сталкиваются со многими видами исполнительных (ИМ) и регулирующих механизмов (РМ), которые в схемах управления присутствуют как квадраты, работающие по установленным алгоритмам.

В учебные планы младших курсов входит выполнение курсовой работы, которая должна познакомить студентов с устройством и принципом работы типовых ИМ, а также – с основами расчета кинематики, геометрии и прочности основных частей ИМ. Задача курсовой работы – проектирование редуктора исполнительного однооборотного механизма (ИОМ) постоянной скорости (промышленный прототип – механизмы типа МЭО [1]) в режимах прямого привода от электродвигателя и ручного привода.

Отличительной особенностью механизма является многоступенчатое исполнение редуктора на основе цилиндрических (ЦП) и планетарных (ПлП) передач, причем планетарная передача выполняет роль обращенного дифференциала, обеспечивая вместе с червячной передачей (ЧП) ручной привод механизма (рис. 1).

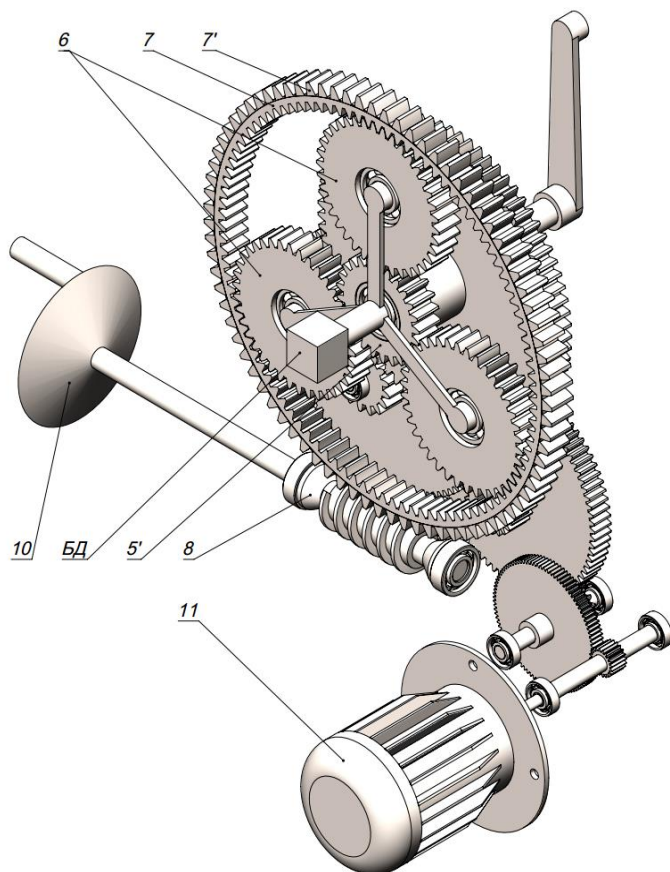


**Рис. 1.** Кинематическая схема редуктора ИОМ:

- 1 – 2, 2<sup>l</sup> – 3, 3<sup>l</sup> – 4 и 4<sup>l</sup> – 5 – зубчатые колеса цилиндрической передачи;  
 5<sup>l</sup>, 6, 7, 9 – соответственно солнечное колесо, сателлиты, корончатое колесо и водило планетарной передачи; 7<sup>l</sup>, 8 – колесо и червяк червячной передачи;  
 10 – рукоятка маховика ручного привода; 11 – электродвигатель (ЭД);  
 12, 13 – соединительные муфты; 14 – электромагнитный тормоз (ЭМТ);  
 15, 16 – блоки датчиков положения и обратной связи

Для наглядного представления конструкции редуктора ИОМ на рис. 2 приведено трехмерное изображение составляющих его зубчатых передач с опорными подшипниками валов ЦП, подшипниками сателлитов и солнечного колеса ПлП. Не показаны опорные подшипники выходного вала и не раскрыта конструкция блока датчиков (БД), который условно показан кубиком, соединенным с водилом ПлП. Номера позиций соответствуют номерам на рис. 1.

Поскольку ИОМ относится не к силовым, а к приборным механизмам, то методически его расчет отличается от расчета силовых редукторов.



**Рис. 2.** Трехмерное изображение редуктора ИОМ (вид со стороны блока датчиков БД)

Разработанная методика расчета зубчатых передач предполагает в процессе создания кинематической компоновочной схемы ИОМ задание передаточных отношений, чисел зубьев, модулей зацепления, по которым рассчитываются геометрические параметры передач, которые не зависят от прочностных характеристик материала. Методика предусматривает расчет крутящих моментов на валах (включая червячный вал ручного привода) и сил в зацеплении ЦП, а также проверочные расчеты на прочность всех видов передач. Также методика содержит принципы выбора электродвигателей (ЭД) прямого привода редуктора ИОМ (типы УАД или ДАТ), основные положения конструирования валов (с проверкой на статическую прочность) и выбора подшипников (с проверкой на долговечность). Методика не предусматривает проектирование корпусных элементов ИОМ. Разработанная методика, исходные данные для проектирования и пример расчета приведены в учебном пособии автора [2].

Методика расчета обеспечивает получение высоких технических характеристик ИОМ: большое передаточное отношение, обеспечивающее требуемую скорость перемещения регулирующего органа; достаточно высокое к.п.д., что позволяет использовать ЭД малой мощности. Для удобства проектирования и сокращения времени расчета, на основе разработанной методики, в среде Mathcad создана расчетная программа.

Кроме авторской методики аналитического расчета редуктора ИОМ для студентов старших курсов предложено решение задачи численного моделирования прочности зубчатого зацепления, на примере наиболее нагруженной ступени ЦП, с использованием программного комплекса (ПК) ANSYS Workbench.

Геометрия эвольвентного зацепления создается в среде SolidWorks, материалом колес является конструкционная сталь из библиотеки стандартных материалов ANSYS Workbench. Построение конечно-элементной сетки (КЭС) производится инструментом Contact Sizing, позволяющим сгущать КЭС в области контакта поверхностей зубьев. Используется режим MultiZone, в котором генератор сетки автоматически выбирает зоны, в которых можно создать сетку выдавливанием, что позволяет создать КЭС хорошего качества.

В качестве элемента для разбиения КЭС используется элемент типа Hex20 (SOLID95) – версия более высокого порядка трехмерного 8-узлового твердого элемента (SOLID45), позволяющая переносить неправильные формы без потери точности. Элементы Hex20 имеют совместимые формы смещения и хорошо подходят для моделирования кривых границ. На рис. 3 и 4 приведены результаты расчета в виде распределения напряжений в зацеплении.

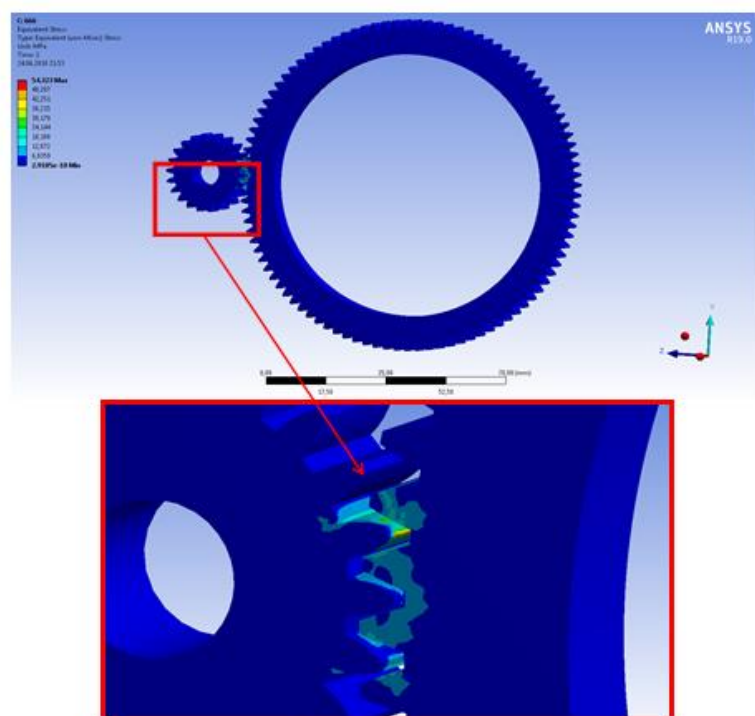


Рис. 3. График распределения напряжений в системе



Рис. 4. Распределение напряжений в разрезе зубчатых колес

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плетнев, Г.П. Автоматическое управление и защита теплоэнергетических установок / Г.П.Плетнев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 344 с.
2. Колобов, А.Б. Проектирование редуктора исполнительного однооборотного механизма системы автоматики: учеб. пособие / А.Б.Колобов; Министерство образования и науки РФ, ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина». – 2-е изд., перераб. и доп. – Иваново, 2019. – 132 с.

УДК 614.846.63:004.94

*С. Г. Короткевич, В. А. Ковтун*

Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦИСТЕРН ПРЯМОУГОЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

**Ключевые** слова: автоцистерны, динамика, деформация, компьютерное моделирование, проектирование, оптимизация конструкций.

**Аннотация:** с применением компьютерного моделирования проведены исследования напряжённо-деформированного состояния и выполнена оценка прочностных свойств конструкции цистерны пожарного автомобиля АЦ-5.0-50/4 на базе шасси МАЗ-5337. На основе расчётов разработаны решения по модернизации конструкции цистерны пожарного автомобиля в целях повышения её эксплуатационной надёжности и увеличения межремонтного периода обслуживания.

*S. G. Korotkevich, V. A. Kovtun*

### ENSURING RELIABILITY IN THE OPERATION OF TANKS OF RECTANGULAR CROSS SECTION FIRE TRUCKS

**Keywords:** tank truck, dynamics, deformation, computer modeling, research, engineering design, structural optimization.

**Abstract:** with the use computer modeling approaches, stress-strain state studies were performed and the strength properties of the fire truck AC-5.0-50/4 tank construction on the basis of the MAZ-5337 chassis were evaluated. On the basis of calculations made, the solutions on the design upgrade of the fire truck's tank were developed in order to increase its operational reliability and to improve the overhaul period of service.

Ежедневно аварийно-спасательные подразделения сталкиваются в своей работе с различными чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера. Статистика работы пожарных аварийно-спасательных подразделений свидетельствует, что 98% от общего числа погибших приходится на начальный период развития пожаров и чрезвычайных ситуаций, а основной привлекаемой техникой является пожарная автоцистерна [1]. Анализ записей в журналах учёта технического обслуживания и ремонта техники производственно-технических центров Министерства по чрез-



вычайным ситуациям Республики Беларусь показал, что одной из причин нахождения в ремонте пожарной автоцистерны является нарушение герметичности ёмкости для жидкости.

Конструкция цистерны представляет собой ёмкость прямоугольного сечения, образованного передней, задней, боковыми, верхней и нижней стенками. Внутри расположены рёбра жесткости, продольные и поперечные волноломы. Основное отличие от других автомобилей, имеющих ёмкости для жидкости, заключается в необходимости обеспечения повышенных требований к прочности конструкции цистерны. Это обусловлено необходимостью следовать к месту вызова на пожар не только по асфальтированным, но и по просёлочным дорогам. Часто пожары возникают в лесах, кустарниках, торфяниках, подъезд к которым затруднён отсутствием ровного дорожного покрытия для такой крупногабаритной техники. В таких условиях при движении корпус испытывает осевые и динамические воздействия, что передаёт значительные, не редко критические нагрузки на конструкцию цистерны [2]. В результате особых эксплуатационных режимов при движении на ликвидацию чрезвычайных ситуаций в конструкции цистерны начинают появляться трещины в угловых сварных соединениях стенок цистерны и в угловых сварных соединениях волноломов. Устранение данных повреждений требует большого объёма подготовительных и ремонтных работ, которые ведут к простоя техники в течение продолжительного времени. В условиях ограниченного финансирования поддержание оперативных возможностей и ресурса парка пожарных автоцистерн становится одной из актуальных задач Министерства по чрезвычайным ситуациям.

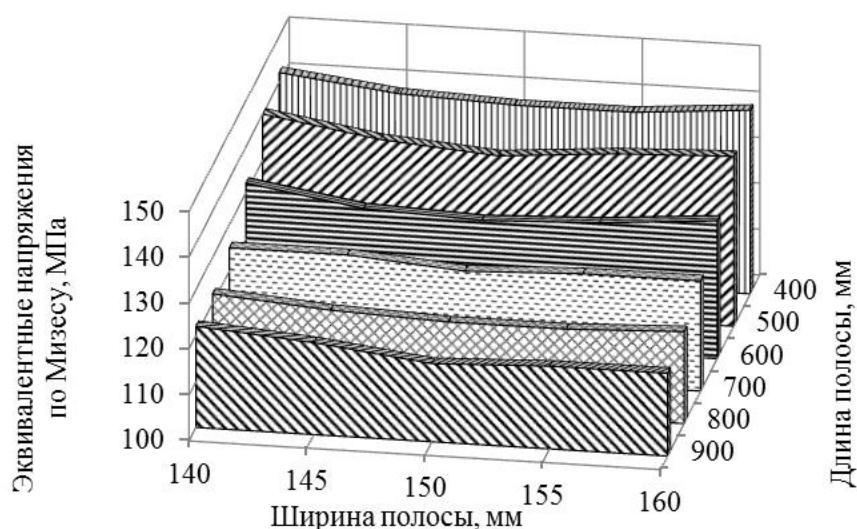
Для достижения поставленной цели работы использован методологический подход, основанный на совокупном использовании результатов экспериментальных измерений и компьютерного моделирования. Исследование напряженно-деформированного состояния цистерны пожарного автомобиля проведено с использованием методов компьютерного моделирования. В качестве средства расчета использовался программный продукт ANSYS. В качестве исходных параметров моделирования использовались геометрические размеры деталей цистерны, физико-механические характеристики материалов и предварительно измеренные значения ускорения, возникающего от вибрации конструктивных элементов при движении [3,4].

Для проведения эксперимента была выбрана пожарная автоцистерна пятитонного водоизмещения на базе шасси МАЗ-5337, как наиболее распространённая в эксплуатации и уже вышедшая из гарантийного периода обслуживания. Порядок проведения испытаний, разработки компьютерной модели и расчёта в программном продукте ANSYS описаны в статье [5].

Анализ полученных результатов в ходе компьютерного моделирования в программном комплексе ANSYS позволил определить области возникновения максимальных эквивалентных напряжений по Мизесу в исследуемой конструкции цистерны пожарного автомобиля. Данные области соответствуют угловым сварным соединениям передней, задней и боковых стенок цистерны, в которых  $\sigma_{max} = 154 \pm 10$  МПа; угловым сварным соединениям волноломов к стенкам цистерны, в которых  $\sigma_{max} = 145 \pm 9$  МПа; нахлесточным сварным соединениям рёбер жёсткости на боковых стенках цистерны, в которых  $\sigma_{max} = 148 \pm 9$  МПа. Полученные результаты хорошо согласуются со сведениями о проблемных местах в конструкциях цистерн данного типа.

В целях снижения возникающих нагрузок в угловых сварных соединениях стенок цистерны пожарного автомобиля предложена дополнительная установка косынок в виде полосы, расположенных в вертикальной плоскости под углом 45 градусов к находящимся в контакте стенкам цистерны. При расчёте в программном комплексе ANSYS была установлена зависимость возникающих значений эквивалентных напряжений по Мизесу в угловом сварном соединении цистерны от конструктивного исполнения устанавливаемой косынки (рис. 1). Оптимизируемыми параметрами косынки являлись длина и ширина при постоянной толщине.

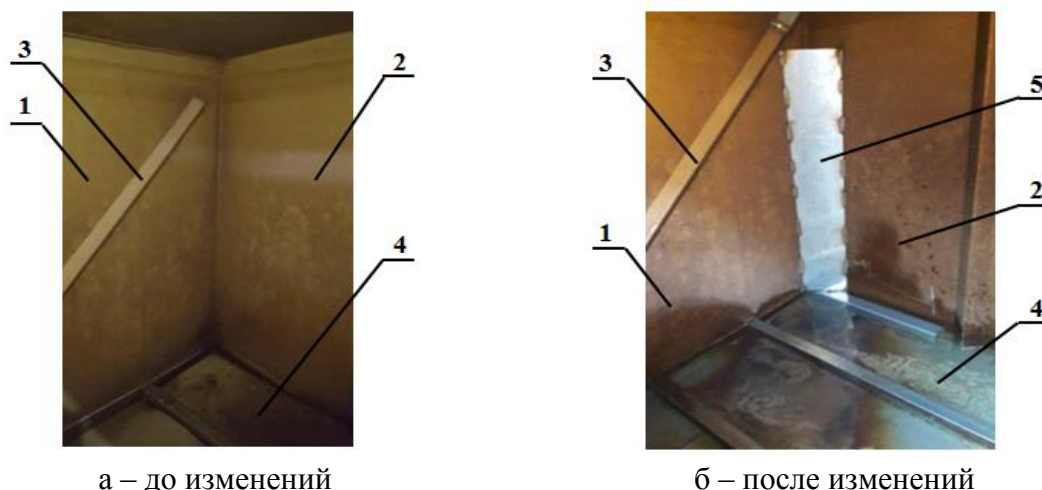
В результате сравнения различных вариантов конструктивного исполнения косынки в виде полосы при проведении сравнительных расчётов было установлено, что наиболее оптимальными геометрическими размерами являются длина 900 мм и ширина 150 мм. Данное решение позволило снизить возникающие напряжения на 24 % ( $37 \pm 4$ ) МПа.



**Рис. 1.** Зависимость эквивалентных напряжений по Мизесу от конструктивных размеров косынки в виде полосы устанавливаемой в угловом сварном соединении стенок цистерны

На рис. 2а представлена фотография внутреннего углового сварного соединения боковой и задней стенок цистерны заводского исполнения. На рис. 2б представлена фотография углового сварного соединения боковой и задней стенок цистерны с установленным дополнительным элементом в виде косынки.

По полученным результатам проведённых исследований можно сделать следующие выводы. При расчёте в программном комплексе ANSYS установлено влияние размерных факторов конструкционных элементов на напряжённо-деформированное состояние цистерны пожарного автомобиля. Проведены прочностные расчёты изменённой конструкции цистерны, на основе которых определены оптимальные размеры составляющих конструкционных элементов и разработаны рекомендации по конструкционному дополнению цистерн пожарных автомобилей АЦ-5.0-50/4 на базе шасси МАЗ-5337, которые могут быть использованы при проведении капитального ремонта и модернизации. Внедрение и практическая комплексная реализация данных рекомендаций позволяет повысить эксплуатационную надёжность конструкции цистерны на более чем 30 %, тем самым увеличив её межремонтный период.



**Рис. 2.** Фрагмент внутреннего углового сварного соединения боковой и задней стенок цистерны: 1 – боковая стенка цистерны, 2 – задняя стенка цистерны; 3 – ребро жесткости на боковой стенке цистерны; 4 – дно цистерны; 5 – косынка

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казябо В.А., Шавель Ю.И., Гончаров И.Н. Концепция оснащения подразделений по чрезвычайным ситуациям пожарной аварийно-спасательной техникой НИИ ПБ и ПЧС // сборник отчётов о НИР. – 2018. – С. 4-9.
2. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести / Н.И. Безухов // Минск: Высшая школа. 1993. 512 с.
3. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева МА. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. - М.: Едиториал УРСС. 2003. 272 с.
4. Елисеев К.В., Зиновьева Т.В. Вычислительный практикум в современных САЕ-системах. СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2008. с. 112.
5. Ковтун В.А., Короткевич С.Г., Жаранов В.А. Компьютерное моделирование и исследование напряжённо-деформированного состояния конструкций цистерн пожарных автомобилей // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2018. – № 1. – С. 81-90.

УДК 629.4.03

**Л. В. Лукиенко**

ФГБОУ ВО Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого

### ОПОРНО-НАПРАВЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШАХТНЫХ ЭЛЕКТРОВЗОВ ПО НАКЛОННЫМ ВЫРАБОТКАМ

**Ключевые слова:** шахтный электровоз, наклонные выработки, опорно-направляющее устройство.

**Аннотация:** В статье представлен анализ конструкций устройств, которые позволяют расширить применение шахтных электровозов на выработки со значительным углом падения. Предложено устройство, позволяющее обеспечить постоянство межосевого расстояния в паре колесо-рейка зубчато-реечного движителя.

*L. V. Lukienko*

## THE BASIC AND GUIDING DEVICE FOR MOVEMENT OF MINE ELECTRIC LOCOMOTIVES ON INCLINED SEAMS

**Keywords:** mine electric locomotive, inclined developments, basic and guiding device.

**Abstract:** The analysis of designs of devices which allow expanding application of mine electric locomotives on inclined seams is presented in article. The device allowing providing constancy of interaxle distance between of the gear and rack is offered.

В связи с необходимостью увеличения объёмов добычи полезных ископаемых и значительным усложнением горно-геологических условий их залегания особую актуальность приобретают вопросы транспортирования добытого полезного ископаемого к месту его обогащения, либо перегрузки и дальнейшей транспортировки. Решению этой важной народно-хозяйственной задачи может способствовать расширение применения шахтных электровозов на наклонные выработки со значительным углом падения. Этого можно достичь за счёт применения зубчато-реечных передач в приводе электровоза. При этом, одной из задач, которые необходимо решать является сохранение постоянства межосевого расстояния в зацеплении колесо-рейка. Для этого может быть использовано опорно-направляющее устройство.

Из существующего уровня техники известно устройство для повышения коэффициента сцепления ведущего колеса локомотива с рельсом [1], содержащее связанную с ведущим колесом шестерню, зацепленную с зубчатой рейкой, закрепленной на рельсе, отличающееся тем, что реборда ведущего колеса выполнена зубчатой с образованием указанной шестерни, а заходный участок рейки закреплен на рельсе с возможностью упругого перемещения по вертикали и зубья на ней выполнены переменной высоты. В качестве основного недостатка данного устройства можно отметить тот факт, что изготовление реборды ведущего колеса с образованием зубчатого колеса весьма затруднительно и будет сопровождаться значительными погрешностями, а возможность вертикального упругого перемещения по вертикали заходного участка рейки может привести к дополнительным нагрузкам на шпалы, что скажется отрицательно на работоспособности рельсового полотна.

Известна шахтная напочвенная дорога с зубчатым приводом (RU 2323842, МПК В61В13/02, В61С11/04, Е21F13/00 дата публикации 10.05.2008) с зубчатым приводом с бесцепным тяговым органом. Состав напочвенной дороги с зубчатым приводом перемещается по рельсам, между которыми рассредоточен зубчатый став, по которому катится пальцевое колесо тягового органа, приводимого от любого вида двигателей. Кабина и приводная станция соединены с тяговым органом с помощью прижимных шарнирных муфт с вертикальными поверхностями вращения на соединениях. Основным недостатком применения шарнирных прижимных муфт является неравномерность вращения ведомого вала при равномерном вращении ведущего.

Известна напочвенная дорога с зубчатым приводом, по патентам PL 179457 (E21F 13/02, дата публикации 29.09.2000) и PL352234, с тяговым органом, установленным на рельсах, а между отдельными рельсами расположен зубчатый став, по которому вращается пальцевое колесо тягового органа, привод которого осуществляется от электродвигателя или от двигателя другого типа. Поскольку тяговый орган включает в себя равно как систему подачи, в качестве пальцевого колеса, так и привод в качестве двигателя, питаемого энергией из внешнего источника, габаритные размеры которого могут создавать препятствие для перемещения в штреках с ограниченным сечением, а более того в горных выработках всегда имеются проблемы с перемещением кабелей или линий питания по ходу перемещения напочвенной дороги.

Известна система подачи Динатрак фирмы «Хальбах унд Браун» [2]. В этой системе ведущая звездочка, соединённая с выходным валом механизма подачи через промежуточную шестерню, входит в зацепление со специальной круглозвенной цепью, уложенной в направляющем желобе, закрепленном на забойном или завальном борту конвейера. Машина опирается гладкими ободами обеих звездочек на плоскую поверхность направляющего желоба цепи, а с другой стороны конвейера – опорными роликами на специальную направляющую. Обратные захваты в этих четырех точках предупреждают опрокидывание машины при движении через участки искривления конвейера. Основным недостатком системы является её сложность и недостаточная жёсткость тягового органа, представленного в виде цепи.

К аналогу можно отнести, устройство для повышения коэффициента сцепления (МПК В61С 15/08, В61С 11/04, RU 2022847) ведущего колеса локомотива с рельсом, содержащее связанную с ведущим колесом шестерню, зацепленную с зубчатой рейкой, закрепленной на рельсе. Недостатком такого устройства является технологически сложное выполнение зубьев рейки по синусоидальному профилю, а также недостаточное увеличение силы сцепления.

Известна зубчатая дорога системы Абта [3], где отсутствует опорно-направляющее устройство, а постоянство зацепления обеспечивается за счёт массы локомотива. Между тем весьма вероятна ситуация при которой вследствие, например, изнашивания выталкивающие силы в зацеплении могут достигать значительных величин. При этом качество зацепления снизится и может возникнуть прерывистый характер движения локомотива.

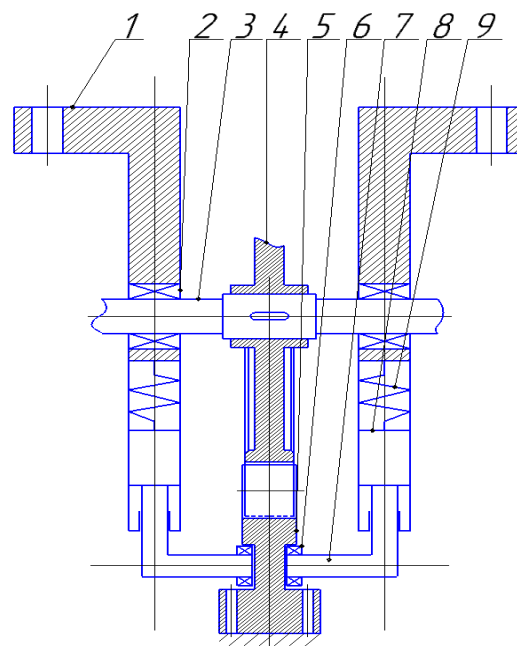
Предлагаемое устройство направлено на повышение эффективности эксплуатации шахтных электровозов за счёт обеспечения постоянства зацепления и улучшения его качества, а также повышения КПД, а также увеличение тягового усилия.

Сущность предложения заключается в том, что опорно-направляющее устройство для зубчато-реечных движителей шахтных электровозов включает зубчатое колесо, рейку, пружины и содержит корпус, который закреплён на раме электровоза, подшипники, угловую направляющую. По направляющим пазам рейки обкатываются опоры качения, конструктивно увязанные через подпружиненный поршень с рамой электровоза.

Предлагаемая конструкция (рисунок) состоит из корпуса опорно-направляющего устройства 1, подшипников 2, приводного вала колёсной пары 3, зубчатого колеса 4, рейки (зубчатой) 5; опоры качения 6; угловой направляющей 7, поршня 8, пружины 9.

Предлагаемое устройство работает следующим образом. Крутящий момент от электродвигателя через систему зубчатых колёс передаётся на зубчатое колесо 4, закреплённое на приводном валу колёсной пары 3, которое обкатывается по рейке (например, зубчатой) 5. При этом электровоз перемещается вдоль оси рейки. Постоянство межосевого расстояния обеспечивается за счёт корпуса опорно-направляющего устройства 1, закреплённого на раме электровоза. Снижение коэффициента трения достигается за счёт наличия опор качения 6. Демпфирование неизбежных колебаний, возникающих при работе зубчато-реечной зацепления, осуществляется за счёт работы поршней 8 и пружин 9.

Использование шахтного электровоза предлагаемой конструкции позволит увеличить полезную грузоподъемность. Кроме того, применение зубчато-реечной системы позволит значительно повысить допустимый угол подъёма шахтного электровоза.



**Рисунок.** Схема зацепления с обратными захватами

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шахтная напочвенная дорога с зубчатым приводом (RU 2323842)[Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/232/2323842.html> [22.11.2015].
2. Кундель Х. Выемка угля: Пер. с нем. Под ред. В. И. Парамонова. – М.: Недра, 1986. – Пер. изд.: ФРГ, 1988-287 с.
3. Коковцов К.К. Горные железные дороги Швейцарии особых систем. II. Зубчатые дороги. Санкт-Петербург, 1909, 269с.
4. Хачатрян Г.А. Устройство для повышения коэффициента сцепления ведущего колеса локомотива с рельсом. (Патент РФ 2022847 С1, МПК В61С11/04, В61С15/08. Дата публикации 15.11.1994)

УДК 625.084

**С. С. Лычев, М. Д. Герасимов**

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

### ВИБРАЦИОННЫЙ УПЛОТНИТЕЛЬ БЕТОННОЙ СМЕСИ

**Ключевые слова:** установка, вибровозбудитель, вибрационный стенд, вибратор, бетонные изделия.

**Аннотация:** На рынке строительной техники представлено достаточно большое количество машин для формования бетонных изделий. Статья содержит анализ конструкций и обосновывает инновационную модель вибрационного уплотнителя для уплотнения бетонной смеси в формах.

*S. S. Lychev, M. D. Gerasimov*

## **THE VIBRATORY COMPACTOR OF CONCRETE MIX**

**Keywords:** This article describes an experimental setup for improving the compaction processes of building mixtures.

**Abstract:** In the market of construction equipment is represented by a sufficiently large number of machines for molding concrete products. The paper contains the analysis of structures and prove an innovative model of vibratory compactor for compacting the concrete mix in the forms.

Целью работы данной статьи является проведение анализа конструкций и обосновать инновационную модель вибрационного уплотнителя для уплотнения бетонной смеси в формах. На рынке строительной техники представлено достаточно большое количество машин для формования бетонных изделий [1].

Установка предназначена для уплотнения бетонных смесей при изготовлении облицовочной и тротуарной плитки, блоков и плит общей массой от 10 до 300 кг или других изделий по требованию заказчика.

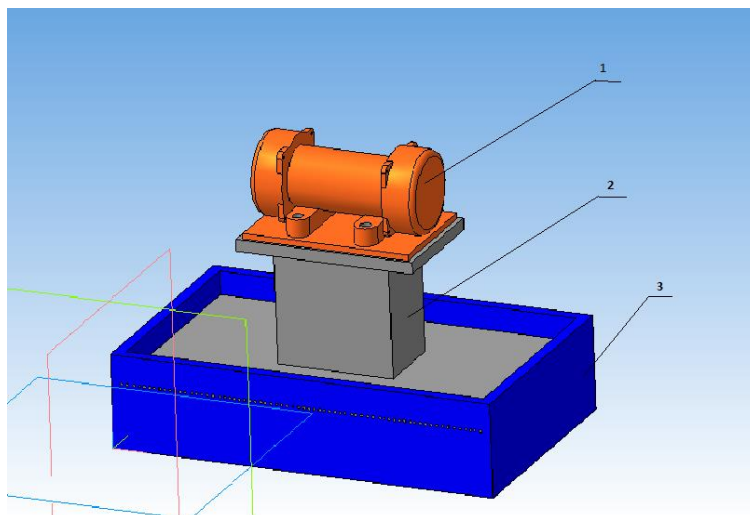
Вибрационный стенд состоит из формы в которую загружается цементобетонная смесь на которую в свою очередь устанавливается груз-поршень с размещенный на нем вибратором круговых колебаний ИВ- 05-50. Таким образом мы совмещаем два процесса прессование и трамбование [2].

Вибратор ИВ-05-50 представляет собой электродвигатель с короткозамкнутым ротором с установленными на концах вала ротора дебалансами. Дебалансы, вращаясь с валом ротора, создают центробежную (вынуждающую) силу. Регулирование величины вынуждающей силы вибратора осуществляется путём изменения взаимного расположения дебалансов на обоих концах вала. Круговые колебания вибратора передаются конструкции, на которой он установлен.

Площадочный вибратор ИВ-05-50 является неотъемлемой частью различных установок, машин и механизмов. Вибраторы предназначены для возбуждения вибрации в установках по уплотнению бетонных смесей и грунтов, транспортированию, выгрузке и просеиванию сыпучих материалов, привода вибропитателей, виброплощадок и других технологических работ[3].

Монтаж выводных проводов в клеммной коробке выполнен на напряжение трехфазной сети 380 В, 42 В, 220/380 В и однофазной сети 220 В, в зависимости от примененных вибраторов. На предприятии - изготовителе предварительно выполнен монтаж вибраторов для получения направленных колебаний. 5.3 Питание вибростола осуществляется медным многожильным кабелем сечением каждой жилы не менее 1,5 мм<sup>2</sup>.

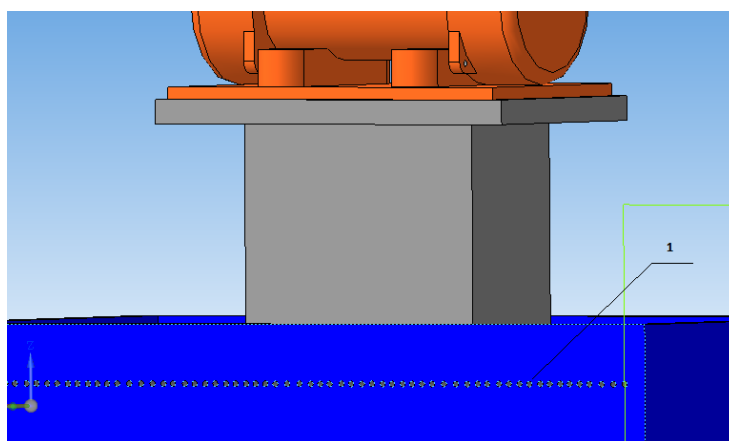
Вибратор Красный Маяк ИВ-05-50, 380 В, 045-0213 новой серии применим на вибростолах, виброплощадках, на электрических виброрейках и виброплитах. Обладает большим рабочим ресурсом (5000 ч).



**Рис. 1.** Эскиз формы с установкой: 1 – вибромотор; 2 - сменный груз; 3- форма

В данном устройстве облегчена операция по регулировке вынуждающей силы. В конструкции применены чугунные подшипниковые щиты. Надежное и долговечное устройство[4].

Чугунные подшипниковые щиты; напряжение питания 380 В; вынуждающая сила - 2.5...5 кН; статический момент - 2.55...5.1; присоединительные размеры - 100x145 мм; высокая мощность двигателя; в конструкции использовались подшипники большой грузоподъемности; повышенная влаго - и пылезащищенность; возможность установки устройства под углом.



**Рис. 2.** Отверстия для вывода излишней воды из ЦБС

Технические характеристики вибратора представлены в таблице.

Таким образом, проведя анализ, мы можем сделать следующие выводы, что экспериментальная вибрационная установка разрабатывается или подбирается, исходя из вибрационных параметров, полученных на вибрационном стенде без использования данного оборудования [5-6].



Таблица. Технические характеристики  
вибратора ИВ-05-50

Характеристики	Значения
Привод	электрический
Мощность, Вт	500
Напряжение, В	380
Высокочастотный	нет
Вес, кг	15
Частота вибрации, виб/мин	3000
Частота, Гц	50
Потребляемый ток, А	1.1
Габариты, мм	280×187×208

Однако подобная схема обладает недостатком, так как вынуждающая сила имеет круговые колебания. Это приводит к наличию эффекта раскачивания в горизонтальной плоскости. Для решения этой проблемы применяют направленные колебания. Направленные колебания формируются установкой двух параллельно-установленных вибраторов. Однако, и такая схема не лишена недостатков. Для данной схемы требуется увеличение габаритов вибрационного узла и обеспечение синхронизации вращения вибрационных валов двух вибраторов.

Данная проблема решается с помощью применения одновального планетарного вибратора, основные принципы проектирования изложены в работах.

Для обеспечения качественного формования бетонных изделий целесообразно использовать направленные колебания с одновальным вибратором планетарного типа.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов М.Д. Способ получения направленных механических колебаний для практического применения в технологических процессах // Строительные и дорожные машины, 2014, №1, С. 35-38.
2. Герасимов М.Д. Инновационные вибрационные технологии, машины и оборудование. Опыт НИОКР // «Мир дорог». С.-Пб. Специальный выпуск 2015-2016. С. 31-32.
3. Тюремнов, И.С. «Интеллектуальные» катки «интеллектуальное» уплотнение /И.С. Тюремнов, Е.К. Чабуткин, Р.Д. Окулов // Строительные и дорожные машины. - 2014. - № 8. - С. 2-7.
4. Костельов, М.П. «Умные виброкатки» для дорожников (обзор с оценкой новинок последнего времени) // Каталог-справочник Дорожная техника 2006.-2014.-С. 30-62.
5. M. D. Gerasimov, O.V. Mkrtychev, S. N. Glagolev, D. M. Gerasimov, S. S. Latyishev. Method of Determination of Vibrating Screens Oscillation's Amplitude in a Characteristic Point for Plane Motion. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016. VOL.11, NO 20, October. PP. 12295-12301.
6. Romanovich, A.A. Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // A.A. Romanovich, M.A. Romanovich, E.I. Chekhovskoy // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2018. T. 194. (032025). С. 1-6.

УДК 62-932.4

*А. О. Любимов, И. А. Легкова*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ЧАСТИ**

**Ключевые слова:** газоотведение, удаление выхлопных газов, техническое устройство, прочностной расчет, работающий автомобиль в закрытом помещении.

**Аннотация:** данная работа посвящена прочностному расчету конструкции для удаления выхлопных газов пожарных автомобилей в закрытых помещениях пожарно-спасательной части.

*A. O. Lyubimov, I. A. Legkova*

## **STRENGTH CALCULATION OF THE TECHNICAL DEVICES FOR FIREFIGHTING AND RESCUE PART**

**Keywords:** getoteten, remove the exhaust, technical design, strength calculation, a running car in an enclosed space.

**Abstracts:** this paper is devoted to projectname the design calculation to remove the exhaust fire engines in enclosed spaces firefighting and rescue part.

В каждой пожарно-спасательной части имеется гаражное помещение с расположенными внутри пожарными автомобилями. Осмотр пожарных автомобилей проводят при включенном двигателе, а это приводит к скоплению вредных примесей от сгорающего топлива – выхлопных газов, особенно остро эта проблема стоит в зимний период и лето в сухую безветренную погоду.

Авторами предлагается рассмотреть для пожарно-спасательной части 11 Кинешемского муниципального района устройства для удаления продуктов сгорания топлива из гаражного помещения части (рис. 1).



**Рис. 1.** Расположение пожарно-спасательной части 11  
Кинешемского муниципального района

Была спроектирована простейшая конструкция [1], которая проходит вдоль всей гаражной части, является передвижной за счет использования скользящего узла на прорезиненных колесиках, равномерного крепления. Для основного технического решения проведен прочностной расчет балки в графической системе КОМПАС-3D (рис. 2) [2]. Определен коэффициент запаса по прочности, найдено максимальное перемещение балки (рис. 3).

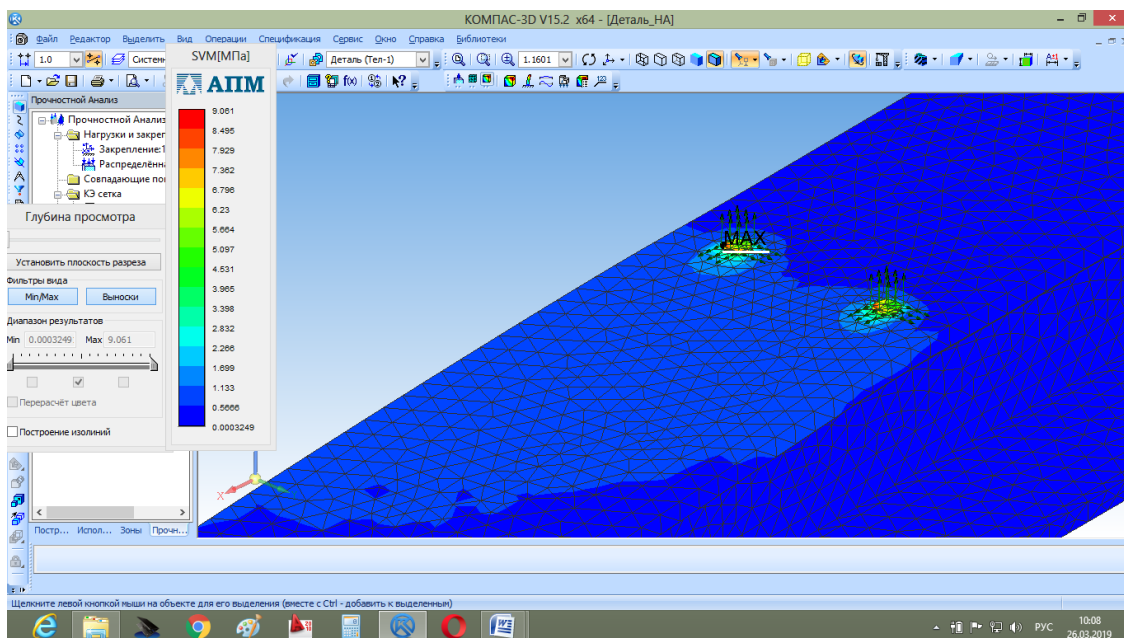
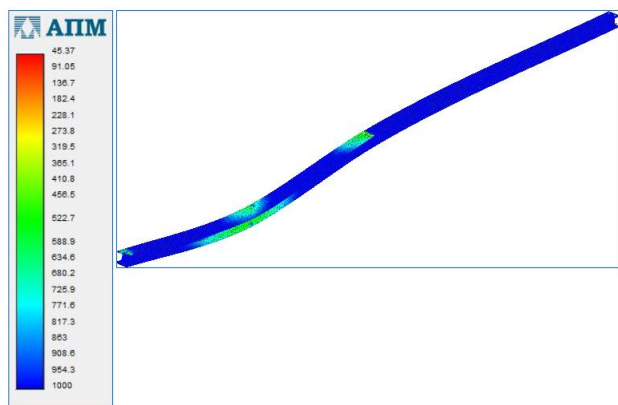


Рис. 2. Расчет на прочность в КОМПАС-3D

Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Коэффициент запаса по прочности		45.373422	1000



Наименование	Тип	Минимальное значение	Максимальное значение
Суммарное линейное перемещение	USUM [мм]	0	0.041512

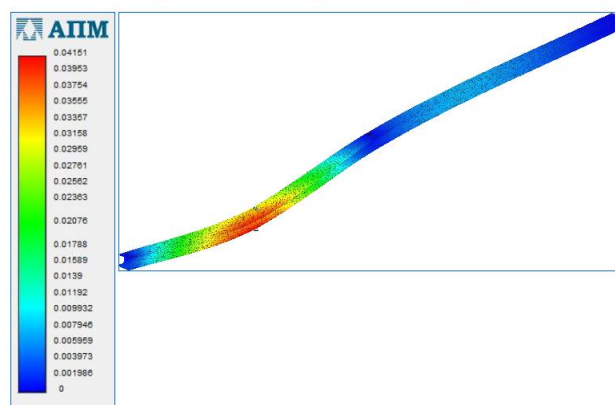


Рис. 3. Результаты прочностного расчета

Устройство для искусственного удаления продуктов сгорания топлива в закрытых помещениях имеет большое распространение [3]. Считаем, что аналогичные устройства необходимы в каждой части, каждом гаражном помещении, на каждом ремонтном poste. Хочется надеяться, что данная система найдет достаточно широкое

применение, что обеспечит надежную безопасность сотрудников, стоящих на службе круглые сутки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кропотова Н.А. Техническое решение удаления продуктов сгорания топлива при контрольном осмотре пожарного автомобиля ПСЧ в зимний период. // NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 57. Т. 3. С. 55-62.

2. Легкова И.А., Зарубин В.П., Бык Н.О., Оганин А.Г. Проведение прочностного расчета конструкции в КОМПАС-3D. / Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XII международной научно-практической конференции. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2017. – С.496-499.

3. Кропотова Н.А., Иванов В.Е. Борьба с коррозией пожарного автомобиля для увеличения сроков эксплуатации при проведении работ в условиях сельской местности. / Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2018. – С. 38-41.

УДК 62-932.4

*А. О. Любимов, Н. А. Кропотова, П. В. Пучков*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ИЗ ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

**Ключевые** слова: газоотведение, удаление выхлопных газов, техническое устройство, принцип удаления выхлопных газов, техническое решение, работающий автомобиль в закрытом помещении.

**Аннотация:** данная работа посвящена предложению двух конструкций для удаления выхлопных газов пожарных автомобилей в закрытых помещениях пожарно-спасательной части.

*A. O. Lyubimov, N. A. Kropotova, P. V. Puchkov*

### TECHNICAL SOLUTION TO REMOVE THE EXHAUST FIRE TRUCKS FROM INDOORS

**Keywords:** gas release, remove exhaust, a technical device, principle of exhaust gases, the technical solution of running a car indoors.

**Abstracts:** this work is devoted to the proposal of two designs for the removal of exhaust gases of fire trucks in enclosed areas of the fire and rescue unit.

При проведении контрольного осмотра пожарного автомобиля перед заступлением на дежурство следует провести перечень работ. Осмотр проводится при включенном двигателе автомобиля. Если будем проводить осмотр в зимнее время, тогда

осмотр проводится в закрытом помещении, что чревато скоплением вредных выхлопных газов сгораемого топлива. Отсюда исследование данного вопроса и предложение возможного технического решения является актуальной задачей.

Для решения обозначенной проблемы, предлагается две технические конструкции для удаления выхлопных газов пожарных автомобилей пожарно-спасательной части: стационарная и мобильная.

Предлагается простейшая стационарная система для удаления продуктов сгорания любого вида топлива рис. 1. Достоинством предлагаемого устройства является его крепление в верхней части помещения, причем данная система является регулируемой по длине и высоте использования.

Основные функциональные задачи предложенной конструкции:

- снижение возникающей загазованности помещений пожарно-спасательной части, ремонтных мастерских;
- эффективность работы специалистов, производящих ремонт, контрольный осмотр: улучшение видимости, снижение частоты сердечных сокращений, снижение кровяного давления, снижая вредное воздействие дыма на организм человека.

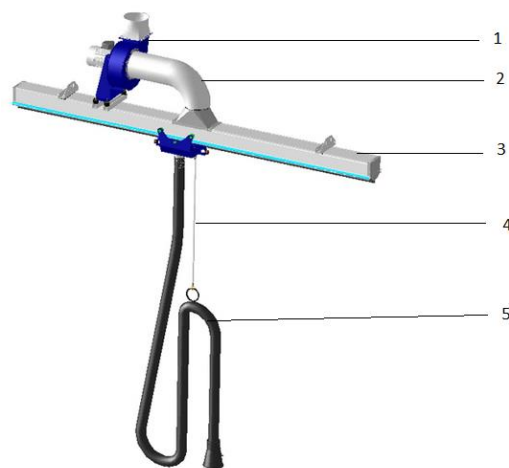
Второе решение – мобильная установка для отведения выхлопных газов (рис. 2).

Отведение продуктов сгорания топлива препятствует его распространению в соседние помещения, коридоры, на межэтажные лестницы. Таким образом, нетрудно понять, насколько важно не только техническое проектирование конструкции для удаления выхлопных газов из закрытого помещения, но и профессиональный монтаж системы, и ее регулярное и своевременное обслуживание.

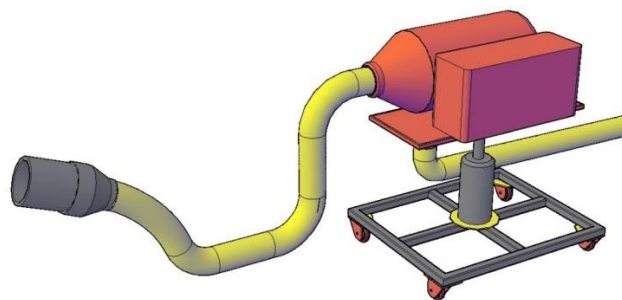
## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кропотова Н.А. Техническое решение удаления продуктов сгорания топлива при контрольном осмотре пожарного автомобиля ПСЧ в зимний период. // NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 57. - Т. 3. - С. 55-62.

2. Кропотова Н.А., Иванов В.Е. Борьба с коррозией пожарного автомобиля для увеличения сроков эксплуатации при проведении работ в условиях сельской местности. / X Всероссийская научно-практическая конференция «Надежность и долговечность машин и механизмов», ИПСА ГПС МЧС России, 2018. - С. 38-41.



**Рис. 1.** Принципиальная схема системы удаления выхлопных газов из помещения:  
1 – центробежный насос, 2 – колено, 3 – балка, содержащая на внутренней части ползун, для перемещения соединительного шланга – 5, 4 – регулировщик высоты



**Рис. 2.** Мобильная установка для отведения выхлопных газов

УДК 614.8 : 004.94

*М. С. Малов<sup>1</sup>, О. В. Блинов<sup>1</sup>, В. А. Годлевский<sup>2</sup>, Ю. Н. Моисеев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОЖАРНОГО НАСОСА**

**Ключевые** слова: центробежный пожарный насос, компьютерное моделирование, гидравлические характеристики.

**Аннотация:** построена пространственная численная модель пожарного центробежного насоса семейства ПН-40, включающая ротор, вакуумную часть и два напорных патрубка. Были выполнены расчеты, описывающие поле скоростей жидкости в условиях разной степени открытия выходных магистралей. Вычисления показали возможности компьютерного моделирования для оптимизации работы этой гидравлической машины.

*M. S. Malov, O. V. Blinov, V. A. Godlevskiy, Yu. N. Moiseev*

## **RESULTS OF NUMERICAL MODELING OF HYDRAULIC PARAMETERS OF SINGLE-ACCESSIBLE CENTRIFUGAL FIRE PUMP**

**Keywords:** centrifugal fire pump, computer simulation, hydraulic characteristics.

**Abstracts:** the spatial numerical model of fire centrifugal pump of PN-40 family, including a rotor, vacuum part and two pressure pipes was built. Calculations describing the velocity field of the fluid inside the pump under conditions varying degrees of opening of the output highways were performed. The calculations showed the possibilities of computer simulation to optimize the operation of this hydraulic machine.

### **Введение**

В настоящее время в России актуальной является оснащение пожарно-спасательных частей техникой нового поколения. Старые, советского производства, пожарные машины в основном достигли предельного эксплуатационного состояния и должны замещаться техникой нового поколения. Следствием этого является необходимость в оптимальном конструировании и постоянной модернизации средств тушения с тем, чтобы повысить эффективность тушения, улучшить энергетические и функциональные характеристики пожарных машин [1].

Большинство отечественных центробежных пожарных насосов производятся на основе проектов, выполненных еще в советское время. Их конструкции выпускаются без существенных изменений большими сериями. Эти модели были созданы на основе эмпирических методов, что влечет за собой несовершенство конструкции и возможность оптимизации при внедрении новых методов компьютерных расчетов и трехмерного моделирования [2]. В то же время зарубежные производители, используя возможности современной вычислительной техники, совершенствуют практически все узлы (рабочее колесо, нагнетательные и всасывающие камеры, трубопроводы и т.

д.) гидравлических машин. Это, в конечном счете, позволяет повысить эффективность работы насосов, снизить их энергопотребление, уменьшить массовые характеристики.

Для оптимизации и выявления резервов конструкции пожарного насоса нами предлагается метод твердотельного моделирования на основе пакета SolidWorks, с последующей симуляцией течения в нем жидкости. Аргументацией в пользу выбранного подхода служит мировой опыт как гидродинамических, так и аэродинамических симуляций. Так, например, в области конструирования аэродинамических машин эти возможности были реализованы при определении формы лопаток гидравлических и газовых турбин. Лопатки турбин приобрели сложную оптимизированную конфигурацию, что существенно снизило гидродинамические потери [3].

Коллектив авторов настоящей статьи уже предпринимал попытки моделировать работу центробежного насоса на простой модели бытового центробежного насоса с линейными лопастями. В частности, была решена задача оптимизации количества лопастей рабочего колеса [4]. В данной работе была использована более сложная пространственная модель, описывающая реальную конструкцию одноступенчатого пожарного насоса модели ПН-40, установленного на большинстве автоцистерн пожарной охраны, находящихся в реальной эксплуатации.

### 1. Построение 3D модели центробежного пожарного насоса ПН-40

Для реализации поставленной задачи было необходимо построение трехмерной модели типичного пожарного центробежного насоса, за основу был взят пожарный насос ПН-40, характеристики которого представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные конструктивные характеристики насоса ПН-40

Наименование	ПН-40
Частота вращения рабочего колеса, об/мин	2700
Внутренний диаметр всасывающего патрубка, мм	125
Внутренний диаметр напорного патрубка, мм	70
Диаметр рабочего колеса, мм	320
Габаритные размеры, мм	700 × 900 × 700

Одной из поставленных задач, решаемых в данной работе, является демонстрация возможности расчета гидравлических машин с использованием традиционных методов расчета и CAD/CAE-программ. Инструментом компьютерного моделирования являлись пакеты SolidWorks и FloWorks [5]. Традиционно эффективность работы модели центробежного насоса определялась следующим образом [1]:

$$\eta = \frac{N}{N_{\text{мех}}} = \frac{(P_{\text{наг}} - P_{\text{вс}})Q_{\text{нас}}}{\omega M}, \quad (1)$$

где  $N$  – полезная мощность работы центробежного насоса, Вт;  $N_{\text{мех}}$  — мощность на валу двигателя, Вт;  $P_{\text{наг}}$  и  $P_{\text{вс}}$  — манометрические давления во входной и выходной линиях насоса, Па;  $Q_{\text{нас}}$  — создаваемый насосом расход, м<sup>3</sup>/с;  $\omega$  — угловая скорость рабочего колеса, рад/с;  $M$  – крутящий момент всех внешних сил относительно оси вращения рабочего колеса, Н·м.

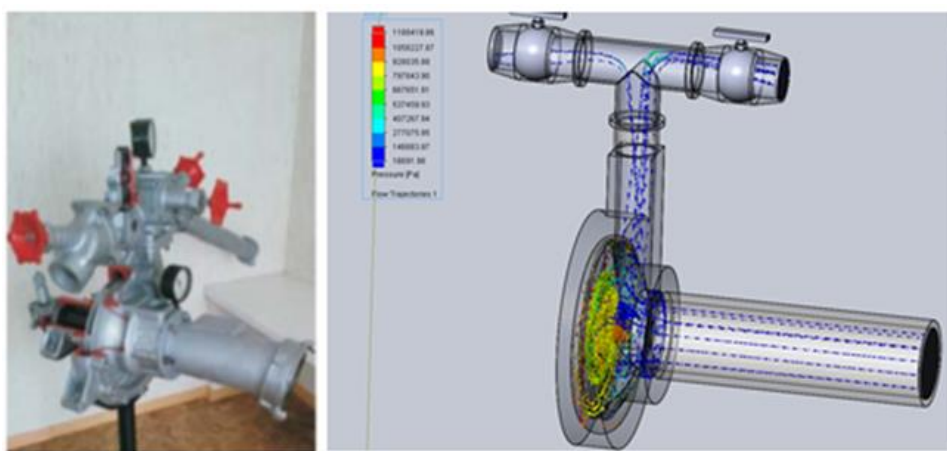
Производительность насоса  $Q$  (расход жидкости), м<sup>3</sup>/с, определяется из выражения:

$$Q = V \cdot S, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения трубопровода,  $m^2$ .

В процессе исследования была создана модель (рис. 1, а), в несколько упрощенном виде использованы основные параметры избранной конструкции насоса. При этом в модель введен дополнительный узел – шаровой кран, позволяющий задать необходимый расход (подачу) воды. Таких вентилей в конструкции имеется 2 штуки.

Проводимое исследование было направлено на приближении модели к оригинальной конструкции, путем добавления второго выходного патрубка и выявления зависимости положения шаровых кранов и характеристик насоса. Результаты моделирования потока в зависимости от положения шарового крана представлены в табл. 2.



**Рис. 1.** Пожарный насос ПН-40 и его модельное представление: а — внешний вид пожарного насоса ПН-40; б — модель насоса, построенная в пакете COSMOS FloWorks

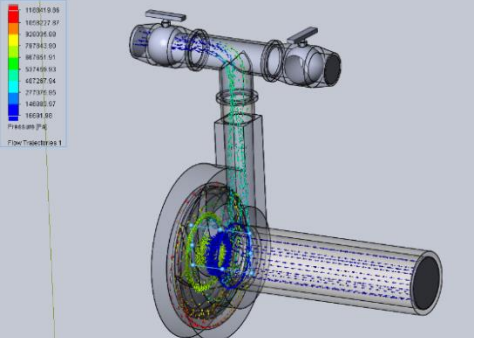
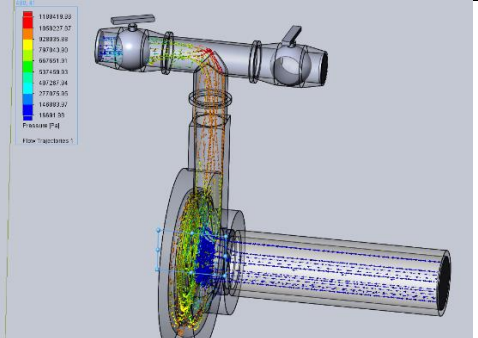
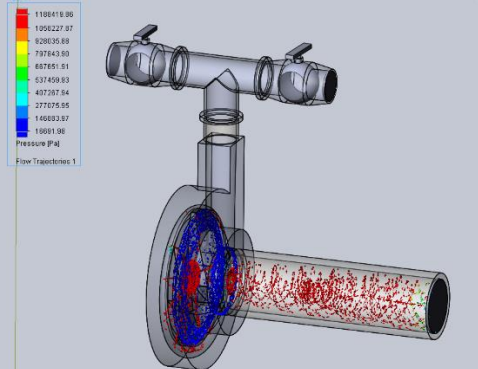
а

б

**Таблица 2.** Результаты расчетов гидродинамических параметров при разной степени открытия напорных вентилей

№	Изображение потока	Положение левого крана	Положение правого крана	Подача, $Q$ , л/с	Максимальное давление на выходе из насоса, $кгс/см^2$
1		Открыт	Открыт на 50%	39,3 л/с	1,85



№	Изображение потока	Положение левого крана	Положение правого крана	Подача, Q, л/с	Максимальное давление на выходе из насоса, кгс/см <sup>2</sup>
2		Открыт	Закрит	36,3	4,9
3		Закрит на 30%	Закрит	21,3	8,96
4		Закрит	Закрит	0	21

### Заключение

Данные расчетов показали существенные резервы в улучшении эксплуатационных характеристик рассматриваемой гидравлической машины. Таким образом, расчет показывает, что при использовании современных CAD/CAE-программ можно с помощью расчетных методов оптимизировать конструктивные параметры центробежных насосов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов О.В. Моделирование устройства и рабочих параметров гидравлической части пожарного центробежного насоса с использованием CAD/CAE-программ / О.В. Блинов, В.А. Годлевский, Ю.Н. Моисеев, Р.И. Харламов // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов Мат-лы IV Всеросс. Науч.-практ. конф., посвященной Году гражданской обороны. 2017. С. 10-13.

2. Блинов. О. В. Компьютерное моделирование конструкции и работы пожарного насоса ПН-40/ О.В. Блинов, В.А. Годлевский, В.В. Кичайкин., Д. Миньковский // Актуальные проблемы пожарной безопасности. Мат-лы XXVII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 25-летию МЧС России: В 3 частях. 2015. С. 78-82.

3. Блинов О.В. Численное моделирование конструктивных и гидродинамических параметров пожарных центробежных насосов / О.В. Блинов, В.А. Годлевский // Пожарная и аварийная безопасность. Материалы VIII Междунар. науч.-практич. конф. Иваново, 26-27 ноября 2013. ИВИГПС МЧС. С. 121-123.

4. Блинов О.В., Годлевский В.А., Худолей, А.С., Петрухин, В.А. Анализ конструктивных параметров рабочего колеса центробежного насоса методом компьютерного моделирования // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сб. мат-лов III межвуз. Науч.-практ. семинара Ивановский ин-т гос. противопож. службы. Иваново. 2013. С. 26-31.

5. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике, 2005 СПб.: БВХ-Петербург. 800 с.: ил.

УДК 621

*А. А. Манин, В. В. Киселев*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РАЗРАБОТКА ПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ РЕМОНТА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ**

**Ключевые слова:** автомобильная техника, подъемник, сервисное обслуживание.

**Аннотация:** Пожарные автомобили должны всегда быть готовы к применению по назначению, поскольку от этого зависит безопасность граждан и общества. Данный вид техники, как и в любой другой области применения, требует своевременного технического обслуживания и ремонта, являющегося залогом надежной и безотказной работы. В работе обосновывается необходимость создания компактных и мобильных подъемных устройств для технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей.

*A. A. Manin, V. V. Kiselev*

## **DEVELOPMENT OF ELEVATING DEVICES FOR REPAIRING FIRE TECHNOLOGY**

**Keywords:** automobile equipment, lift, service.

**Annotation:** Fire trucks must always be ready for use as intended, as the safety of citizens and society depends on it. This type of equipment, as in any other field of application, requires timely maintenance and repair, which is the key to reliable and trouble-free operation. The paper substantiates the need to create compact and mobile lifting devices for maintenance and repair of fire trucks.

В настоящее время в пожарной охране эксплуатируются автомобили различного назначения, выполненные на базе грузовых и легковых машин. Проведенный ана-

лиз техники используемой в подразделениях пожарной охраны Нижегородской области показал, что пожарные автомобили, состоящие на вооружении, различных годов выпуска. Есть пожарные автомобили современные 2015 - 2017 г.в., а есть и автомобили морально устаревшие, но исправные, например автоцистерна АЦ-40(130) на базе автомобиля ЗИЛ 1978 года производства. И для всех этих автомобилей необходимо своевременное техническое обслуживание, а при необходимости и проведение мелкого ремонта.

Повышение надежности автотранспортных средств, используемых в системе МЧС и в любой другой сфере, является важной хозяйственной задачей. Данная проблема может быть решена обеспечением пожарно-спасательных гарнизонов современными надежными автомобилями или совершенствованием методов технической эксплуатации пожарной техники, а также устройств и оборудования для сервисного обслуживания и ремонта.

Среди основных агрегатов, без которых работа пожарного автомобиля не возможна, выделим наиболее крупные и тяжелые, такими являются двигатель, коробка передач, мосты, редукторы. Как правило, все эти элементы при эксплуатации, подвергаются значительной нагрузке, а выход из строя любого из этих узлов, приводит к длительному и дорогостоящему ремонту. Водительскому составу, выполняющему ремонт и техническое обслуживание техники, снятие таких крупных и тяжелых элементов невозможно.

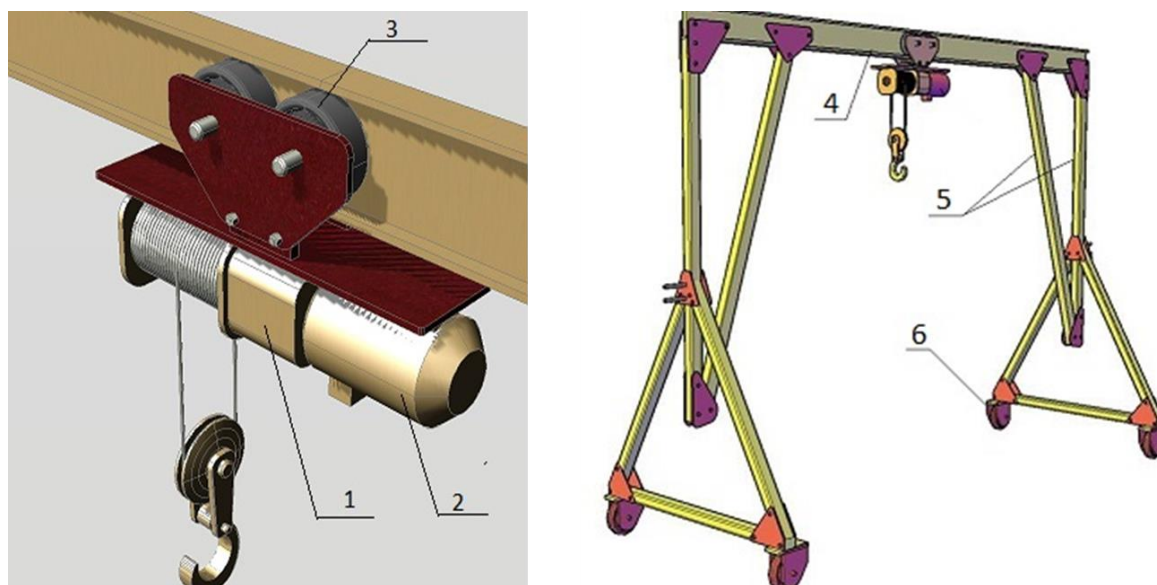
Одним из основных видов оборудования необходимого для проведения технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей является разнообразное подъемное оборудование. Подъемники являются неотъемлемой составляющей мастерских по ремонту автомобилей. Практически любой ремонт ходовой части, регулировка углов установки колес, антикоррозионная обработка и плановое техобслуживание невозможны без этого оборудования.

Таким образом, подъемные устройства позволяют выполнять самые различные виды ремонта автомобильной техники: ремонт ходовой части, регулировка углов установки колес, антикоррозионная обработка и плановое техобслуживание. Также при помощи подъемных устройств становится возможным проведение слесарных, кузовных работ, работ по ходовой части, развал-схождению, шинного сервиса. Кроме этого, подъемные устройства становятся востребованными, когда необходимо выполнять работы с двигателем, коробкой передач или коробкой отбора мощности. Их применение обусловлено удобством эксплуатации и отсутствием смотровых ям.

Разработанное подъемное устройство представляет собой рамную конструкцию, элементы которой соединены резьбовыми деталями, установленную на ролики, позволяющие перемещать подъемник относительно автомобиля в расположении ремонтного участка пожарного депо (рис. 1).

Трехмерная модель разработанной конструкции представлена на рисунке. Конструкция состоит из стальных профилей 5, установленного на колеса 6, что позволяет перемещать устройство в пределах ремонтного участка. Отличительной особенностью предложенного приспособления являются продольные ролики 3 позволяющие легко перемещать грузы в пределах грузовой площадки приспособления. На основной балке 4 закреплен электрический тельфер, состоящий из червячного редуктора 1 и электродвигателя 2. В работе был проведен расчет и выбор червячного редуктора и электродвигателя. Мобильность спроектированного подъемного устройства обеспечивается его складыванием. Таким образом, в сложенном состоянии подъемное

устройство не занимает полезное место в пожарном депо и может быть транспортировано для проведения технического ремонта в другие подразделения пожарной охраны.



**Рис. 1.** Трехмерная модель подъемного устройства с электрической лебедкой

В результате выполненных мероприятий по разработке новой конструкции мобильного подъемного устройства для проведения технического обслуживания и ремонта узлов и агрегатов пожарной техники можно сделать следующие выводы:

1. Проведен анализ существующих конструкций ремонтных приспособлений, и подъемных устройств, используемых в пожарно-спасательных частях и производственно-технических центрах для проведения ремонта и технического обслуживания пожарных автомобилей.

2. Разработана новая конструкция мобильного подъемного устройства для проведения технического обслуживания и ремонта пожарной техники.

3. Произведено трехмерное моделирование разработанной конструкции в системах автоматизированного проектирования.

4. Проведен выбор типа электрического тельфера для подъемного механизма и выполнен расчет его элементов – электродвигателя и червячного редуктора.

5. Выполнено технико-экономическое обоснование разработки, которое показало целесообразность выполнения данной разработки и ее внедрение.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев В.В. Развитие технических средств для поведения обслуживания и ремонта пожарной техники. / NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 3. – № 57. – С. 151-156.
2. Киселев В.В. Использование современных методов при проведении ремонта и восстановления гидроцилиндров пожарных автомобилей. / NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 1. – № 52. – С. 3-6.

3. Пучков П.В., Топоров А.В., Киселев В.В. Разработка конструкции трибологически безопасного резьбового соединения. / Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2012. – № 1. – С. 28-31.

4. Пучков П.В., Киселев В.В., Топоров А.В. Разрушение строительных металлоконструкций в условиях пожара. / Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – № 3. – С. 29-32.

УДК 621.833

**Ф. Б. Огурцов, А. Б. Колобов**

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ**

**Ключевые слова:** подшипник качения, временной сигнал вибрации, диагностика, аппроксимация.

**Аннотация:** проведен статистический анализ экспериментально полученной высокочастотной вибрации подшипников качения. Приведены результаты экспериментальных исследований и расчетов для подшипников серии 1203, 7203 и 36203.

**F. B. Ogurtsov, A. B. Kolobov**

## **STUDY OF STATISTICAL PARAMETERS OF THE HIGH FREQUENCY VIBRATION OF ROLLING BEARINGS OF VARIOUS TYPES**

**Keywords:** rolling bearing, vibration time signal, diagnostics, approximation.

**Abstract:** the statistical analysis of experimentally obtained high-frequency vibration of rolling bearings is carried out. The results of experimental studies and calculations for 1203, 7203 and 36203 series bearings are presented.

Разнообразные подшипники качения широко применяются в узлах и механизмах различного назначения, поэтому вопросы оценки технического состояния и диагностики подшипников, прогнозирования ресурса их работы являются актуальными.

В настоящее время активно развивается метод диагностики, основанный на статистическом и корреляционном анализе высокочастотных ударных импульсов [1]. Ранее было показано, что для оценки степени контактного износа тел качения и беговых дорожек подшипника может быть использована методика статистического анализа амплитуд ковровых импульсов [2]. Целью работы является количественная оценка чувствительности метода при диагностике упорных роликовых, упорных шариковых радиальных и шариковых двухрядных подшипников при различном состоянии смазки.

На первом этапе были проведены экспериментальные исследования образцов подшипников серий 1203, 7203 и 36203. Испытания производились на стенде, функциональная схема которого представлена на рис. 1.

В процессе испытаний внутреннее кольцо подшипника вращалось с помощью электродвигателя. На наружном кольце устанавливался датчик-акселерометр, сигнал с которого усиливался, выделялся в третьоктавной полосе частот с центральной частотой 16 кГц, оцифровывался с помощью АЦП и сохранялся в виде амплитудно-временного массива данных. Типичный вид дампа сигнала виброускорения представлен на рис. 2.

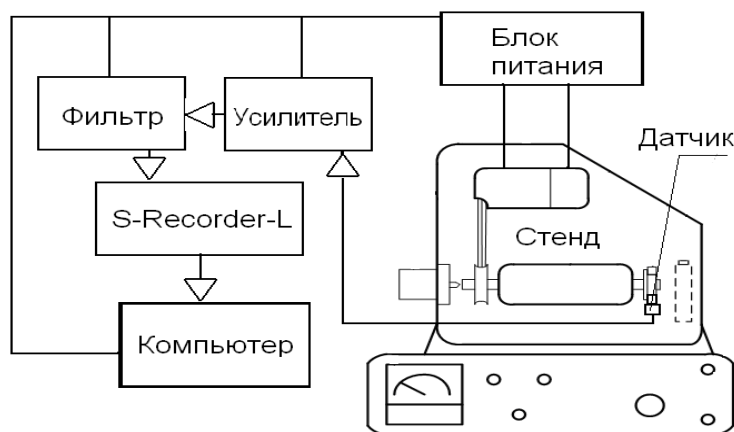


Рис. 1. Функциональная схема испытательного стенда

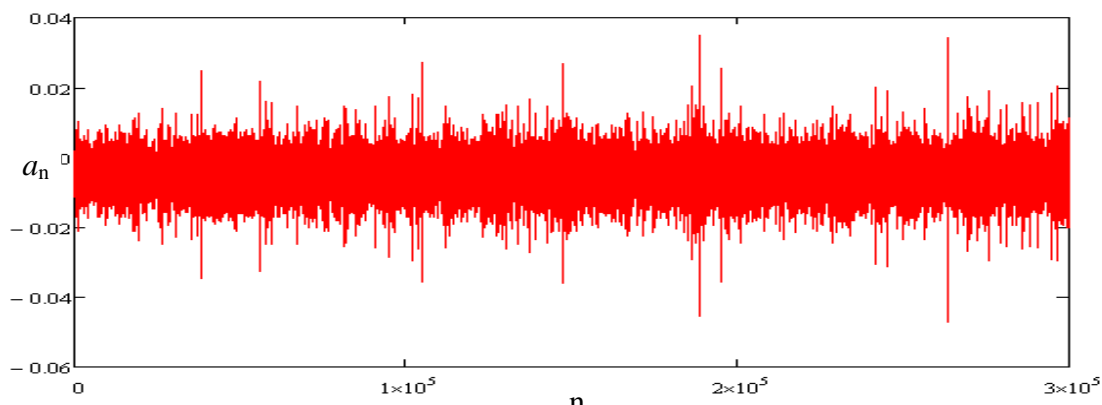


Рис. 2. Дамп сигнала виброускорения

Дальнейшая обработка данных производилась на ПК при помощи разработанного программного обеспечения в пакете MathCad. На первом этапе обработки производилось нормирование сигнала по отношению к его среднеквадратичному значению, с целью устранить влияние зависимости уровня вибрации от частоты вращения внутреннего кольца подшипника. Затем решалась задача выделения огибающей нормированного исследуемого сигнала путем детектирования и последующей низкочастотной фильтрацией. Далее производилось формирование массива амплитуд локальных максимумов огибающей, соответствующим амплитудным значениям ковровых импульсов. Принцип выделения локальных максимумов поясняет рис. 3, на котором приведен график массива сигнала огибающей  $S$  и указаны точки локальных максимумов.

Для статистической обработки вычислялась гистограмма плотности распределения вероятности локальных максимумов при разбиении диапазона изменения сигнала на 20 интервалов. Значения гистограммы  $G$  и вектора интервалов использовались далее для регрессионного подбора коэффициентов математической модели.

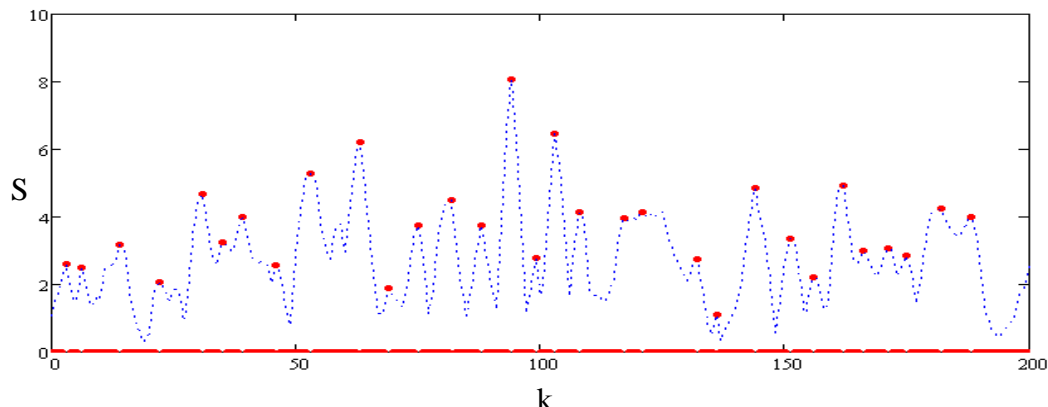


Рис. 3. Выделение локальных максимумов огибающей

Для проведения регрессии использовалась модель, позволяющая описать распределение вероятности целого ряда случайных процессов, производных от нормального:

$$P(Am) = A * Am^b * e^{-c * Am^d},$$

где  $Am$  – значение амплитуды локальных максимумов.

Параметры  $A$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  определялись из условия наилучшего совпадения теоретических оценок модели и значений из гистограммы методом наименьших квадратов:

$$\sum_j (G_j - P(Am_j, A, b, c, d))^2 \rightarrow \min,$$

где  $j$  – номер интервала.

Пример результатов регрессионной обработки представлен на рис. 4.

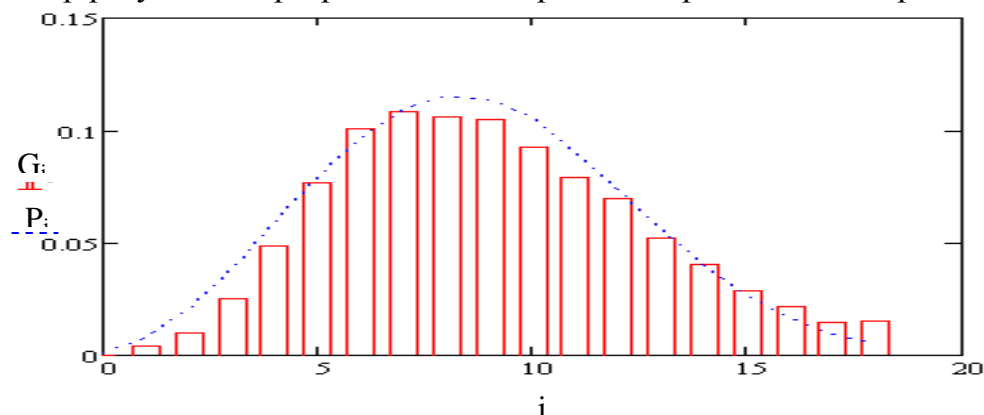


Рис. 4. Гистограмма плотности распределения вероятности и результаты регрессии

Как было выявлено ранее [2], диагностическим признаком степени контактного износа подшипника является коэффициент  $d$ , значение которого для новых, не прошедших фазу приработки, однорядных шарикоподшипников при хорошем состоянии смазки примерно равен 1,9. Используя описанную методику, были найдены усредненные по результатам эксперимента значения коэффициентов модели для подшипников других типов. Результаты расчетов представлены в таблице.

*Таблица. Результаты статистического анализа*

	Усредненное значение коэффициента $d$	
	При смазке	Без смазки
Самоцентрирующиеся шариковые двухрядные	2,75	2,2
Радиально-упорные роликовые	2,45	1,7
Радиально-упорные шариковые	2,18	1,95

Очевидно, что значение  $d$  существенно зависит от типа подшипника, и при оценке степени контактного износа необходима соответствующая коррекция.

Полученные результаты можно объяснить следующим.

Формально по мере усложнения геометрии подшипника увеличивается число степеней свободы в законе распределения плотности вероятности, то есть количество базовых случайных процессов. Физически ударный импульс образуется в результате взаимодействия тела качения и беговой дорожки в пятне контакта, которое можно рассматривать как некий источник случайного процесса. Соответственно, должна существовать корреляция между числом степеней свободы и количеством пятен контакта. Тогда при усложнении геометрии подшипника в случае неизбежных перекосов колец и сепаратора форма пятна контакта будет больше отличаться от теоретической (возможна, к примеру, грушевидная форма), что статистически эквивалентно увеличению пятен контакта и росту числа степеней свободы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В. Барков, Н.А. Баркова, А.Ю. Азовцев // СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000.
2. Колобов, А.Б. Исследование высокочастотных импульсов вибрации подшипников качения / А.Б. Колобов, Ф.Б. Огурцов // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов / Под ред. В.В. Киселева, С.А. Никитиной. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2015, с. 52 – 56.



УДК 62-233.1

*Д. Ю. Палин<sup>1</sup>, А. В. Топоров<sup>1</sup>, И. М. Арефьев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

## РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ ВАЛА ПОЖАРНОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

**Ключевые слова:** комбинированное магнитожидкостное уплотнение, насос центробежный пожарный, магнитное поле, магнитная система, магнитная индукция.

**Аннотация:** В работе представлена конструкция комбинированного магнитожидкостного уплотнения, которая может применяться для вала пожарного центробежного насоса. Проведен расчет магнитного поля конструкции уплотнения, в котором в качестве источника магнитного поля используется магнитный эластомерный материал. Представлены результаты анализа полученных данных.

*D. Yu. Palin, A. V. Toporov, I. M. Arefyev*

## DEVELOPMENT OF A COMBINED MAGNETIC LIQUID SEAL OF A CENTRIFUGAL PUMP FIRE FIGHTING SHAFT

**Keywords:** combined magnetic-liquid sealing, centrifugal fire pump, magnetic field, magnetic system, magnetic induction.

**Abstracts:** The paper presents the design of a combined magnetic-liquid seal, which can be used for the shaft of a fire-fighting centrifugal pump. The calculation of the magnetic field of the seal design, in which a magnetic elastomeric material is used as the source of the magnetic field, is carried out. The results of the analysis of the data are presented.

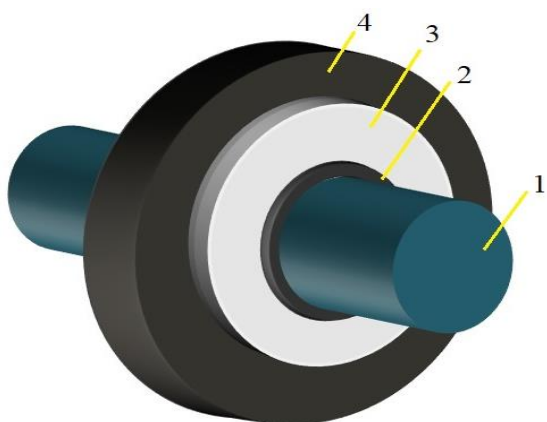
Известно, что в пожарной технике применяются насосы, которые служат для подачи огнетушащих веществ в зону горения. Согласно ГОСТ Р 52283-2004 одним из конструктивных требованием устройства является обеспечение герметичности конструкции насоса при статическом и динамическом давлении [1].

К сожалению, применительно к АЦ-40 (131)-137А в котором установлен НЦП-40/100 (насос центробежный пожарный) изображенный на (рис.1), требование герметичности не выполняется [2]. Сальниковое уплотнение, которое используется для герметизации насоса по валу, должным образом не обеспечивает герметичности внутренней полости насоса [3]. Причиной этого служат такие факторы как: вибрации, вероятность попадания абразивных частиц в зону контакта трущихся поверхностей, а так же трение сопряженных элементов о вал. В результате перечисленных факторов могут образоваться утечки воды и смазочного материала из зоны уплотнения вала, что приводит к коррозии деталей насоса, а также преждевременной постановке автомобиля на техническое обслуживание.



**Рис. 1.** Насос центробежный пожарный

Для того, чтобы повысить герметичность внутренней полости насоса предлагается использовать комбинированное магнитожидкостное уплотнение с использованием демпфирующего материала, на основе пористой резины, представленное на (рис. 2).



**Рис. 2.** Конструкция комбинированного магнитожидкостного уплотнения:  
 1 – магнитопроводный вал; 2 – магнитное эластомерное кольцо; 3 – корпус уплотнения из полимерного материала; 4 – демпфирующим материалом служит пористая резина на основе каучука

Чтобы обосновать герметичность предлагаемого уплотнения требуется провести магнитный расчет. По результатам расчета магнитного поля получим кривую распределения магнитной индукции в рабочей области и общую картину распределения магнитного поля.

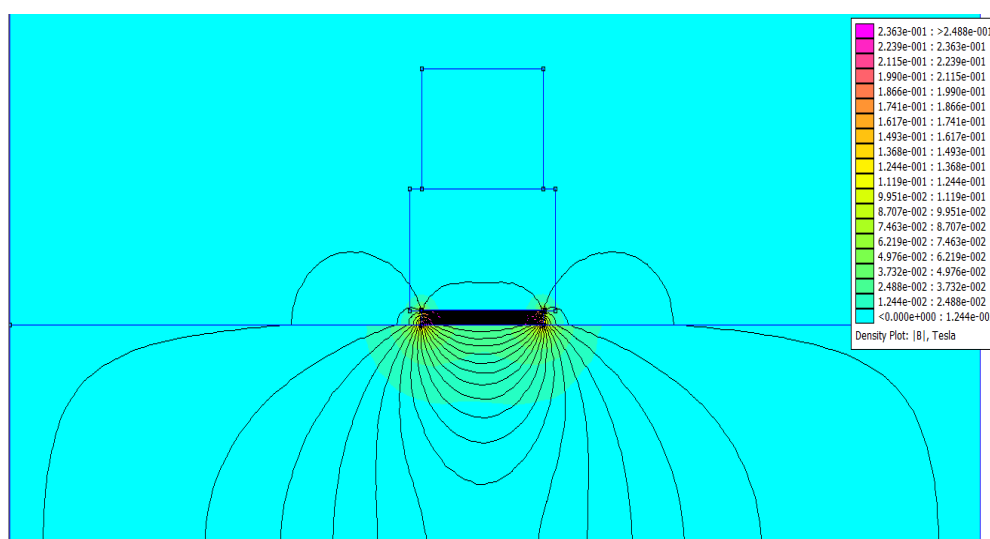
Основными показателями оценки магнитной системы будут, являться максимальная величина магнитной индукции в рабочей области уплотнения и распределение магнитного поля в рабочей области уплотнения [4].

Максимальная величина магнитной индукции обуславливает герметичность магнитной системы комбинированного магнитожидкостного уплотнения. Распределение магнитного поля вытекает из условия присутствия магнитной жидкости в области трения сопрягающихся элементов в уплотнении, поскольку рабочие характери-

стики трущихся элементов могут быть улучшены за счет использования магнитной жидкости в качестве смазочного элемента.

В качестве источника магнитного поля в предложенном комбинированном магнитожидкостном уплотнении используется магнитное эластомерное кольцо, намагниченное в осевом направлении. Вектор намагниченности магнитного эластомерного кольца влияет на величину и распределение магнитной индукции в уплотнении. При расчетах принималось, что источниками магнитного поля является: резина с магнитным наполнителем из феррита бария, материал вала сталь, корпус уплотнения из полимерного материала, демпфирующая пористая резина на основе каучука. В результате магнитного расчета было получено распределение магнитной индукции и картина магнитного поля комбинированного магнитожидкостного уплотнения.

На рис. 3 представлена картина магнитного поля магнитного эластомерного кольца намагниченного в осевом направлении.

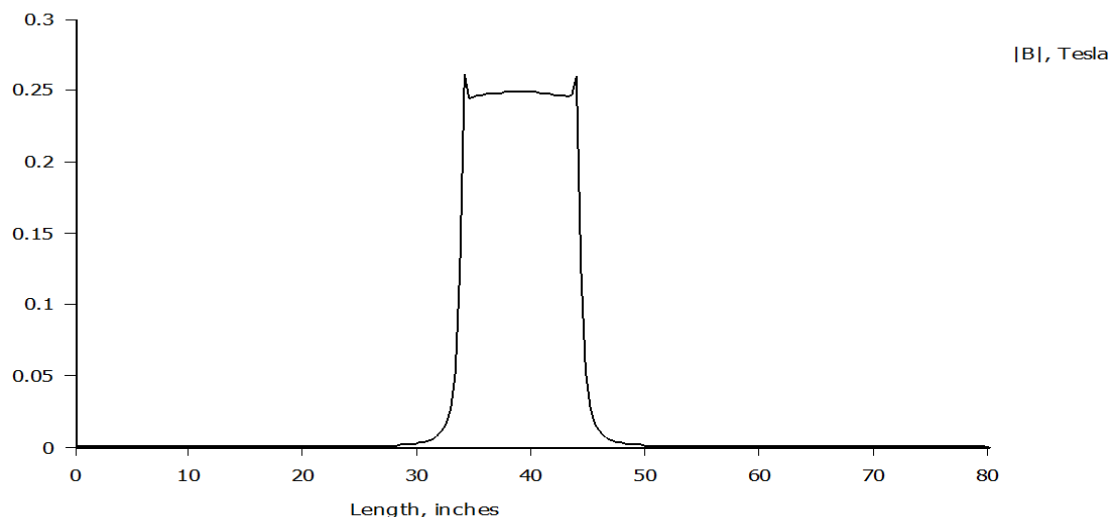


**Рис. 3.** Распределение магнитного поля в рабочей зоне комбинированного магнитожидкостного уплотнения

Анализируя картину распределения магнитного поля можно сделать вывод, что основной магнитный поток протекает через магнитопроводный вал, пересекая рабочий зазор. Магнитная жидкость надежно удерживается в области трения, между валом и эластомерным кольцом, за счет чего будет обеспечиваться герметичность уплотнения и удержание магнитной жидкости в области трения магнитного эластомерного кольца и магнитопроводного вала.

На рис. 4 представлена кривая распределения магнитной индукции эластомерного кольца намагниченного в осевом направлении.

Магнитная индукция в рабочем зазоре уплотнения достигает 0.27 Тл. При анализе результатов магнитного расчета комбинированного магнитожидкостного уплотнения установлено, что магнитная система, состоящая из магнитного эластомерного кольца намагниченного в осевом направлении, обеспечивает достаточную величину магнитной индукции в рабочем зазоре уплотнения.



**Рис. 4.** Распределение магнитной индукции в рабочей области комбинированного магнитожидкостного уплотнения

Таким образом, представленная конструкция комбинированного магнитожидкостного уплотнения за счет своей магнитной системы позволит уменьшить вероятность возникновения утечек воды и смазочного продукта из рабочей области уплотнения. Следовательно, применение такого устройства уменьшит вероятность возникновения коррозии деталей насоса.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52283-2004 Насосы центробежные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний (с Изменением N 1).
2. Приказ №555 от 18.09.2012 «Об организации материально-технического обеспечения системы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».
3. Продан В. Д., Божко Г. В. Сальниковые уплотнения с мягкой набивкой: учебное пособие /– Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 124 с.
4. Покровский А.А., Пучков П.В., Легкова И.А. Использование расчета магнитных полей методом конечных элементов при создании конструкций комбинированных магнито-жидкостных уплотнений // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №5 (2016)

УДК 621.878.23

*Е. Г. Пахомов, Д. М. Анненко, М. А. Романович*

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

## ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ОТВАЛА БУЛЬДОЗЕРА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЕГО РАБОТЫ

**Ключевые слова:** бульдозер, угол зарезанные, зуб отвала, параметры отвала.

**Аннотация:** в данной работе рассмотрены основные параметры отвала бульдозера, их влияние на эффективность работы. Подобран интервал оптимальных рабочих значений, для дальнейшей работы по изучению и изменению геометрии отвала.

*E. G. Pahomov, D. M. Annenko, M. A. Romanovich*

## THE MAIN PARAMETERS OF THE DOZER BLADE AND IMPACT ON RUNNING EFFICIENCY

**Keywords:** bulldozer, cut angle, blade tooth, blade parameters.

**Abstract:** this paper describes the main parameters of the bulldozer blade, their impact on the efficiency of work. Selected interval the optimal operating values for further work to study and change the geometry of the blade.

Одним из основных транспортных средств производства земляных работ с последующей транспортировкой грунта в отвал, находящихся большое применение в строительстве являются бульдозеры. Бульдозеры благодаря своей универсальности широко распространены в строительстве. Потенциал работы бульдозеров используется далеко не на 100% в связи с невозможностью работ данных машин в различных природно-климатических и производственных условиях.

Для сохранения универсальности бульдозеров и расширения области их эффективного применения, совершенствование рабочего органа осуществляется путем установки на отвал зубьев с плоскими ножами. Такая конструкция позволяет увеличить удерживающую способность рабочего оборудования, уменьшить удельное сопротивление копанию за счет совместного резания грунта ножом любого отвала и разрушения грунтовой породы зубьями.

Объектом исследования является бульдозер, работающий с грунтами.

Предмет исследования: зубы отвала, используемые для работы бульдозера.

Рассмотрим основные параметры отвала бульдозера (рис. 1) с целью изучения их влияния на процесс врезания отвала в почву:

- ширина отвала  $B$ ;
- высота отвала  $H$ ;
- угол резания  $\alpha$ , который находится в пределах  $40 - 75^\circ$ ;
- угол опрокидывания  $\psi = 30 - 80^\circ$ ;
- задний угол  $\gamma$ ;
- угол наклона  $\varepsilon_0 = 70 - 90^\circ$ ;

- угол установки козырька  $\beta$  ;
- радиус кривизны отвальной поверхности  $R$ ;
- высота отвала с козырьком  $B_k$ ;
- длина прямой части отвальной поверхности  $a$ .

В процессе заглабления отвала при резании скорость его перемещения имеет важное значение. Ее следует выбирать такой, чтобы резание производилось только режущей кромкой. Так как при неправильно подобранной скорости произойдет чрезмерное заглабление режущей кромки отвала, что приведет к поломке оборудования.

При проектировании отвала необходимо определять также параметры профиля поверхности отвала (табл. 1) [1-4]. Ширина поворотного отвала больше на 30—33% [5,6].

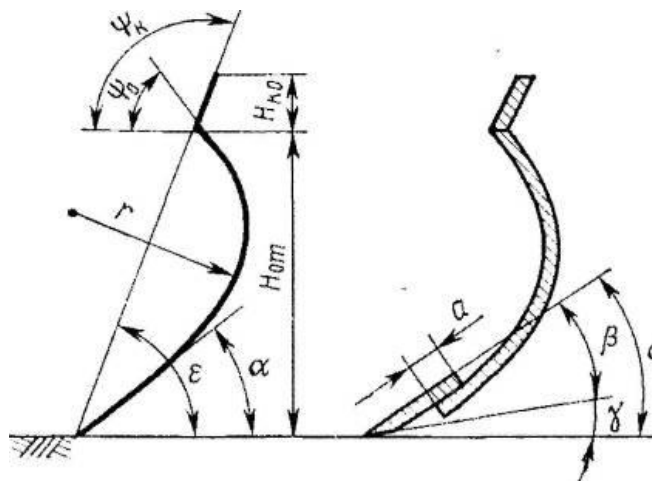


Рис. 1. Основные параметры отвала бульдозера

Таблица 1. Основные параметры поперечного профиля отвала бульдозера

Параметр	Отвал	
	неповоротный	поворотный
Угол резания $\delta$ , в град	55	50-55
Угол наклона отвала $\epsilon$ , в град	75	75
Угол опрокидывания $\psi$ , в град	70-75	60-75
Угол установки козырька $\psi_1$ , в град	90-100	90-100
Задний угол $\alpha$ , в град	30-35	30-35
Радиус цилиндрической поверхности отвала $R$	0,8 – 0,9 H	
Длина плоской части отвала $a$	Равна ширине ножей	

Для работы на легких грунтах и особенно на сыпучих длина отвала может увеличиваться за счет применения съемных уширителей, устанавливаемых под углом 15—30 к режущей кромки ножа.

Высота отвала определяется силой тяги  $T_H$  и грунтовыми условиями, для которых предназначается проектируемый бульдозер.

$$H = 500 \sqrt[3]{T_H} - 5T_H \tag{1}$$

для бульдозера с поворотным отвалом

$$H = 450 \sqrt[3]{T_H} - 5T_H \tag{2}$$

где  $T_H$  — номинальная сила тяги бульдозера. Сила  $T_H$  определяется путем построения тяговой характеристики тягача с Высота отвала может быть определена: для бульдозера с неповоротным отвалом навесным оборудованием. Высота отвала с козырьком

$H_{\Pi}$  — расстояние по вертикали между режущей кромкой ножа и верхним краем козырька в середине при основном угле резания и горизонтальном положении опорных поверхностей базовой машины.

Угол резания отвала  $\delta$  (угол между плоскостью ножа с горизонталью), угол заострения ножа  $\beta$  (угол между плоскостью ножа и скошенной гранью) и задний угол отвала  $\alpha$  (угол между ), соединяющей режущую кромку ножа с наиболее выступающей частью конструкции отвала внизу, с тыльной стороны, и горизонталью) связаны между собой зависимостью

$$\delta = \alpha + \beta \quad (3)$$

что необходимо учитывать при назначении величин этих углов и пределов их изменения. С учетом этих обстоятельств угол резания, измеренный в исходном положении бульдозера (при стоянке бульдозера на горизонтальной площадке с отвалом, опущенным до касания лезвия ножа с грунтом), рекомендуется принимать для неповоротного отвала  $\delta = 55^\circ$  и для поворотного отвала —  $\delta = 50^\circ$ . При  $\delta < 50^\circ$  угол заострения  $\beta$  получается таким, при котором прочность режущей кромки становится недостаточной.

При известных высоте отвала и угол резания, форма профиля рабочей поверхности отвала полностью определяется параметрами  $a, R$ . Между этими параметрами есть зависимость:

$$H = a \sin \delta + R(\cos \delta + \cos \psi) \quad (4)$$

Параметры  $a, R$  и  $\psi$  назначают исходя из следующих соображений.

Радиус, кривизны поверхности отвала при заданных значениях остальных параметров находится из уравнения:

$$R = \frac{H - a \sin \delta}{\cos \delta + \cos \psi} \quad (5)$$

При выбранных параметрах значение  $R$  приближенно получается равным  $R = H$  для неповоротных отвалов и  $R = 0,8 \cdot R$  для поворотных отвалов.

Радиус  $R$  кривой части отвальной поверхности, высота отвала  $H$  и углы резания  $\delta$ , опрокидывания и наклона  $\varepsilon$  связаны между собой следующей зависимостью:

$$R = H \frac{\sin(\varepsilon - \delta)}{\sin \varepsilon \left[ 1 - \sin\left(\psi + \delta - \frac{\pi}{2}\right) \right]} \quad (6)$$

Параметры установки козырька: высота  $H_i$ , и угол наклона. При работе на плотных грунтах с нарушенной структурой рекомендуемые параметры отвала обеспечивают эффективный набор грунта и без установки козырька.

В ходе работы были рассмотрены основные параметры отвала бульдозера, их влияние на процесс резания грунта. Так же были определены промежуточные значения оптимальных параметров работы для дальнейшего изучения строения и возможности усовершенствования отвала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева, Т. В. Дорожные машины Машины для земляных работ // Т. В. Алексеева ; Высшая школа -М.:Высшая школа, 2000. – 504 с.
2. Баловнев, В.И. Дорожно-строительные машины и комплексы: Учеб. пособие для вузов // В. И. Баловнев ; М: Изд-во МАДИ, 2014. – 149 с.
3. Брауде, В.И. Надежность подъемно-транспортных машин // В.И. Брауде, Л.Н. Семенов - Л. : Машиностроение, 2001. – 184 с.
4. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Chekhovskoy E.I. Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // A.A. Romanovich, // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - Т. 194 (032025).
5. Romanovich A.A., Romanovich L.G., Chekhovskoy E.I. Determination of rational parameters for process of grinding materials pre-crushed by pressure in ball mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2018. - Т. 327 (042091).
6. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Belov A.I., Chekhovskoy E.I. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series. - 2018 - Т. 1118 (012035).

УДК 666.94.041

*Е. Г. Пахомов, Е. И. Чеховской*

ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

### МОДЕРНИЗАЦИЯ УПЛОТНЕНИЯ ГОРЯЧЕГО КОНЦА ПЕЧИ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ

**Ключевые слова:** печь вращающаяся, уплотнение, энергоэффективность, модернизация, повышение износостойкости.

**Аннотация:** в данной статье рассмотрено строение вращающейся печи Ø 4×60 м, и предложено усовершенствование горячего конца печи, с целью повышение энергоэффективности работы.

*E. G. Pakhomov, E. I. Chekhovskoy*

### MODERNIZATION OF THE SEALING OF THE HOT END OF THE OVEN FOR THE PURPOSE OF ENERGY EFFICIENT OPERATION

**Keywords:** rotary kiln, compaction, energy efficiency, modernization, increase of wear resistance.

**Abstract:** this article describes the structure of a rotary kiln Ø 4×60 m, and proposed the improvement of the hot end of the furnace, in order to improve energy efficiency.

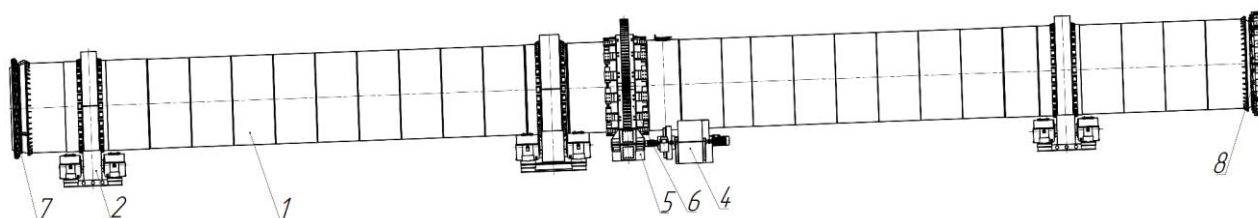
Промышленность строительных материалов на данный момент располагает значительным парком высокопроизводительного оборудования, способного выпускать высококачественную продукцию.



Тем не менее, перед наукой и производством стоит ряд задач по повышению технологических свойств оборудования промышленности строительных материалов, таких как: повышение производительности оборудования, повышение долговечности и износостойкости деталей, узлов и механизмов, повышение КПД приводов машин, снижение удельного расхода энергии на производство продукции.

Вращающаяся печь  $\varnothing 4,0 \times 60$  м (рис. 1) представляет собой пустотелый, открытый с концов сварной цилиндр, офутерованный изнутри огнеупорным кирпичом и установленный с уклоном 3,5%.

Также печь состоит из бандажей, роликоопор, привода, гидравлических упоров, загрузочного и разгрузочного узлов (концов), горелочных устройств, устройств для контроля температуры корпуса и его охлаждения воздухом, уплотнительных устройств мест контакта вращающегося корпуса печи с неподвижными загрузочными и разгрузочными узлами.



**Рис. 1.** Вращающаяся печь  $\varnothing 4 \times 60$  м: 1 – корпус печи; 2 – роликоопора 400; 3 – роликоопора 450, 4 – привод, 5 – установка подвенцово́й шестерни, 6 – шестерня венцовая, 7 – уплотнение горячего конца, 8 – уплотнение холодного конца, 9 – ролик упорный

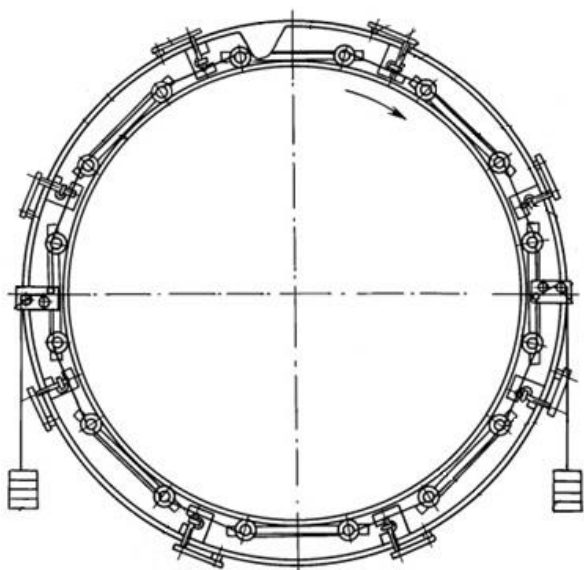
Корпус печи представляет собой цилиндрическую трубу, которая своими бандажами опирается на роликоопоры. Корпус сваривают на месте монтажа из отдельных обечаяк различной толщины в зависимости от местных нагрузок.

Толщина пролетных обечаяк корпуса зависит от диаметра и длины печи, длины пролетов, температуры нагрева, распределенных нагрузок и обычно находится в пределах 20—40 мм. Для обеспечения необходимой жесткости корпуса в опорных узлах подбандажные обечайки имеют толщину 40—100 мм.

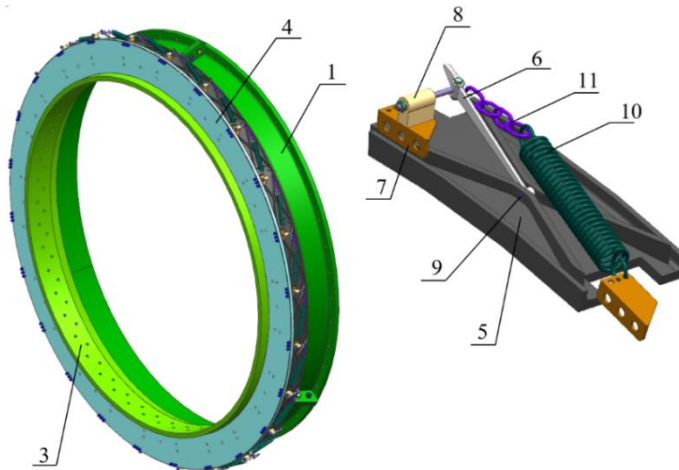
Уплотнение холодного и горячего концов печи. Конструкции уплотнений вращающихся печей усложняются из-за высокой температуры, значительных тепловых деформаций и неизбежных биений корпуса при его вращении.

Уплотнения на концах вращающейся печи, входящих в пылесадительную камеру и разгрузочную головку, препятствуют подсосам в печь наружного воздуха, снижающего температуру внутри корпуса и влияющего на процессы обжига. Уплотнение «горячего» конца печи лепесткового типа с канатным прижимом через ложную обечайку.

Уплотнительное устройство работает следующим образом: Корпус кольцевой формы уплотнительного устройства с уплотняющими элементами устанавливается на неподвижную часть вращающейся печи (рис. 3).



**Рис. 2.** Уплотнение вращающейся печи



**Рис. 3.** Уплотнение горячего конца в сборе:  
 1 – конус, 2 – кольцо, 3 – обечайка, 4 – кольцо,  
 5 – пластина уплотнительная, 6 – рычаг, 7 – угол,  
 8 – крепление, 9 – ось, 10 – пружина, 11 – цепь

Посредством выбора пружин 10 и, при необходимости, регулировочной цепи 11 обеспечивают регулировку необходимого усилия прижима уплотнительных пластин 5 через рычаги 6 посредством контакта антифрикционных накладок с поверхностью вращающейся части печи.

При линейном перемещении вращающаяся часть смещается относительно неподвижной части печи, на которой установлено уплотнительное устройство. При этом уплотнительное устройство просто перемещается по поверхности вращающейся части печи. Причем в процессе перемещения уплотняющие элементы, а именно пластины 5 или рычаги 6, не испытывают дополнительного увеличивающегося усилия со стороны печи, которое может привести к их деформации.

При радиальном смещении или линейном расширении происходит следующее: пластины 5 стремятся выйти из своего первоначального состояния, расширяя диаметр образовавшегося уплотнения. При этом отгибается рычаг 6. Конец рычага 6, связанный с пружиной 10 движется по часовой стрелке. Однако под действием пружины, установленной на осях 9 и кронштейна, состоящего из крепления 8 и уголка 7, это усилие компенсируется, и другой конец рычага 6 путем приложения усилия к пластине 5 стремится вернуть ее в первоначальное состояние обеспечивающее уплотнение. В момент движения рычага 6 пластины 5 отходят друг от друга. Однако за счет прямоугольной формы выступа и паза сохраняется контакт между сторонами выступа и паза, соосными самой пластине 5.

Конструкция уплотнения горячего конца печи вращающейся печи 4x60 имеет большое влияние на энергоэффективность оборудования.

При проведении патентного поиска, выбираем уплотнительное устройство вращающейся печи, содержащее корпус кольцевой формы и множество подпружиненных элементов, отличающееся тем, что установлено на неподвижной части печи, на корпусе радиально расположены кронштейны, на которых шарнирно установлены двуплечие рычаги, на одном конце которых шарнирно на осях установлены пластины,

а на другом имеется крючок для механической связи с пружиной, при этом другим концом пружины установлены на кронштейне, пластины снабжены одним выступом и пазом многоугольной формы.

В результате проведенной модернизации оборудования, установленного на ЗАО «Катавский цемент», произошло увеличение энергоэффективности уплотнения горячего конца печи, и как следствие уменьшение удельных затрат на топливо.

Данная модернизация приведет к широкому внедрению такого вида уплотнения горячего конца печи не только в цементной промышленности, но и в других отраслях народного хозяйства, использующих вращающиеся печи.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Бутт Ю.М., Сычов М.М., Тимашев В.В. Химическая технология вяжущих материалов. М.: Высшая школа, 1980.
2. Белова С.В. Охрана окружающей среды: Учеб. пособие. для студентов ВУЗов. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 1998.
3. Бауман В.А. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций. – 2-е изд. перераб. и доп. // В.А.Бауман, Б.В. Клушанцев, В.Д.Мартынов. – М.: Машиностроение, 1981.
4. Богданов В.С. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий – учебник // В.С.Богданов, Р.Р.Шарапов, Ю.М.Фадин. – Старый Оскол: ТНТ, 2013.
5. Гавриленко И.Г. Безопасность жизнедеятельности. Конспект лекций // И.Г.Говреленко, Т.М.Бутюгина и др. – Белгород: Изд-во БелГТАСМ, 2002.

УДК 629.364

***С. В. Пащенко, А. А. Романович, В. В. Маматова***

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

### **АГРЕГАТ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕСКО-СОЛЯНЫХ СМЕСЕЙ**

**Ключевые слова:** пескоразбрасыватель, песко-соляная смесь, противогололедные материалы, реагенты.

**Аннотация:** Разработка относится к области коммунального хозяйства. Предназначена для предотвращения зависания песко-соляной смеси на бортах кузова пескоразбрасывателя. Данное устройство позволяет при движении материала предотвратить его слеживаемость и зависание на бортах кузова, что позволяет равномерно распределять его в рабочей зоне.

***S. V. Pashchenko, A. A. Romanovich, V. V. Mamatova***

### **EQUIPMENT FOR THE DISTRIBUTION OF SAND-SALT MIXTURES**

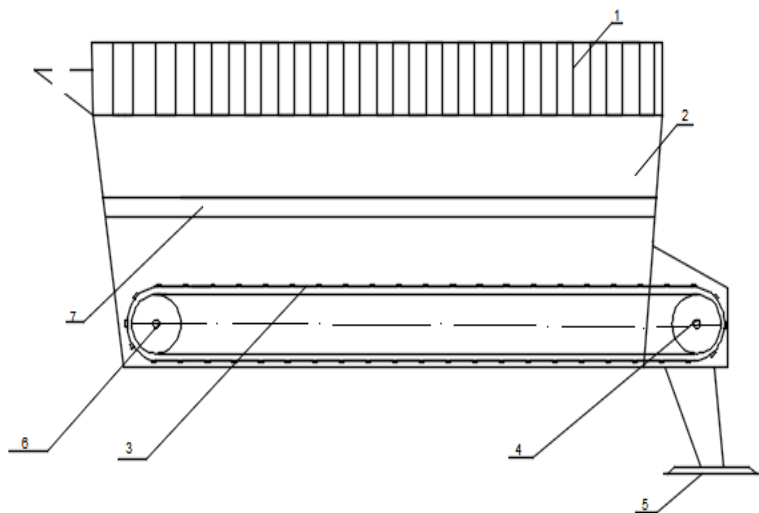
**Keywords:** sand spreader, sand-salt mixture, anti-icing materials, reagents.

**Abstract:** The development belongs to the field of public utilities. Designed to prevent hanging sand-salt mixture on the sides of the body of the sand spreader. This device allows the movement of the material to prevent it from slumping and arching on the sides of the body, which allows it to be evenly distributed in the working zone.

Обледенение дороги резко снижает сцепление колес автомобиля с ее поверхностью, в результате чего нарушаются устойчивость машины и безопасность движения. Если на сухом асфальтобетонном покрытии коэффициент сцепления колёс автомобиля ( $k_{\phi}$ ) равен 0,6-0,7, то при обледенении он снижается до 0,06-0,08. Наиболее распространённым и экономически выгодным способом борьбы со скольжением является обработка обледеневшего покрытия песко-соляной смесью.

Песко-соляная смесь активно функционирует не только за счет плавящей способности соли, но и за счет песка. Песок в данной ситуации выступает в качестве противоскользкого покрытия, увеличивающего сцепные свойства автомобильных шин с дорожным покрытием, благодаря своему природному цвету притягивает солнечные лучи и способствует более активному таянию льда и снега [3], [4].

Для россыпи смеси используются коммунальные машины с установленным пескоразбрасывателем (рис. 1).



**Рис. 1.** Пескоразбрасыватель вид сбоку: 1 – защитная решетка; 2 – бункер; 3 – пластинчатая цепь; 4 – ведущий вал; 5 – диск пескоразбрасывателя; 6 – ведомый вал; 7 – козырек-рассекатель

Рабочее оборудование пескоразбрасывателя монтируется в задней части автомобиля и состоит из горизонтального металлического диска, вращающегося на вертикальной оси. На верхней рабочей поверхности диска приварены радиальные ребра. Бункер для песка, укрепленный на шасси автомобиля, имеет наклонные стенки, а на дне — отверстие, к которому примыкает лоток. Лоток, имеющий опору, совершает под действием эксцентрикового механизма возвратно-поступательное движение и проталкивает песок из бункера к диску. Вал эксцентрикового механизма приводится во вращение от вала диска посредством ременной передачи. Привод диска осуществляется от коробки отбора мощности автомобильного двигателя через конический редуктор. Диаметры дисков на разных машинах колеблются от 0,60 до 0,70 м, а число оборотов — от 300 до 600 об/мин [5].

Песок поступает на некотором расстоянии от центра диска и под действием центробежной силы продвигается вдоль ребер к наружной кромке, преодолевая при этом сопротивление трения о поверхность диска [1].

Изменение скорости россыпи материала достигается переключением рабочей скорости пескоразбрасывателя [6],[7]. Не смотря на качественно отлаженный процесс работы пескоразбрасывателя, на сегодняшний день остаются актуальными некоторые существенные проблемы. Основной из которых, часто встречающимися в современных коммунальных машинах ЭД-405, является слеживаемость, налипание песко-соляной смеси на бортах бункера, что в процессе работы способствует неравномерному распределению песко-соляной смеси по асфальтобетонному покрытию проезжей части, так как смесь задерживается на стенках бункера в проеме его положительного сечения.

Нами разработана конструкция транспортера и пластинчатой цепи, позволяющая ликвидировать этот недостаток [2] (рис. 1,2). Устройство включает в себя кузов 2 (рис. 1.), предназначенный для хранения материала, имеющий конусообразную форму, ведущего вала 4 приводящего в движение пластинчатую цепь 3 и ведомого вала 6. Вверху расположена сетка из продольных прутьев, для предотвращения попадания посторонних предметов, при загрузке песко - соляной смеси, козырька – рассекателя 7, предназначенного для уменьшения нагрузки на транспортерную цепь при загрузке материала, диска пескоразбрасывателя 5.



**Рис. 2.** Вид на установку цепи

Данное устройство отличается тем, что роликовая втулочная цепь была заменена на пластинчатую 3, с размещением рабочего оборудования транспортера в бункере песко-разбрасывателя 2, а так же был добавлен козырек – рассекатель 7 для уменьшения нагрузки на транспортерную цепь.

Устройство работает следующим образом. Материал, загружающийся в кузов машины с помощью козырька – рассекателя сыпается к бортам кузова, постепенно заполняя бункер, возвратным движением привода транспортера разрыхляет песко-соляную смесь, уплотненную и слеживающуюся во время стоянки и движения автомобиля. Далее материал осыпается в нижнюю часть кузова и цепь транспортера, скребками перемещается к приемнику пескоразбрасывателя, откуда далее попадая на диск пескоразбрасывателя, равномерно распределяется по поверхности автомобильной дороги. Данное изменение в конструкции коммунальной машины позволяет при перемешивании материала, равномерно распределить его по асфальтобетонному покрытию проезжей части, а так же предотвратить налипание материала на бортах бункера. Кроме того, немаловажным преимуществом указанной модернизации является отсутствие обсыпания материала к рабочим органам машины (раме, датчикам блокировок, кардану и др.), тем самым продлевая их срок службы.

Вывод. Обработка проезжей части противогололедными материалами является одним из основных видов работ по содержанию автомобильных дорог в зимний период. Особое внимание уделяется повышению качества распределения материалов на дорожном покрытии. Нами рассмотрена одна основная проблема в работе пескоразбрасывателя, и в рамках проведения научно-исследовательской деятельности доказана целесообразность применения и использования пескоразбрасывателей с расположением транспортной цепи в бункере установки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мир транспорта и технологических машин [Электронный ресурс]. Орел: ОрелГТУ, 2010, 1-120 с. URL: <https://rucont.ru>
2. Ноу-хау № 20180026 «Устройство для равномерного распределения противогололедных материалов»
3. Международная конференция «ИНТЕРСТРОЙМЕХ-2015» в Республике Татарстан [Электронный ресурс] /Д.Ю. Густов // Механизация строительства 2016, №2, С. 156-160 URL: <https://rucont.ru>
4. Детали машин и основы конструирования. Курсовое проектирование: Учебное пособие // В.И. Андреев, И.В. Павлова. - СПб.: Лань, 2013. - 352 с.
5. Основы технологии машиностроения: Учебник // В.Ф. Безъязычный. - М.: Машиностроение, 2013. - 568 с
6. Романович А. А. Расчет усилия, необходимого для создания направленного движения сланцевых материалов в пресс-валковом агрегате / А. А. Романович, М. А. Романович, Е. И. Чеховской // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2018, № 8, С. 131-137
7. Расчет мощности привода агрегата для получения кубовидного щебня / А. А. Романович, Е.И. Чеховской, М.А Романович, И.В. Апухтина // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. 2017, № 7. С. 111-115

УДК 621.317

*М. Н. Плут, О. А. Губская*

ФГКВОУ ВО Военная академия связи

### ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ПОКАЗАТЕЛЯ НАДЕЖНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

**Ключевые слова:** средства связи, средства измерений, эффективность, коэффициент готовности, автоматический измерительный комплекс.

**Аннотация:** В статье проведен анализ показателей надежности средств измерений (коэффициента готовности; коэффициента оперативной готовности; коэффициента технического использования) и показано, что наиболее полно требованиям надежности средства измерений автоматического измерительного комплекса отвечает коэффициент технического использования.

M. N. Plut, O. A. Gubskaya

## ATIONALE AND SELECTION OF THE RELIABILITY INDICATOR OF MEASURES FROM THE AUTOMATIC MEASURING COMPLEX

**Keywords:** Communications, measurement, efficiency, availability, automatic measuring complex.

**Abstracts:** The article analyzes the reliability indicators of measuring instruments (availability ratio; operational readiness ratio; technical use ratio) and shows that the technical use ratio meets the requirements of the reliability of a measuring instrument of the automatic measuring complex.

Измерения влияют на уровень эффективности применения средств связи и автоматизации (СС и А.) через длинную и сложную цепь взаимодействий. Кроме того, этот уровень обусловлен многочисленными взаимосвязанными и взаимозависящими факторами, среди которых иногда трудно выделить метрологическое обслуживание (рис. 1).

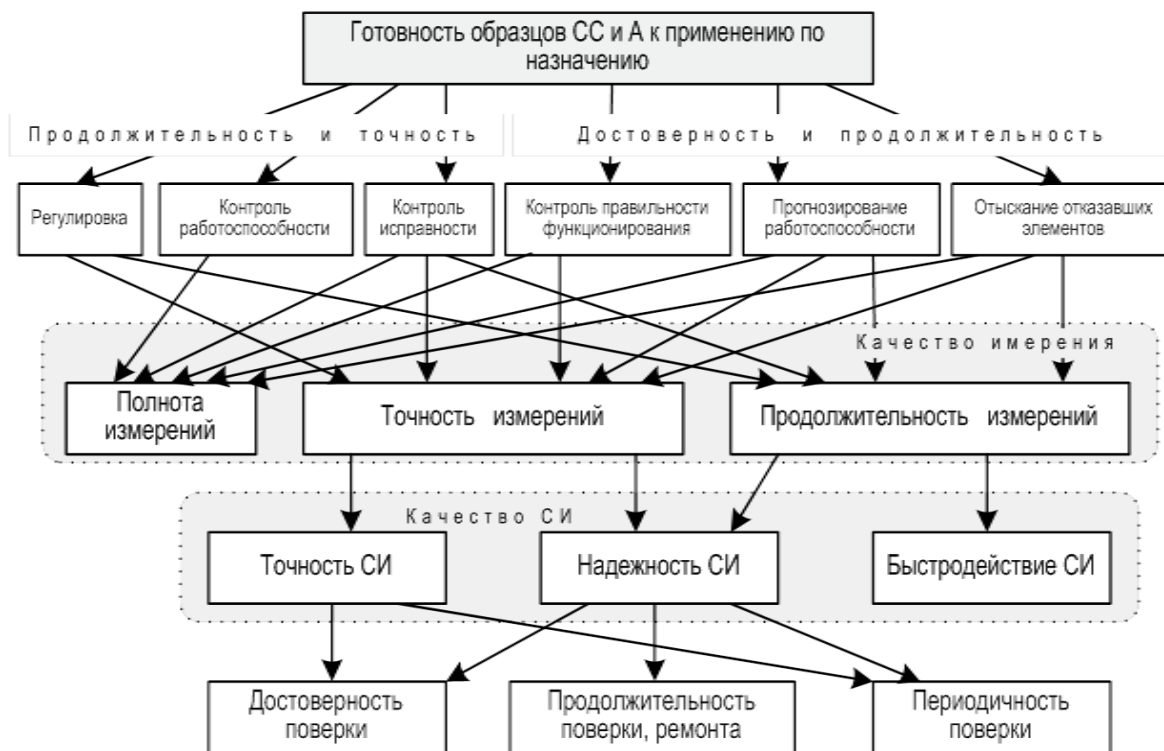


Рис. 1. Система показателей качества метрологического обслуживания

Использование средств измерений (СИ) автоматического измерительного комплекса (АИК) при эксплуатации СС и А. направлено на достижения требуемой готовности этих средств. Чаще всего СИ применяются для контроля работоспособности СС и А и отыскания отказавших элементов. Их характеристики определяют достоверность и продолжительность контрольных и диагностических операций, поэтому количественно оценить эффективность применения СИ можно по коэффициенту готовности ( $K_r$ ), рассматри-

ваемому как функция показателей достоверности и продолжительности измерительного контроля и диагностики.

В частности, когда СИ используют для периодического контроля находящегося в эксплуатации СС и А. и локализации отказавшего элемента, зависимость коэффициента готовности от показателей достоверности и продолжительности этих операций имеет вид:

$$K_z = \frac{1 - e^{-\lambda t}}{\left[ \frac{\lambda T_g}{1 - \beta_0} + e^{-\lambda t} \right] \left[ 1 - e^{-\lambda t} \right] + \lambda t_g \left[ \frac{1 - e^{-\lambda t}}{1 - \beta_0} + 1 \right] + \left[ 1 - e^{-\lambda t} (1 - \alpha_0) \right] \lambda t_\beta}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – интенсивность отказов образца СС и А;

$T_{\bar{e}}, t_{\bar{e}}$  – период и продолжительность контроля;

$\lambda_0, \beta_0$  – условные вероятности ложного и необнаруженного отказов;

$t_{\bar{a}}$  – среднее время восстановления образца СС и А.

Условная вероятность ложного отказа характеризует долю неправильно забракованных СС и А.; условная вероятность необнаруженного отказа характеризует долю неверно признанных работоспособными, но на самом деле отказавших СС и А.

Если в момент проверки работоспособности СС и А. часть его параметров не измеряется вследствие отказа или отсутствия на месте эксплуатации необходимых СИ, то достоверность измерительного контроля уменьшается. В этом случае:

$$\lambda_0 = \lambda_{OH} + (1 - \lambda_{OH}) \left[ 1 - (1 - \lambda_{01})^n \left( P_{\bar{n}\bar{e}} + \frac{1 - P_{\bar{n}\bar{e}}}{(1 - \lambda_{01})^{n/m}} \right) \right], \quad (2)$$

$$\beta_0 = \beta_{01} \left[ \frac{n}{N} P_1 (1 - \beta_{01}) + P_{\bar{n}\bar{e}} (1 - \lambda_{01})^n \left( 1 - \frac{n}{N} \right) \left( 1 + \frac{1 - P_{\bar{n}\bar{e}'}}{P_{\bar{n}\bar{e}} (1 - \lambda_{01})^{n/m}} \right) \right], \quad (3)$$

где  $P_{\bar{n}\bar{e}'}$  – вероятность нахождения СИ на месте эксплуатации в работоспособном состоянии и его безотказной работы на протяжении всего времени контроля СС и А.

Чтобы достоверность контроля СС и А. не снижалась из-за отказов СИ, необходимо иметь подменные фонды этих СИ, которые можно использовать для замены отказавших.

Продолжительность контроля СС и А. определяется: числом измеряемых параметров; затратами времени на подготовительные работы; на измерительный контроль и продолжительностью измерения одного параметра.

Практика показывает, что контроль внешними СИ занимает приблизительно 70% общего времени, отводимого на подготовку устройств к применению, а встроенными только 3%. Отсюда путем расчетов можно установить, что измерительный контроль составляет ориентировочно 25% общего времени подготовки СИ к применению.

Если учесть возможность отказа СИ в процессе поверки СС и А, то продолжительность контроля станет значительно больше.

Следует заметить, что отказ можно устранить, либо отремонтировав отказавший измерительный прибор, либо заменив его заведомо работоспособным. Естественно, что способ восстановления СИ существенно сказывается на времени контроля параметров СС



и А. Продолжительность восстановления СИ определяется затратами времени на поиск отказавшего элемента или узла, ремонт этого элемента или его замену и послеремонтный контроль СИ. При агрегатном методе восстановления СИ, который сводится к замене неисправного элемента или узла исправным, 2/3 времени затрачивается на поиск отказавшего элемента.

Таким образом, можно с большой степенью уверенности утверждать, что готовность образцов СС и А, во многом определяется такими показателями качества СИ как точность, надежность и быстродействие. Следовательно, техническое состояние СИ (исправное, неисправное, работоспособное, неработоспособное) непосредственно зависит от выполнения требований по точности, надежности и быстродействию, предъявляемых к СИ. Известно, что точность и надежность СИ закладывается при проектировании, обеспечивается при производстве и поддерживается в процессе эксплуатации. Однако на техническое состояние СИ значительное влияние оказывают и условия их эксплуатации и, в частности, система технического обслуживания и ремонта (СТО и Р.) СИ. Влияние СТО и Р. СИ сказывается на точности и надежности СИ.

В связи с этим, представляет интерес исследование влияние СТО и Р СИ на показатели надежности СИ. В качестве показателей надежности СИ целесообразно рассмотреть следующие коэффициенты:

коэффициент готовности ( $K_{\Gamma}$ );

коэффициент оперативной готовности ( $K_{\text{ог}}$ );

коэффициент технического использования ( $K_{\text{ти}}$ ).

Коэффициент готовности – вероятность того, что СИ окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение объекта по назначению не предусмотрено. Он характеризует готовность СИ к применению по назначению только в отношении его работоспособности в произвольный момент времени применения по назначению.

$$K_{\Gamma} = \frac{T_0}{T_0 + T_B}, \quad (4)$$

где  $T_0$  – средняя наработка на отказ СИ;  $T_B$  – среднее время восстановления СИ.

Средняя наработка на отказ – есть отношение суммарной наработки к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки, которая определяется выражением:

$$T_0 = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad (5)$$

Среднее время восстановления СИ –  $T_B$ , есть математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния после отказа и определяется выражением:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^n t_{Bi}}{n} \quad (6)$$

Согласно аналитическому выражению для коэффициента готовности (4), интервалы времени не учитывают всего времени нахождения СИ в работоспособном состоянии и не отражают такие особенности эксплуатации, как хранение, транспортирование, техническое обслуживание, контроль технического состояния.

Следовательно, для описания технической готовности периодически используемых объектов, к которым относятся СИ,  $K_T$  не может использоваться однозначно.

Более полно надежность СИ при использовании их по назначению характеризует коэффициент оперативной готовности. Коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что СИ окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение его по назначению не предусмотрено, и, начиная с этого момента, будет работать с вероятностью безотказной работы  $P(t)$  в течение заданного интервала времени  $t$ , тогда:

$$K_{ог} = T_0 + P(t) \quad (7)$$

С точки зрения характеристики готовности СИ на всех этапах эксплуатации данному показателю присуще те же недостатки, что и коэффициенту готовности.

Суммарное время пребывания СИ в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания СИ в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период, характеризует коэффициент технического использования:

$$K_{ти} = \frac{T_{РАБ.}}{T_{РАБ.} + T_{ТО} + T_P} = \frac{1}{1 + \frac{T_{ТО}}{T_{РАБ.}} + \frac{T_P}{T_{РАБ.}}}, \quad (8)$$

где  $T_{раб}$  – время нахождения СИ в работоспособном состоянии;

$T_{то}$  – продолжительность технического обслуживания с учетом организационных потерь времени ( $t_{орг}$ );

$T_p$  – время простоя СИ на ремонте

Для СИ при определении  $t_{тоj}$  целесообразно учитывать только время, затрачиваемое на проведение поверки СИ (ТО №2), так как оно как минимум на порядок превышает время, отводимое на ТО №1.

Коэффициент технического использования учитывает нахождение СИ в работоспособном состоянии не только при использовании по назначению, но и в период его технического обслуживания и ремонте. Другими словами, этот показатель ( $K_{ти}$ ) представляет собой вероятность нахождения СИ на рабочем месте в работоспособном состоянии, поверенным и признанным годным к применению.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровский Р.П. Метрология и боевая готовность техники. //Техника и вооружение .-1981.-№1. – С. 24-26.
2. Месарович М. Д. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир. 1973. - С. 344.

З. Боговик А. В., Игнатов В. В. Теория управления в системах военного назначения. Учеб. – СПб.: ВАС, 2008. – С. 460.

УДК 621.78

*И. А. Повтарев, М. Ю. Колобов*

ФГБОУ ВО Ивановский химико-технологический университет

## **ВОССТАНОВЛЕНИЕ ИЗНОШЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ**

**Ключевые слова:** пожарная техника, изношенные детали, способы восстановления.

**Аннотация:** при эксплуатации пожарной техники возникают различные неисправности. Экономическая эффективность ремонта заключается в восстановлении изношенных деталей. Приведены основные способы восстановления изношенных деталей.

*I. A. Povtarev, M. Yu. Kolobov*

## **RESTORATION OF WEARED PARTS OF FIRE TECHNIQUE**

**Keywords:** fire equipment, worn parts, recovery methods.

**Abstracts:** during the operation of fire equipment there are various malfunctions. Cost-effective repair is to restore worn parts. The main ways to restore worn parts are given.

Все системы и механизмы пожарной техники обладают определенными параметрами технических характеристик. Эти параметры не остаются постоянными на протяжении срока службы машин. Отклонение их от номинальных (первоначально установленных значений) характеризует изменение технического состояния систем и механизмов [1].

Изменение параметров при эксплуатации обусловлено изнашиванием рабочих поверхностей деталей и агрегатов. Для поддержания высоких показателей надежности и эффективности работы машин необходим менеджмент их технического состояния, что реализуется с помощью методов и средств ремонта и технического обслуживания. Основным источником экономической эффективности ремонта заключается в восстановлении изношенных деталей. Восстановление изношенных деталей в системе вторичного производства машин является природоохранным и ресурсосберегающим производством.

Способ и технологию восстановления изношенных деталей пожарной техники выбирают так, чтобы кроме размеров, формы, посадок и необходимой поверхности они обеспечивали бы механическую прочность и работоспособность восстановленной детали до уровня аналогичных показателей новых деталей. Стоимость восстановления детали обычно составляет 10-25% стоимости изготовления новой детали, а для базовых деталей сложной конфигурации – 5-10%.

Для возможного ремонта деталей пожарной техники применяются следующие способы восстановления [2]: сварка, наплавка, металлизация, электролитические покрытия, метод пластических деформаций, обработка деталей на ремонтные размеры, восстановление клеями и др.

Сварка широко применяется в ремонтной практике для устранения повреждения целостности деталей. Сваркой восстанавливают валы, корпусные детали, и другие сложные детали пожарной техники, а также она применяется при постановке заплат, заварке трещин и др. При ремонте применяются разнообразные способы сварки: электродуговая ручная, полуавтоматическая, автоматическая под слоем флюса и в среде защитных газов, электрошлаковая, газовая и другие.

Наиболее широко применяется электродуговая ручная сварка, так как она позволяет выполнять работы при любом положении шва и в различных производственных условиях как на месте установки оборудования без его демонтажа, так и в ремонтных цехах. При этом не требуется сложного сварочного оборудования. При достаточно большом ассортименте электродов, выпускаемых промышленностью, имеется возможность подобрать металл шва по химическому составу и механическим свойствам, близким к основному металлу.

Наплавка является доступным и распространенным способом восстановления. Процесс восстановления складывается из наплавки, отжига и механической обработки детали. Наплавка позволяет нарастить на изношенной поверхности достаточный слой металла, обладающий не меньшей прочностью, чем металл восстанавливаемой детали. Износостойкость наплавленного слоя может быть выше износостойкости металла детали. Значительная толщина наплавленного слоя достигается многослойной наплавкой.

Недостатком наплавки является коробление деталей из-за напряжений, возникающих вследствие местного нагрева детали. Для устранения коробления производят подогрев наплаваемой детали до 100-400°С, термообработку после наплавки.

Способ восстановления деталей наплавкой применяется для стальных, чугунных, бронзовых, свинцовых деталей.

Сущность процесса металлизации состоит в нанесении металлических покрытий на поверхность материалов путем расплавления металла и последующего распыления его струей сжатого воздуха [3]. Для этого используют специальные аппараты – металлизаторы. В зависимости от вида источника тепла, используемого для расплавления металла, различают металлизаторы газопламенные, электродуговые и плазменные. Металл для напыления может применяться в виде проволоки, порошка или ленты. Наибольшее распространение получили металлизаторы проволоочного типа. Области применения металлизации: восстановление изношенных вкладышей подшипников и шеек валов; изготовление новых валов с металлизированными шейками вкладышей, напыленных антифрикционным сплавом; ремонт чугунных изделий и т.п. Металлизация – дешевый и производительный способ ремонта.

К электролитическим методам относятся: хромирование, никелирование, железнение (осталивание), меднение, свинцевание, цинкование. В ремонтной практике при восстановлении изношенных деталей находят применение, в основном, хромирование и железнение. Максимальная толщина покрытия при хромировании может достигать 0,45-0,5 мм, а при железнении – 2,0-3,0 мм. Объясняется это тем, что железо осаждается в 10-20 раз быстрее, чем хром.

При этом возможно не только восстанавливать размеры изношенных поверхностей деталей машин, но и повышать их износостойкость. Это обстоятельство обусловлено свойствами электролитического хрома: высокой твердостью, низким коэффициентом трения скольжения, высокой износостойкостью, коррозионной стойкостью и теплопроводностью, а также хорошим сцеплением с основным металлом. Твердость электролитического хрома зависит от условий электролиза и может изменяться в пределах 400-1200 НV. Коэффициент трения хрома по баббиту – 0,13, по стали – 0,16.

Недостатками способа хромирования являются:

- понижение прочности при увеличении толщины покрытия;
- понижение (до 20%) усталостной прочности деталей, покрываемых хромом;
- плохая смачиваемость хромированных поверхностей маслами, поэтому восстанавливать хромированием деталей, работающих при больших удельных давлениях с нагревом, нецелесообразно;
- плохая прирабатываемость гладкого хрома вследствие его большой твердости.

Восстановление деталей при помощи пластических деформаций основано на их способности изменять свою геометрическую форму и размеры без разрушения под действием внешних сил. Процесс деформирования металла при восстановлении деталей подчиняется законам обработки металлов давлением. Метод пластических деформаций применяется для восстановления деталей, изготовленных из пластичных материалов.

Применяются следующие виды восстановления деталей: осадка, обжатие, раздача, правка, накатка. Восстановление проводят как в холодном, так и в горячем состоянии. Термически необработанные стальные детали с малым содержанием углерода, а также детали из цветных металлов восстанавливаются без нагрева. Стальные детали со средним и высоким содержанием углерода (более 0,3%) перед восстановлением нагревают до температуры 800-1100°C. Для осуществления пластических деформаций применяются разнообразные приспособления, штампы и др.

Склеивание однородных и разнородных материалов является одним из прогрессивных способов получения неразъемных соединений. При ремонте оборудования склеивание применяют также для восстановления изношенных и поломанных деталей вместо сварки и пайки, для герметизации труб, заделки трещин, приклеивания заплат, компенсаторов износа, заделки вмятин и различных неровностей на поверхности и др. При склеивании имеется возможность соединения разнородных материалов при малой их толщине. Клеевые соединения обеспечивают равномерное распределение напряжений в соединении. К недостаткам клеевых соединений относится относительно низкая прочность на односторонний неравномерный отрыв, меньшая долговечность по сравнению со сварными соединениями, невысокая теплостойкость. Большинство клеев на основе органических полимеров могут длительно работать только при температуре 200-250°C и кратковременно при 300-350°C. Механическая прочность клеевого соединения зависит от природы материала, качества клея, качества подготовки поверхности, условий эксплуатации и др. При использовании одного и того же клея прочность клеевых соединений черных металлов выше, чем клеевых соединений цветных металлов и их сплавов (меди и алюминия).

Обработка на ремонтные размеры применяется для сопряженных деталей с целью восстановления посадки в соединении.

Сущность этого способа заключается в том, что одну сопряженную деталь (сложную в изготовлении и дорогостоящую), например, цилиндр компрессора или вал обрабатывают на новый размер, а вторую сопряженную деталь (более простую в изготовлении и менее дорогую), например, втулку, поршневое кольцо изготавливают заново, но уже на новый размер, обеспечивающий проектную посадку в соединении. Этим методом ремонтируют подшипниковые узлы, блоки цилиндров и поршней поршневых компрессоров, резьбовые соединения и т.п.

Новые размеры деталей соединения отличаются от проектных (номинальных) значений и называются ремонтными. Ремонтные размеры устанавливаются для ремонтируемых деталей, изготавливаемых вновь взамен изношенных, и для дополнительных деталей, компенсирующих износ сопряженных пар.

Не все способы восстановления могут быть использованы для конкретной детали. Выбор способа определяется величиной и характером износа, необходимой термообработкой, конструктивными особенностями, величиной и характером нагрузок, действующих на деталь. Способ восстановления деталей должен выбираться не только по технологическим возможностям, но и с учетом экономических факторов. Наилучшим может быть такой способ, при котором обеспечивается наибольший срок службы детали при наименьших затратах на восстановление.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Безбородько М.Д. Пожарная техника: учебник / под ред. М.Д. Безбородько. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – 550 с.
2. Восстановление деталей машин: справочник / под ред. В.П. Иванова. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
3. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. Триботехника: учебное пособие. – М.: КНОРУС, 2015. – 408 с.

УДК 623.4.017

*Л. Т. Раевская<sup>1</sup>, В. А. Калентьев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Уральский государственный горный университет

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России

### ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ РЕАКЦИИ ОПОРЫ МАНИПУЛЯТОРА НА ПРОЧНОСТЬ

**Ключевые слова:** манипуляторы, силы инерции, принцип Даламбера, прочность в динамике.

**Аннотация:** в настоящей работе приведены аналитические расчеты динамических реакций. Рассмотрен манипулятор с тремя степенями свободы. Математическая модель для расчета реакции построена с использованием принципа Даламбера.

L. T. Raevskaya, V. A. Kalentyev

## INFLUENCE OF THE DYNAMIC COMPONENT REACTION OF THE MANIPULATOR SUPPORT ON THE STRENGTH

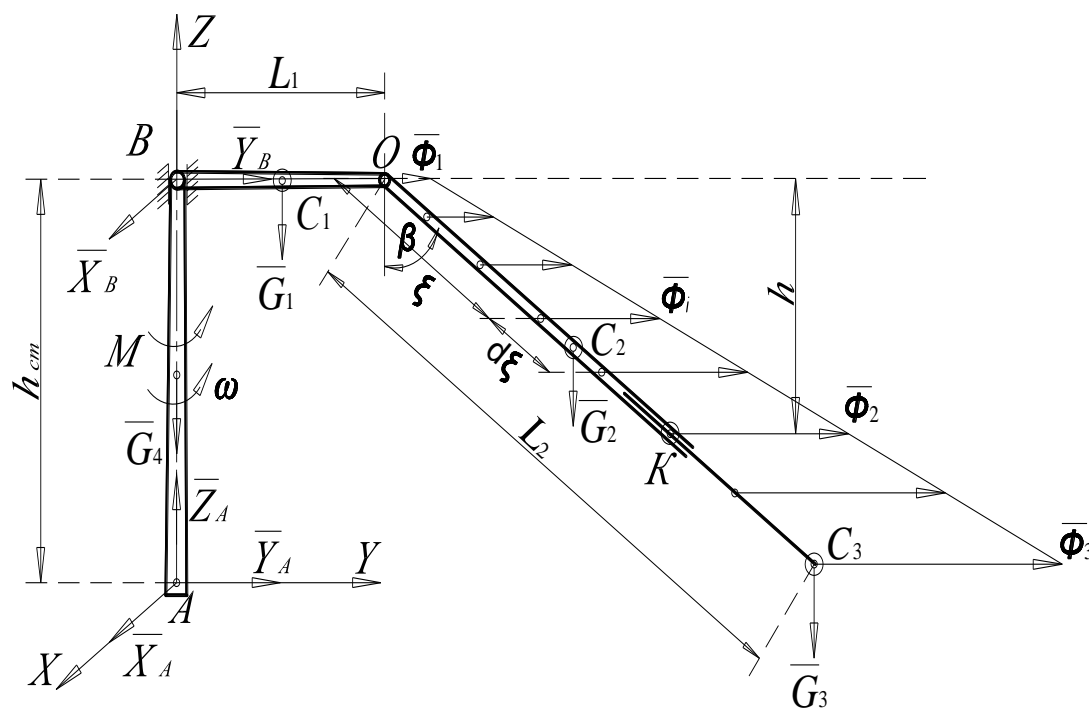
**Keywords:** manipulators, inertia forces, d'Alembert principle, strength in dynamics.

**Annotation:** this paper presents analytical calculations of dynamic reactions. A manipulator with three degrees of freedom is considered. The mathematical model for calculating the reaction is built using the d'Alembert principle.

При движении деталей машин и механизмов возникают динамические нагрузки, которые могут значительно превышать статические. Объясняется это появлением сил инерции, приводящих к росту напряжений в конструкциях. При расчете элементов механизмов на прочность и надежность необходимо учитывать воздействие нагрузок, особенно ударных нагрузок и вибраций. Вибрации, возникающие в силу неуравновешенности машин, передаются прилегающим конструкциям и объектам, что нарушает нормальную работу других устройств, а также вредно влияет на здоровье человека. В ряде случаев динамические напряжения во много раз превышают статические. [1]. Кроме того, многократно повторяющиеся нагрузки приводят к резкому снижению прочности материалов, связанному с усталостными явлениями [3].

Оценить динамические реакции неуравновешенных масс манипулятора и является целью настоящей статьи. Полагаем, что предложенный расчет позволит оценить дополнительные динамические реакции опор любых манипуляторных и подъемно-транспортных машин.

Расчётная схема показана на рис. 1.



**Рис. 1.** Расчетная схема манипулятора.

Стойка—AB, стрела—BO, рукоять—OC<sub>3</sub>, выдвижная часть рукояти — KC<sub>3</sub>

Стойка, стрела, рукоять считались однородными прямолинейными стержнями. В точке  $C_3$  находится груз, который переносится манипулятором. Стрела в нашем приближении имеет постоянную угловую скорость вместе со стойкой. Постоянство угловой скорости позволяет не учитывать силы инерции, направленные по касательным к траектории. Будут учтены только нормальные силы инерции, направленные против нормального ускорения. Пусть стрела ориентирована вдоль горизонтальной оси для того, чтобы получить максимальное значение сил инерции в зависимости от угла рукояти с вертикалью –  $\beta$  и для разных величин угловой скорости –  $\omega$ . Цель получить зависимость динамической составляющей реакции от сил тяжести, угла  $\beta$  для разных  $\omega$ .

Математическая формулировка задачи. Используем уравнения кинестатики, составляемые по принципу Даламбера. На рис. 1  $\bar{X}_A, \bar{Y}_A, \bar{Z}_A, \bar{X}_B, \bar{Y}_B, \bar{Z}_B$  – реакции опоры соответственно в точках  $A$  и  $B$ ;  $L_1$  – длина стрелы;  $L_2$  – длина рукояти;  $\bar{G}_1$  – сила тяжести стрелы;  $\bar{G}_2$  – сила тяжести телескопической рукояти;  $\bar{G}_3$  – сила тяжести груза;  $\bar{G}_4$  – сила тяжести стойки;  $M$  – момент от двигателя;  $h_{cm}$  – высота стойки;  $h$  – плечо равнодействующей  $\bar{\Phi}_2$  системы сил инерции, прикладываемых к рукояти;  $\bar{\Phi}_1$  и  $\bar{\Phi}_3$  – силы инерции стрелы и груза  $G_3$ , соответственно. Для расчета силы инерции рукояти рассмотрим элементарный участок  $d\xi$ , на который прикладываем силу инерции  $\Phi_i$ , равную

$$\Phi_i = \omega^2 R_i m_i, \quad (1)$$

где  $R_i$  – расстояние от элементарного участка  $d\xi$  до оси вращения;  $m_i$  – масса  $i$  – того участка. Равнодействующая системы сил (1) получится равной

$$\Phi_2 = m_2 \cdot \omega^2 \cdot \left( L_1 + \frac{L_2}{2} \cdot \sin \beta \right). \quad (2)$$

Вычисления сил  $\Phi_1$  и  $\Phi_3$  дают, соответственно

$$\Phi_1 = m_1 \cdot \omega^2 \cdot \frac{L_1}{2} = \frac{G_1}{g} \cdot \omega^2 \cdot \frac{L_1}{2}, \quad (3)$$

$$\Phi_3 = m_3 \cdot \omega^2 \cdot (L_1 + L_2 \cdot \sin \beta) = \frac{G_3}{g} \cdot \omega^2 \cdot (L_1 + L_2 \cdot \sin \beta). \quad (4)$$

Из уравнения кинестатики для моментов относительно оси  $x$  с учетом соотношений (2)–(4) можно получить, для реакции  $Y_B$  следующую связь с  $\omega$  и углом  $\beta$ .

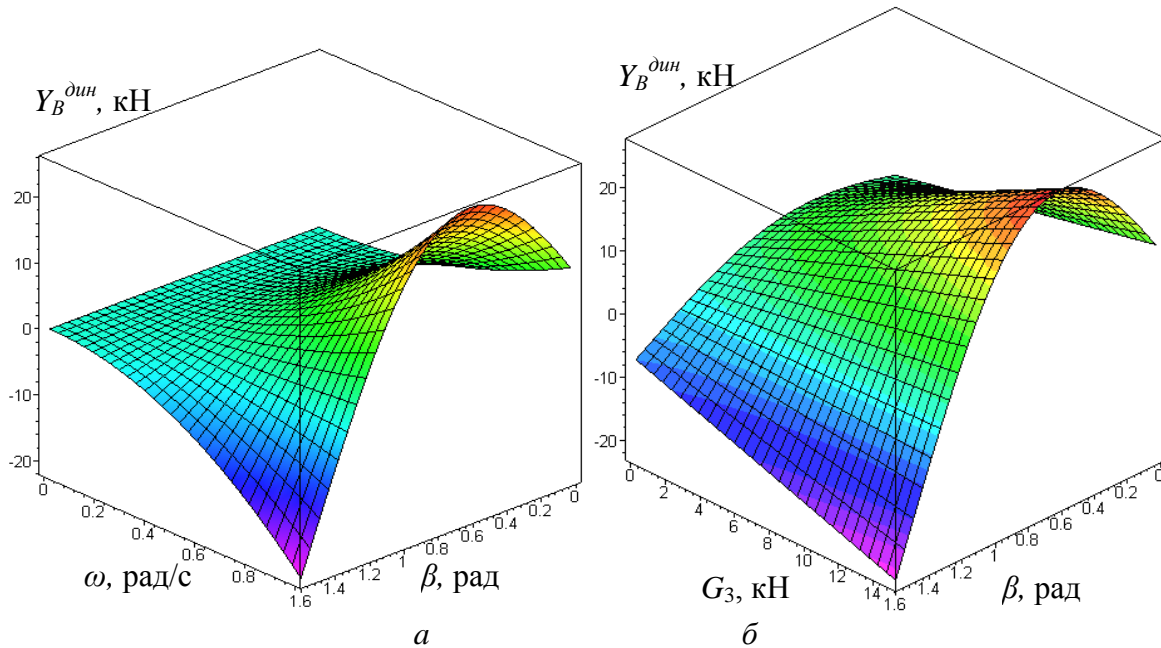
$$Y_B = \left[ -\frac{L_1}{2} (G_1 + 2G_2 + 2G_3) + \Phi_2 \cdot \left( \frac{L_2 \cos \beta (3L_1 + 2L_2 \sin \beta)}{6L_1 + 3L_2 \sin \beta} \right) - \right. \\ \left. - (G_3 + G_2 / 2) \cdot (L_2 \sin \beta) + \Phi_3 \cdot (L_2 \cos \beta) - (\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3) h_{cm} \right] \cdot \left( \frac{1}{h_{cm}} \right) \quad (5)$$



Слагаемые в соотношении (5), связанные с силами инерции являются динамической составляющей реакции опоры.

Определим зависимости динамической составляющей реакции опоры от угловой скорости стойки и угла наклона рукоятки. Данные по нагрузкам и габаритам брались для манипулятора БАКМ 1600-4 [2].

С помощью программы MAPLE 9.5 строим зависимости динамической составляющей от угловой скорости  $\omega$  и угла  $\beta$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимости динамической составляющей реакции опоры от  $\omega$  и угла  $\beta$  - а; силы тяжести груза  $G_3$  и угла  $\beta$  - б

Из рис. 2 видно, что наибольшей величины динамическая часть реакции достигает при  $\omega = 1$  рад/с и  $\beta = 1,6$  рад и  $\beta = 0,3$  рад. При горизонтальном расположении рукоятки ( $\beta = 1,6$  рад) силы инерции груза и рукоятки достигают максимальных значений, при этом динамическая составляющая реакции опоры составляет 23 кН. При малых значениях  $\omega$  (0-0,3 рад/с)  $Y_B^{дин}$  составляет 0-2% от статической и слабо влияет на устойчивость машины. При  $\omega \geq 0,4$  рад/с возрастают и  $Y_B^{дин}$ , и чувствительность к изменению угла  $\beta$ . Рациональными являются значения угловой скорости 0,2-0,3 рад/с, опасными – 0,8-1,0 рад/с.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Краснюк М.И., Монаков Л.А., Раевская Л.Т. Определение динамической реакции опоры неуравновешенного мотора с учетом силы трения. //Научное творчество молодежи – лесному комплексу России.: матер. XIV Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2018. – С. 277-280.
2. Манипулятор БАКМ-1600. Электронный ресурс URL: <https://www.stroyteh.ru/wiki/1600-4> (дата обращения 01.02.2019).

3. Прочность при динамических нагрузках. Электронный ресурс URL: <http://soprotmat.ru/dinamika.htm> (дата обращения 05.03.2019).

УДК 62-85:539

*Л. Т. Раевская<sup>1</sup>, В. А. Калентьев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Уральский государственный горный университет

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ АКСИАЛЬНО-ПОРШНЕВЫХ ПНЕВМОМОТОРОВ**

**Ключевые слова:** пневмомоторы, надежность, наработка на отказ.

**Аннотация:** в настоящей работе приведены данные по аксиально-поршневым пневмомоторам ДАР, их надежности, параметрам, особенностям конструкции и области применения. Приведены некоторые данные по причинам отказа пневмодвигателя в процессе эксплуатации.

*L. T. Raevskaya, V. F. Kalentyev*

## **MAIN DIRECTIONS OF INCREASING THE RELIABILITY OF AXIAL PISTON AIR MOTORS**

**Keywords:** pneumatic motors, reliability, time between failures.

**Abstract:** this paper presents data on axial-piston DAR pneumatic motors, their reliability, parameters, design features and application. Some data are given for the reasons for the failure of the air motor during operation.

Аксиально-поршневые пневмомоторы предназначались для горных машин, так как по сравнению с моторами других конструкций, они имеют в 1,5-2 раза меньшие габариты и массу, а также повышенную на 10-15% экономичность. В отличие, например, от электромоторов, они меньше весят, устойчивы к вибрациям и высоким температурам. Их можно использовать во взрывоопасных местах. Главное они надежны и долговечны, так как конструктивно просты и содержат небольшое количество движущихся элементов. Вместе с тем повышение надежности является актуальной задачей.

Основные работы по совершенствованию конструкции пневмомоторов, повышению их надежности, долговечности, сводятся к трем главным направлениям.

1. Совершенствование конструкции пневмомоторов с целью повышения их качества, надежности, долговечности и улучшения санитарно-гигиенических и экологических характеристик.

2. Изучение и оценка нагруженности пневмомоторов, как основы для прочностного и усталостного расчета их узлов и деталей.

3. Теоретическое исследование процессов (газодинамических, механо-динамических), протекавших в пневмомоторах, и влияющих на них режимов работы и отдельных конструктивных параметров.

Основные показатели надежности – вероятность безотказной работы, среднее время восстановления работоспособного состояния и средний ресурс до капитального ремонта.

Приведем некоторые данные по надежности пневмодвигателей.

Пневмомоторы ДАР-5М. Нарботка на отказ в автоподатчиках бурильных установок 2УБН-2 и 2УБН-2П составляла более 1000 ч; отдельные двигатели имеют наработку более 3000 ч. В приводе маслостанции наработка на отказ не превышала 500 ч. Основные отказы связаны с поломкой сепараторов подшипников. Пневмомотор аксиально-поршневой реверсивный ДАР-5М МХ 701.00 изготовлен из качественного и прочного чугуна, который прошел множество испытаний и поэтому способен выдержать сильные вибрации. Номинальная мощность этого пневмодвигателя 5 кВт. Номинальная частота вращения 600 об/мин [1]. Пневмомоторы, выпускаемые Дарасунским заводом горного оборудования, имеют более низкие показатели надежности. Так наработка на отказ в автоподатчиках тех же буровых кареток не превышает 350-400 ч. Отказы связаны с износом латунных штифтов в канавках поршней, с проворотом и поломкой поршневых колец, с разрывом поршней, с ненадежностью фиксации пальцев от поворота и в осевом направлении. Пневмомоторы завода в отдельных случаях не развивали паспортных значений мощности и крутящего момента.

Пневмомоторы ДАР-14М. По данным наблюдений за эксплуатацией пневмомоторов были получены следующие показатели надежности (см. таблицу).

Таблица. Показатели надежности

Показатели	Буровой станок НКР-100МП	Колонковая бурильная установка КБУ
<b>Нарботка на отказ в машиночасах</b>		
минимальная	34	295
максимальная	2660	1345
средняя	1000	857
<b>Нарботка на отказ в метрах пробуренных скважин</b>		
минимальная	200	1420
максимальная	14624	4935
средняя	4944	3910

Пневмомоторы ДАР-30М. По сведениям Богословского рудоуправления некоторые пневмомоторы, эксплуатирующиеся в условиях шахты «Старопесчанская» выходили из строя через 24-164 часа, что значительно ниже установленного техническими условиями, равного 620 часам. ЗАО «РМЗ» начало серийный выпуск аксиально-поршневых пневмомоторов МАП22-6,7 [2]. Пневмомотор аксиально-поршневой МАП22-6,7 является аналогом пневмомотора ДАР-30 – реверсивный, нерегулируемый, с четырьмя двусторонними поршнями, с профильным диском многократного действия. Пневмомотор рассчитан на эксплуатацию при температуре окружающей среды от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха до 97% при  $+35^{\circ}\text{C}$ . Он

неприхотлив в эксплуатации, выдерживает сильные вибрации и механические нагрузки, а также множество циклов включения и выключения, не говоря уже о возможности его использования во взрывоопасных местах.

Анализ причин отказов пневмомоторов показал, что 80% отказов наступило из-за разрушения поршней, 12% – кулачкового диска ротора, 4% – пластмассовых заглушек цилиндров, 4% – из-за выпадения доньшка поршня [3].

Известны также отдельные случаи отказов пневмомоторов, связанные с ненадежностью стопарения поршневых пальцев. Так на одном из пневмомоторов через 98 часов работы сместившимися поршневыми пальцами протерло канавки в цилиндрах. Существенный разброс показателей связан, по-видимому, с несовершенством системы газораспределения.

Таким образом, краткий обзор показателей надежности пневмомоторов позволяет прийти к двум важным выводам. Во-первых, наблюдается значительный разброс таких показателей надежности, как наработка на отказ, ресурс и т.п. Это связано с тем, что не удается добиться стабильности технологических процессов изготовления. Во-вторых, нарушение стабильности технологии и недостаточный технологический контроль, приводит к низкой воспроизводимости системы газораспределения и, в итоге, к низкой параметрической надежности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пневмодвигатели ДАР <http://www.darasun.ru/catalog/pnevmodvigateli-dar> (дата обращения: 22.02.19).
2. Пневмомотор МАП22-6,7 (ДАР-30) РМЗ <http://rmz.rodniki.ru/2017/12/25/> (дата обращения: 22.02.19).
3. Раевская Л.Т. Характеристики вибраций деталей пневмодвигателя./ Л.Т. Раевская. – Ижевск : Вестник ИжГТУ. – 2013. – №2 (58). – С.16-19.

УДК 630

*М. А. Рассохин, В. Н. Сащенко, А. Г. Пушкарев, К. В. Пастухов*  
ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России

#### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗНОСОВ ДЕТАЛЕЙ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ МЕТОДОМ БЕЗРАЗБОРНОГО КОНТРОЛЯ

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, изнашивание, масло, спектральный анализ.

**Аннотация:** В процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания происходит постепенный износ деталей. Наиболее подвержены износу трибосопряжения цилиндро – поршневой группы (ЦПГ) и кривошипно – шатунного механизма (КШМ). Контроль состояния этих механизмов возможен с помощью метода спектрального анализа картерного масла, позволяющего определять концентрацию индикаторов износа в пробе масла.

*M. A. Rassokhin, V. N. Saschenko, A. G. Pushkarev, K. V. Pastukhov*

## **DETERMINATION OF THE WEAR PARTS OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE METHOD CIP CONTROL**

**Keywords:** internal combustion engine, wear, oil, spectral analysis.

**Abstract:** in the process of operation of an internal combustion engine there is a gradual wear of parts. The most prone to wear of the cylinder – piston group (CPG) and the crank mechanism (CRT). The condition of these mechanisms can be monitored by spectral analysis of the crankcase oil, which allows to determine the concentration of wear indicators in the oil sample.

Двигатель внутреннего сгорания, устанавливаемый на большинстве транспортных средств, является одним из наиболее дорогостоящих объектов машиностроения на долю которого приходится до 40% транспортных расходов. Наиболее трудоемкими являются ремонты деталей ЦПГ и КШМ, на ремонт этих же элементов приходится до 70% от общих затрат на ремонт двигателя [1-3]. Повысить надежность двигателя, а также уменьшить эксплуатационные затраты возможно применяя новые методы и средства диагностирования, в частности метод спектрального анализа моторного масла.

Данный метод отличается высокой информативностью и универсальностью, позволяет производить качественный и количественный анализ моторных масел [3-5]. Моторные масла, в свою очередь, решают не только классические трибологические задачи, но и выполняют ряд вспомогательных функций - препятствуют коррозии, окислительным процессам, уплотняют поршень в цилиндре ДВС, охлаждают поверхности, транспортируют продукты износа, шлам и сажу на фильтрующий элемент масляного фильтра и др.

Учитывая большое количество функций моторного масла, можно сделать вывод, что смазочные материалы, находящиеся в работе, являются носителями комплексной информации о работе двигателя. Исследуя масла находящиеся в работе можно определять интенсивность изнашивания пар трения, работоспособность смазочной системы, системы фильтрации воздуха, подачи топлива, находить отклонения в рабочем процессе ДВС и т.д. [6-8].

Методы спектрального анализа относятся к методам лабораторной трибодиагностики и основываются на изучении спектров излучения при сжигании пробы масла в дуговом разряде. Данные методы позволяют диагностировать изнашивания и неисправности смазываемых узлов трения. Используемый в анализе метод подсчета частиц от 2 мкм до 100 мкм, позволяет с достаточной точностью определять износы в парах трения ДВС. На данный момент наиболее распространенными спектрально – аналитическими методами являются: масс-спектральный, атомно-абсорбционный и атомно-эмиссионный.

Проведя сравнительный анализ существующих методов спектрального анализа, для определения износов деталей двигателя авторами выбран стандартный метод многоэлементного анализа использованных и неиспользованных смазочных масел и базовых масел методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (СТ РК ASTM D 5185-2013). Основными критериями выбора метода анализа являлись: пределы обнаружения, рабочий аналитический диапазон концентраций, производи-

тельность, качество результатов, простота эксплуатации, доступность проверенных методик.

В выбранном методе анализ проводится по содержанию в пробе масла индикаторов износа, также возможно определение закономерности изменения элементного состава масла. В табл. 1 приведен список индикаторов износа и других элементов, а также возможный источник происхождения. В табл. 2 отражены функциональные особенности некоторых присадок.

Таблица 1. Индикаторы износа и их возможные источники

Индикаторы	Возможные источники происхождения
Al	Блок цилиндров, поршни, компрессор, втулки масляного насоса, подшипники, масляный радиатор
B	Утечки системы охлаждения, примеси в смазке
C	Цилиндры, поршневые кольца
Cu	Подшипники, сердечник масляного радиатора
Fe	Цилиндры, поршневые кольца, привод клапанов, блок цилиндров, масляный насос, подшипники, шестерни
Pb	Подшипники, примеси в топливе
Si	Блок цилиндров, пыль на уплотнениях
Sn	Подшипники, поршни, элементы масляного радиатора, шатуны

Таблица 2. Функциональные особенности присадок

Присадки	Полезные качества
B	Ингибитор коррозии, противоизносное, антиоксидантное
Ba	Ингибитор коррозии, моющее, ингибитор ржавчины
Mn	Улучшение сгорания, дымоподавитель
P	Противоизносное, ингибитор коррозии, антиоксидант
S	Мультифункциональный компонент
Si	Пеногаситель
Zn	Противоизносное, ингибитор коррозии, антиоксидантное

Авторами была проведена оценка износов при пуске и прогреве двигателя. Разработана методика проведения эксперимента и способ отбора проб. Пробы отбирались после останова двигателя, через отверстие для масляного щупа, с помощью трубки, нижний конец которой срезан под углом порядка 45 градусов, при этом конец пробоотборной трубки погружался на 40 – 50 мм, не касаясь дна картера двигателя с целью предотвращения попадания шлама, грязи и осевших на дне механических примесей.



Рис. 1. Общий вид спектрометра Optima 8000

Емкость для образцов заполнялась на 80% для обеспечения возможности взбалтывания пробы масла перед началом тестирования.

Для обработки использовался спектрометр эмиссионный с индуктивно связанной плазмой Optima 8000 (далее спектрометр). Данный прибор предназначен для измерения элементного состава жидких проб.

В результате полученных исследований были получены протоколы испытаний, содержащие сведения о следующих показателях: индикаторы изнашивания, элементы присадок, продукты загрязнения, оформление протокола испытаний показано на рис. 2.

Наименование показателя, ед.изм.	Метод испытания	Результаты анализа пробы
<b>1. Индикаторы износа</b>		
Массовая доля железа (Fe), мг/кг	ASTM D 5185	9
Массовая доля хрома (Cr), мг/кг	ASTM D 5185	0
Массовая доля свинца (Pb), мг/кг	ASTM D 5185	2
Массовая доля меди (Cu), мг/кг	ASTM D 5185	4
Массовая доля олова (Sn), мг/кг	ASTM D 5185	0
Массовая доля алюминия (Al), мг/кг	ASTM D 5185	6
Массовая доля никеля (Ni), мг/кг	ASTM D 5185	0
Массовая доля титана (Ti), мг/кг	ASTM D 5185	0
Массовая доля ванадия (V), мг/кг	ASTM D 5185	0
Массовая доля марганца (Mn), мг/кг	ASTM D 5185	0
<b>2. Элементы присадок</b>		
Массовая доля молибдена (Mo), мг/кг	ASTM D 5185	1
Массовая доля бора (B), мг/кг	ASTM D 5185	6
Массовая доля магния (Mg), мг/кг	ASTM D 5185	11
Массовая доля кальция (Ca), мг/кг	ASTM D 5185	2 289
Массовая доля бария (Ba), мг/кг	ASTM D 5185	36
Массовая доля фосфора (P), мг/кг	ASTM D 5185	712
Массовая доля цинка (Zn), мг/кг	ASTM D 5185	837
<b>3. Загрязнение</b>		
Массовая доля кремния (Si), мг/кг	ASTM D 5185	8
Массовая доля натрия (Na), мг/кг	ASTM D 5185	2
Массовая доля калия (K), мг/кг	ASTM D 5185	2

Рис. 2. Результаты указанные в протоколе испытаний пробы масла

Полученные в ходе экспериментальной части результаты позволили авторам получить графические зависимости массы различных индикаторов износа в пробе масла от начальной температуры пуска и режима прогрева ДВС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Овчаренко С.М., Минаков В.А. Оценка технического состояния деталей дизеля с применением нейронно-сетевой обработки данных // Контроль. Диагностика. - 2016. - №2. - С. 46-50.

2. Королев А.Е. Расчетно-экспериментальный метод определения допускаемого износа двигателей // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. - 2016. - №1(32). - С. 135-139.

3. Перевалов А.С., Рассохин М.А., Жилин М.А., Сащенко В.Н. Повышение готовности пожарных автомобилей за счет внедрения методов диагностирования двигателей по анализу параметров картерного масла // Техносферная безопасность. - 2015. - № 4 (9). - С. 50-54.

4. Владимиров Д.И., Никоноров А.Н. Диагностирование дизелей по соотношению концентраций продуктов изнашивания в работавшем моторном масле // Евразийский научный журнал. - 2016. - №10. - С. 294-296.

5. Liu, Yong Failure Prediction of Power-Shift Steering Transmission Based on Oil Spectral Analysis // Diagnosis mechanism. – 2015. – P. 2620-2624.

6. Фитч Дж., Тройер Д. Анализ масел. Основы и применение / Пер. с англ.; под ред. Е.А.Новикова, М.В.Кирюхина. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. 176 с.

7. Родзевич А.П. Методы анализа и контроля веществ: учебное пособие / А.П. Родзевич, Е.Г. Газенаур; Юргинский технологический институт. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 312 с.

8. Пругло Г.Ф. Оптические методы анализа: учебно-методическое пособие / Г.Ф. Пругло, А.А. Комисаренко, В.А. Федоров. – СПб.: ГОУВПО СПбГТУРП., 2010. – 52 с.

УДК 621.318

*М. С. Сайкин*

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина

## **РАЗРАБОТКА МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ ВРАЩАЮЩИХСЯ ВАЛОВ МОДУЛЬНОГО ТИПА**

**Ключевые** слова: магнитожидкостный герметизатор, постоянный магнит, магнитная жидкость.

**Аннотация:** для повышения надёжности герметизации вращающихся валов технологического оборудования предлагается использовать конструкции магнитожидкостных герметизаторов модульного типа.

*M. S. Saikin*

## **DEVELOPMENT OF MAGNETIC FLUID SEALS ROTATING SHAFT MODULAR TYPE**

**Keywords:** magnetic fluid seals, permanent magnet, magnetic fluid.

**Abstracts:** to improve the reliability of sealing rotating shafts of process equipment, it is proposed to use modular magnetic-fluid sealers designs.

Для герметизации вращающихся валов технологического оборудования широкое распространение получила конструкция магнитожидкостного герметизатора (МЖГ) классического типа [1].



Важной конструкторской задачей при герметизации вращающихся валов технологического оборудования является выбор рациональной схемы присоединения МЖГ к корпусам машин и механизмов. Консольное присоединение к корпусам технологического оборудования (рис. 1), обеспечивает защиту подшипников от непосредственного контакта с герметизируемой средой или вакуумом. Это позволяет повысить ресурс и надёжность работы технологического оборудования, однако большое количество посадочных поверхностей не обеспечивает постоянства величины рабочего зазора МЖГ по длине его окружности, что может привести к нарушению герметичности.

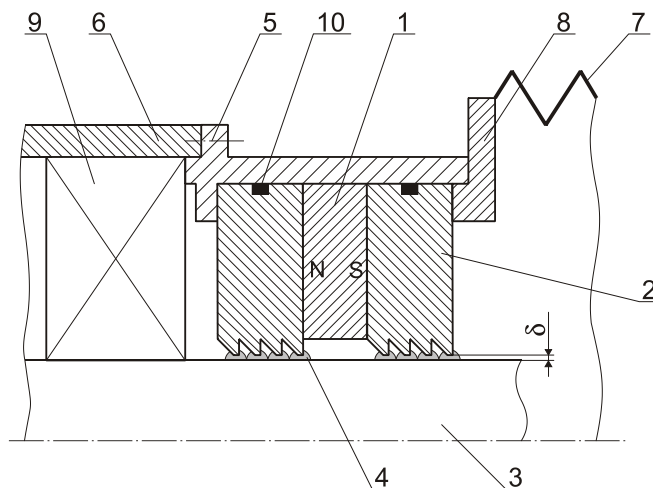


Рис. 1. Консольная схема присоединения классической конструкции МЖГ к ходовой части технологического оборудования

Магнитный узел МЖГ состоит из постоянного магнита 1, полюсных приставок 2, примыкающих к его торцевым поверхностям и концентрически охватывающих вращающийся вал 3. Рабочий зазор  $\delta$ , заполнен магнитной жидкостью (МЖ) 4. Магнитный узел расположен в корпусе 5 из немагнитопроводного материала и присоединён к ходовой части 6, которая крепится к герметизируемому объёму посредством герметичного металлического кожуха 7 и крышки 8. Величина рабочего зазора обеспечивается подшипниками 9 ходовой части. Герметизация по корпусу 5 осуществляется с помощью стандартных уплотнительных резиновых колец 10.

При установке МЖГ на корпус технологического оборудования возможно возникновение эксцентриситета, т.е. отклонение оси вала от оси отверстия. Наличие нагрузок действующих на вал приводит к износу подшипников и увеличению эксцентриситета.

Для работающих ходовых частей вентиляторов газодинамических контуров лазеров были проведены измерения величины эксцентриситета вала, которые представлены в таблице.

Таблица. Результаты измерений эксцентриситета вала

Диаметр вала ходовой части $d$ , мм	Величина эксцентриситета $\xi$ , мм	Количество проверенных узлов
45 - 50	0,1 – 0,15	8
90	0,15 – 0,25	6
170	0,35 – 0,45	2

Эксцентриситет вала приводит к появлению неравномерности рабочего зазора по длине окружности. В местах наименьшего рабочего зазора значение пондеромоторной силы, действующей на магнитную жидкость выше, чем в местах наибольшего зазора. Происходит втягивание МЖ в данную область. При увеличении рабочего зазора возрастает магнитное сопротивление потоку, что вызывает снижение макси-

мальной магнитной индукции под зубцом МЖГ и, как следствие, снижение критического перепада давлений, величина которого может быть ниже рабочего. Нарушается герметичность технологического оборудования, что приводит к потере его работоспособности.

Для повышения надёжности работы МЖГ необходимо обеспечить постоянную величину рабочего зазора по длине окружности [2]. Это достигается применением модульных конструкций магнитожидкостных герметизаторов, в которых постоянство рабочего зазора по всей длине окружности обеспечивается собственными подшипниками. При этом постоянный магнит может состоять из отдельных пластин, расположенных между магнитопроводными кольцами намагниченных в радиальном направлении.

МЖГ модульного типа [3] (рис. 2), состоит из магнитного узла, включающего в себя постоянный магнит 1, намагниченный в радиальном направлении, полюсных наконечников 2 и 3, магнитопровода 4, концентрически охватывающего вал 5, на внутренней цилиндрической поверхности которого выполнены зубцы. На одном из полюсных наконечников 2 выполнена выточка, предназначенная для установки магнитопроводных колец с различными внутренними диаметрами 6. Полюсные наконечники 2 и 3 образуют рабочие зазоры с магнитопроводом 4, заполненные МЖ 7.

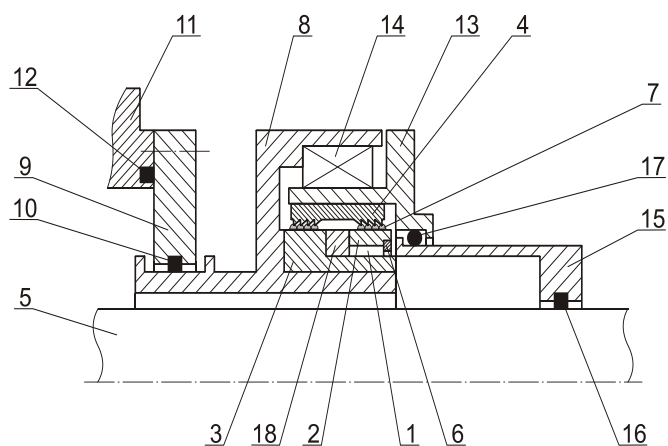


Рис. 2. Магнитожидкостный герметизатор модульного типа

Магнитный узел расположен на неподвижной части составного корпуса 8, и крепится к фланцу 9 с возможностью компенсации угловых перемещений за счёт эластичного кольца 10. Фланец жёстко закреплён к корпусу технологического оборудования 11. Герметизация между фланцем и корпусом обеспечивается с помощью статического уплотнения 12. Магнитопровод 4 установлен во вращающейся части составного корпуса 13, которая соединяется с его неподвижной частью через подшипниковую опору 14. Вращающаяся часть корпуса соединена с валом промежуточной втулкой 15, герметичность которой обеспечивается статическими уплотнениями 16 и 17. Между полюсными наконечниками установлена немагнитопроводная втулка 18, которая фиксирует их друг относительно друга и обеспечивает установку постоянных магнитов между ними.

Выполнение выточки на внутренней цилиндрической поверхности полюсного наконечника 2, обеспечивает установку магнитопроводных колец 6 с различным внутренним диаметром, что позволяет регулировать величину магнитного потока, а значит магнитную индукцию и пондеромоторную силу, действующую на МЖ в рабочих зазорах. В конструкции предусмотрен режим работы, при котором магнитная жидкость в рабочих зазорах будет удерживаться только полями рассеяния. Такой режим работы используется во время проведения регламентных работ.

Возможность изменения магнитной индукции в рабочем зазоре МЖГ позволяет регулировать его эксплуатационные характеристики и выбирать необходимый режим работы. Кроме того, такая конструкция герметизатора позволяет уменьшить его радиальные размеры за счёт применения постоянных магнитов, намагниченных в радиальном направлении и полностью исключить их контакт с уплотняемой средой, что особенно важно при герметизации агрессивных сред [4], [5].

Применение разработанной конструкции повышает надёжность и ресурс работы МЖГ за счёт гарантированной величины рабочего зазора и исключения контакта с герметизируемой средой при снижении радиальных размеров и расширяет эксплуатационные возможности устройства за счёт регулирования магнитного потока в рабочих зазорах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайкин М.С. Разработка и анализ конструкций герметизаторов на основе магнитных наножидкостей для технологического оборудования. /Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Изд-во Самарского научного центра РАН, 2010, Т.12 (33), N 1(2). С.499-503.
2. Баусов А.М., Сайкин М.С. Повышение ресурса герметизаторов с магнитной наножидкостью./ Ремонт. Восстановление. Модернизация. – N11, 2009, С.7-11.
3. Демиденко О.В., Сайкин М.С. Магнитожидкостное уплотнение. Патент на полезную модель, Российская Федерация N 167895 U1, МПК F16J15/43, Приоритет от 06.09.2016, опубл. 11.01.2017, Бюл. N 1.
4. Сайкин М.С. Герметизаторы на основе магнитной наножидкости для валов химических реакторов./Вестник ИГЭУ, Вып.4, 2010, С.44-47.
5. Сайкин М.С., Топоров А.В., Топорова Е.А. Повышение пожарной безопасности химических производств применением магнитожидкостных герметизаторов валов мешалок/ Пожаровзрыво-безопасность. – Изд-во «Наука», N1, 2015. С.55-58.

УДК 621.317.334

*М. С. Сайкин, В. П. Федосеева*

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ДАТЧИКА ВИБРАЦИЙ**

**Ключевые слова:** магнитожидкостный датчик, магнитная жидкость, постоянный магнит, вибрации.

**Аннотация:** разработана конструкция магнитожидкостного датчика вибраций с инерционным элементом на постоянном магните. Проведены экспериментальные исследования силы взаимодействия постоянных магнитов в магнитной системе магнитожидкостного датчика вибраций.

*M. S. Saikin, V. P. Fedoseeva*

## EXPERIMENTAL STUDY OF THE PERMANENT MAGNETS INTERACTION FORCE IN A MAGNETIC LIQUID VIBRATION SENSOR

**Keywords:** magnetic fluid detector, magnetic fluid, permanent magnet, vibrations.

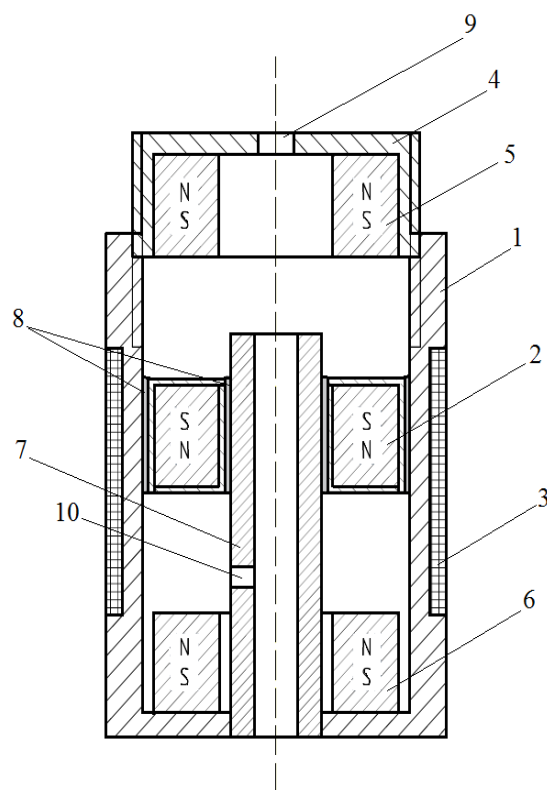
**Abstracts:** a design of a magnetic fluid vibration sensor with an inertial element on a permanent magnet has been developed. Experimental studies of the interaction force of permanent magnets in the magnetic system of a magnetic-liquid vibration sensor have been carried out.

Для повышения надёжности работы машин и механизмов требуется непрерывный контроль параметров периодических перемещений объекта в пространстве. К этим параметрам относятся амплитуда и частота вибраций.

Контроль параметров вибраций проводится при диагностике состояния гидро- и турбогенераторов электрических станций, лопаток газовых турбин, опор ЛЭП в районах с повышенной сейсмической активностью, авиационных двигателей, в режимах реверса и повышенных динамических нагрузок, состояния полотна железных дорог. Для решения этих задач разработан магнитожидкостный датчик вибраций [1], конструкция которого представлена на рис. 1.

Он состоит из немагнитного корпуса 1 подвижного кольцевого магнита 2, который является чувствительным инерционным элементом, измерительной обмотки 3, торцевой крышки 4. Для обеспечения магнитного подвеса инерционного элемента на одной оси с ним расположены кольцевые постоянные магниты 5 и 6, ориентированные одноименными полюсами относительно его полюсов. Через подвижный кольцевой постоянный магнит 2 и кольцевой постоянный магнит 6 проходит полый немагнитный стержень 7. Подвижный кольцевой магнит 2 образует два зазора, один из которых с корпусом 1, а другой с полым немагнитным стержнем 7. Зазоры заполнены магнитной жидкостью (МЖ) 8, которая удерживается в них пондеромоторной силой и обеспечивает левитацию чувствительного инерционного элемента в корпусе датчика. Сквозное отверстие 9, в крышке 4 и отверстие 10 в немагнитном стержне 7 обеспечивают равенство перепада давлений во внутренних объёмах корпуса и внешней среде, что повышает чувствительности измерений.

Немагнитный корпус датчика 1 жёстко крепится к оборудованию. При возникновении вибраций происходят колебания подвижного кольцевого магнита 2. Он перемещается вдоль корпуса 1 и немагнитного полого стержня 7. В измери-

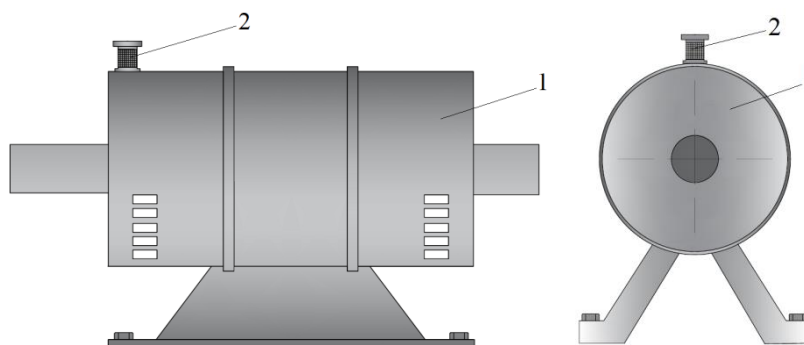


**Рис. 1.** Конструкция магнитожидкостного датчика вибраций

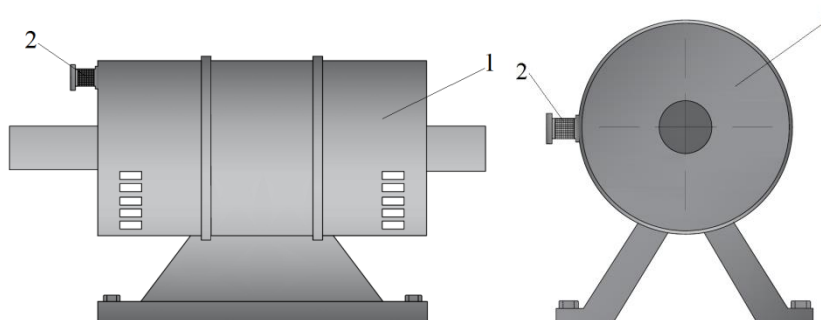
тельной обмотке 3 наводится ЭДС, частота изменения которой пропорциональна частоте вибраций. Она обрабатывается электронным блоком и отражает параметры вибраций оборудования. Силы отталкивания, создаваемые кольцевыми постоянными магнитами 5 и 6, не допускают соприкосновения подвижного кольцевого постоянного магнита 2 с ними.

Для регулирования чувствительности измерений при вибрациях на обращённых друг к другу цилиндрических поверхностях торцевой крышки 4 и корпуса 6 выполнена резьба. За счёт перемещения торцевой крышки изменяется расстояние между кольцевыми магнитами. Это позволяет регулировать чувствительность и диапазон измеряемых вибраций. При уменьшении этого расстояния возрастают силы отталкивания, действующие на подвижный магнит, снижается чувствительность измерений, а контролируемый диапазон частот переходит в низкочастотную область. При увеличении этого расстояния силы отталкивания, действующие на подвижный магнит, уменьшаются, что приводит к повышению чувствительности измерений вибраций в области высоких частот.

При диагностике вибраций оборудования необходимо выполнять определённые требования по установке датчиков вибраций на поверхности машин и механизмов (рис. 2, 3).



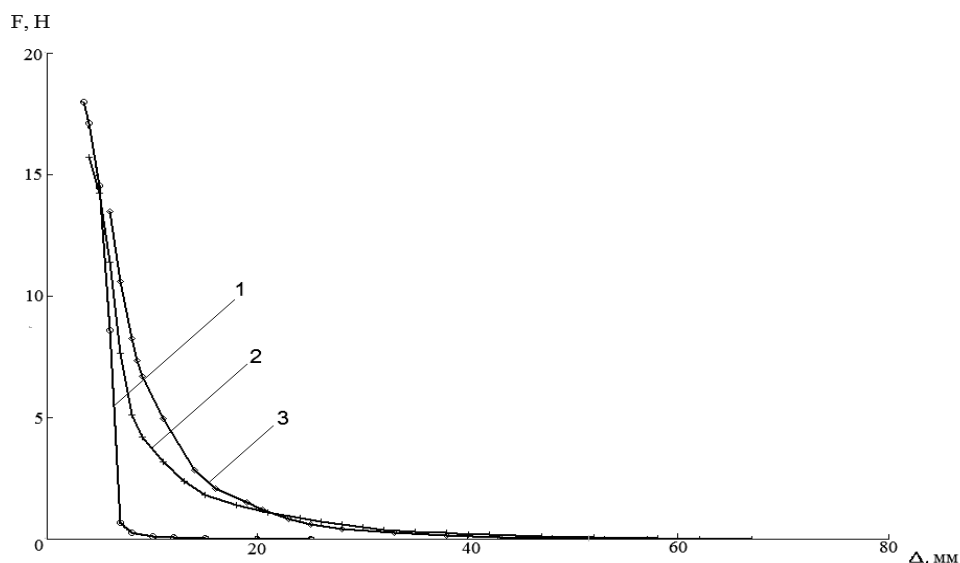
**Рис. 2.** Допустимое расположение магнитожидкостного датчика вибраций:  
1 – действующее оборудование; 2 – датчик вибраций



**Рис. 3.** Недопустимое расположение магнитожидкостного датчика  
1 – действующее оборудование; 2 – датчик вибраций

На экспериментальном стенде [2], были проведены исследования силы взаимодействия между постоянными магнитами, которые имели размеры: К32×18×5, К17,1×10×11, К11×6×2,5. Остаточная индукция и коэрцитивная сила этих магнитов

составляла:  $B_r=0,95$  Тл и  $H_c=680$  кА/м. Величина силы взаимодействия определялась на расстоянии  $0,1D - D$  от поверхности магнита с шагом  $0,1D$ , где  $D$  – наружный диаметр кольцевого постоянного магнита (рис.4).



**Рис. 4.** Экспериментальные зависимости силы взаимодействия между постоянными магнитами

Характер полученных экспериментальных зависимостей повторяет результаты расчёта, полученные ранее [3,4].

Основные результаты работы следующие:

- разработана конструкция магнитожидкостного датчика, новизна которого подтверждена охранным документом;
- анализ экспериментальных и расчётных результатов, полученных ранее, показал достаточно высокую степень их совпадения. Погрешность полученных результатов не превышает 12-30%;
- применение магнитожидкостных датчиков вибраций позволит расширить возможности диагностики оборудования различного назначения и тем самым увеличить ресурс его работы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сайкин М.С., Федосеева В.П. Устройство для измерения вибраций. Патент на полезную модель, Российская Федерация N 184838 RU, МПК G01H 11/02, Приоритет от 12.07.2018, опубл. 12.11.2018, Бюл. N 32.
2. Лагуткина Д.Ю., Сайкин М.С. Устройство для определения силы взаимодействия между постоянными магнитами. Патент на полезную модель, Российская Федерация N 172496 U1, МПК G01R 33/12, Приоритет от 12.10.2016, опубл. 11.07.2017, Бюл. N 20.
3. Сайкин М.С., Федосеева В.П. Исследование распределения магнитной индукции в магнитожидкостном датчике вибраций. / Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции «Надёжность и долговечность машин и механизмов», Иваново, 12 апреля 2018. - С. 205-208.

4. Федосеева В.П., Сайкин М.С. Разработка и исследование магнитожидкостного устройства для измерения вибраций. / Труды XXV Международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. Москва – МЭИ.-2019. С.380.

УДК 621.313

**К. В. Семенова<sup>1</sup>, А. В. Подобный<sup>2</sup>, А. И. Тихонов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ТРАНСФОРМАТОРОВ

**Ключевые слова:** надежность распределительных трансформаторов, жизненный цикл трансформаторов.

**Аннотация:** Рассмотрен алгоритм расчета показателей надежности на отрезке времени жизненного цикла трансформатора от момента ввода в эксплуатацию до вывода из эксплуатации. Алгоритм требует минимальных данных по статистике отказов.

*K. V. Semenova, A. V. Podobny, A. I. Tikhonov*

## METHOD OF CALCULATING THE LIFE CYCLE OF TRANSFORMERS

**Keywords:** reliability of distribution transformers, life cycle of transformers.

**Abstracts:** The algorithm for calculating the reliability indicators on the time interval of the transformer life cycle from the moment of commissioning to decommissioning is considered. The algorithm requires minimal data on failure statistics.

К числу главных требований к проектируемому трансформатору можно отнести требования минимизации себестоимости и массогабаритных показателей. Учет этих требований ведет в числе прочего к снижению ресурса трансформаторов. При этом современная промышленность предъявляет все более высокие требования к их надежности. В результате остро встает вопрос расчета показателей надежности трансформаторов.

Введем следующие обозначения исходных данных, необходимых для расчета показателей надежности:

- 1)  $N_0$  – начальное количество исправных трансформаторов, отгруженных с предприятия потребителям за определенный период времени;
- 2)  $T_{\pi}$  – период приработки трансформаторов, который можно условно принять равным гарантийному сроку на новую продукцию (примем  $T_{\pi} = 5$  лет);
- 3)  $n_{\pi}$  – среднее количество отказов трансформаторов за период приработки, определяемое по количеству рекламаций (обычно  $n_{\pi} = (0,01 - 0,3) N_0$ );

4)  $T_n$  – период нормальной эксплуатации трансформаторов, который можно условно принять равным требуемому сроку службы ( $T_n = 25$  лет);

5)  $n_n$  – среднее количество отказов трансформаторов за период нормальной эксплуатации (при тестировании методики было принято  $n_n = 10$ );

6)  $T_p$  – период износа трансформаторов, который также определяется на основе анализа статистической информации (примем  $T_p = 50$  лет).

Для построения кривой жизненного цикла силового трансформатора предлагается следующий алгоритм:

1. Принимаем, что период нормальной эксплуатации характеризуется экспоненциальным распределением отказов с постоянной интенсивностью отказов, определяемой по формуле

$$\lambda_n = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \Delta t} = \frac{n_n}{\left(N_0 - n_n - \frac{n_n}{2}\right)(T_n - T_n)} = \text{const}, \quad (1)$$

где  $n(\Delta t)$  – число отказов объекта за промежуток времени  $\Delta t$ ;  $\Delta t = T_n - T_n$  – время нормальной эксплуатации;  $N_{cp}$  – среднее число объектов, продолжающих исправно работать в данный интервал времени, равное количеству исправных трансформаторов в начале периода нормальной эксплуатации ( $N_0 - n_n$ ), из которого вычитается половина количества трансформаторов, отказавших за время нормальной эксплуатации.

2. Принимаем, что период приработки трансформаторов характеризуется распределением Вейбулла. Функции для расчета интенсивностью отказов  $\lambda$  и вероятности безотказной работы  $P$  в этом случае имеют вид:

$$P_n(t, \lambda_0, k) = e^{-\lambda_0 t^k},$$

$$\lambda_n(t, \lambda_0, k) = \frac{a_n(t, \lambda_0, k)}{P_n(t, \lambda_0, k)}. \quad (2)$$

Учтем, что в конце периода приработки должно выполняться равенство стыковки  $\lambda$  с интенсивностью отказов периода нормальной эксплуатации. Для этого задавая некоторым значением коэффициента  $k$  (например,  $k = 0,1$ ), находим значение коэффициента  $\lambda_0$ , решая относительно  $\lambda_0$  нелинейное уравнение

$$\lambda_n(T_n, \lambda_0, k) = \lambda_n. \quad (3)$$

Используя функции (2) для найденного значения  $\lambda_0$  и принятого значения  $k$  строим кривые изменения показателей надежности работы трансформатора от времени  $t$  за период приработки  $0 < t < T_n$  (рис. 1).

3. Для расчета показателей надежности работы трансформатора за период нормальной эксплуатации  $T_n < t < T_n$ , используем функции экспоненциального закона распределения с найденным в п. 1 значением  $\lambda$



$$\begin{aligned} \lambda_n(t) &= \lambda_n = \text{const}, \\ P_n(t, P_0) &= e^{-\lambda \cdot t} + P_0, \end{aligned} \quad (4)$$

где коэффициент смещения  $P_0$  находим из условия

$$P_n(t, P_0) \Big|_{t=T_n} = P_n(t, \lambda_0, k) \Big|_{t=T_n}. \quad (5)$$

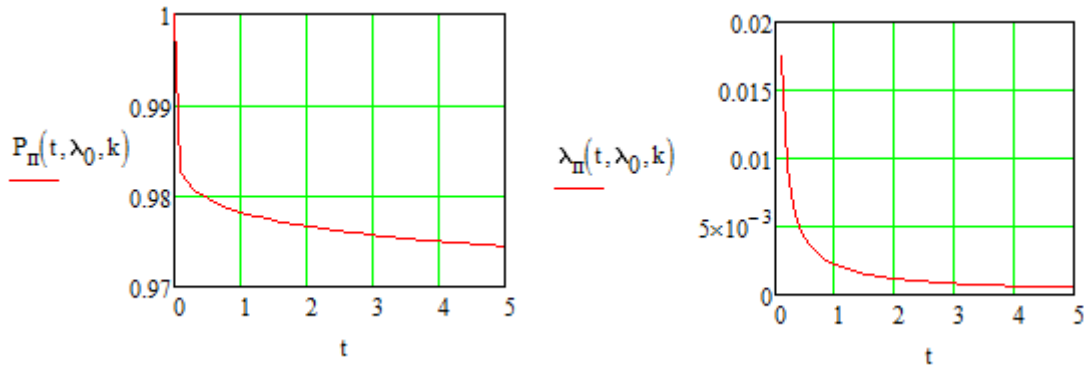


Рис. 1. Кривые изменения показателей надежности работы трансформатора от времени  $t$  за период приработки

Кривые изменения показателей надежности работы трансформатора от времени  $t$  за период нормальной эксплуатации показаны на рис. 2.

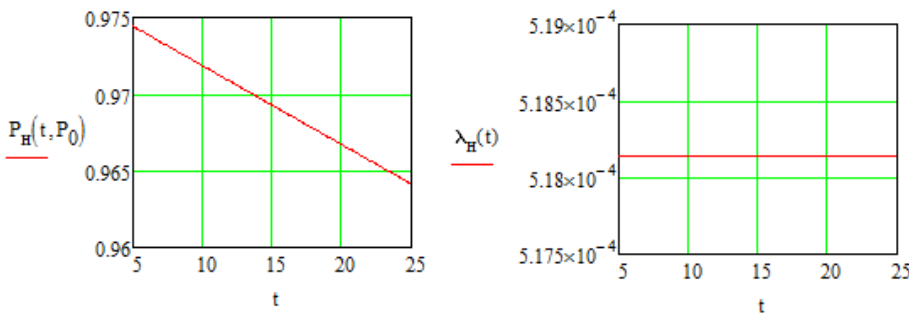


Рис. 2. Кривые изменения показателей надежности работы трансформатора от времени  $t$  за период нормальной эксплуатации

Рис. 3. Интеграл Лапласа

4. Задаем функцию интеграла Лапласа (рис. 3)

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt. \quad (6)$$

5. Принимаем, что период износа трансформаторов характеризуется нормальным распределением:

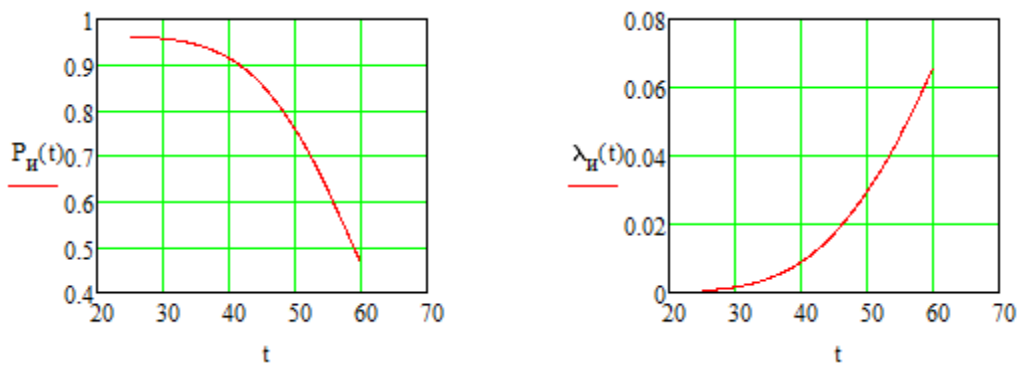
$$\lambda_{\text{н}}(t, \sigma) = \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi}} e^{-\frac{(t-T_p)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma \left[ 1 - \Phi\left(\frac{t-T_p}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]}, \quad (8)$$

$$P_{\text{н}}(t, \sigma) = (P_{\text{н}}(t) - 1) + e^{-\int_0^t \lambda_{\text{н}}(t, \sigma) dt}.$$

Учитывая, что в начале периода износа должно выполняться равенство стыковки двух периодов, находим значение коэффициента  $\sigma$ , решая нелинейное уравнение

$$\lambda_{\text{н}}(T_p, \sigma) = \lambda_{\text{н}}. \quad (9)$$

Используя функции (9) для найденного значения  $\lambda_0$  и принятого значения  $k$  строим кривые изменения показателей надежности работы трансформатора от времени  $t$  за период износа  $T_{\text{н}} < t < T_p$  (рис. 4).



**Рис. 4.** Кривые изменения показателей надежности работы трансформатора от времени  $t$  за период износа

6. Результирующие кривые для всего жизненного цикла трансформатора строим (рис. 5), используя функции

$$P(t) = \begin{cases} P_{\text{н}}(t, \lambda_0, k) \forall t < T_{\text{н}}, \\ P_{\text{н}}(t, P_0) \forall t < T_{\text{н}}, \\ P_{\text{н}}(t, \sigma) \forall T_{\text{н}} < t < T_p, \end{cases} \quad (10)$$

$$\lambda(t) = \begin{cases} \lambda_{\text{н}}(t, \lambda_0, k) \forall t < T_{\text{н}}, \\ \lambda_{\text{н}}(t) \forall t < T_{\text{н}}, \\ \lambda_{\text{н}}(t, \sigma) \forall T_{\text{н}} < t < T_p. \end{cases} \quad (11)$$

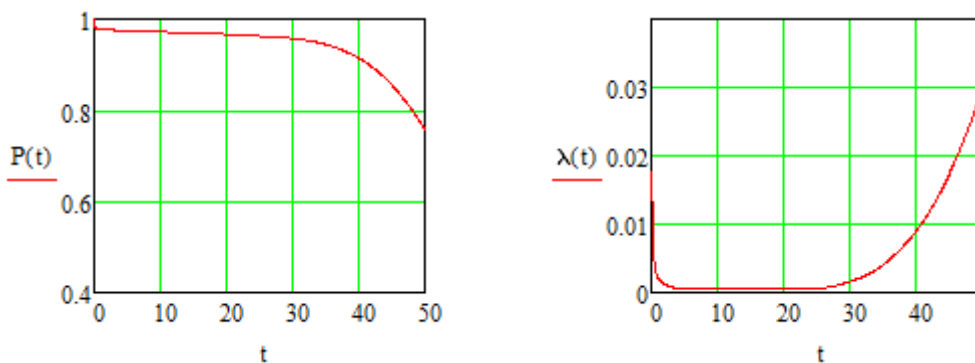


Рис. 5. Кривые изменения показателей надежности работы трансформатора от времени  $t$  за весь жизненный цикл

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шурыгин, М.Н. Надежность электрических машин: учебное пособие / М. Н. Шурыгин. – Иваново: ИГЭУ, 2009. – 75 с.
2. Кузнецов, Н.Л. Надежность электрических машин: учеб. пособие для вузов / Н.Л. Кузнецов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. – 432 с.
3. Гольдберг, О.Д. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / О.Д.Гольдберг, Я.С.Гурин, И.С.Свириденко; под. ред. О.Д.Гольдберга. – М.: Высш.шк., 1984. – 431 с.
4. Ермолин, Н.П. Надежность электрических машин / Н.П. Ермолин, И.П. Жерихин. – Л.: Энергия, 1976. – 248 с.
5. Острейковский, В.А. Теория надежности: учеб. для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
6. Дмитриевский В.С. Расчет и конструирование электрической изоляции: Учеб. пособие для вузов. – М.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.

УДК 678

**И. Л. Скрипник**

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

### ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ

**Ключевые слова:** прочность, свойства, надежность, трубопровод, соединение, модифицированный клей.

**Аннотация:** Рассматриваются свойства модифицированного клея углеродными нанотрубками (УНТ) и подверженного воздействию переменного частотно-модулированного сигнала (ПЧМС). Показано, что данные способы многократно повышают прочностные свойства клеевой композиции при соединении технологических трубопроводов.

*I. L. Skrypnyk*

## **IMPROVING FAULT TOLERANCE CHARACTERISTICS PROCESS-ING PIPELINE ON THE BASIS OF MODIFIED CLAY-O COMPOSITIONS**

**Keywords:** strength, properties, reliability, piping, connection, modified adhesive.

**Abstract:** Discusses the properties of the adhesive modified with carbon nanotubes (CNT) and subjected to a variable frequency modulated signal (PCM). It is shown that these methods greatly increase the strength properties of the adhesive composition when connecting process pipelines.

Трубопроводный транспорт в Российской Федерации получил интенсивное развитие. Преимущества его использования, в сравнении с другими разновидностями транспортных средств, заключаются в возможности [1]:

- перекачки нефтепродуктов на большие расстояния с уменьшением количества промежуточных технологических участков;
- доставки нефтепродуктов в минимальные сроки и с наименьшими потерями их свойств; транспортирования широкого спектра нефтепродуктов и др.

Однако наряду с его достоинствами, он имеет и недостатки. Основной причиной высокого числа аварий на технологических трубопроводах является разгерметизация сварных, клепочных и других видов соединений [2].

Нефтегазовые трубопроводы подвержены деформации в результате воздействия температурных напряжений. Изучение способов снижения деформации трубопроводов под воздействие температурных напряжений, используемых на производстве, показало целесообразность применения новых подходов для обеспечения их надежной эксплуатации. Проанализировав достоинства и недостатки известных видов соединений, используемых на технологических трубопроводах, можно сделать вывод, что клеевые соединения являются наиболее экономичным, простым и надежным способом соединения. Их применение позволит избавиться от лишних затрат и продлить срок службы трубопроводов.

Для достижения прочного клеевого соединения, применяются особые составы на основе эпоксидных смол. Они по отношению к другим типам соединений, дают возможность получить хорошую конструкцию.

Для их повышения качества полимерных композиций применяют различные стабилизаторы, наполнители, пластификаторы, смазки, красители и другие присадки. Изготавливаемые из них материалы являются основой технологического оборудования. Они просты в изготовлении, экономически выгодны, имеют улучшенные характеристики.

Но, несмотря на ряд преимуществ, материалы, изготовленные на основе полимерных композиций подвержены деструкции. Поэтому, для предотвращения подобного явления и повышения огнезащитных свойств полимера, применяется их модификация углеродными наноструктурами или УНТ [3].

Большое влияние на определение прочности клеевого соединения оказывает адгезия клеевого вещества. Она позволяет склеивать твердые тела посредством клеящего состава. В процессе схватывания клеевой композиции происходят разные физико - химические процессы, обуславливающие изменения её характеристик. В результате ослабляется сцепление поверхностей.

Для продления времени работоспособности соединений технологических трубопроводов в условиях пожара, необходимо разработать новые виды эпоксидных клеев, которые могут работать при повышенной температуре и воздействии открытого пламени. Избежать ослабления клеевого соединения в процессе схватывания можно воздействием на него переменным ПЧМС, модифицированием образца УНТ [4].

Проведенные исследования показали, что для системы с молекулярным весом 0,5 масс. % получено значительное улучшение (усиление на 70%) прочности при растяжении склеивающихся конструкций. Это доказывает, что дисперсионные состояния УНТ в эпоксидных композитах чрезвычайно важны.

Для обработки образцов электрическим полем используется генератор ПЧМС [5]. Для изучения прочностных свойств модифицированного клея, были подготовлено четыре образца. Два образца двухкомпонентного клея ХТ – 119 без добавления нанотрубок и два - модифицированного нанотрубками клея. Для этого в эпоксидную композицию, состоящую из эпоксидной смолы ХТ – 119А с отвердителем ХТ – 119Б, в пропорции 10:1, депонировали УНТ с концентрацией 0,07 масс. %. Для депонирования отвердителями УНТ применялась ультразвуковая пушка В01F11/0. Обработка ультразвуком позволила уменьшить размеры наночастиц и получить равномерное их распределение для получения однородного состава.

На основе проведенных опытов можно сделать вывод, что модификация эпоксидного клея УНТ в концентрации 0,07 масс. % в несколько раз увеличивает стойкость соединения от воздействия открытого пламени. Обработка образцов ПЧМС также увеличивает прочностные свойства клеевого состава в 3,3 раза.

Таким образом, депонирование УНТ и воздействие ПЧМС в состав эпоксидного клея намного улучшит прочностные свойства клеевой композиции. Применение данного способа повысит пожарную безопасность объектов НГК в случае высоких температур на пожаре, надежность характеристики технологических трубопроводов без использования вспомогательных средств защиты и уменьшит стоимость проводимых работ.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Иванов А.В., Скрипник И.Л., Сорокин А.Ю., Савенкова А.Е. Научно-методические основы управления электростатическими свойствами жидких углеводородов для обеспечения пожарной безопасности предприятий нефтегазового комплекса // Научный электронный журнал. Вестник Уральского института государственной противопожарной службы МЧС России. 2018/№ 2 (19), с.98-109.
2. А.Ю. Андрюшкин, И.Л. Скрипник, Е.Н. Кадочникова. Способ повышения безопасности использования корпусных деталей нефтеперерабатывающего оборудования // Научно-аналитический журнал. Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России. № 2 – 2017. с.28-33.
3. А.В. Иванов, И.Л. Скрипник, С.В. Воронин. Исследование процессов электризации при обращении с модифицированными наножидкостями и лакокрасочными материалами // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере, № 3 (47)-2018, с. 110-119.
4. Д.С. Азимов, И.Л. Скрипник, Б.В. Пекаревский, А.В. Иванов. Физико-химические свойства и коллоидные особенности электрофизически модифицированной воды и акрилового гидрогеля при использовании их огнетушащих и ранозаживляющих возможностей // Известия Санкт-Петербургского технологического института (технического университета). 2018. № 47 (73), С. 57-61.

5. Сорокин А.Ю., Иванов А.В., Скрипник И.Л., Симонова М.А. Нейросетевое моделирование условий обеспечения электростатической искробезопасности процессов транспортировки модифицированных углеводородных жидкостей на основе экспериментальных данных // Научный электронный журнал. Вестник Уральского института государственной противопожарной службы МЧС России. 2018/№ 1(18), с.63-76.

УДК 629.113

*В. А. Сопига, Т. А. Яковенко*

ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России

## **ДИНАМИКА АВТОМОБИЛЬНОГО КОЛЕСА ПРИ НАЕЗДЕ НА ИСКУССТВЕННУЮ НЕРОВНОСТЬ**

**Ключевые слова:** искусственная неровность, безопасность дорожного движения, тормозной путь.

**Аннотация:** Рассмотрены вопросы динамики колес автомобиля при наезде на искусственную неровность проезжей части. Определен необходимый тормозной путь автомобиля для снижения скорости до рекомендуемой.

*V. A. Sopiga, T. A. Yakovenko*

## **DYNAMICS OF A VEHICLE WHEEL WHEN HITTING THE ARTIFICIAL ROUGHNES**

**Keywords:** artificial roughness, road safety, braking distance.

**Abstracts:** The questions of the dynamics of the wheels of the car when hitting the artificial roughness of the roadway. The necessary braking distance of the car to reduce the speed to the recommended is determined.

Искусственная неровность – специально устроенное возвышение на проезжей части для принудительного снижения скорости движения, расположенное перпендикулярно к оси дороги, изготавливаемые по ГОСТу [1].

Установка искусственных неровностей полностью оправдана. Статистика показывает, что искусственные неровности снизили количество ДТП (дорожно-транспортных происшествий) – сразу после установки препятствий число аварий сократилось [2]. Препятствия устанавливаются в местах пешеходных переходов, на выездах, на сложных дорожных участках. В основном неровности нужны для защиты пешеходов, которые могут стать жертвами невнимательного водителя.

Искусственная неровность на дороге отрицательно влияет, в первую очередь, на подвеску автомобилей спасательных служб, так как скорости движения этих автомобилей, зачастую, превышают разрешенные значения правилами дорожного движения.

Как правило, перед искусственной неровностью водитель видит предупреждающий знак о снижении скорости до 20 километров в час. Его устанавливают заблаговременно, чтобы можно было снизить скорость заранее.

Форма искусственных неровностей проезжей части также оговаривается ГОСТ Р 52605-2006. Взаимодействие колеса транспортного средства при преодолении вертикального препятствия сопровождается: потерей колесом контакта с грунтом, переносом опорной реакции в точку контакта с углом препятствия [3].

Схему сил, действующих на колесо при преодолении вертикального препятствия (искусственной неровности проезжей части) можно представить согласно рис. 1.

Условие движения колеса [3]:

$$\frac{R_{\tau}}{R_N} < \varphi_x; \quad (1)$$

где  $R_{\tau}$  – касательная реакция на колесо со стороны угла вертикального препятствия;  
 $R_N$  – нормальная реакция на колесо со стороны угла вертикального препятствия;

$H_c$  – высота вертикального препятствия;

$M$  – крутящий момент на колесе;

$r_c$  – радиус колеса;

$\varphi_x$  – коэффициент сцепления с дорогой;

$P_x$  – толкающая сила;

$R_Z$  – нормальная нагрузка на колесо;

$\Delta_{ш}$  – радиальная деформация шины.

Максимальная высота преодолеваемого препятствия для ведущего колеса из условия (1):

$$H_c \leq r_c \cdot \left[ 1 - \frac{1 - \frac{\Delta_{ш}}{r_c}}{\sqrt{1 + \left( \frac{P_x + \varphi_x \cdot P_z}{P_z + \varphi_x \cdot P_x} \right)^2}} \right]. \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что высота преодолеваемого препятствия возрастает при увеличении радиуса колеса, толкающей силы, коэффициента сцепления, радиальной деформации шины и снижается при нормальной нагрузке на колесо. Наиболее существенно влияют радиус колеса и толкающая сила.

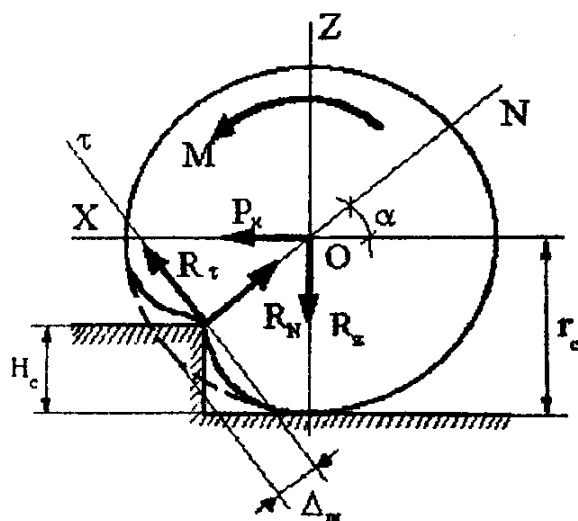


Рис. 1. Схема сил, действующих на колесо при преодолении вертикального препятствия.

Максимальная высота преодолеваемого препятствия для ведомого колеса:

$$H_c \leq r_c \cdot \left[ 1 - \frac{1 - \frac{\Delta_{III}}{r_c}}{\sqrt{1 + \left(\frac{P_x}{P_z}\right)^2}} \right]. \quad (3)$$

Также при преодолении искусственных неровностей проезжей части необходимо снизить скорость движения транспортного средства до рекомендуемой дорожными знаками – обычно это 20 километров в час.

Для этого рассмотрим силы, действующие на транспортное средство при торможении (рис. 2):

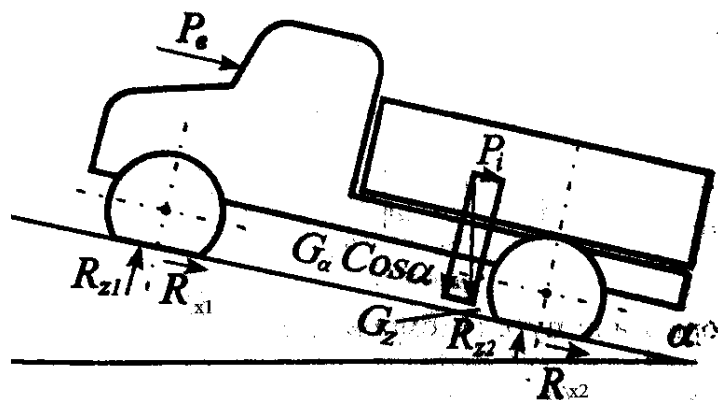


Рис. 2. Схема сил, действующих на транспортное средство при торможении.

Уравнение движения автомобиля при торможении:

$$m_a \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = \sum_{i=1}^n F_i \quad (4)$$

где  $m_a$  – масса автомобиля;

$\frac{d\vec{v}}{dt}$  – ускорение автомобиля;

$\sum_{i=1}^n F_i$  – силы, действующие на автомобиль:

$P_B = k_B \cdot F \cdot V^2$  – сила сопротивления воздуха;

$P_i = m_a \cdot g \cdot i$  – сила сопротивления подъему;

$G_z$  – сила тяжести;

$R_i$  – реакции опорной поверхности.

Решая уравнение (4), получаем формулу для определения необходимого тормозного пути автомобиля для снижения скорости с  $V_1$  до  $V_2$ . Скорость  $V_2$  является скоростью преодоления искусственной неровности проезжей части и примерно равна 20 км/ч.

$$S = \frac{1}{2a_1} \cdot \ln \left[ \frac{(a_2)^2 + (V_1)^2}{(a_2)^2 + (V_2)^2} \right] \quad (5)$$

где  $V_1$  – начальная скорость автомобиля;



$V_2$  – конечная скорость автомобиля (скорость преодоления искусственной неровности);

$a_1 = \frac{k_B \cdot F}{m_a}$  – замедление автомобиля;

$$a_2 = \frac{(\gamma+i)g}{a_1},$$

где  $\gamma$  – удельная тормозная сила.

В статье приведены рекомендации по преодолению искусственных неровностей проезжей части автомобилями спасательных служб путем снижения действительной скорости до нормативных значений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52605-2006. Технические средства организации дорожного движения. Искусственные неровности. Общие технические требования. Правила применения [Электронный ресурс] // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52605-2006> (Дата обращения 01.03.2019);
2. Катасонов М.В. Исследование влияния искусственных неровностей проезжей части автомобильных дорог на режимы и безопасность движения [Текст]: // Дисс. на соиск. ученой степени канд. техн. наук: 05.23.11. – Волгоград, 2003. – 182с.;
3. Теория автомобиля и трактора: Учебное пособие [Текст]: // Е.Е. Баженов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2000. 125 с.;
4. Агейкин Я.С., Вольская Н.С. Теория автомобиля: Учебное пособие [Текст]: // М.: МГИУ, 2008. – 318 с.

УДК 658.38

*Д. С. Суслов, Н. А. Кропотова*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ПОДЪЕМНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ БАШЕННОЙ СУШКИ РУКАВОВ

**Ключевые слова:** сушка, методы сушки, эксплуатация рукавов, пожарные рукава, подъемное устройство.

**Аннотация:** при написании данной статьи авторами выделены: значение сушки пожарных рукавов, основные методы сушки, место для сушки рукавов, авторское предложение по совершенствованию подъемного устройства для естественной сушки пожарных рукавов.

*D. S. Suslov, N. A. Kropotova*

### LIFTING DEVICE FOR TOWER DRYING SLEEVELESS

**Keywords:** drying, drying methods, operation of hoses, fire hoses, lifting device.

**Abstracts:** when writing this article, the authors highlighted: the value of drying fire hoses, the main drying methods, a place for drying hoses, the author's proposal to improve the lifting device for natural drying fire hoses.

Для того чтобы спроектировать и предложить работающую модель технического устройства необходимо решить очень важные механические задачи. Механизированное устройство или машина должна быть прочной, надежной в работе, высокопроизводительной, но вместе с тем легкой, соответствовать требованиям технической эстетики и эргономики и не должна являться источником загрязнения окружающей среды. Чтобы успешно решать эти задачи и создавать работающие механизмы, отвечающие современным требованиям, инженерам нужны знания, умения и навыки в целом ряде фундаментальных и общетехнических дисциплин, имеющие прикладную составляющую. Поэтому тема данного исследования заключается в разработке технического решения для башенной сушки рукавов.

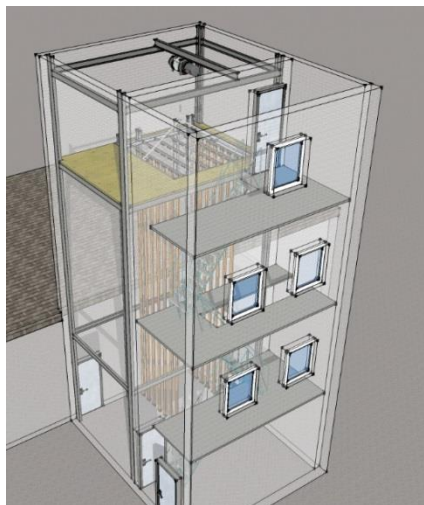
Сушка пожарных рукавов один из самых важных процессов при эксплуатации рукавов. При правильной эксплуатации, такие основные параметры как долговечность и надежность пожарных рукавов будет наибольшей.

Основными методами сушки являются: естественная сушка – сушка при естественных условиях, искусственная сушка – создание искусственных условий для сушки пожарных рукавов (воздействие нагретого воздуха и его вентиляция).

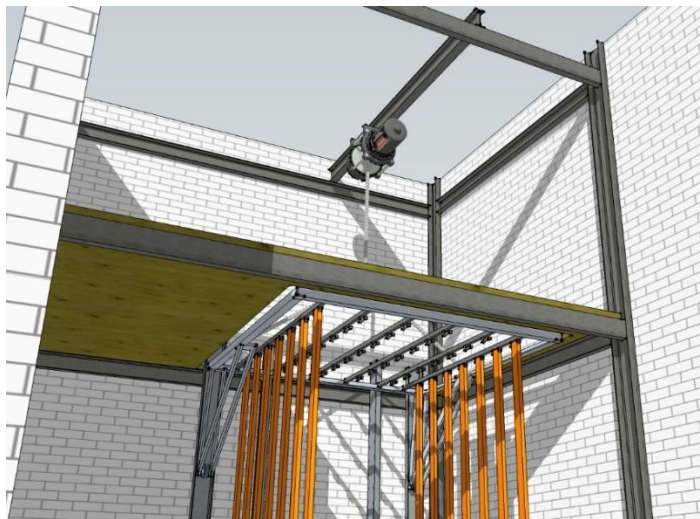
Место для сушки в каждой пожарно-спасательной части определяется самостоятельно, т.к. сушка происходит разными способами. В некоторых пожарно-спасательных частях сушка пожарных рукавов происходит в специально отведенном для этого помещении, где рукава просто укладываются на стеллаж. Сушка происходит за счет вентиляции нагретого воздуха в этом помещении. В других частях используются специальное оборудование и установки, например, шкафы для сушки. В большинстве же пожарно-спасательных частях сушка рукавов происходит на башенных сушилках пожарных рукавов. Это связано с тем, что увеличивается частота использования рукавов по назначению, что приводит к увеличению нагрузки на сушку, поскольку она является необходимым условием надежности и долговечности. При частой эксплуатации пожарных рукавов в больших количествах – сушка в башенной сушилке является наиболее приемлемым способом естественной сушки. Это самый подходящий вариант для сушки, так как рукава расправляются на всю длину, что способствует быстрому высыханию и долговечности самих рукавов. Выделим ряд преимуществ башенных сушилок: 1. сушка большого количества пожарных рукавов одновременно; 2. простота в использовании; 3. защита рукавов от внешнего воздействия окружающей среды (дождь, град, снег); 4. быстрота в подготовке (сушке) рукавов к боевым действиям по тушению пожара. Поэтому наличие башенной сушилки в пожарно-спасательной части необходимо.

Основным недостатком такого способа сушки пожарных рукавов является отсутствие механизированного подъемного механизма, что усложняет процесс подъема и дополнительно вовлекает рабочую мускульную силу пожарного. Так же есть ряд недостатков в устройстве механизмов для сушки пожарных рукавов. Они заключаются в одноразовом поднятии рукавов, то есть рукава поднимаются по одному, это служит длительным поднятием, если рукавов будет большое количество.

В данной статье рассмотрен механизированный подъем пожарных рукавов в башенную сушилку (рисунок).



а) башенная сушилка  
пожарных рукавов



б) подъемное устройство для сушки пожарных рукавов

**Рисунок.** Модель башенной сушилки пожарных рукавов

Дело в том, что так называемый механизм для подъема в башенную сушилку на рассматриваемом объекте был давно выведен из строя и сейчас рукава поднимаются ручным способом. Суть моей работы заключается в установке электропривода на верху башенной сушилки, который будет поднимать металлическую раму, на которой будут подвешены рукава. Так же при помощи такой системы возможно поднятие до 15 пожарных рукавов за один раз, что способствует быстрому поднятию рукавов на сушку, быстрой смене сырых рукавов на сухие. Считается, что это наиболее выгодный вариант, так как он не потребует большого количества материальных затрат.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Покровский А.А., Кропотова Н.А., Легкова И.А. Актуальность разработки методических рекомендаций по сушке напорных пожарных рукавов в пожарно-спасательных частях. // Сборник научных статей по материалам V Международной научно-практической конференции «Современное научное знание: теория, методология, практика» (31 января 2018 года, г. Смоленск). МНИЦ «Наукосфера». Смоленск: ООО «Новаленсо», 2018. - Ч. 2. - С. 53-54.

УДК 614.84

*А. О. Талашенко, Н. А. Туранов, В. Е. Иванов*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ СУШКИ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ СЕКЦИОННОГО ТИПА**

**Ключевые слова:** пожарный рукав, сушка, устройство, подъемный механизм.

**Аннотация:** целью работы является разработка подъемного механизма с несколькими секциями для сушки пожарных рукавов в башенной сушилке.

*A. O. Talashenko, N. A. Turanov, V. E. Ivanov*

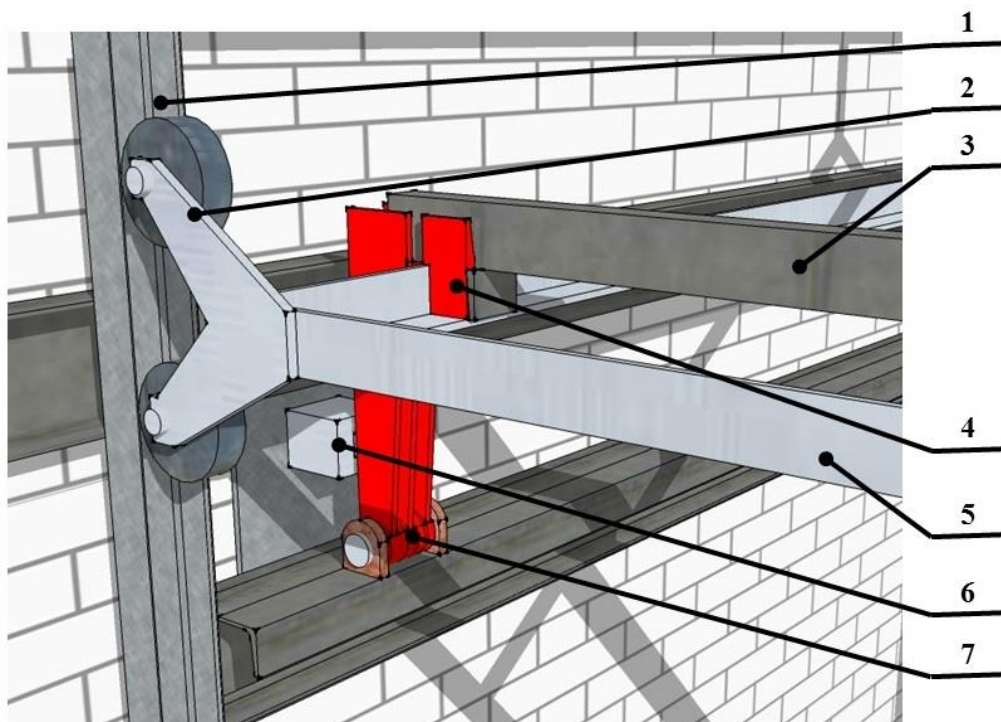
## **DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR DRYING FIRE HOSES SECTION TYPE**

**Keywords:** fire hose, drying, device, lifting mechanism.

**Abstracts:** the aim of the work is to develop a lifting mechanism with several sections for drying fire hoses in the tower dryer.

Тяжелые условия, при которых используются пожарные рукава, являются причиной того, что их долговечность службы значительно меньше срока службы и от их исправного состояния во многом зависит готовность пожарно-спасательных подразделений для успешного проведения боевых задач, действий по тушению пожара. Также большое влияние на их долговечность оказывает соблюдение норм и правил при техническом обслуживании пожарных рукавов.

Целью данной работы является разработка подъемного устройства для сушки пожарных рукавов в башенной сушилке. В связи с этим был проведен обзор устройств для сушки и обслуживания пожарных рукавов как в зарубежной, так и в отечественных источниках. Существующие устройства для подъема и накопления рукавов в башенной сушилке представлено большое количество, каждое устройство по-своему индивидуально, но каждый механизм имеет свои преимущества и недостатки. Проведенный обзор позволил выработать инженерно-проектировочные решения для предлагаемого подъемника. Разработанное устройство отличается тем, что с целью повышения надежности, механизм подъема выполнен в виде платформы, на которой на одинаковом расстоянии друг от друга в пазах расположены балки с крюками. К платформе присоединены упорные ролики, которые перемещаются по направляющим прикрепленные к стене рукавной башни (рисунок). Под платформой установлены электромагниты втягивающие, подключенные с помощью кабеля в защитном корпусе к подъемному механизму 220В. У основания башни находится подъемный механизм в виде тяговой лебедки и пульт управления платформой.



**Рисунок.** Внешний вид подъемного устройства

1 – направляющая, 2 – опорные ролики, 3 – балка, 4 – ограничитель, 5 – рама,  
6 – подвижная арматура, 7 – втягивающий электромагнит

Предлагаемое устройство позволит оснащать платформу несколькими подъемными секциями, переключения которых будет выполняться в автоматическом режиме, т.е. рукава можно будет размещать по секциям и опускать нужную секцию с помощью пульта управления. В целях безопасности предусмотрены стопорные элементы, которые предотвращают движение балки вдоль оси. Также основная нагрузка будет восприниматься подвижной арматурой, что в свою очередь увеличит срок службы лебедки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51049-2008. Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования.
2. Безбородько М.Д. Пожарная техника. Учебник. -М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. 550 с.
3. Чуприян А.П. Методическое руководство по организации и порядку эксплуатации пожарных рукавов. Москва, 2007. 45 с.
4. Елфимова Е.В. Разработка мобильного комплекса по оперативному восстановлению готовности пожарных подразделений за счёт термовакuumной сушки рукавов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России. Санкт-Петербург, 2013. 23 с.
5. Иванов В.Е. Совершенствование подъемного механизма для сушки пожарных рукавов в башенную сушилку// NovaInfo.Ru. 2018. Т. 1. № 88. С. 14-16.

УДК 630. 889

*Е. В. Тетеревлева<sup>1</sup>, Н. А. Иванов<sup>2</sup>, Ю. М. Чемшикова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ухтинский государственный технический университет

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Тихоокеанский государственный университет

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАМЫ ЛЕГКОГО ВЕЗДЕХОДА НА ОСНОВЕ ЕЕ ПРОЧНОСТНОГО РАСЧЕТА**

**Ключевые слова:** оптимизация, вездеход, расчет, метод конечных элементов, напряжения.

**Аннотация:** представлен пример разработки конструкции рамы легкого вездехода на основе ее прочностного расчета методом конечных элементов. Разработка конструкции рамы и ее расчет осуществлялась методом последовательных приближений, состоящим из нескольких шагов.

*N. A. Ivanov, E. V. Teterleva, Y. M. Chemshikova*

## **THE DESIGN OF THE FRAME OF A LIGHT VEHICLE ON THE BASIS OF ITS STRENGTH CALCULATION**

**Keywords:** optimization, all-terrain vehicle, calculation, finite element method, stresses.

**Abstract:** an example of the design of a light all-terrain vehicle frame based on its strength calculation by the finite element method is presented. The design of the frame and its calculation was carried out by the method of successive approximations consisting of several steps.

В лесозаготовительном производстве, и, особенно, в лесном хозяйстве, есть много задач, для выполнения которых необходимо оперативно перемещаться по лесным угодьям на достаточно дальние расстояния, при этом без необходимости перемещения тяжелых грузов. К таким задачам, относятся, например: сбор пищевой продукции леса, бортничество и пчеловодство, подсочка, осмотр лесосек в натуре, противопожарное патрулирование, фитопатологическое патрулирование, проверка лесных культур в отдаленных местах, отвод лесосек, использование леса в научно-исследовательских целях, и т.д. Для решения этих задач очень хорошо подходят легкие вездеходы [1, 2].

Для решения вышеперечисленных задач использовать тяжелую технику не целесообразно, как минимум, по следующим причинам, во-первых, масса машины, во многом, коррелируется с ее стоимостью, т.е. тяжелые машины более дорогие; во-вторых, тяжелые машины более энергоемки, и расходы на их эксплуатацию существенно больше, нежели на легкие машины; в-третьих, тяжелые машины, при перемещении по лесу, наносят ощутимый вред почве и живому напочвенному покрову.

В работе [3] представлена методика пошагового проектирования рамы вездехода на основе ее прочностного расчета. Использование разработанной методики рассмотрим на примере расчета рамы опытного трехколесного вездехода. В качестве расчетного режима движения в соответствии с рекомендациями, изложенными в работах [4], принимаем движение вездехода со скоростью 1 м/с по поверхности, покры-

той кочками, при наезде передним колесом на кочку высотой 0,5 м. Нагрузки, действующие при этом на переднее колесо и передаваемые на раму, рассчитаны по формулам, приведенным в работе [5].

Разработка конструкции рамы и ее расчет осуществлялась методом последовательных приближений, состоящим из нескольких шагов. В начале был произведен субъективный анализ конструкции, затем произведен ее прочностной расчет с дальнейшим анализом результатов расчета на предмет выявления перегруженных элементов. На первом шаге расчету подвергалась базовая конструкция рамы (далее по тексту рама 1), полученная на основе взаимного расположения основных узлов вездехода и опыта его проектирования, изготовления и эксплуатации.

Кроме этого варианта конструкции в процессе расчета были последовательно рассмотрены еще два варианта (рама 2 и рама 3), которые позволили довести конструкцию рамы до кондиции, когда напряжения в стержнях рамы не превышают предела текучести материала. На рис. 1-3 представлены конструкции рассмотренных вариантов рам и номера элементов.

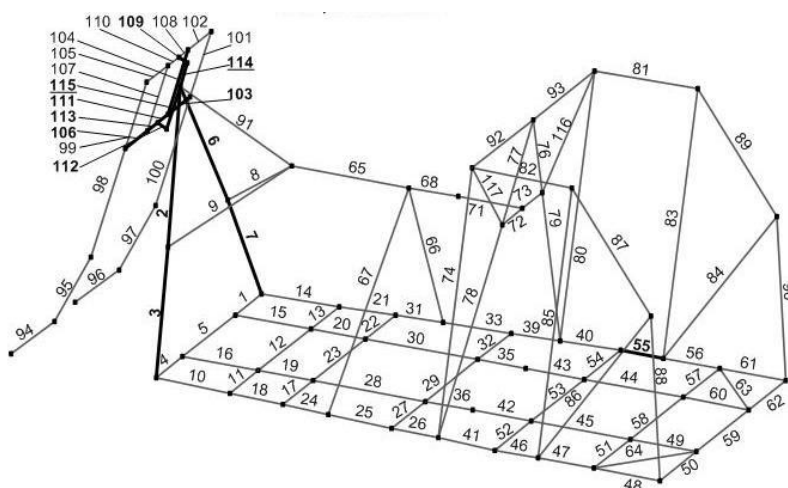


Рис. 1. Конструкция и номера элементов рамы 1

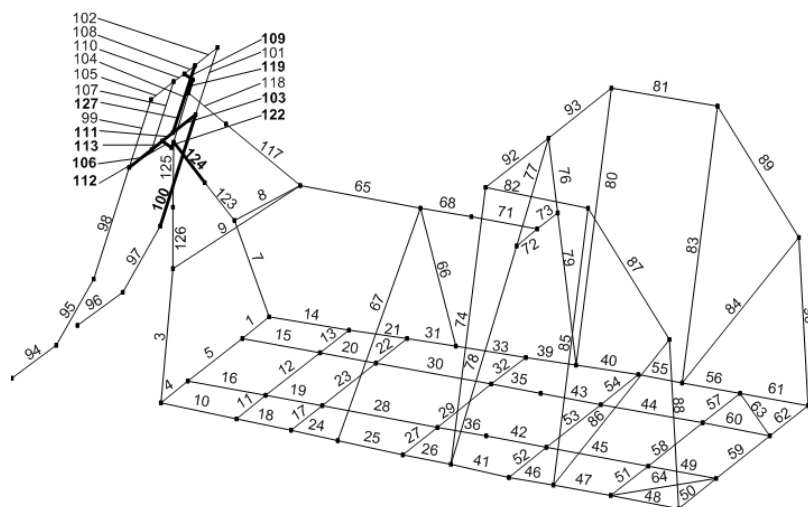
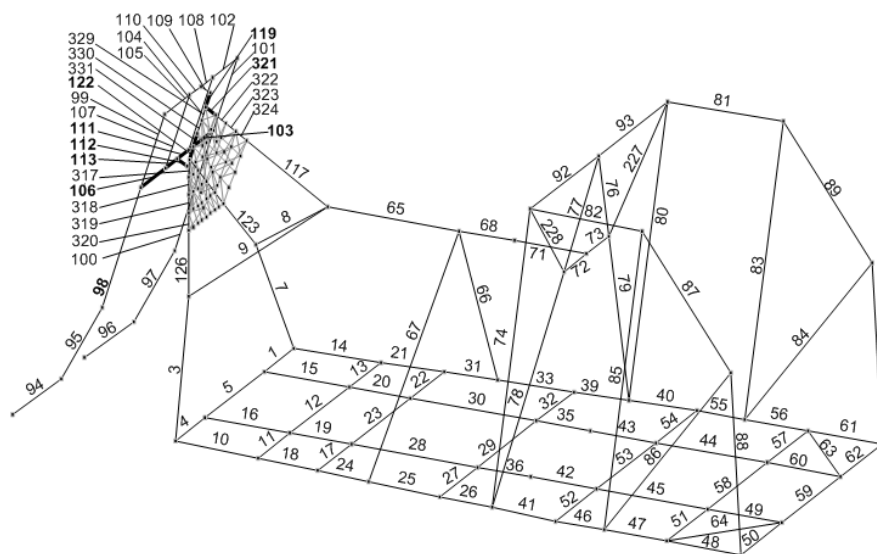


Рис. 2. Конструкция и номера элементов рамы 2



**Рис. 3.** Конструкция и номера элементов рамы 3

Конечно-элементная расчетная схема рамы 1 содержит 70 узлов, 117 элементов, система уравнений содержит 410 неизвестных, для рамы 2 - 76 узлов, 132 элемента, система уравнений содержит 434 неизвестных, для рамы 3 - 152 узла, 332 элемента, система уравнений содержит 746 неизвестных. Результатом решения этих систем уравнений являются узловые перемещения: линейные и угловые. По значениям этих перемещений для рамы определяются внутренние усилия в стержнях.

Результаты расчета базовой конструкции были получены с использованием вычислительного комплекса SCAD версия 11.1. Наиболее нагруженными оказались элементы 2, 6, 111, 113, 114, 116. В указанных элементах напряжения значительно больше предельных, равных 250 МПа. Элементы с максимальными напряжениями сосредоточены в месте сопряжения оси вилки переднего колеса с рамой.

В связи с превышением предельно допустимых напряжений в вышеотмеченных стержнях встает вопрос об усилении конструкции или изменении конструктивного решения в месте сопряжения рамы с осью переднего колеса.

Один из вариантов такого решения, заключающийся в разнесении крепления верхней хребтовой рамы (стержень 91) и передней Л-образной (стержни 2 и 6) по длине оси (стержень 114) вилки. Целью этого изменения конструктивной схемы является перераспределение усилий в элементах рамы. Это начало второго шага, определяющего конструкцию рамы 2.

По результатам расчета были построены эпюры крутящего и изгибающих моментов, аналогичные построенным для рамы 1, и рассчитаны перемещения узловых точек и напряжения в стержнях. Следует отметить, что в этой конструкции рамы напряжения в наиболее нагруженных стержнях значительно снизились, но по-прежнему превышают предельно допустимые в стержнях 100, 111, 113, 122, 124, 127.

В результате дальнейшего анализа конструкции перегруженного узла вездехода был сформулирован третий шаг, заключающийся в усилении данного узла металлическими пластинами (рама 3). Как свидетельствуют результаты расчета в этой кон-



струкции рамы напряжения во всех ее стержнях не превышают предельно допустимые, поэтому решение задачи на этом закончено.

Таким образом, в результате последовательного принятия решений, выполнения соответствующих расчетов и анализа их результатов разработана конструкция рамы, отвечающая условиям прочности.

Разработанная методика пошагового проектирования рамы на основе ее прочностного расчета методом конечных элементов, дающего наиболее точные результаты при расчете пространственных стержневых систем, какой является рама легкого вездехода, позволяет создать надежную и долговечную конструкцию рамы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев И.В., Чураков А.А., Григорьева О.И. Перспективная конструкция вездехода для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы материалы международной научно-технической конференции. - 2017. - С. 136-139.

2. Добрецов Р.Ю., Григорьев И.В., Иванов В.А. Увеличение подвижности гусеничных вездеходов для вахтовых лесозаготовок // Системы. Методы. Технологии. - 2016. - № 2 (30). - С. 114-119.

3. Иванов Н.А., Ловцов А.Д. Проектирование и расчет рамы легкого колесного вездехода с использованием метода конечных элементов I // Вестник ТОГУ. – 2013. – № 3 (30) – С. 107 – 116.

4. Иванов Н.А., Мясников Е.А. Оптимизация режимов движения вездехода по поверхности, покрытой кочками // Вестник ТОГУ. – 2012. – № 2(25) – С. 107 – 116.

5. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. SCAD Office. Вычислительный комплекс SCAD. – Изд-во АСВ, 2004 – 592 с.

УДК 614.8

**А. В. Топоров, А. В. Шишин, Ю. В. Рыжонков**

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### СИНТЕЗ МЕХАНИЗМА УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОДЕРНИЗАЦИИ РУЧНОГО НАСОСА ДЛЯ ПРИВОДА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

**Ключевые слова:** гидравлический аварийно-спасательный инструмент, проектирование, механизм привода, синтез.

**Аннотация:** в статье предложено разработать механизм, позволяющий приводить в действие ручной насос аварийно-спасательного инструмента электрическим двигателем.

*A. V. Toporov, A. V. Shishin, Yu. V. Ryzhonkov*

## **SYNTHESIS OF THE MECHANISM OF THE DEVICE FOR MODERNIZATION OF THE MANUAL PUMP FOR THE DRIVE OF THE HYDRAULIC RESCUE TOOL**

**Keywords:** hydraulic rescue tool, design, drive mechanism, synthesis/

**Abstract:** In the article it is offered to develop the mechanism allowing to operate the manual pump of the rescue tool the electric motor.

Настоящая статья посвящена теме совершенствования аварийно-спасательного инструмента. Для успешного проведения аварийно-спасательных работ необходимо иметь специальный инструмент — маловесный, мощный, малогабаритный, и, как логическое продолжение — транспортабельный. Гидравлический аварийно-спасательный инструмент (далее – ГАСИ) при использовании с ручными насосами соответствует этим требованиям. Однако применение ручных насосов накладывает ограничения – усталость мышц человека, использующего ручной насос. Применение аварийно-спасательного инструмента с интегрированным приводом (бензиновым, электрическим и т.д.) увеличивает вес и габариты инструмента, при этом теряется его функциональность (инструмент не работает при отсутствии топлива (энергии)).

С целью расширения функциональных возможностей ручного привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента предлагается на существующий ручной насос установить специальный механизм с приводом от электрического двигателя, приводящий в движение рукоятку насоса. При этом насос может использоваться и в ручном режиме.

В качестве базы для модернизации выбираем имеющийся в наличии в ПСЧ насос ручной НРС-2/80Х производства компании «Спрут».

Проектирование механизма привода ручного насоса начинается с синтеза кинематической схемы. В ходе синтеза определяют размеры звеньев механизма и их взаимное расположение, при котором механизм выполняет требуемые перемещения. Синтез механизма является первичной операцией при проектировании механизма, после которой производится выбор материалов звеньев, расчеты на прочность, жесткость, устойчивость, конструктивное оформление кинематических пар и звеньев. Для получения работоспособной схемы привода необходимо провести структурный и геометрический синтез механизма

Структурный синтез заключается в составлении схемы механизма без указания размеров звеньев и определяет лишь порядок их соединения и взаимодействия.

Для структурного синтеза механизма привода выбираем неподвижные опоры, закрепленные на основании насоса. Затем к механизму первого класса 1, который соответствует рукояти насоса добавляем подвижные группы 2 и 3. В результате получаем трехзвенный кулисный механизм (рис. 1).

По формуле Чебышева определяем его число степеней свободы.

Из чертежа определяем число подвижных звеньев (рис. 2).

Число подвижных звеньев равно 3.

Определяем число кинематических пар (рис. 3).

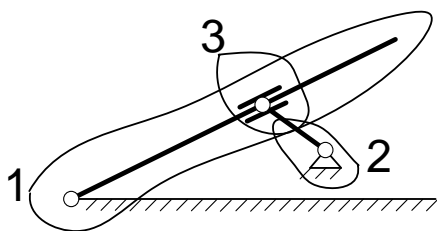


Рис. 1. Структурный синтез механизма

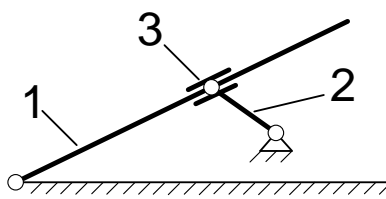


Рис. 2. Определение числа подвижных звеньев механизма

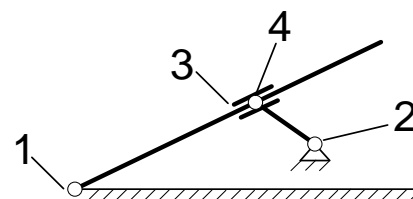


Рис. 3. Определение числа кинематических пар

Число кинематических пар равно 4. Необходимо отметить, что в данном механизме имеются только кинематические пары 5 класса.

По формуле Чебышева определяем число степеней свободы механизма:

$$w = 3 \cdot n - 2p = 3 \cdot 3 - 2 \cdot 4 = 1. \quad (1)$$

Таким образом, полученный механизм является одноподвижным, т.е. на одно перемещение входного звена все звенья откликаются одним перемещением.

При синтезе механизма привода, необходимо добиться воспроизведения определенной траектории, при этом, главным условием является максимальное отклонение описываемой исполнительным органом кривой, от заданной кривой. Эта задача сводится к задаче синтеза механизма по заданным положениям звеньев. Решение такой задачи наиболее часто производится графическим или аналитическим способом. Исходя из простоты реализации и наглядности выберем геометрический способ.

Основные геометрические параметры звеньев механизма определяются в этом случае:

1. Из условия нужной траектории движения;
2. Заданных скоростей и ускорений точек механизма;
3. Заданных сил.

В предлагаемом устройстве скорость перемещения рукоятки насоса ограничены физическими возможностями человека. За счет проведения хронометража при выполнении норматива по перекусыванию арматуры (рис. 4) было установлено, что один рабочий ход совершается за 0.4 с, т.е. перемещение рукоятки в одну сторону (в верхнее или нижнее положение) занимает в среднем 0.2 с (здесь не учитывается некоторое увеличение скорости движения рукоятки вверх, совершаемое без нагрузки). Определение кинематических характеристик, т.е. скоростей и ускорений звеньев механизма, предполагается выполнить в ходе кинематического анализа механизма.

Определение требуемых усилий и мощности источника энергии предполагается выполнить без силового анализа механизма – не учитывая силы инерции его звеньев.

Первоначальной задачей является удовлетворение первого условия – создание механизма реализующего необходимые траектории движения звеньев. Для этого необходимо выполнить кинематический синтез механизма.

В соответствие с выбранной ранее структурной схемой, реализующей кривошипно – кулисный механизм, выбираем длины известных звеньев. Для звена 1 – рукоятки, в соответствии с выбранной моделью насоса, длина составит 600 мм, причем

длина рабочей части по которой возможно скольжение кулисы составит 400 мм, расстояние от шарнира до рабочей части составит 80 мм. Длина основания насоса, на котором возможно крепление привода составляет 635 мм (рис. 5). Из условий эксплуатации насоса известно, что максимальный угол подъема рукоятки при работе находится в пределах  $70-80^{\circ}$ . Зададимся углом подъема  $75^{\circ}$ .

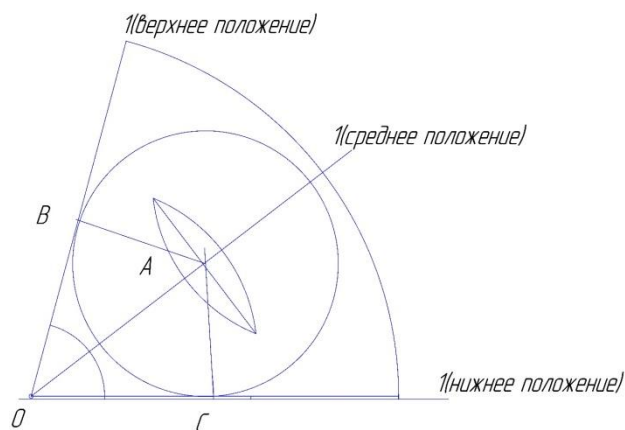
Исходя из габаритов базового шасси, выбираем точку крепления рабочего звена 1 (в соответствии с рис. 1) к основанию насоса. Строим в масштабе звено 1, соответствующее рукоятке насоса в крайнем нижнем и крайнем верхнем положении. Строим биссектрису угла между крайними положениями рукоятки (среднее положение рукоятки). Поскольку на рукоятке со стороны шарнира имеется муфта, предназначенная для крепления поршня насоса длиной 80 мм, а с другой стороны – ручка для удержания, выбираем пространство между ними как рабочий участок для перемещения ползуна кулисы.



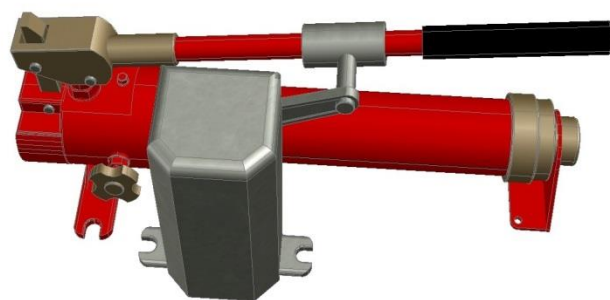
**Рис. 4.** Проведение хронометража при выполнении перекусывания арматуры при помощи ГАСИ

Отмечаем середину рабочего участка (точка А) на среднем положении рукоятки. В точке А будет находится центр оси вращения электродвигателя, приводящего в движение механизм. Из полученной точки строим перпендикуляр к крайним положениям рукоятки (Точки В и С). Отрезки АВ и ВС равны и определяют длину кривошипа (звено 2). Из чертежа определяем длину кривошипа, равную 150 мм. Проверяем возможность перемещения кривошипа по ходу вращения. Для этого строим окружность с центром в точке А. Радиус окружности составил 150 мм. Как видим из чертежа, окружность не выходит за пределы, ограниченные верхним и нижним положением рукоятки.

Таким образом, синтез механизма можно считать законченным, поскольку были определены длины его звеньев. Предложенный механизм (рис. 6) позволит осуществлять привод ручного насоса гидравлического аварийно – спасательного инструмента от электродвигателя.



**Рис. 5.** Геометрический синтез механизма



**Рис. 6.** Примерный вид механизма

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ефанов А.М., Ковалевский В.П. Теория механизмов и машин – 2004. – 267 с.
2. ТУ 8041-004-59352237-2012 Насос ручной НРС-2/80, НРС-2/80Х.

УДК 62.236

**В. Н. Трубехин, П. В. Чистов, А. А. Покровский**

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## ОБЗОР ДВУХСТОЕЧНЫХ СТЕНДОВ ДЛЯ РЕМОНТА ДВИГАТЕЛЕЙ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

**Ключевые слова:** двигатель, стенд, ремонт.

**Аннотация:** рассмотрены основные виды устройств для ремонта двигателей пожарных автомобилей. Отмечены основные достоинства и недостатки существующих устройств для ремонта двигателей пожарных автомобилей.

**V. N. Trubekhin, P. V. Chistov, A. A. Pokrovskiy**

## OVERVIEW OF TWO-DRAIN STANDS FOR REPAIR OF ENGINES OF FIRE CARS

**Keywords:** engine, stand, repair.

**Abstracts:** considered the main types of devices for the repair of engines of fire trucks. The main advantages and disadvantages of existing devices for the repair of engines of fire trucks are noted.

В отличие от грузовых автомобилей двигатели на пожарных машинах эксплуатируются в транспортном и стационарном режимах. Потребителями энергии на пожарных автомобилях являются пожарные насосы, генераторы электрического тока, приводы пожарных автомобильных лестниц, коленчатых подъемников и т.д. В связи с этим необходимо своевременно проводить техническое обслуживание и ремонт данных агрегатов.

Для обеспечения безопасности и удобства выполнения работ по диагностике и ремонту двигателей, а также для установки и снятия агрегата применяются стенды разборки (сборки) различных типов и конструкций. Выбор того или иного типа стенда зависит от конструктивных особенностей, размеров и веса агрегатов.

Стенд с электромеханическим приводом поворотного устройства двигателя марки р-660 (рис. 1.) предназначен для разборки и сборки двигателей автомобилей КамАЗ и ЯМЗ.

Конструкция стенда состоит из сварной рамы и двух стоек, одна из которых фиксируется в двух положениях. Первое положение – подвижная стойка установлена на максимальный размер для двигателей ЯМЗ, второе – для двигателей КамАЗ. На неподвижной стойке установлен червячный редуктор, который приводится во вращение с помощью реверсивного асинхронного электродвигателя переменного тока через

клиноременную передачу. На другой стойке установлена ведомая траверса. Привод станда защищен металлическим кожухом. На раме установлена съемная емкость для сбора масла и других эксплуатационных жидкостей.

Преимуществами данного станда являются:

1. Наличие электромеханического привода;
2. Возможность перемещения одной стойки относительно другой;
3. Возможность использования различных траверс для навески различных двигателей.

Недостатки:

1. Стационарное положение станда;
2. Необходимость подключения к электрической сети;
3. Большие габаритные размеры редуктора;
4. Высокая стоимость.

Станд Р-776 (Рис. 2.) предназначен для разборки-сборки двигателей ЯМЗ, КАМАЗ и их модификаций в условиях станций технического обслуживания автотранспортных предприятий, авторемонтных мастерских.

Станд представляет собой раму опорную с двумя стойками. На одной стойке - червячный редуктор с ведущей траверсой, на второй стойке - ведомая траверса. У траверс есть штыри, которые введены в отверстия блока цилиндров двигателя. Оси штырей располагаются под углом  $52^\circ$  к оси поворота двигателя. Вращением рукоятки редуктора, двигатель закрепленный на станде поворачивается в наиболее удобное положение. Двигатель надёжно фиксируется в любом положении, благодаря самотормозящему редуктору. Станд Р-776 устанавливается на ровный бетонный пол без дополнительного крепления, при необходимости под упорную раму устанавливаются металлические пластины необходимой толщины для исключения смещения станда.

Преимущества:

1. Относительно низкая цена;
2. Возможность перемещения одной опорной стойки относительно другой;
3. Возможность использования различных траверс для навески двигателя.

Недостатки:

1. Стационарное положение;
2. Неудобная ориентация поворотной рукоятки относительно рабочего места;
3. Большие габаритные размеры редуктора;
4. Отсутствие в комплекте поставок маслогрязеуловителя.



**Рис. 1.** Станд с электромеханическим приводом поворотного устройства двигателя марки р-660.



**Рис. 2.** Станд Р-776

Стенд для ремонта двигателей грузовых автомобилей р-776-01 (Рис. 3.) предназначен для ремонта двигателей ЯМЗ марок 740,741,236,238. Конструкция стенда состоит из сварной рамы и двух стоек. За счет применения траверс различной конструкции на стенде можно получить два положения сопряженных плоскостей друг относительно друга. Первое положение - для двигателя ЯМЗ марок 740,741, второе положение - для двигателя ЯМЗ марок 236,238. На левой стойке установлен двухступенчатый редуктор (коническая и червячная ступени) с ведущей траверсой, на другой - ведомая траверса. Траверсы имеют штыри, которые вводятся в отверстия блока обслуживаемого двигателя.



Рис. 3. Стенд Р – 776-01

Преимущества:

1. Относительно низкая цена;
2. Удобное расположение поворотной ручки относительно рабочего места;
3. Возможность использования различных траверс для навески двигателя.

Недостатки:

1. Стационарное положение;
2. Отсутствие возможности перемещения одной опорной стойки относительно другой;

Таким образом, в нашем случае необходимо разработать универсальный стенд, на котором будет возможен ремонт различных марок двигателей. Так же для удобства работы необходимо предусмотреть наличие возможности смещения одной опорной стойки относительно другой и перемещения стенда с установленным двигателем внутри помещения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интернет-ресурс: <https://studfiles.net/preview/5814597/>.
2. Пожарная техника: Учебник / Под ред. М.Д. Безбородько - М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. - 550 с.

УДК 614.842

*Р. И. Харламов, Р. Р. Музафьяров*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ЗАБОРА И ПОДАЧИ ВОДЫ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ГИДРОЭЛЕВАТОРА ПОЖАРНОГО**

**Ключевые** слова: пожарные насосы, гидроэлеватор пожарный, забор воды, преждевременный износ, разработка устройства.

**Аннотация:** в работе представлен анализ проблем технического обслуживания пожарных центробежных насосов и пожарно-технического оборудования в подразделениях ФПС ГПС, предложено решение по разработке устройства для повышения надежности и безотказной работы пожарных насосов и пожарно-технического оборудования при работе с Г-600.

*R. I. Kharlamov, R. R. Muzafyarov*

## **IMPROVING THE RELIABILITY OF HARDWARE FOR THE FENCE AND WATER SUPPLY WHEN USING THE ELEVATOR FIRE**

**Keywords:** fire pumps, fire hydraulic elevator, water intake, premature wear, device development.

**Abstracts:** the paper presents an analysis of the problems of maintenance of fire centrifugal pumps and fire equipment in the units of FPS GPS, proposed a solution for the development of devices to improve the reliability and reliability of fire pumps and fire-technical equipment when working with the G-600.

Из всего многообразия пожарно-технического вооружения насосы представляют наиболее важный и сложный их вид. Исследования в области пожарных насосов на протяжении многих лет проводились во ВНИИПО и ВИПТШ.

В пожарных автомобилях различного назначения используется широкая номенклатура насосов, работающих по различным принципам. Они, прежде всего, обеспечивают подачу воды на тушение пожаров, функционирование вакуумных систем, работу гидравлических систем управления. Они же применяются во многих вспомогательных системах, таких как вакуумные системы, гидроэлеваторы и др. Одно из важных требований, обеспечивающих успешное тушение пожара, надежность насосной установки. Глубокое знание не только их устройства, но и рабочих характеристик, особенностей режимов их работы обеспечивают эффективное их применение для тушения пожаров [1,2,3].

Эксплуатацию и техническое обслуживание насосов пожарных автомобилей выполняют в соответствии с ГОСТ Р 52283-2004 «Насосы центробежные пожарные (рис. 1). Общие технические требования. Методы испытаний», инструкциями заводов-изготовителей на пожарные автомобили, паспортами на пожарные насосы, и другими нормативными документами [1].



Работоспособность центробежных насосов во многом определяется совершенством его герметизации. Внутренняя герметизация рабочего колеса от корпуса и крышки осуществляется уплотнительными кольцами в корпусе и крышке и на колесе. Радиальный зазор между кольцами находится в пределах 0,2...0,3 мм. Эти щелевые уплотнения уменьшают циркуляцию жидкости в насосе. При изнашивании колец она увеличивается. Герметизация внутренней полости насоса от внешней среды осуществлена двумя способами. Все стенки соединяемых корпусных деталей герметизируют резиновыми прокладками. Герметизация насоса по валу производится резиновыми манжетами, размещаемыми в специальном уплотнительном стакане.

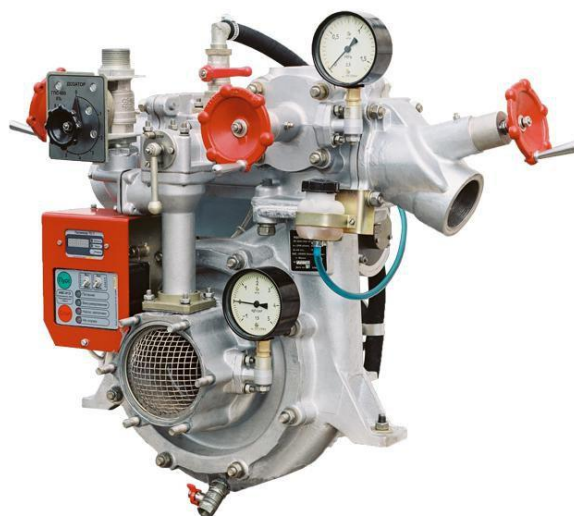


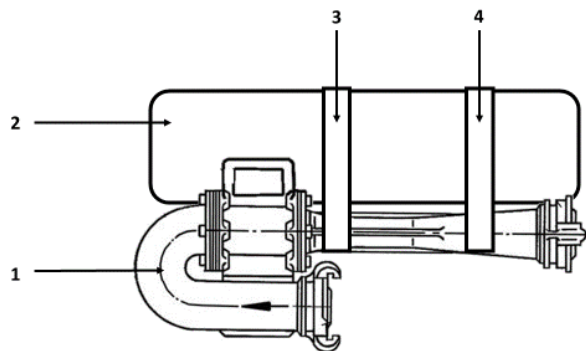
Рис. 1. Насос центробежный пожарный

На срок эксплуатации пожарного насоса и гидравлического пожарно-технического оборудования вредное влияние оказывают твердые частицы песка, глины, грязи, мелкого щебня и другого абразивного материала, который попадает при заборе огнетушащих веществ из открытых водоисточников, и способствует преждевременному износу рабочих элементов пожарных насосов [3,4].

С целью предотвращения негативного влияния вышеперечисленных факторов на безотказную работу пожарно-технического оборудования, быстрого изнашивания сальниковых уплотнителей и механического износа внутренних частей насоса предлагается разработка плавающего устройства, которое будет поднимать гидроэлеватор пожарный Г-600 к поверхности воды, тем самым препятствуя попаданию твердых частиц песка в рабочую полость пожарных насосов и гидравлическую арматуру (рис. 2).

В основе идеи (рис. 2) предлагается изготовление поплавковой камеры 2 достаточного объема для поддержания на поверхности открытого водоисточника гидроэлеватора пожарного 1 с рукавными линиями. Крепление устройства к Г-600 обеспечивается быстроразъемными хомутами 3 и 4.

Принцип работы устройства заключается в следующем: при заборе воды пожарным насосом из открытого водоисточника, перед тем как погрузить гидроэлеватор пожарный в водоем, устройство предварительно крепится на к диффузору Г-600 быстроразъемными хомутами и фиксирующими затворов. После чего собранная конструкция погружается в водоем, обеспечивая плавучесть гидроэлеватору. Соответственно при заборе воды, устройство удерживающее гидроэлеватор под поверхностью воды исключает возможность попадания в рабочую полость пожарного насоса песка и других посторонних предметов, повышая ресурс его работоспособности.



**Рис. 2.** Схема элементов конструкции устройства



**Рис. 3.** Внешний вид предлагаемой конструкции

Предлагаемое устройство найдет практическое применение при заборе грязной воды в лесах, болотах, мелких прудах, торфяниках и прочих водоемах, где твердые частицы могут попасть в пожарный насос, тем самым предотвращая преждевременный износ рабочих элементов и способствуя повышению надежности и безотказной работы центробежных пожарных насосов и пожарно-технического оборудования.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 52283-2004 Насосы центробежные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний.
2. ГОСТ Р 50398-1992 Гидроэлеватор пожарный. Технические требования. Методы испытаний.
3. Годлевский В.А., Моисеев Ю.Н. Трибологические проблемы пожарной и аварийно-спасательной техники // «Пожарная и аварийная безопасность». Сетевое издание ИПСА МЧС. РФ 1916. № 2. <http://pab.edufire37.ru>.
4. Годлевский В.А., Лобач А.В., Назаров Г.Е., Моисеев Ю.Н., Федотов Е.В. Влияние водного загрязнения на работоспособность смазочных материалов // Физика, химии и механика трибосистем. Межвуз. Сб. науч. Тр. Иваново. Изд-е ИвГУ. 2011. С. 169–172.

УДК 614.846

***Р. И. Харламов, В. А. Годлевский***

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

#### **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ НАСОСА НЦПН-40/100 ПУТЁМ ИЗМЕНЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ЕГО СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ**

**Ключевые слова:** пожарный центробежный насос, вероятность безотказной работы, показатели надежности.

**Аннотация:** в работе предложен ряд мероприятий по замене составных частей пожарного насоса, таких как: система смазки, валы, подшипники, сальники, резиновые манжеты, уплотнительные кольца на основе анализа расчёта показателей безотказной работы насоса.

*R. I. Kharlamov, V. A. Godlevsky*

## IMPROVING THE RELIABILITY OF THE PUMP NCPN-40/100 BY CHANGES IN THE PERFORMANCE OF ITS CONSTITUENT PARTS

**Keywords:** fire centrifugal pump, the probability of failure-free operation, reliability indicators.

**Abstracts:** the paper proposes a number of measures to replace the components of the fire pump, such as: lubrication system, shafts, bearings, seals, rubber cuffs, o-rings based on the analysis of the calculation of the pump failure indicators.

Пожарный центробежный насос (рис. 1) - это устройство, предназначенное для подачи огнетушащих средств и воды к месту тушения. Пожарные центробежные насосы устанавливаются на пожарную технику- мотопомпы, пожарные автоцистерны, насосные станции и другие устройства [1].

В частности, пожарный центробежный насос устанавливается на пожарные автомобили типа ЗИЛ, Урал, Камаз и др. и предназначен для подачи воды или водного раствора пенообразователя при тушении пожара. Конструкция насоса позволяет устанавливать его в передней, в средней или кормовой части автомобиля [2].

Пожарный насос ПН-40УВ уже не один десяток лет используется в автоцистернах. Пожалуй, это до сих пор самая распространённая в нашей стране модель пожарного насоса. Не одно поколение пожарных по всей России были обучены и успешно работают на этих насосах. На смену ПН-40УВ пришли пожарные насосы типа НЦПН-40/100, имеющие не значительные конструктивные отличия от своих предшественников. [2].

Это связано с тем, что насосы НЦПН-40/100 обладают рядом достоинств: равномерностью, подачей без пульсаций, огнетушащих средств; способностью работать «на себя», т.е. при перекрытии пожарного ствола, засорении или заломе пожарного рукава в системе подачи воды не повышается чрезмерно давление, этим гарантируется надёжная работа насосной установки; простотой управления насосом и его обслуживания в эксплуатации на пожарах. НЦПН-40/100 как центробежный насос имеет и ряд недостатков: не засасывает сам жидкость и работает только после предварительного заполнения всасывающей линии и насоса водой. Этот недостаток компенсируют

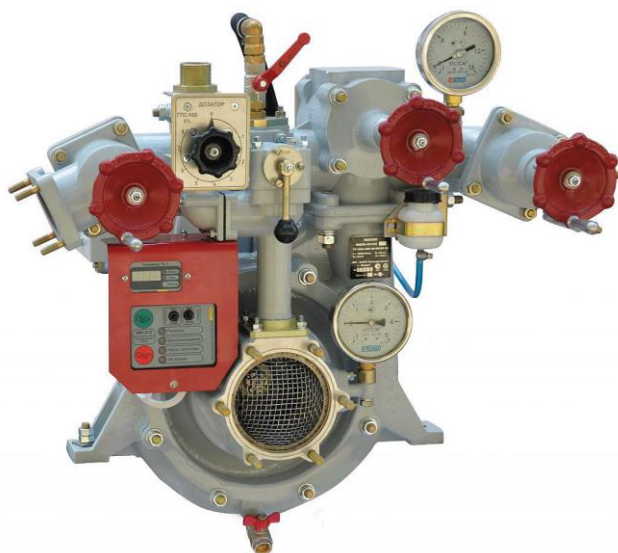


Рис. 1. Центробежный пожарный насос

устройствами, позволяющими заполнять всасывающие тракты и полость насоса из цистерн [1].

Надёжность любого пожарного насоса зависит от множества факторов, характеризующих качество его проектирования, изготовления, организацию технической эксплуатации, а также условий эксплуатации [1].

Характеристики надёжности пожарного насоса, его деталей, узлов, имеют вероятностный характер. Поэтому её можно характеризовать только путём обработки большого числа данных, полученных при его эксплуатации или испытаниях, с помощью методов теории вероятностей и математической статистики [1].

Поскольку все нормативы для пожарного насоса устанавливаются на количество моточасов, характеристику его надёжности принято рассматривать как функцию количества часов его работы. Одним из важнейших показателей безотказности (работоспособности) у насосов является вероятность безотказной работы, т.е. вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта (насоса, узла, детали) не возникнет [3].

Отметим, что в многочисленной специальной технической литературе, посвящённой эксплуатации и обслуживанию пожарной техники (например, [1] и [2]) не приводятся данные по характеристикам надёжности (в частности, безотказности) пожарных насосов. В многочисленных прайс-листах производителей и поставщиков указанного оборудования, к сожалению, такие данные тоже отсутствуют.

Допустимое значение вероятности безотказной работы выбирается в зависимости от степени опасности отказа и определяется установленными нормативными документами [4] и по данным [3] – см. таблицу.

*Таблица. Классификация изделий (технических средств) по последствиям отказа*

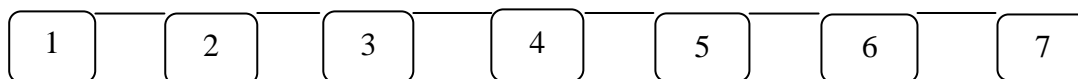
Последствия отказа		Допустимая вероятность безотказной работы	Тип технических средств
Катастрофические	Авария Катастрофа Невыполнение ответственного задания	$P \rightarrow 1$	Летательные аппараты Подъёмно-транспортные машины Военная техника Машины химического производства Медицинское оборудование
Экономический ущерб	Повышенные простои в ремонте	Значительный ущерб $P \geq 0,99$	Технологическое оборудование Сельскохозяйственные машины Бытовые машины
	Работа на пониженных режимах Работа с худшими параметрами	Незначительный ущерб $P \geq 0,9$	
Без последствий	Затраты на ремонт в пределах нормы	$P < 0,9$	Отдельные узлы и элементы машин

Из данных таблицы следует, что допустимая вероятность безотказной работы  $P$  для насосов не должна превышать 0,99 и стремиться к 1. Приближённый её расчёт для единиц массового обслуживания даёт величину 0,9938 (следовательно  $Q = 0,0062$ ) [5]. Соответственно, вероятность отказа ( $Q$ ) не должна превышать 0,01 (или 1 %).

Чтобы от полученной тем или иным способом надёжности элементов перейти к оценке надёжности насоса, нужно составить расчётную схему надёжности. Широко распространена такая рекомендация: если отказ элемента означает отказ изделия, причём мало взаимное влияние степени разрушения одних элементов на скорость износа других.

Построение структурной схемы расчёта надёжности системы проводилось нами на основе допущения, что каждый элемент может иметь только один отказ и может находиться в одном из двух состояний: работоспособном и неработоспособном (отказ) [3].

Построенная структурная схема, определяющую работоспособность центробежного пожарного насоса:



1 – система смазки; 2 – валы; 3 – подшипники; 4 – сальники; 5 – резиновые манжеты;  
6 – уплотнительные кольца; 7 – рабочее колесо

Для расчёта показателей безотказной работы насоса мы приняли четыре наиболее важные характеристики из семи (см. схему) составных частей пожарного насоса («Система смазки», «Валы», «Подшипники», «Сальники», «Резиновые манжеты», «Уплотнительные кольца», «Рабочее колесо»): стойкость к коррозии; различные загрязнения; недостаточная смазка; различные перегрузки, способствующие выходу из строя.

Расчёты по данным [6] дали нам вероятности безотказной работы элементов структурной схемы, рассматриваемого нами насоса:  $P_1=0,99845$  (система смазки),  $P_2=0,99513$  (валы),  $P_3=0,99321$  (подшипники),  $P_4=0,99082$  (сальники),  $P_5=0,9943$  (резиновые манжеты),  $P_6=0,99715$  (уплотнительные кольца),  $P_7=0,9948$  (рабочее колесо).

Расчёт общей вероятности безотказной работы для насосов НЦПН 40/100 даёт величину 0,9644, что ниже допустимой вероятности безотказной работы для пожарного и спасательного оборудования. Численной ошибки здесь нет ввиду того факта, что формула справедлива для случая, когда распределения ресурсов элементов независимы, т.е. коэффициент корреляции между ресурсами каждой пары элементов равен нулю [3]. Корреляция ресурсов может вызываться двумя причинами: непосредственным влиянием состояния одного элемента на скорость износа другого и тем, что внешние условия нагружения, вызывающие разброс ресурсов, идентично влияют на ресурсы рассматриваемых элементов. Пример взаимного влияния элементов: износ подшипников насоса приводит к ускоренному износу сальника из-за увеличения биения вала. Пример идентичного влияния условий эксплуатации: повышение концентрации взвеси в воде снижает как ресурс рабочего колеса, так и корпуса насоса. Если не принимать во внимание вторую причину, то это вызовет занижение показателей

надёжности в несколько раз. Поэтому практически возможны два способа расчёта надёжности: по условным элементам и с учётом корреляционной связи.

Независимо от способа расчёта – фактическая вероятность безотказной работы насосов всего 0,6. Поэтому нами и предложен ряд мероприятий по замене составных частей пожарного насоса, таких как: система смазки, валы, подшипники, сальники, резиновые манжеты, уплотнительные кольца.

Расчёты по структурной схеме показывают, что они позволят увеличить надёжность насосов НЦПН-40/100, в том числе и в указанной части, с достижением её нормативных значений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пожарная техника: Учебник / Под ред. М.Д. Безбородько – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. –550 с.
2. Терещев В.В., Ульянов Н.И., Грачев В.А. Пожарно-техническое вооружение. Устройство и применение. – М.: Центр Пропаганды, 2007. –328 с.
3. Пронин А.С. Надёжность машин. – М.: Машиностроение, 1978, - 592 с.
4. ГОСТ Р 22.9.01-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Аварийно-спасательный инструмент и оборудование. Общие технические требования. – М.: Издательство стандартов, 1995.
5. Бубнов А.Г., Курочкин В.Ю., Моисеев Ю.Н. Оценка параметров риска как критериев для обоснования выбора аварийно-спасательного оборудования // Пожарная и аварийная безопасность: материалы VI Международной научно-практической конференции посвящённой 45-летию Ивановского института ГПС МЧС России., Иваново, 28-30 ноября 2011 г.: в 2 ч. / Под общ.ред. И.А. Малого. – Иваново, ИВИ ГПС МЧС России, 2011. - Ч. 1. С. 21-24.
6. Бельчич Б.И., Грибанов Б.И., Дворецкий Э.В и др. Надёжность и эффективность в технике. Справочник в десяти томах. Том 5. Проектный анализ надёжности. /Под общ. ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. -М: Машиностроение, 1988. -320 с.

УДК 621.926.322

*Е. И. Чеховской, М. А. Романович, В. А. Киселева, Д. С. Агафонов*

ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова

### ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА АГРЕГАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КУБОВИДНОГО ЩЕБНЯ

**Ключевые слова:** агрегат, кубовидный щебень, агрегат, устройство, лещадный.

**Аннотация:** в данной статье приведено описание конструкции агрегата для получения кубовидного щебня и устройства, которое необходимо для создания направленного движения в заданном направлении.

*E. I. Chehovskoy, M. A. Romanovich, V. A. Kiseleva, D. S. Agafonov*

## **DESCRIPTION OF THE DEVICE OF THE UNIT FOR OBTAINING CUBA SPITAL**

**Keywords:** unit, cubical rubble, unit, device, blade.

**Annotation:** this article describes the design of the unit to produce cube-shaped rubble and a device that is necessary to create directional movement in a given direction.

Срок службы дорог, построенных на кубовидном щебне в 2–2,5 раза больше, чем на щебне игловатой и пластинчатой формы. Кубовидный щебень образует устойчивую трехмерную структуру дорожного полотна, требует меньшего расхода вяжущих – цемента или битума. Лещадные частицы в процессе уплотнения ломаются, образуя «островки» лещадных зерен, что является причиной локальных разрушений дорожных покрытий. Прочность бетона при использовании кубовидного щебня возрастает на 5–10% при одновременном уменьшении расхода цемента на 7–12% и снижении на 3–5% водопотребности бетонной смеси [1].

При производстве щебня кубовидной формы необходимо учитывать, что форма зерен дробленого материала определяется текстурно-структурными особенностями исходной горной породы, используемым оборудованием и технологией переработки.

Согласно отечественных и зарубежных данных для получения щебня кубовидной формы обычно применяют конусные дробилки или дробилки ударного действия, которые позволяют получать щебень, форма зерен которого близка к кубовидной. Однако в этих дробилках достаточно проблематично получать кубовидный щебень при дроблении сланцевых материалов с лещадной текстурой [2].

В соответствии с президентской программой «Дороги России XXI века» потребности в щебеночных материалах для нового строительства, реконструкции и ремонту автомобильных дорог составляет примерно 140 млн. м<sup>3</sup> в год. Мировая потребность в щебне превышает 3 млрд. м<sup>3</sup> в год, причем за последние десятилетия стоимость щебня, производимого из природного минерального сырья во всем мире, выросла в 2,5–3 раза [3].

В то же время при добыче рудных и нерудных полезных ископаемых ежегодно направляется в отвал десятки миллиардов тонн горных пород, которые по своему минералогическому составу вполне могут быть использованы при производстве широкой гаммы строительных материалов. Значительное количество среди вскрышных пород занимают сланцевые материалы, имеющие лещадную текстуру и характеризующиеся различными физико-механическими параметрами среды. Это, в свою очередь, предъявляет дополнительные требования к условиям измельчения этих материалов, с учетом их физико-механических характеристик, а, следовательно, к конструкторско-технологическим параметрам дробильного оборудования [4].

Результаты проведенных исследований показали, что разработанные и используемые как в РФ, так и за рубежом конструкции агрегатов и комплексов не учитывают специфику и текстуру измельчаемых материалов, что затрудняет получение щебня кубовидной формы [5].

Большинство железорудных месторождений, добыча полезных ископаемых на которых осуществляется открытым способом, содержат отвалы из твердых вскрышных пород. Так, Центрально-черноземный экономический район, на территории кото-

рого находятся огромные месторождения КМА, содержит сотни миллионов тонн сланцевых материалов.

В этой связи проблема разработки агрегатов для измельчения сланцевых материалов с целью получения кубовидного щебня, является весьма актуальной [6].

Основная часть. Нами разработана конструкция агрегата с устройством для направленной подачи сланцевых материалов, предназначенная для получения кубовидного щебня путем раздавливания между двумя зубчатыми валками.

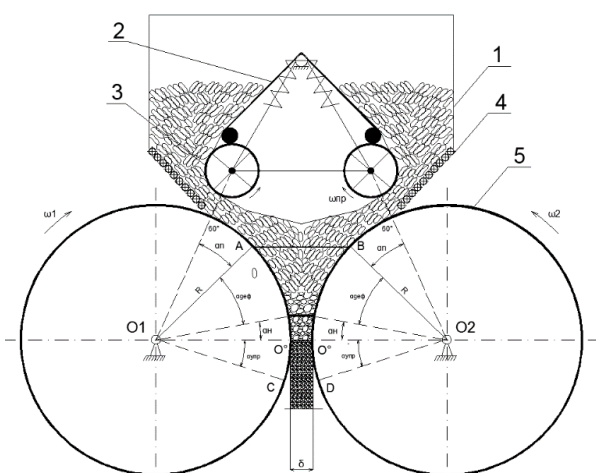
Агрегат состоит из устройства, предназначенного для направленной подачи сланцевых материалов и пресс-валкового агрегата (рис. 1), включающего в себя установленные на раме 1 валки 2 со сменными зубьями, установленными с определенным шагом (рис. 2). Устройство для направленной подачи сланцевых материалов состоит из приемного бункера, внутри которого, расположены две подвижные пластины 5 и валики 3, 4, которые служат для создания направленной подачи кусков сланцевой породы (рис. 3).



**Рис. 1.** Экспериментальная установка агрегата для получения кубовидного щебня



**Рис. 2.** Зубчатые валки ПВИ



**Рис. 3.** Схема ПВА с зубчатыми валками для измельчения сланцевых материалов: 1 – устройство для направленной подачи материала; 2 - подвижные щеки; 3,4- направляющие валики; 5 - зубчатые валки

Агрегат для получения кубовидного щебня работает следующим образом. Материал засыпается в приёмный бункер, где по подвижным пластинам подаётся к валикам, захватывается ими, поворачивается в вертикальное положение и направляется к зубчатым валкам, где раздавливается и выходит из межвалкового пространства в виде кусков, имеющих кубовидную форму с размерами, не превышающими шаг зубьев [7].

Преимущества данной установки заключается в том, что из сланцевого материала, у которого длина значительно больше ширины, в процессе дробления получается кубовидный щебень.



Однако при измельчении сланцевых материалов в агрегате с устройством для направленной подачи выполняется следующие технологические операции, на которые затрачивается мощность. Это создание направленного движения и осуществление раздавливающего деформирования кусков с приложением силового воздействия в заданном направлении. Отсутствие научно обоснованной методики расчета энергетических параметров агрегата во многом тормозит его внедрение в промышленность.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шонерт К., Кноблех О. Измельчение цемента на валковом измельчителе в постели материала // *Zement - kalk gips*. - 1986. - Т.37. №11. - с.1-9.
2. Победа В.К. Пресс-валковые измельчители ОАО «Тяжмаш» // *Цемент и его применение*. - 2007. - №4. - С. 26.
3. Мерсман М. Й., Крумп. Технология по модернизации цементных заводов фирмы KHD Humboldt Wedag GmbH // *Цемент и его применение*. - 2005. - №3. - С.40-43.
4. Romanovich A.A. Performance review and principal directions for development of a grinding equipment in cement factory // *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. - 2014. - Т. 9. № 11. - С. 2367-2370.
5. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Chekhovskoy E.I., Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. - 2018. - Т. 194 (032025).
6. Romanovich A.A., Romanovich L.G., Chekhovskoy E.I., Determination of rational parameters for process of grinding materials precrushed by pressure in ball mill // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. - 2018. - Т. 327 (042091).
7. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Belov A.I., Chekhovskoy E.I. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes // *IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series*. - 2018 - Т. 1118 (012035).

УДК 621.926.322

*Е. И. Чеховской, Е. Г. Пахомов, В. А. Киселева, Д. С. Агафонов*

ФГБОУ ВО Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова

### **ОПИСАНИЕ УСТРОЙСТВА АГРЕГАТА ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ДАВЛЕНИЕМ И ДЕЗАГРЕГАЦИИ СПРЕСОВАННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Ключевые слова:** пресс-валковый измельчитель, спрессованный материал, направленное движение.

**Аннотация:** в статье приводится описание конструкции опытно-промышленной установки ПВИ включающей в себя загрузочный бункер, установленные на раме конические валки и дезагламентирующее устройство. Получены уравнения и представлен анализ графической зависимости размера зоны захвата дезагрегирующими валками пластин спрессованного материала.

*E. I. Chehovskoy, E. G. Pakhomov, V. A. Kiseleva, D. S. Agafonov*

## DESCRIPTION OF UNIT DEVICE FOR CRUSHING OF PRESSED MATERIALS BY PRESSURE AND DECOMPREGATION

**Keywords:** press roller shredder, extruded material, directional movement.

**Annotation:** the article describes the design of an experimental industrial installation of PVI, which includes a loading bunker, conical rolls mounted on a frame, and a disogramming device. Equations are obtained and an analysis of the graphic dependence of the size of the capture zone by disaggregating rolls of plates of compressed material is presented.

В последние годы при измельчении материалов различной прочности во многих отраслях промышленности широко используются пресс-валковые измельчители (ПВИ), работающие по различным технологическим схемам. Анализ научно-технической литературы [1] показывает, что при измельчении известняка, клинкера, шлаков, извести, кварца, углей, рудных материалов ПВИ используется как в открытом, так и в замкнутом цикле измельчения, при этом достигается снижение удельных энергозатрат в различных помольных комплексах на 20-40 % и повышение его производительности на 15-40 % [2].

Проведенный анализ структуры материалов, измельченных в ПВИ показал, что в нем осуществляется значительная часть процесса их помола. Однако обработанный давлением между валками материал имеет товарную форму в виде спрессованных пластин, поэтому для последующего его эффективного помола необходимы как минимум два различных силовых воздействия, что достаточно сложно создать в одном агрегате.

За рубежом широкое распространение получили технологические помольные схемы, включающие в себя ПВИ, молотковую дробилку или первую камеру шаровой мельницы, используемые для дезагломерации спрессованных пластин [3]. Реализация таких схем позволяет повысить производительность на 30% и на 15-18% снизить удельный расход электроэнергии. Однако применение дополнительного агрегата для дезагломерации спрессованного материала влечет за собой повышение затрат на его содержание и эксплуатацию, а первой камеры мельницы для разрыхления агломерата без мелющих тел или с небольшим их количеством приводит к не эффективному использованию объема и возможности помольного агрегата [4].

Рациональное решение данной проблемы заключается в разработке и создании пресс-валкового агрегата совмещающего в себя процессы измельчения материалов давлением и эффективного разрушения спрессованных пластин.

Проведенный анализ измельченного в ПВИ с коническими валками материала позволил установить, что он представляет собой спрессованные пластины, имеющие анизотропную текстуру с максимальной прочностью в направлении приложения усилия измельчения (рис. 1), что требует особых условий его деагломерации и помола [5]. Проведенные экспериментальные исследования по изучению влияния давления измельчения на их величину усилий дезагломерации спрессованных пластин, позволили установить, что с увеличением давления прессования возрастает не только степень измельченности материала Еизм, но и прочность пластин. Причем для их разрушения в зависимости от направления требуются различные по величине усилия.

Так, например, при измельчении клинкера давлением равным 240 МПа, усилия необходимые на дезагломерацию спрессованных пластин при их приложении в направлении прессования материала равны  $R_{дез прод} = 22$  МПа, а в перпендикулярном -  $R_{дез попер} = 2,5$  МПа, что существенно ниже. Это свидетельствует о том, что для эффективного разрушения измельченных и спрессованных в пластины в ПВИ материалов целесообразно прилагать усилия в направлении перпендикулярном силовому воздействию [6].

С учетом полученных результатов исследований нами разработана опытно-промышленная конструкция ПВИ с устройством для дезагломерации измельченных и спрессованных в ленту материалов.

Данная конструкция позволяет совместить в себе процессы измельчения и дезагломерации спрессованных материалов в направлении их наименьшей прочности, и тем самым повысить эффективность от использования помольного агрегата (рис. 3).



Рис. 1. Форма клинкера, предварительно деформированного в ПВИ

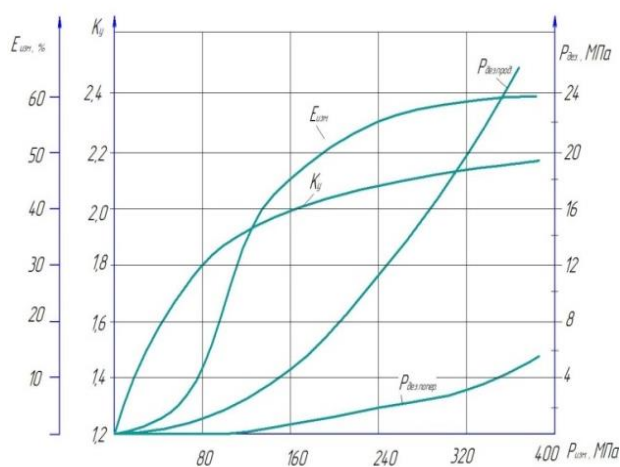


Рис. 2. Влияние давления измельчения клинкера на величину усилий дезагломерации

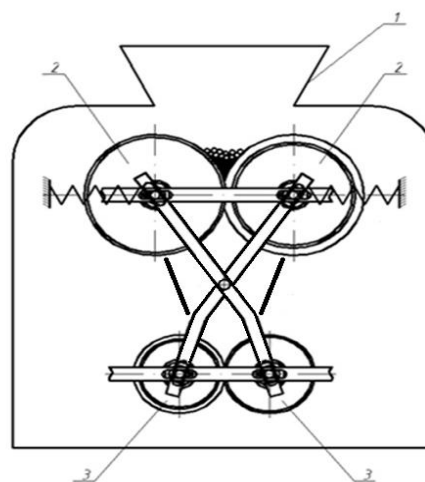


Рис. 3. Пресс-валковый измельчитель с устройством для дезагломерации материалов

Пресс-валковый измельчитель с устройством для дезагломерации включает в себя загрузочный бункер 1, установленные на раме конические валки 2 и дезагломерующее устройство, которое состоит из дополнительных валков 3, имеющих конусность, обратную основным валкам.

Такая форма дополнительных и основных валков осуществляет противоположно направленное силовое воздействие на материал при его измельчении и дезагломерации спрессованных пластин, что позволяет их разрушить с меньшими энергозатра-

тами. Однако для реализации данного процесса, должно осуществляться направленное движение спрессованного в пластины материала от основных к дополнительным валкам дезагломерирующего устройства.

Таким образом, разработана опытно-промышленная конструкция ПВИ включающая в себя загрузочный бункер, установленные на раме конические валки и дезагломерирующее устройство, которое состоит из дополнительных валков, имеющих обратную основным валкам конусность, позволяет совместить в себе процессы измельчения и дезагрегации спрессованных материалов. Создавая тем самым, силовое воздействие в направлении наименьшей прочности спрессованных пластин, что позволяет повысить эффективность от использования агрегата.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шонерт К., Кноблех О. Измельчение цемента в валковом измельчителе в постели материала // Zement-kalk gips. - 1986.- Т.37. №11. - p.1-9.
2. Матвейков С.В., Белобров Ю.Н. Валковый пресс- измельчитель // Горная промышленность. - 1998. - № 2. - С.28-29.
3. Верич Е.Д., Егосин Ю.С. Новый тип мельниц и их управление // Горные машины и автоматика. - 2005. - № 1. - С. 41-56.
4. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Chekhovskoy E.I., Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - Т. 194 (032025).
5. Romanovich A.A., Romanovich L.G., Chekhovskoy E.I., Determination of rational parameters for process of grinding materials precrushed by pressure in ball mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2018. - Т. 327 (042091).
6. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Belov A.I., Chekhovskoy E.I. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series. - 2018 - Т. 1118 (012035).

УДК 621.8

*М. С. Шеберстов, В. П. Зарубин*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ВЛИЯНИЕ ВЫБОРА ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛА НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ МЕХАНИЗМА

**Ключевые слова:** надежность, долговечность, подшипник качения, подшипник скольжения.

**Аннотация:** В статье рассмотрен вопрос выбора видов и типов подшипников для различных условий работы машин и механизмов. Приводятся преимущества и недостатки каждого вида подшипника которые необходимо учитывать при проведении проектных расчетов.

*M. S. Sheberstov, V. P. Zarubin*

## **THE INFLUENCE OF THE BEARING ARRANGEMENT ON THE EFFICIENCY OF THE MECHANISM**

**Keywords:** reliability, durability, rolling bearing, sliding bearing.

**Abstracts:** the article deals with the choice of types and types of bearings for different operating conditions of machines and mechanisms. The advantages and disadvantages of each type of bearing that must be considered in the design calculations.

В настоящее время нас окружает большое количество разнообразных машин и механизмов. В зависимости от их назначения и области использования конструкции машин могут быть самые разнообразные от простых до очень сложных. Но не зависимо от сложности, в каждой машине есть узел содержащий либо подшипник скольжения либо подшипник качения.

Как известно, назначение подшипниковых узлов заключается в обеспечении опоры или упора поддерживающего вал, ось или иную подвижную конструкцию с заданной жёсткостью. Подшипник фиксирует положение в пространстве, обеспечивает вращение, качение с наименьшим сопротивлением, воспринимает и передаёт нагрузку от подвижного узла на другие части конструкции.

Знание и понимание принципов выбора и расчета подшипниковых узлов, а так же способов их технического обслуживания позволяют обеспечить их требуемую надежность, которая в свою очередь оказывает влияние на работоспособность всей машины. Качественный подшипник играет основную роль в работе каждого механизма, где он установлен. Расчетный срок службы подшипников определяется количеством часов, в течение которого наступает «усталость металла», количеством оборотов подшипника, наличием и количеством смазки, величиной динамической нагрузки.

Но иногда, по ряду причин, подшипники выходят из строя раньше времени. Это происходит вследствие множества причин. Основные причины потери работоспособности подшипников качения следующие:

- усталостное выкрашивание рабочих поверхностей тел качения и дорожек качения колец в виде раковин или отслаивания (шелушения) вследствие циклического контактного нагружения;
- смятие рабочих поверхностей дорожек и тел качения (образование лунок и вмятин) вследствие местных пластических деформаций под действием ударных или больших статических нагрузок;
- задиры рабочих поверхностей качения при недостаточном смазывании или слишком малых зазорах из-за неправильного монтажа;
- абразивное изнашивание вследствие плохой защиты подшипника от попадания абразивных частиц.
- разрушение сепараторов от действия центробежных сил и воздействия на сепаратор разноразмерных тел качения. Этот вид разрушение является основной причиной потери работоспособности быстроходных подшипников.

- разрушение колец и тел качения из-за перекосов колец при монтаже или действия больших динамических нагрузок (скалывание бортов, раскалывание колец и др.).

Внешними признаками нарушения работоспособности подшипников являются: потеря точности вращения, повышенный шум, повышенное сопротивление вращению.

При проектировании подшипниковых узлов учитывают следующие факторы:

- назначение узла;
- условия эксплуатации (величины и направления действующих нагрузок, состояние внешней среды, температурные условия и т. п.);
- условия общей компоновки;
- технологические возможности обработки деталей узла.

Эти факторы влияют на выбор типоразмера подшипника, конструкции вала и корпусов подшипников, на способ установки и крепления подшипников, выбор системы уплотнения, смазочного материала, на степень точности изготовления деталей. Рациональное решение всего комплекса вопросов, возникающих при проектировании, должно обеспечить нормальную работу подшипникового узла.

Подшипниковые узлы должны отвечать следующим техническим требованиям:

- все детали подшипникового узла должны обладать достаточной прочностью и жесткостью;
- конструкция подшипникового узла должна обеспечить нормальную работу подшипника;
- подвод смазочного материала, а также уплотнение в подшипниковых узлах должны соответствовать эксплуатационным требованиям;
- узел должен быть удобен в монтаже и демонтаже;
- обеспечивать надежность и долговечность с одновременным снижением стоимости проектируемого узла.

Жесткость посадочных мест обеспечивается достаточной толщиной гнезд корпусов, предназначенных для установки наружных колец, а также постановкой ребер жесткости.

Причиной заклинивания подшипников в узле могут быть температурные удлинения вала, возникновение значительной осевой нагрузки при неточно выдержанных линейных размерах вала из-за непродуманной взаимной установки подшипников. Прогибы валов, несоосность посадочных мест могут также служить причиной заклинивания. В момент движения это чревато неприятными последствиями. Предотвращение этого достигается различными мероприятиями.

При выборе типа подшипника целесообразно прежде всего рассматривать возможность применения радиальных однорядных шарикоподшипников, как наиболее простых в эксплуатации и дешевых.

Применение других типов всегда должно быть обосновано. Так, например, в червячных передачах для вала червячного колеса следует применять конические подшипники, что обусловлено требованиями к жесткости опор. Если по условиям эксплуатации можно применять как радиально-упорные конические роликоподшипники, так и радиально-упорные шарикоподшипники, то надо применять первые, так как стоимость их ниже.

При проектировании подшипниковых узлов принципиальное значение имеет сопряжение (посадка) внутренних колец с валом и наружных с корпусом. Поскольку подшипники являются стандартными узлами, то валы и корпуса следует приспособлять к ним. Внутренние кольца сажают на вал по системе отверстия, а наружные в корпус по системе вала (рис. 1). При том, что поле допусков внутреннего кольца направлено не в тело, а к центру, посадки на вал получаются более плотными, чем обычно в системе отверстия.

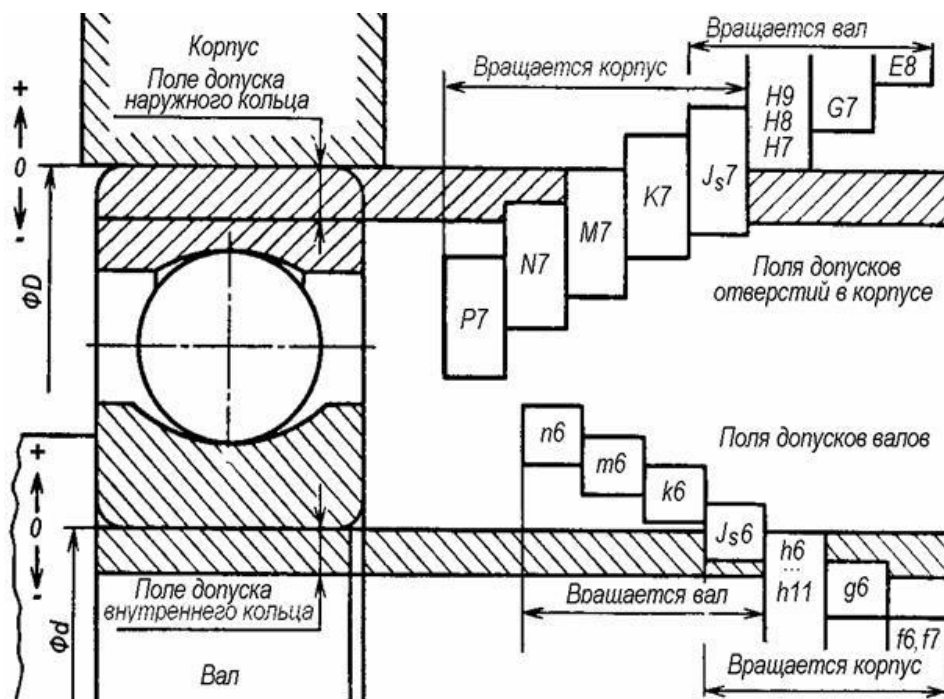


Рис. 1. Поля допусков вала и корпуса при посадке подшипника

При выборе посадки необходимо обеспечить неподвижное соединение того кольца подшипника, которое сопрягается с вращающейся частью машины, передающей внешнее усилие на подшипник. В противном случае оно будет обкатываться и проскальзывать по посадочному месту, что приведет к его износу и выходу из строя подшипника. В то же время посадка должна быть с минимальным натягом, чтобы зазоры между кольцами и телами качения не претерпевали значительных изменений. Второе кольцо подшипника, сопрягающееся с неподвижной частью машины, устанавливают с небольшим зазором или с очень небольшим натягом для облегчения осевых перемещений кольца при монтаже, температурных деформациях вала и при регулировке зазоров в подшипниках. Кроме того, такой вид сопряжения позволяет кольцу под действием толчков и вибраций периодически поворачиваться вокруг оси подшипника, вследствие чего в работе участвует не ограниченный участок кольца, а вся дорожка качения.

В зависимости от режима работы машины, чем больше нагрузка и сильнее толчки, тем более плотными должны быть посадки. Чем быстрее машина (меньше нагрузки, выше температуры), тем посадки должны быть свободнее.

Посадки роликоподшипников требуются более плотные в связи с большими нагрузками. Посадки радиально-упорных подшипников плотнее, чем у радиальных, у которых посадочные натяги искажают зазоры. Посадки крупных подшипников из-за больших сил назначают плотнее, чем у средних и мелких.

Рекомендации по выбору посадок по мере роста нагрузок в опорах можно сформулировать следующим образом [1]:

- допуски валов при вращающемся вале – js6; k6; m6; n6;
- допуски валов при вращающемся корпусе – g6; h6;
- допуски корпуса при вращающемся вале – H7; H6; Js7; Js6; K7;
- допуски корпуса при вращающемся корпусе – K7; M7; N7; P7.

Недостатками подшипников качения являются:

- ограниченная возможность применения при очень больших нагрузках и высоких скоростях;
- непригодность для работы при значительных ударных и вибрационных нагрузках из-за высоких контактных напряжений и плохой способности демпфировать колебания;
- значительные габаритные размеры в радиальном направлении и масса;
- шум во время работы, обусловленный погрешностями форм;
- сложность установки и монтажа подшипниковых узлов;
- повышенная чувствительность к неточности установки;
- высокая стоимость при мелкосерийном производстве уникальных по размерам подшипников.

При проектировании узла вал – подшипник перед конструктором стоит задача выбора типа опоры скольжения или качения. При возможности обеспечения жидкостного режима смазывания в узле можно рекомендовать опоры с подшипниками скольжения, имеющими следующие преимущества по сравнению с подшипниками качения [2]: простота конструкции и компоновки; незначительные габаритные размеры; способность выдерживать большие радиальные и ударные нагрузки; возможность ремонта и низкая стоимость подшипника скольжения, особенно при больших диаметрах. Увеличение угловой скорости вала, имеющего подшипники качения, резко снижает их долговечность. Вследствие малой площади поверхности рабочих элементов подшипников качения эти опоры оказываются более жесткими, что является одной из причин шума, а иногда и вибрации узла, особенно при больших угловых скоростях.

В ряде случаев заменить подшипники скольжения на подшипники качения нельзя. Кольца подшипников качения – цельные (неразъемные). Это делает их непригодными для монтажа в некоторых случаях, например, на шатунных и коренных (промежуточных) шейках неразборных коленчатых валов и др.

В современном машиностроении применение подшипников скольжения ограничено.

Достоинства подшипников скольжения:

- сохранение работоспособности при высоких угловых скоростях валов (газодинамические подшипники в турбореактивных двигателях при  $n > 10\,000$  об/мин);
- при больших скоростях вращения - при необходимости точного центрирования осей;
- выдерживание больших радиальных нагрузок;
- возможность изготовления разъемной конструкции, что допускает их применение для коленчатых валов;



- небольшие габариты в радиальном направлении, что позволяет применять в машинах очень малых и очень больших габаритах;
- сохранение работоспособности в особых условиях (в химически агрессивных средах, воде, при значительном загрязнении);
- бесшумность работы;
- виброустойчивость;
- простота изготовления и ремонта.

Недостатки подшипников скольжения:

- большое изнашивание вкладышей и цапф валов из-за трения;
- необходимость постоянного ухода и большого расход дорогих смазочных материалов, необходимость его очистки и охлаждения;
- значительные потери на трение в период пуска и при несовершенной смазке.
- значительные габариты в осевом направлении (длина вкладышей может достигать  $3d$ , где  $d$  – диаметр цапфы вала).

Кроме того, следует иметь в виду, что массовое производство подшипников скольжения не организовано.

Подшипники скольжения следует применять там, где нельзя применить подшипники качения, а именно:

- а) когда подшипник должен быть разъемным по оси (например, подшипники средних шеек коленчатого вала);
- б) для очень больших нагрузок, когда подходящих стандартных подшипников качения подобрать нельзя;
- в) для сверхбыстроходных валов, где центробежные силы инерции не допускают применения подшипников качения;
- г) для работы в сильно загрязненной среде или воде.

Область применения:

- Для валов с ударными и вибрационными нагрузками (двигатели внутреннего сгорания, молоты и др.).
- Для коленчатых валов, когда по условиям сборки необходимы разъемные подшипники.
- Для валов больших диаметров, для которых отсутствуют подшипники качения.
- Для высокоскоростных валов, когда подшипники качения непригодны вследствие малого ресурса (центрифуги и др.).
- При очень высоких требованиях к точности и равномерности вращения (шпиндели станков и др.).
- В тихоходных машинах, бытовой технике.
- При работе в воде и агрессивных средах, в которых подшипники качения непригодны.

Распространенное мнение, что подшипники скольжения дешевле подшипников качения, глубоко ошибочно.

Характерные дефекты и поломки подшипников скольжения вызваны трением:

- температурные дефекты (заедание и выплавление вкладыша);
- абразивный износ;
- усталостные разрушения вследствие пульсации нагрузок.

При всём многообразии и сложности конструктивных вариантов подшипниковых узлов скольжения принцип их устройства состоит в том, что между корпусом и валом устанавливается тонкостенная втулка из антифрикционного материала, как правило, бронзы или бронзовых сплавов, а для малонагруженных механизмов из пластмасс.

Большинство радиальных подшипников имеет цилиндрический вкладыш, который, однако, может воспринимать и осевые нагрузки за счёт галтелей на валу и закругления кромок вкладыша. Подшипники с коническим вкладышем применяются редко, их используют при небольших нагрузках, когда необходимо систематически устранять («отслеживать») зазор от износа подшипника для сохранения точности механизма.

Таким образом при проектировании узлов машин и механизмов необходимо учитывать в комплексе требования предъявляемые к подшипнику и его возможности. Кроме проведения правильных проектных расчетов необходимо учитывать способы проведения смазочных операций от которых зависит надежность работы подшипниковых узлов. Основное назначение смазочных материалов – уменьшение износа трущихся деталей и снижение затрат энергии на преодоление трения. Кроме этих функций, смазочные материалы выполняют и другие: отводят тепло от трущихся деталей, предохраняют детали от коррозии, очищают поверхности трения от продуктов износа и других примесей, герметизируют узлы трения [5]. Показатели качества для всех видов смазок следующие: внешний вид, содержание воды и механических примесей, коррозионная активность. Показатели качества для отдельных видов смазок – предел прочности; температура каплепадения; эффективная вязкость; содержание свободных щелочей и органических кислот; коллоидная и механическая стабильность; термоупрочнение; испаряемость; содержание водорастворимых кислот и щелочи; показатели защитных, противозадирных и противоизносных свойств; растворимость в воде [3, 4].

Из приведенного выше следует, что проведение правильного проектного расчета с обоснованным выбором вида, типа, и серии подшипника, а так же надлежащее техническое обслуживание в процессе эксплуатации обеспечивает высокую надежность подшипникового узла в частности и всего механизма в целом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3 т. / Под ред. И.Н. Жестковой. – 8-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – Т. 2. – 912 с.
2. Леликов О. П. Основы расчета и проектирования деталей и узлов машин. Конспект лекций по курсу «Детали машин». – М.: Машиностроение, 2002. – 440 с.
3. Скойбеда А. Т., Кузьмин А. В., Макейчик Н. Н. Детали машин и основы конструирования: Учеб / Под общ. ред. А. Т. Скойбеды. – Мн.: Вышэйшая школа, 2000. – С. 426. – 584 с.
4. Зарубин В.П., Легкова И.А. Влияние смазочных материалов на процесс трения и изнашивания в узлах трения пожарной техники NovaInfo.Ru – 2016. - №53 (т.2). – С. 34-36.
5. Зарубин В.П. Общие вопросы трения и изнашивания деталей пожарной техники NovaInfo.Ru – 2016. - №53 (т.2). – С. 16-18.

УДК 621.310

**И. А. Шургин, В. А. Полетаев**

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

## ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОДШИПНИКОВ

**Ключевые слова:** магнитные подшипники, магнитном поле, статор, магнитный подвес, электромагнит.

**Аннотация:** рассмотрен принцип действия магнитных подшипников, их преимущества и недостатки. Приведена система управления магнитными подшипниками. Даны рекомендации применения магнитных подшипников.

*I. A. Shurygin, V. A. Poletaev*

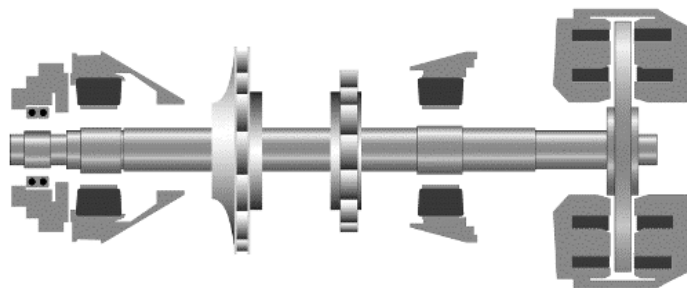
## APPLICATION OF MAGNETIC BEARINGS

**Keywords:** magnetic bearings, magnetic field, stator, magnetic suspension, electromagnet.

**Abstract:** the principle of operation of magnetic bearings, their advantages and disadvantages are considered. The control system of magnetic bearings is given. Recommendations of application of magnetic bearings are given.

Принцип действия магнитных подшипников основывается на эффекте левитации ротора машины в магнитном поле. Вал в таких подшипниках, в прямом смысле слова, висит в мощном магнитном поле создаваемом статорными катушками электромагнитов. Система датчиков постоянно отслеживает положение вала в осевом и радиальных направлениях и подает сигналы на позиционные магниты статора, корректируя силу притяжения с той или иной стороны.

Два конических магнитных подшипника либо два радиальных и один осевой магнитные подшипники, позволяют бесконтактно подвесить ротор. Система управления подвесом может быть аналоговой или цифровой. Так обеспечивается высокая точность удержания, высокая грузоподъемность, и регулируемая жесткость подшипника на магнитном подвесе (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема магнитных подвесов

Магнитный подвес состоит из 2-х отдельных частей: магнитного подшипника (МП) и электронной системы управления. МП состоит из электромагнитов (силовых катушек 1), притягивающих ротор 2 (рис. 2).

Основными компонентами магнитного подвеса является радиальный магнитный подшипник (РМП) и осевой магнитный подшипник (ОМП), которые устанавливаются на валу вращения какого либо изделия.

Ротор радиального подшипника, оснащенный ферромагнитными пластинами, удерживается магнитными полями, создаваемыми электромагнитами, расположенными на статоре.

Ротор переводится в подвешенное состояние в центре, не соприкасаясь со статором. Положение ротора контролируется индуктивными датчиками. Они обнаруживают отклонение относительно номинального положения с погрешностью в единицы микрометров, подают корректирующие сигналы в систему управления, которая управляет током в электромагнитах для возвращения ротора в его номинальное положение (рис. 3).



Рис. 2. Структура магнитного подшипника

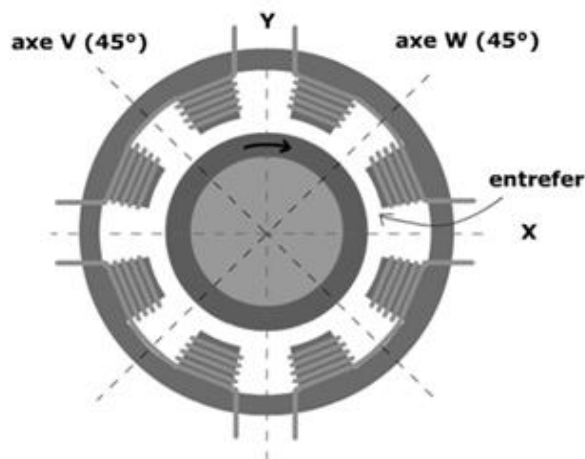


Рис. 3. Схема расположения электромагнитов на РМП

Четыре или более катушки, размещенные по осям V и W, и смещенные под углом  $45^\circ$  от осей X и Y, удерживают ротор в центре статора, поэтому контакт между ротором и статором отсутствует, зазоры составляют: радиальный (0,5-1) мм; осевой зазор (0,6-1,8) мм.

Для удержания от смещения в процессе работы ротора машины в осевом направлении служит упорный подшипник. Упорный подшипник работает по такому же принципу как и опорный, но выполнен в другом конструктиве (рис. 4). Электромагниты в форме несъемного кольца располагаются по обеим сторонам смонтированного на валу упорного диска. Электромагниты закрепляются на статоре. Упорный диск насаживается на ротор (например, методом горячей посадки). Осевые датчики положения, как правило, расположены на концах вала.

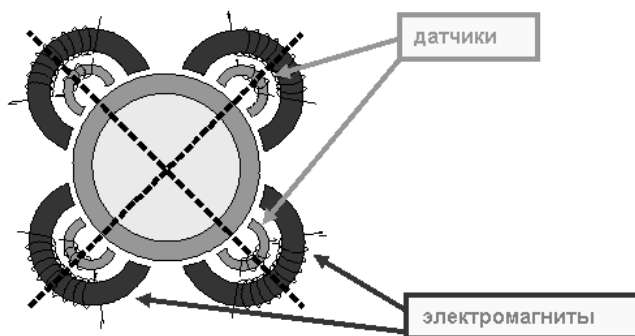


Рис. 4. Схема расположения электромагнитов на ОМП

Страховочные подшипники используются для поддержания ротора во время остановки машины и в случае отказа системы управления МП. В нормальном рабочем режиме данные подшипники остаются в неподвижном состоянии. Расстояние между вспомогательными подшипниками и ротором, как правило, равно половине воздушного зазора, однако, при необходимости, оно может быть уменьшено. Вспомогательные подшипники это, главным образом, шариковые подшипники с твердой смазкой.

Максимальная скорость вращения радиального магнитного подшипника зависит только от характеристики электромагнитных пластин ротора, а именно сопротивления пластин центробежной силе. При использовании стандартных пластин можно достичь значений окружной скорости до 200 м/с. Скорость вращения же осевого магнитного подшипника ограничена прочностными характеристиками материала упорного диска. Окружная скорость в 350 м/с может быть достигнута при использовании стандартного оборудования.

Нагрузка МП зависит от используемого ферромагнитного материала, диаметра ротора и продольной длины статора подвеса. Максимальная удельная нагрузка МП, изготовленного из стандартного материала, составляет 9 кПа. Эта максимальная нагрузка является меньшей по сравнению с соответствующими значениями классических подшипников, однако, высокая допускаемая окружная скорость позволяет увеличивать диаметр вала так, чтобы получить максимально большую поверхность контакта с ротором и, следовательно, такой же предел нагрузки, как и для классических подшипников (гидродинамические) без необходимости увеличения его длины.

Неоспоримым преимуществом магнитных подшипников является полное отсутствие трущихся поверхностей, т.е., износа, трения, и, главное, отсутствие вылета из рабочей зоны частиц, образующихся в процессе работы обычных подшипников. Активные магнитные подшипники отличает высокая грузоподъемность и механическая прочность. Их можно использовать при высоких скоростях вращения, а также в безвоздушном пространстве и при различных температурах.

Главный недостаток магнитных подшипников - зависимость от магнитных полей. Исчезновение поля может привести к катастрофической поломке системы, поэтому их используют со страховочными подшипниками. Обычно в качестве них используют подшипники качения, способные выдержать до десяти падений ротора на рабочих скоростях вращения, после этого требуется их замена. Также для управления магнитным подшипником требуется сложная система управления. Наконец, материалоемкость бесконтактного подшипника оказывается высокой, потому что площадь несущей поверхности для поддержания достаточной магнитной силы должна быть обширной — сердечник статора подшипника получается большим и тяжелым.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Интернет – ресурс: «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна» <http://www.vniiem.ru>.
2. Интернет – ресурс: компания S2M, посвященная описанию РМП, <http://www.turbokholod.ru/content/c12-page1.html>.

УДК 614.842

***Р. А. Юрченко***

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РЕШЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНОЙ РАЗВЕДКИ В МЧС РОССИИ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ARDUINO И RASPBERRY PI**

**Ключевые слова:** Ардуино, Raspberри, микроконтроллеры, Беспилотные модули, разведка, МЧС России, телеметрия.

**Аннотация:** Рассмотрен вопрос альтернативных решений проведения разведки с помощью беспилотных комплексов на базе микроконтроллеров Arduino и Raspberry PI. Данной статьёй сделан акцент на доступность создания робототехнических систем (РТС), их удобство применения в МЧС России в профилактических целях и при наступлении чрезвычайных ситуаций.

***R. A. Yurchenko***

## **ALTERNATIVE INTELLIGENCE SOLUTIONS IN EMERCOM OF RUSSIA BASED ON ARDUINO AND RASPBERRY PI MICROCONTROLLERS**

**Keywords:** Arduino, Raspberry, microcontrollers, Unmanned modules, intelligence, EMERCOM of Russia, telemetry.

**Abstracts:** The question of alternative solutions for exploration using unmanned systems based on microcontrollers Arduino and Raspberry PI. This article focuses on the availability of robotic systems (RS), their ease of use in the Russian emergencies Ministry for preventive purposes and in emergency situations.

Как правило, человеческий фактор при возникновении пожара или аварий техногенного характера является первостепенным. Традиционно при проведении разведки применяются, в подавляющем случае, человеческие ресурсы. Однако при возникновении чрезвычайной ситуаций, таких как аварии на атомных электростанциях, нефтехимических заводах, лесные пожары, занимающие большую территорию, где не имеется возможность оперативно собрать объективные сведения о происшествии обычными методами можно применить беспилотные летательные аппараты и беспилотные наземные транспортные средства с подвижным мобильным телеметрическим комплексом.

Данные комплексы построены на архитектуре приёма, обработки и выводе информации. По большому счёту – это компьютеры начального уровня. Конечно, их вычислительные возможности не столь высоки, как, например, у рабочих станций или ноутбуков с процессорами Intel линейки i3, i5, i7, i9, но прекрасно справляющиеся с поставленными перед ними задачами, а именно:

Телеметрическое управление беспилотными модулями

Получение информации с помощью регистраторов и её передача по выделенным каналам для дальнейшего анализа в ЦУКС или другие контролирующие отделы.

К немаловажным факторам внедрения данных электронных компонентов относятся:

- научно-технические разработки в области радиоэлектроники, их доступностью;
- ежегодно возрастающее количество факторов техногенной опасности;
- огромной территории Российской Федерации;
- финансовой составляющей, позволяющей конечному продукту быть лидером в линейке «цена – качество – эффективность».

Из многообразия интегральных модулей хотелось бы выделить две, довольно перспективные на текущий момент, модели: *ARDUINO* и *RASPBERRY PI* (рис. 1). Это аппаратно-программные средства для построения простых систем автоматики и робототехники, ориентированная на непрофессиональных пользователей. Программная часть состоит из бесплатной программной оболочки для написания программ, их компиляции и программирования аппаратуры [1, 2].

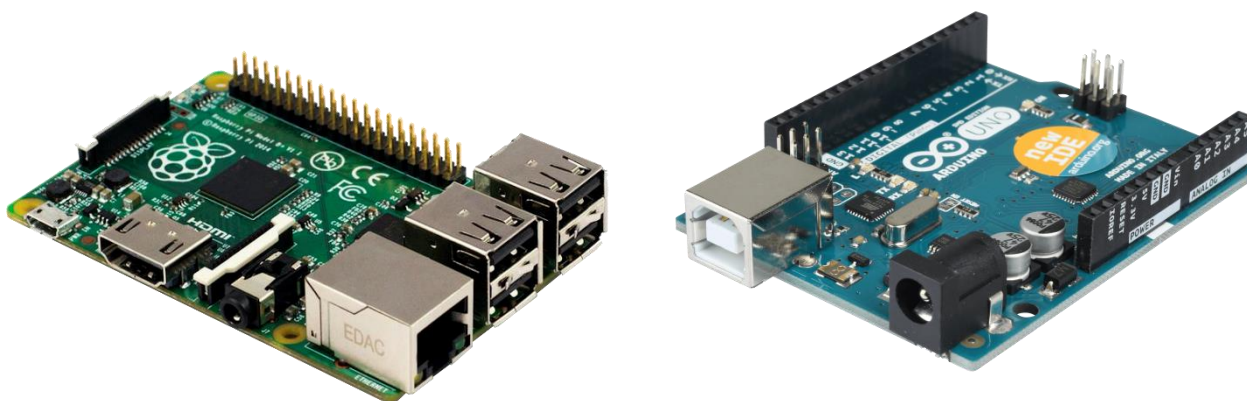


Рис. 1. Интегральные модули Arduino Uno и Raspberry PI 3 model b + Arduino

Arduino – это семейство программируемых микроконтроллеров для создания средств автоматики и робототехники. Область его применения довольно велика: начиная от подвижных детских игрушек, заканчивая сложными аппаратными комплексами сбора информации и её дальнейшая обработка, например:

– Система управления «Умный дом» (рис. 2). Помимо управления освещением имеется возможность, при наличии необходимого оборудования, регулировать температуру в помещениях, устанавливать охранные системы с допустимостью управления с помощью смартфона, подключив его к облачной системе передачи данных.

– Беспилотные наземный и летательный аппарат (рис. 3). Универсальное техническое средство для сбора информации непосредственно с места чрезвычайной ситуации [3].

Уникальность данного решения в том, что компоненты беспилотных модулей доступны для общественного пользования. Например, себестоимость только лётного модуля составляет на март 2019 года около 36000 рублей, в то время, как импортные аналоги такого класса стоят от 150000 рублей без возможности доустановки на борт дополнительного оборудования (рис.4).

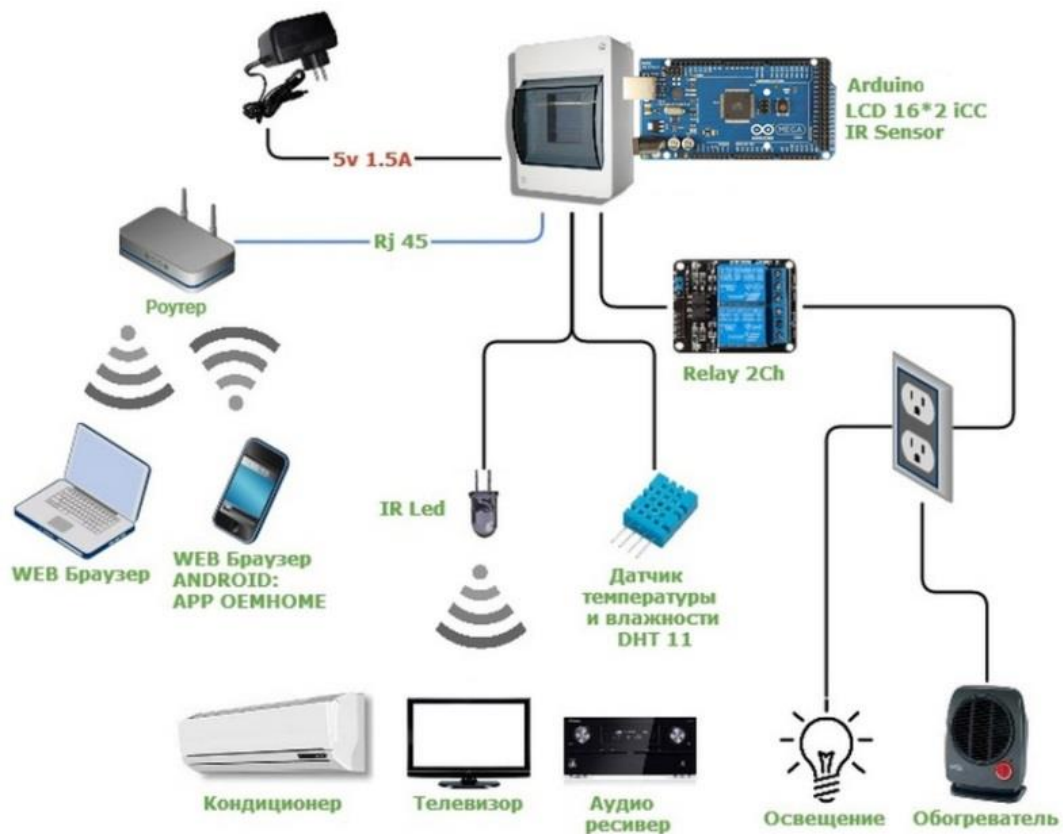


Рис. 2. Принцип работы системы «Умный дом» на базе Arduino Mega 2560

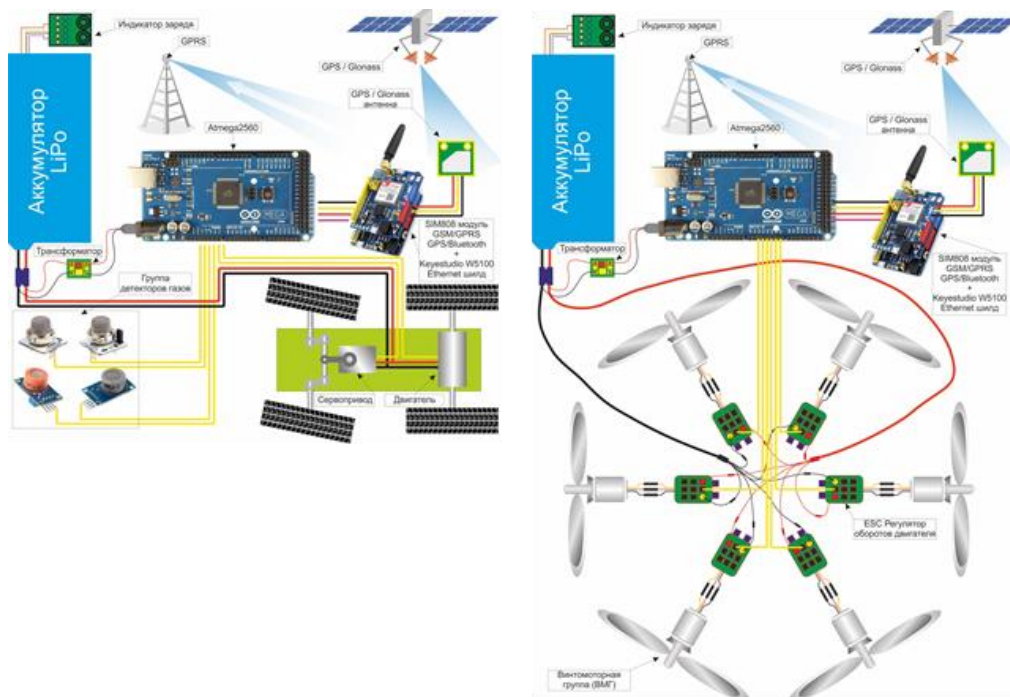


Рис. 3. Схема компоновки основными электронными компонентами беспилотных летательного и подвижного модулей



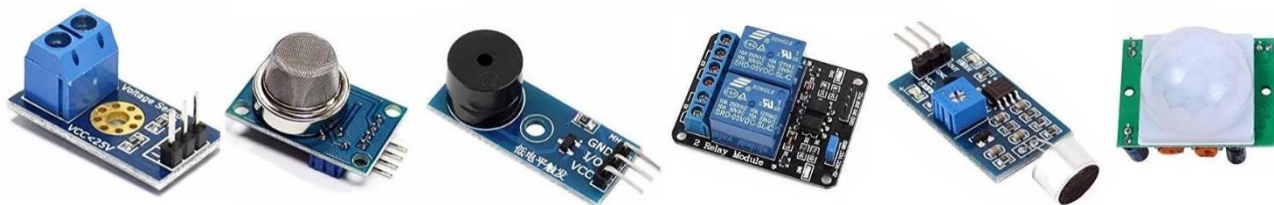


Рис. 4. Некоторые регистраторы (датчики), совместимые с Arduino

При внешней схожести Arduino и Raspberry Pi имеют много отличий.

Первое на что стоит обратить внимание – это то, что Raspberry Pi представляет собой полнофункциональный компьютер с установленной на неё операционной системой, например Raspbian OS, Ubuntu Mate, Windows 10 IoT, в то время как Arduino назвать компьютером очень сложно: скорее это «продвинутый» контроллер.

Raspberry Pi 3 Model B+ – одноплатный компьютер третьего поколения на основе 64-битного четырехъядерного ARM v8 Cortex-A53 процессора компании Broadcom SoC BCM2837 с тактовой частотой 1.2 ГГц, с двухъядерным графическим сопроцессор Video Core IV® Multimedia, что обеспечивает Open GL ES 2.0, аппаратное ускорение Open VG и 1080p30 H.264 декодирование. Модель RPi3 дополнена оперативной памятью SDRAM LPDDR2 на 1 Гб. Помимо Ethernet, устройство дополнено встроенным WiFi 802.11n и Bluetooth (поддержка Bluetooth 4.1 и Bluetooth Low Energy — BLE), антенну можно заметить установленную в левом верхнем углу WiFi/BT SMD.

В модели Raspberry Pi 3 Model B+ присутствует 40-пиновый разъем GPIO, среди которых есть следующие интерфейсы SPI, I<sup>2</sup>C, UART. Имеются интерфейсы дисплея MIPI DSI (Display Serial Interface), видеокamеры 15-pin MIPI CSI-2 (Camera Serial Interface), HDMI, комбинированный 3.5 мм аудио разъем и композитное видео, а справа возле 40-контактного разъёма GPIO есть место под двухконтактный разъем RUN для сброса [4].

При наличии данного устройства открываются широкие горизонты в направлении обеспечения комплексного сбора информации:

- Кроссплатформенность. Датчики, используемые в сборе схемы на базе Arduino применимы и к Raspberry Pi;

- Наличие на борту портов четырёх USB портов при использовании внешнего адаптера Wi-Fi позволяет развернуть полноценную Wi-Fi сеть на частотах 2,4 или 5 ГГц. С помощью неё появляется возможность, помимо передачи управляющих команд на устройство, передавать видеоконтент в высоком разрешении с наложением на него, снятого с регистраторов, информации (OSD – on screen display) (рис. 5).

Использование направленной Wi-Fi антенны даёт возможность увеличить радиус полёта до 11-13 км (в зависимости от условия погоды и ландшафта).

Фактор времени в случае возникновения чрезвычайной ситуации является основополагающим. Устройства мониторинга и разведки на базе микроконтроллеров Arduino и Raspberry Pi позволяют в кратчайшие сроки восполнить информационные пробелы, тем самым повысить уровень оперативного реагирования на проведение аварийно-спасательных работ и уменьшение экономического ущерба. И, что не мало важно, способствует не только развитию прогресса в этой области, но и значительно

экономит денежные средства в масштабах Российской Федерации, постепенно позволяя отказываться от приобретения дорогих и менее эффективных аппаратов подробного типа иностранного производства.

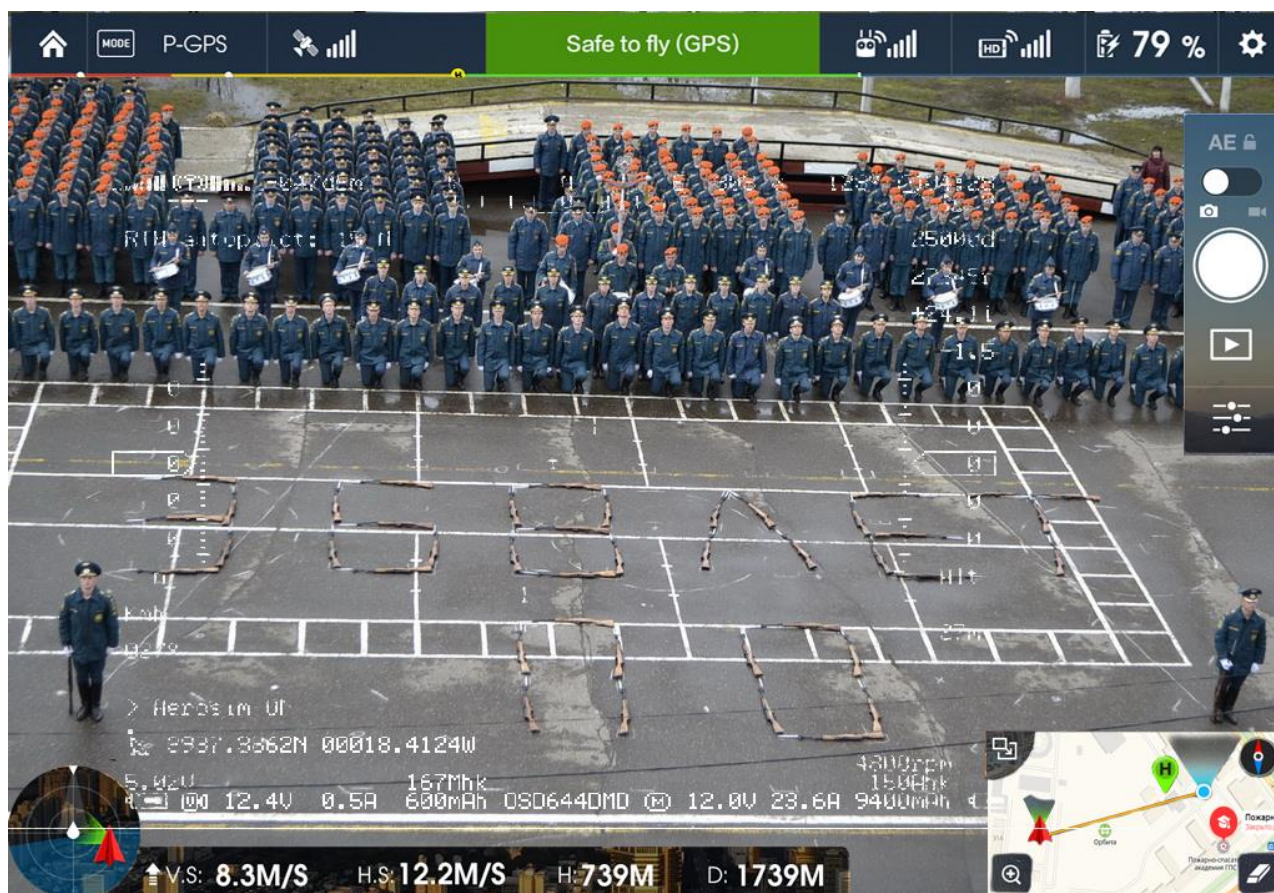


Рис. 5. Пример вывода информации, снятой с регистраторов на экран (OSD)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Arduino>.
2. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Raspberry\\_Pi](https://ru.wikipedia.org/wiki/Raspberry_Pi).
3. Юрченко Р.А., Топоров А.В., Кропотова Н.А., Иванов В.Е., Яковенко Т.А. Научный электронный журнал «Техносферная безопасность» 2018/№4 (21) ISSN 2311-3286. ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России.
4. Решение коллегии МЧС России от 12 ноября 2014 г. № 14/Г «Об использовании в подразделениях МЧС России робототехнических комплексов, беспилотных летательных аппаратов и дальнейшем развитии робототехники и технологий её применения».

## СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОЦЕССЫ

УДК 621.436

*А. В. Баранов*

ФГБОУ ВО Алтайский технический университет им. И.И.Ползунова

### УЛЬТРАЗВУКАВАЯ ДИАГНОСТИКА ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

**Ключевые слова:** акустическая эмиссия, трение, износ, заедание, граничное трение, кинематическая пара, приработка.

**Аннотация:** рассмотрен вопрос диагностики состояния трущихся поверхностей кинематических пар методом ультразвуковой акустической эмиссии. Показано, что состояние дискретных пятен контакта может быть оценено величинами параметров акустического излучения.

*A. V. Baranov*

### ULTRASOUND DIAGNOSTICS OF TRIBOSOCRUPITIONS ACOUSTIC EMISSION METHOD

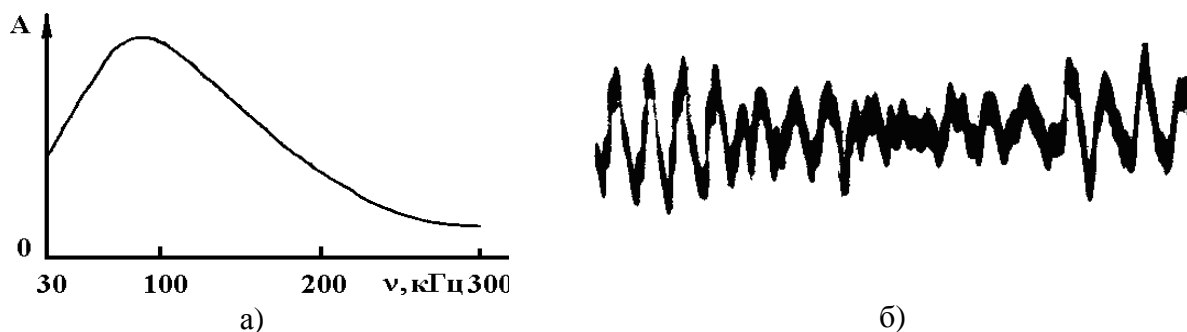
**Keywords:** acoustic emission, friction, wear, jamming, boundary friction, kinematic pair, extra running.

**Abstracts:** the question of diagnosing the state of the rubbing surfaces of kinematic pairs by the method of ultrasonic acoustic emission is considered. It is shown that the state of discrete contact spots can be estimated by the values of the parameters of acoustic radiation.

По статистике самыми уязвимыми элементами энергонагруженных механизмов являются подвижные сопряжения их деталей. Изменение внешних и внутренних условий иногда спонтанно приводят к их необратимому повреждению, с последующим цепным нарастающим выходом из строя других частей механизмов. С другой стороны, во многих случаях, катастрофические последствия можно предотвратить, диагностируя проблемные пары трения, заранее выявляя относительно резкие или постепенные нарастающие сопутствующие эффекты ухудшения работы уязвимых мест с последующим, возможно автоматическим, принятием мер по предотвращению опасных явлений. В этих условиях эффективен, развивающийся в последнее время, метод ультразвуковой акустической эмиссии (АЭ).

В настоящей работе представлены результаты амплитудно-частотной акустической диагностики состояния процессов на дискретных пятнах контакта поверхностей при приработке пар трения и режимах наступления заедания, которые могут быть эффективно использованы на практике.

Физическая картина генерирования и приема сигналов АЭ при трении шероховатых поверхностей заключается в эпизодическом деформировании контактирующих микронеровностей. Возмущения в виде деформационной волны распространяются по телу пары трения и, в нашем случае, воспринимаются пьезодатчиком, с последующей соответствующей частотной фильтрацией, обработкой и регистрацией сигнала [1] (рис. 1).



**Рис. 1.** Амплитудно-частотная характеристика (а) и характерный вид (б) осциллограммы АЭ (длительность развертки  $2 \cdot 10^{-4}$  с)

Связь между фактическим давлением и уровнем амплитуд акустического излучения (АИ) непосредственно вытекает из принятой модели генерирования сигналов. Заметим, что в поверхностном слое возникают не только нормальные, но и сдвиговые деформации, также создающие звуковую волну, однако иначе воспринимаемые датчиком. Принимая во внимание множественность источников АИ, а также сложную картину интерференции и отражений волн с изменением направления волновой поверхности в работе [2] экспериментально и теоретически сделан обоснованный вывод о том, что средняя амплитуда ( $A$ ) будет пропорциональна средней величине максимальных главных нормальных напряжений поверхностного слоя дискретных пятен контакта при этом

$$A \sim P_r(1+f),$$

где  $P_r$  - фактическое давление;  $f$  - коэффициент трения единичной фрикционной связи.

Таким образом, получая информацию о частоте и амплитуде АИ, можно фактически мгновенно судить о состоянии процессов на дискретных пятках контакта. Для примера рассмотрим кинетику приработки трибосопряжения, смазываемого смазкой Литол 24 (рис. 2) и развития заедания (рис. 3). При заедании изменяется также и спектральный состав АЭ (рис. 4).

В качестве диагностических параметров можно предложить безразмерное отношение  $K = A_{50}^* / A_{100}^*$ . Причем если  $K < 1$  – идет процесс нормального граничного трения. При  $K > 1$  - процесс заедания.

Начало развития заедания может характеризоваться другим безразмерным параметром –  $K_1 = A_{\text{пик}} / A_{\text{ср}}$ . Это отношение всегда больше 1. Чем он больше, и увеличивается во времени, тем вероятнее развитие заедания.

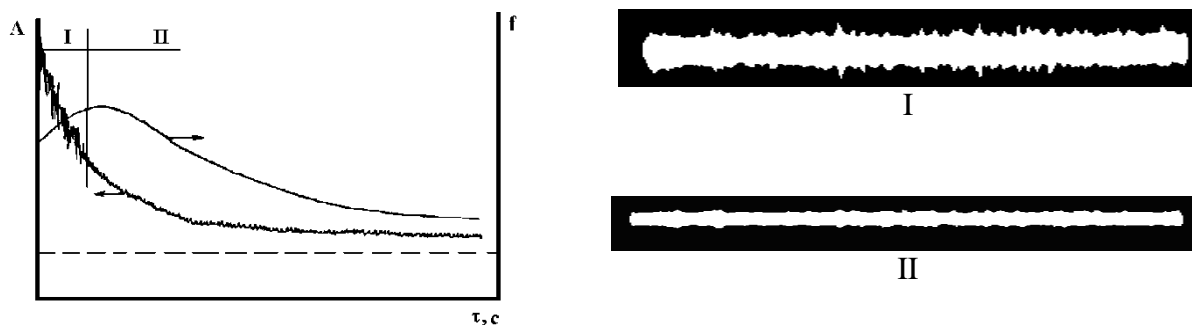


Рис. 2. Зависимость средней амплитуды АИ от времени приработки и внешний вид осциллограмм на соответствующих участках

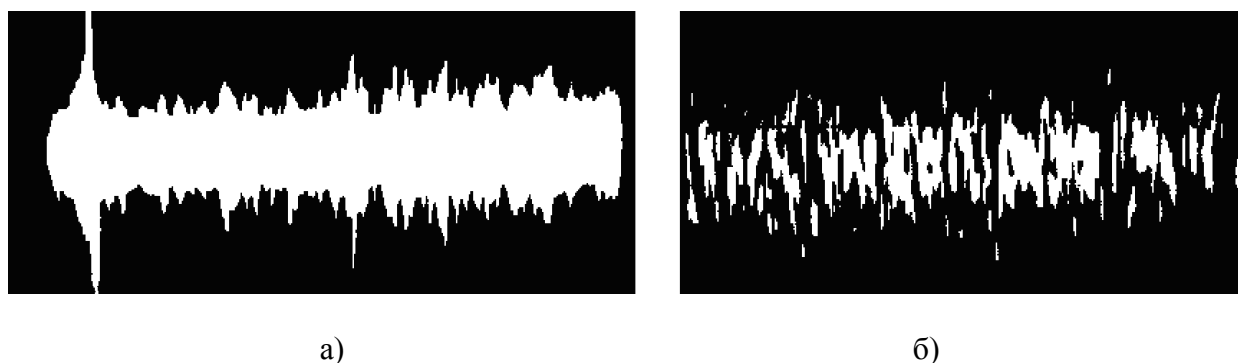


Рис. 3. Осциллограмма, начала, развития (а) и самого (б) процесса заедания (длит. развертки  $2 \cdot 10^{-3}$  с)

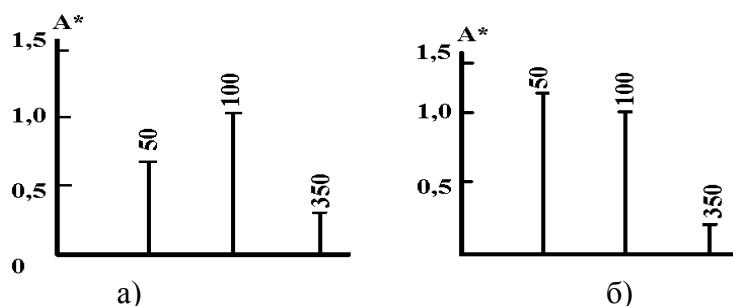


Рис. 4. Спектральный состав АИ при нормальной работе (а) и при заедании (б)

Оба указанных параметра являются безразмерными, поэтому не требуют привязки к конкретному сопряжению, проведению дополнительных тарировок. То есть они являются универсальными. Отметим, что для полного изучения явлений АЭ необходим более глубокий анализ ее параметров, выходящий за рамки возможностей использованной аппаратуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев, В.М. Акустические исследования работы трибосопряжений, смазываемых пластичными смазочными материалами / В.М. Лебедев, А.В. Баранов // Долговечность трущихся деталей машин. – М.: Машиностроение. – 1988. – №3. – С. 234-243.

2. Баранов, А.В. Высокочастотная акустическая диагностика работы пар трения / А.В. Баранов, В.А. Вагнер // Расчет, диагностика и повышение надежности элементов машин. – Барнаул.: АГТУ. – 2000. – № 2. – С. 87-89.

УДК 621.887

**А. В. Баранов**

ФГБОУ ВО Алтайский технический университет им. И.И.Ползунова

## МОДИФИКАЦИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Ключевые слова:** присадки, коэффициент трения, хемосорбция, граничное трение, адгезия.

**Аннотация:** рассмотрен вопрос повышения эффективности инактивных смазочных сред путем добавки к маслам присадок солей мягких металлов и жирных кислот.

*A. V. Baranov*

## MODIFICATION OF LUBRICATING MATERIALS

**Keywords:** additives, friction coefficient, chemisorption, boundary friction, adhesion.

**Abstracts:** the issue of increasing the effectiveness of inactive lubricants by adding to the oils additives of salts of soft metals and fatty acids.

Одним из актуальных и традиционных методов снижения сил трения и изнашивания на сегодняшний день является использование различных пленкообразующих легирующих компонентов, вводимых в состав смазочных материалов в виде присадок, не влияющих на первоначальные химические свойства самого исходного материала смазки. Эти присадки в процессе работы сопряжения образуют на поверхностях трения малопрочные адсорбированные слои высокомолекулярных веществ, либо более прочные хемосорбированные слои, как правило, соединений серы, хлора, фосфора и т.д. Особую группу занимают так называемые металлоплакирующие присадки, формирующие на трущихся поверхностях пленки мягких металлов, имеющие также экранную функцию, но более прочную.

На рис. 1 приведен внешний вид фрикционных поверхностей при использовании в смазочном материале металлоплакирующей присадки мелкодисперсного порошка чистой меди, наблюдаемый нами только в «закрытых» сопряжениях. Поверхность непосредственного контакта, в данных случаях, покрывается защитной пленкой меди почти полностью [1].

При этом исследования показывают, что при относительно временном снижении интенсивности изнашивания (иногда даже при «отрицательном») может наблюдаться некоторое повышение коэффициента трения [1].

Указанный положительный эффект компенсации износа, как то повышение «компрессии» в ДВС (также достаточно временном), широко разрекламирован рядом производителей «чудодейственных» присадок. Однако, на наш взгляд, этот способ повышения промышленной эффективности смазочных масел не является универсальным и полезным для широкого круга кинематических пар.



**Рис. 1.** Внешний вид поверхностей трения образцов возвратно-поступательного и вращательного трения

Согласно современным представлениям необходимым условием внешнего трения является увеличение сдвигового сопротивления при удалении от поверхности в глубину материала – «правило положительного градиента». Исходя из этих позиций, сдвиговая прочность модифицирующих защитных слоев не должна превышать прочности подложки и должна уменьшаться при удалении от основного материала.

В зависимости от режима для нормальной работы сопряжения в условиях внешнего трения необходимо различное модифицирование поверхности. В условиях легких режимов достаточно иметь адсорбированный слой (имеющий достаточно большую прочность на сжатие и минимальную на сдвиг), обеспечивающий малый коэффициент трения. Для повышения несущей способности таких слоев адсорбат должен иметь по возможности длинные полярные молекулы, образующий квазиполимерный одно-многомолекулярные адсорбционные слои.

Жесткие режимы требуют наличие более прочных слоев. В противном случае могут возникать местные ювенильные металлические связи, если не приводящие к задирам, то вызывающие общеинтегральное повышение сопротивление сдвигу.

Роль модифицированных слоев, в данном случае, заключается в способности насыщать свободные связи кристаллической решетки ювенильных поверхностей, обнажающихся в процессе пластической деформации при трении, препятствовать их схватыванию и разрушению на глубину. Это можно также обеспечить созданием металлоплакирующих слоев, но желательно, только в местах жесткого микроконтакта.

Таким образом, прочность и тип защитных слоев, их локализация, а следовательно и тип присадки, должен соответствовать локальному режиму трения. Ситуация осложняется тем, что распределение высот микронеровностей поверхностей имеет сложный стохастический характер, при этом, в одной паре будут иметь место легко- и тяжело нагруженные микроконтакты. Решению задачи обеспечения генерации соответствующих защитных слоев в реальных парах и посвящена данная работа.

Данная задача, с нашей точки зрения, может быть частично решена созданием на поверхности многослойной структуры третьего тела, расположив слои таким образом, чтобы прочность возрастала при приближении к основному материалу поверхности. Тогда при возможном разрушении верхних слоев, в работу вступают низлежащие слои - более прочные, хотя и имеющие большее сопротивление сдвигу.

В настоящей работе сделана попытка достичь данного эффекта применением в составе смазочного материала адсорбционного слоя жирной олеиновой кислоты  $C_8H_{17}CH=CH(CH_2)_7COOH$ .

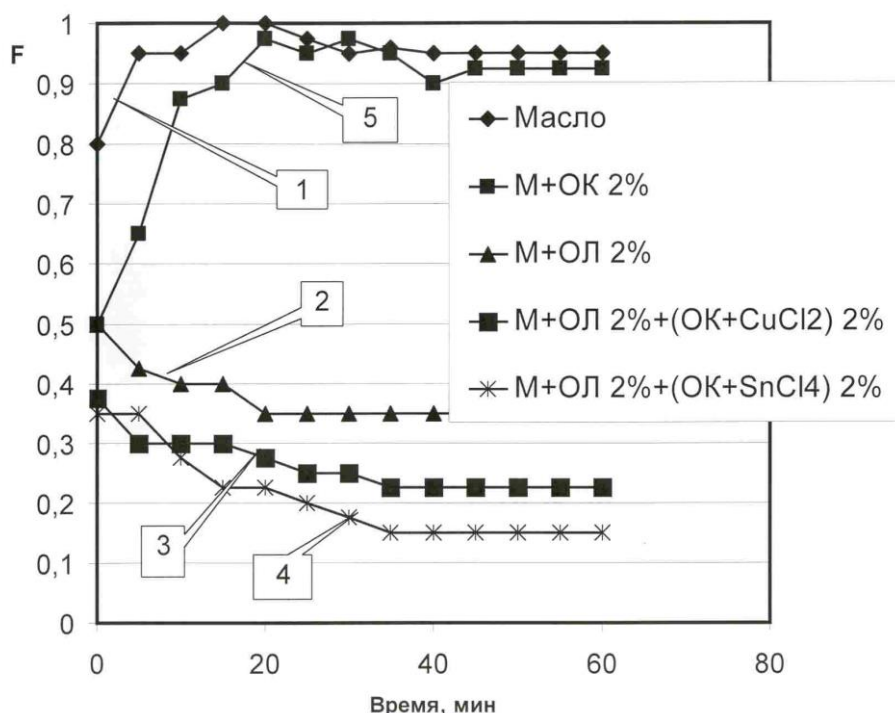
Эффект снижения коэффициента трения при использовании данного компонента в смазочном материале известен давно. Однако, непосредственный контакт олеиновой кислоты с основным материалом (даже с его поверхностными окислами), иногда вызывает ухудшение износных характеристик. Кроме того, данный слой непрочен при жестких микроконтактах.

Для экранирования разрушительного воздействия адсобата необходимы дополнительные возобновляемые нижележащие подслои. По этой причине смазочный материал был дополнительно легирован пленкообразующими компонентами - неорганическими соедине-

ниями хлоридов меди ( $\text{CuCl}_2$ ) или олова ( $\text{SnCl}_4$ ), генерирующими возобновляемые подслои в условиях жестких микроконтактов.

Задача осложнялась тем, что галогениды металлов практически нерастворимы в минеральных маслах. В нашем случае для получения растворимой среды был применен одноатомный спирт - октанол, который относительно хорошо растворяет соли и совмещается с маслами, давая стабильные композиции.

Сравнительные испытания базового химически инактивного индустриального масла И-Г-А-32А и модифицированного проводились на машине радиального трения по схеме: ролик-колодка пары сталь-сталь с использованием добавки к маслу высокомолекулярной олеиновой кислоты и комплексом присадок [2, 3]. Результаты изменения относительных сил трения в функции времени приведены на рис. 2.



**Рис. 2.** Кинетика относительного коэффициента трения в функции времени работы сопряжения

Кривая 1 соответствует кинетике изменения относительных сил трения, предварительно приработанного сопряжения, смазываемого базовым смазочным материалом (М). Базовый смазочный материал представляет собой химически инактивное индустриальное масло И-Г-А-32А. Величина относительных сил трения, соответствующая установившемуся режиму данного случая принята за 1. Добавка к маслу высокомолекулярной жирной олеиновой кислоты (ОЛ) ведет к значительному падению сил трения за счет создания упорядоченного квазиполимерного адсорбционного слоя (кривая 2). Дополнительное введение растворенных в октанол хлоридов, создающих добавочные подслои, приводит к большему эффекту (кривая 3 и 4). Картина последнего эффекта нам представляется следующим образом.

Жесткие условия микроконтактов и разрушение адсорбционного слоя, сопровождаемое температурными всплесками, приводят к местному разложению солей с последующим формированием полимолекулярного слоя хлоридов железа ( $\text{FeCl}_2$   $\text{FeCl}_3$ ). Наличие активных свободных ионов металла, после разложения вводимой соли, влечет к образованию дополнительной металлоплакирующей пленки, имеющей более низкий предел сдвига по отношению



к стали, формирующейся только в проблемных местах. Лучшие антифрикционные свойства олова объясняются неспособностью этого металла к наклепу. В отличие от меди оно неспособно к образованию твердых упрочненных коагулятов и жесткому воздействию на поверхность.

Кривая 5, соответствующая маслу, с введенным в него октанолом (ОК), показывает, что сам низкомолекулярный спирт, использованный в качестве растворителя, не образует достаточно эффективной адсорбционной пленки и на режим трения не влияет.

Таким образом, используя указанные композиционные присадки, возможно снижение потерь на трение до 5 раз и могут быть рекомендованы для использования в определенном круге узлов трения.

Отметим, что аналогичные результаты были получены и в паре сталь-алюминий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лебедев, В.М. Об использовании в узлах трения пластичных смазочных материалов / В.М. Лебедев, А.В. Баранов // Долговечность трущихся деталей машин. 1989. – Вып.4. – С. 30-36.
2. Баранов, А.В. Повышение эффективности смазочных сред / А.В. Баранов, В.А. Вагнер, С.В. Тарасевич // Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы 7-й международной научно-технической конференции, 29-31 мая 2007 г., г. Ялта. – Киев: АТМ Украины, 2007. – С. 17-19.
3. Баранов, А.В. Повышение эффективности смазочных сред / А.В. Баранов, В.А. Вагнер, С.В. Тарасевич // Тяжелое машиностроение. 2007. – №12. – С.24-26.

УДК 621.887

**А. В. Баранов**

ФГБОУ ВО Алтайский технический университет им. И.И.Ползунова

### МЕТАЛЛОНАПОЛНЕННЫЕ ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Ключевые слова:** присадки, коэффициент перекрытия, кислород, медь, олово.

**Аннотация:** рассмотрено использование металлонаполненных пластических смазочных материалов в различных условиях.

**A. V. Baranov**

### METAL-FILLED PLASTIC LUBRICANT MATERIALS

**Keywords:** additives, overlap ratio, oxygen, copper, tin.

**Abstracts:** the use of metal-filled plastic lubricants under various conditions is considered.

В целях увеличения ресурса пар трения в машиностроении все более широкое применение находят металлонаполненные (металлоплакирующие) пластичные смазочные материалы (МПСМ), позволяющие значительно улучшать триботехнические свойства смазываемых ими сопряжений. Однако, положительный эффект достигался

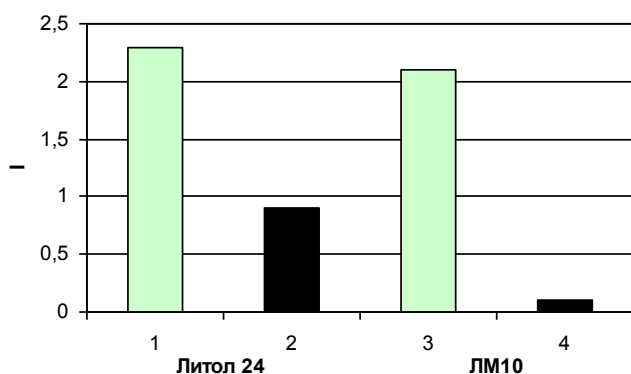
далеко не всегда. В некоторых случаях применение МПСМ приводило к противоположному эффекту – к катастрофическому изнашиванию и заеданию.

Создать универсальный смазочный материал, обладающий хорошими трибологическими свойствами в различных условиях эксплуатации, представляется нам задачей сложной и практически вряд ли осуществимой. Выбор типа смазочного материала для конкретных типов узлов трения необходимо осуществлять с учетом физико-химических процессов, протекающих в зоне фрикционного контакта.

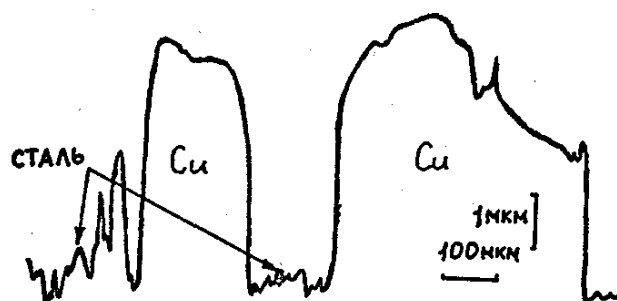
К металлоплакирующим смазочным материалам относятся такие, которые обеспечивают получение на поверхностях трения защитные мягкометаллические пленки, регенерирующиеся по мере их износа. Нами установлено, что немаловажным фактором в этом процессе является кислород, растворенный в смазочной среде.

В качестве доказательств последнего вывода приведем результаты сравнительных испытаний пар торцевого трения (сталь 45 + сталь 45) в условиях окружающего атмосферного воздуха и в вакууме, Смазывание испытуемых сопряжений осуществлялось пластичными смазками: Литол 24 и Литол 24 + 10 мас.% мелкодисперсного порошка меди (ЛМ10). Результаты испытаний приведены на рис. 1.

Установлено, что при вакуумировании рабочей камеры интенсивность изнашивания испытанных трибосопряжений снижалась, как это и характерно для нормального механохимического (окислительного) изнашивания [1]. Причем для пары трения, смазываемой МПСМ, это снижение оказалось более существенным. В условиях вакуумирования трущиеся поверхности, смазываемые МПСМ, покрывались сплошной пленкой меди толщиной порядка 1 мкм, в то время как в атмосферных условиях наблюдались лишь незначительные «островки» меди толщиной порядка 4 мкм (рис. 2) в сильно упрочненном состоянии ( $HV \approx 250$ ).



**Рис. 1.** Влияние вакуума на интенсивность изнашивания ( $I \cdot 10^{-10}$ ) сопряжения сталь 45–сталь 45; темные столбцы – трение в условиях вакуума ( $1,33 \cdot 10^{-1}$  Па)



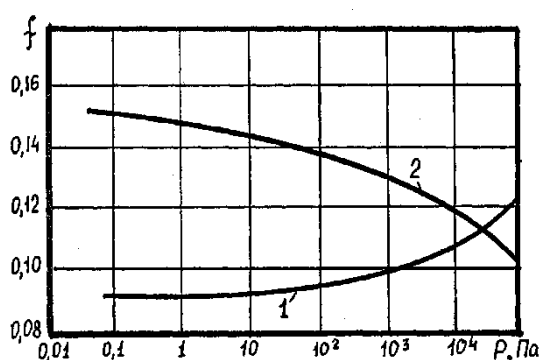
**Рис. 2.** Профилограмма поверхности трения при работе сопряжения в условиях атмосферного давления. Смазочный материал: ЛМ10

При испытаниях было также установлено, что в вакууме коэффициент трения трибосопряжения, смазываемого МПСМ, увеличивался, а при его смазывании чистым материалом Литол 24, напротив, снижался (рис. 3).

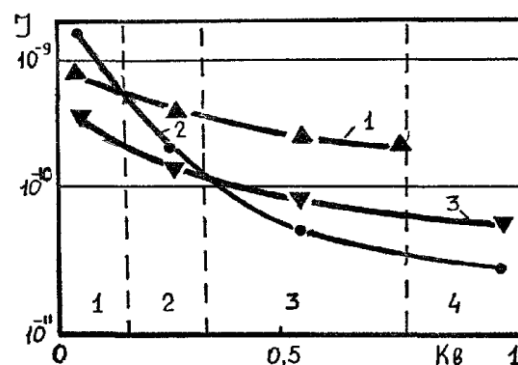
Известно, что условия близкие к вакуумным в зоне фрикционного контактирования возникают не только при низких давлениях окружающей среды, но и в случае,

когда коэффициент перекрытия трибосопряжений достаточно велик. При этом концентрация кислорода зависит как от конструкции трибосопряжения, так и от режимов трения. Следовательно, от этих же факторов будет зависеть и целесообразность использования тех или иных смазочных материалов.

Экспериментальные исследования по оценке зависимости интенсивности изнашивания от коэффициента перекрытия осуществлялись на машине торцевого трения. Образцы – сталь 45, смазывание осуществлялось базовым пластичным смазочным материалом Литол 24, МПСМ ЛМ10 и оловосодержащим смазочным материалом ЛО10 (Литол 24+10 мас.% порошка олова). Данные испытаний приведены на рис. 4. При малых  $K_B$ , что свойственно для высших кинематических пар и точечного контакта, самые худшие противоизносные свойства показал металлоплакирующий смазочный материал ЛМ10. Кроме того, при его использовании наблюдалась значительная склонность трущихся поверхностей к заеданию, механизм плакирования отсутствовал. Это можно объяснить следующим.



**Рис. 3.** Зависимость коэффициента трения  $f$  трибосопряжения от давления окружающей среды  $P$ . Нагрузка  $p_a = 2,5$  МПа, скорость скольжения 0,3 м/с, смазочный материал: 1 – Литол 24, 2 – ЛМ10



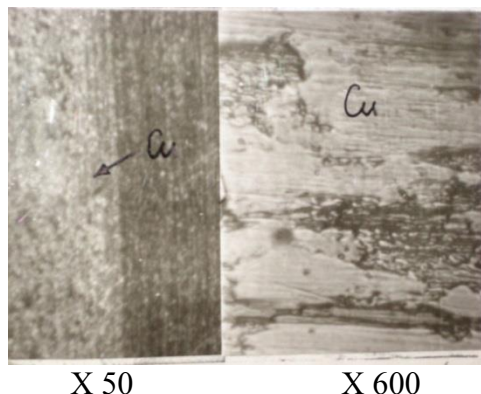
**Рис. 4.** Зависимость интенсивности изнашивания от коэффициента перекрытия  $K_B$ . Смазочный материал: 1 – Литол 24, 2 – ЛМ10, 3 – ЛО10

При малом коэффициенте перекрытия и достаточно высокой концентрации кислорода в смазочном материале равновесие окислительно-восстановительных процессов смещается в сторону окисления. Интенсификация окисления поверхностей частиц меди и поверхностей трения препятствует их адгезионному взаимодействию. В результате этого незакрепленные частицы меди при многократном передеформировании в контакте трущихся тел упрочняются и начинают играть роль абразива. Об этом свидетельствует отсутствие медной пленки на поверхностях трения и присутствие на них медных частиц, плохо связанных с основой и имеющих высокую микротвердость.

Типичная картина металлоплакирования оловом представлена на рис. 6.

При использовании МПСМ ЛО10 механизм плакирования реализуется во всех областях коэффициентов перекрытия, однако с увеличением  $K_B$  толщина плакирующей пленки уменьшается и увеличивается площадь покрытия. При этом износостойкость трибосопряжений возрастает.

В области  $K_B \rightarrow 1$  пары трения, смазываемые базовым смазочным материалом, оказались неработоспособными из-за заедания.



**Рис. 5.** Поверхность трения при работе узла трения со смазочным материалом ЛМ10,  $K_B = 1$

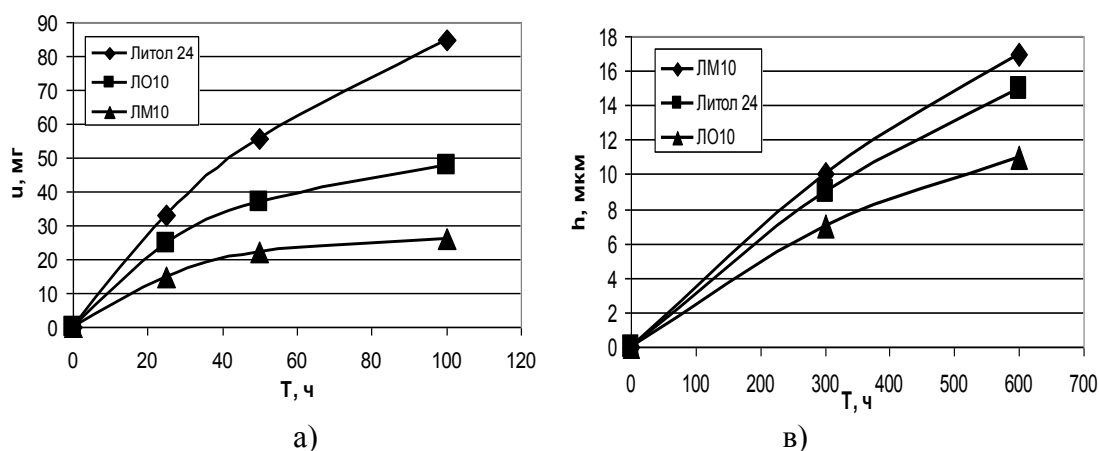


**Рис. 6.** Внешний вид границы металлоплакирования оловом (X 600)

Таким образом, фактором, определяющим формирование поверхностных пленок (как окисных, так и защитных металлических), является концентрация кислорода в смазочном материале.

Из результатов проведенных исследований следует, что в открытых парах трения (зубчатые передачи, кулачковые механизмы и т.д) наибольшую износостойкость может дать оловосодержащий МПСМ. В закрытых парах (направляющие скольжения, тяговые цепи, подвижные шлицевые соединения) наибольшую износостойкость может дать использование МПСМ с медным наполнителем. При пониженных давлениях окружающей среды (например узлы трения летательных аппаратов) или при работе трибосопряжений в инертных средах предпочтение следует отдавать МПСМ.

С целью подтверждения выводов о различной эффективности смазочного действия базового и металлонаполненного смазочного материала в открытых и закрытых узлах трения были проведены исследования износостойкости зубчатых передач ( $K_B \rightarrow 0$ ) и шарниров разборных тяговых цепей ( $K_B \rightarrow 1$ ). Результаты испытаний приведены на рис. 7.



**Рис. 9.** Весовой износ валиков тяговой цепи (а) и линейный износ зубчатых колес (в) в функции времени

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов А.В. Метод прогнозирования и способы повышения ресурса изнашивающих подвижных сопряжений деталей машин: Диссерт. на соиск. ученой степени канд. техн. наук. Л.: ЛПИ, 1988.

УДК 669.35'6:66.046.516

*В. В. Бойцова, М. Ю. Колобов, Б. Р. Киселев, А. С. Максимов*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный химико-технологический университет

### ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОРОШКОВЫХ СТЕКЛОСОДЕРЖАЩИХ МАТЕРИАЛОВ С БРОНЗОГРАФИТОВОЙ МАТРИЦЕЙ

**Ключевые слова:** композиционные материалы на основе меди, молибденоборосиликатное стекло, стеклонаполненные материалы.

**Аннотация:** исследован антифрикционный композиционный материал на основе меди, включающий олово, графит и твердые включения. Причем, в качестве твердых включений материал содержит молибденоборосиликатное стекло.

*V. V. Boytsova, M. Yu. Kolobov, B. R. Kiselev, A. S. Maximov*

### INVESTIGATION OF THE PROPERTIES OF POWDER GLASSCONTAINING MATERIALS WITH A BRONZE-AND-GRAPHITE MATRIX

**Keywords:** composition materials on the basis of copper, molybdenumboronsilicate glass, glasscontaining materials.

**Abstracts:** investigated the antifriction composition material on the basis of copper, including a tin, graphitic and hard inclusions. As of the hard inclusions the material contains molybdenumboronsilicate glass.

Эффективность и надежность работы машин и механизмов в значительной степени определяется величиной и стабильностью коэффициента трения и износостойкостью материала. Одним из путей повышения долговечности и надежности машин является создание новых износостойких материалов, способных работать в широком диапазоне нагрузок и скоростей. Среди которых большое применение находят композиционные, получаемые методами порошковой металлургии.

Из большого количества порошковых материалов выгодно выделяются металлостеклянные. Включения стекла играют роль твердых несущих частиц, удерживаемых металлической пластичной матрицей. Кроме того, металлостеклянные материалы имеют хорошую стойкость против коррозии, поскольку большинство пор заполнены стеклом, исключая доступ агрессивных реагентов внутрь материала.

Целью настоящей работы является исследование свойств порошкового металлостеклянного материала с бронзографитовой матрицей для эксплуатации в различных режимах трения.

Литературные данные свидетельствуют, что наиболее перспективными из порошковых материалов триботехнического назначения являются бронзографиты.

Данные по износостойкости бронзографитов в широком диапазоне нагрузок и скоростей при различных режимах граничного трения весьма малочисленны и несистематичны. Отсутствуют данные о трении бронзографитов в воде и водно-гликолевой жидкости (Тосол-40), хотя подбор пары трения для этих рабочих сред является актуальным.

В условиях дефицита порошков цветных металлов актуальной является задача создания композиционных бронзографитовых материалов с пониженным содержанием олова. Уменьшение содержания олова возможно компенсировать введением порошков твердых включений, в качестве которых перспективными являются порошки низкотемпературных стекол.

Положительными свойствами стекла являются низкий коэффициент трения, отсутствие склонности к схватыванию с материалом вала. Создание композиционных материалов из металла с включениями стекла позволяет преодолеть такой недостаток стекла, как высокую хрупкость. Частицы стекла, которые оплавляются и заполняют поры при спекании материала из медного порошка, менее подвержены опасности хрупкого разрушения, чем крупные изделия из него.

В связи с этим представляется целесообразным исследовать новые стеклонанополненные бронзографитовые материалы при работе в различных режимах трения.

Выбор молибденборосиликатного стекла объясняется возможностью совмещения введения в состав порошкового бронзографита стеклофазы с легированием молибденом, что должно повысить прочность и износостойкость разработанного материала.

Молибденборосиликатное стекло было специально получено как низкотемпературная стеклофаза в качестве твердого включения в порошковый антифрикционный материал.

При температуре спекания в среде водорода оксид молибдена в составе стекла восстанавливается до чистого молибдена, легируя бронзовую матрицу [1].

Использование молибденборосиликатных стекол в бронзографитовых композициях привело к резкому улучшению триботехнических характеристик пары трения.

Подобные результаты можно объяснить следующим образом: стекло на микровыступах поверхности изделий (точечный контакт с контртелом) разогревается до температур плавления стекла, оно размягчается и заполняет микровпадины, увеличивая поверхность контакта и, снижая коэффициент трения. Далее следует адгезия стекла к поверхности контртела и на стекло «налипает» графит, который в обычных условиях трудно «сцепляется» со сталью, из которой изготовлено контртело.

Улучшение триботехнических характеристик порошковых материалов, содержащих данное стекло, по-видимому, можно объяснить тем, что молибдатная фаза в составе стекла является менее твердой – 1,5 (минералогическая шкала) по сравнению с силикатной – 6 – 7. Кроме этого, температура плавления  $\text{MoO}_3$  – 795 °С ниже температуры плавления  $\text{SiO}_2$  – 1720 °С, следовательно вязкость молибдатной фазы ниже силикатной и при температурах, возникающих при трении, облегчает формирование разделительного смазочного слоя.

Незначительный рост износа образцов на первоначальном этапе обусловлен тем, что происходит приработка образца к контртелу (ролику), а затем полировка поверхности образца, в результате чего, происходит сглаживание выступов и неровно-

стей рабочей поверхности, которые не покрыты масляной пленкой – так как масло скапливается в порах изделий. Одновременно происходит намазывание пленок графита и меди на поверхности контртела с участием в этом процессе стекла.

Снижение коэффициента трения обусловлено постоянным поступлением масла из пор материала на поверхность трения, поэтому между контактирующими поверхностями не исчезает сплошная смазывающая масляная пленка, в которую «вкрапливается» графит, и наличие сухого трения в этих условиях исключено.

Разработанный материал был проверен на коррозионную стойкость в этой среде. Образцы из него были помещены в водно-гликолевую жидкость. Испытания проводились в течение одного года. Образцы за этот промежуток времени существенных гравиметрических и поверхностных изменений не претерпели, что говорит о высокой коррозионной стойкости материала.

Высокая шероховатость порошковых материалов до трения объясняется пористостью, однако у стеклосодержащего бронзографита шероховатость в 2,5 – 3,5 раза меньше, что можно объяснить растеканием стекла при спекании и заполнении пор.

После трения шероховатость поверхностей бронзографитов снижается за счет приработки и покрытия поверхности трения вторичной структурой, включающей измельченное стекло, графит, продукты износа. Эта вторичная структура играет роль смазочного материала, разделяющего трущиеся поверхности, а также хорошо удерживает пленку смазочного материала (масла, тосола и т.п.). Как и до трения, после трения поверхность стеклосодержащего бронзографита отличается высокой чистотой (шероховатость 9 -10 класса).

Изучение термических свойств этих стекол показало, что температура размягчения этих стекол увеличивается, а коэффициент термического расширения снижается с увеличением содержания  $\text{SiO}_2$ .  $\text{Na}_2\text{O}$  заметно снижает эту температуру, так как известно, что  $\text{Na}_2\text{O}$  является плавнем.

Для всех изученных составов стекла температура начала размягчения значительно меньше температуры спекания порошковых стеклосодержащих бронзографитов – 760 – 780 ° С, поэтому в процессе спекания частицы стекла легко растекаются по порам.

Результаты исследований структуры порошковых материалов показали, что стеклосодержащий бронзографит содержит равномерно распределенные по всему объему мелкие поры. Структура этих материалов мелкозернистая с равномерным распределением по объему  $\alpha$  - твердого раствора олова и стекла. Все это в совокупности приводит к лучшим триботехническим свойствам: более мелкие поры равномерно и более дозировано подают на поверхность трения смазку, находящуюся в этих порах, равномерность распределения стекла, растекшегося по порам подтверждает правило антифрикционности Шарпи.

Введение в порошковый бронзографитовый материал молибденоборосиликатного стекла приводит к улучшению триботехнических и технологических свойств.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некрасов Б.В. Основы общей химии. М.: Химия, 1973. Т.1. С. 656.  
УДК 621.8:531.382

*М. А. Васечкин, В. Г. Егоров, Е. В. Матвеева*

ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет инженерных технологий

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АБРАЗИВНОГО ИЗНОСА ДЕТАЛЕЙ ПРИ УДАРЕ

**Ключевые слова:** износостойкость, дезинтегратор, разрушающий элемент.

**Аннотация:** Отработана методика экспериментальной оценки степени износа деталей в следствии ударного воздействия абразивного материала. По результатам проведенных исследований получены экспериментальные зависимости степени износа било от твердости материала било.

*М. А. Vasechkin, V. G. Egorov, E. V. Matveyeva*

## EXPERIMENTAL STUDES OF ABRASIVE WEARING DETAILS ON IMPACT

**Keywords:** wear resistance, disintegrator, destructive element.

**Abstracts:** Developed experimental technique for evaluating parts wear after the impact of abrasive material. As a result, experimental dependences of the beater wear and beater hardness obtained.

Изнашивание является одной из главных причин нарушения эксплуатационных свойств конструкционных элементов и выхода из строя машин и механизмов. Уменьшение износа путём выбора оптимальных материалов, покрытий, смазок или профилирования поверхностей имеет большое экономическое значение [1].

Детали различных машин и механизмов подвержены абразивному износу. Особенно данный вид износа проявляется у рабочих элементов мельниц, причём чем выше твердость измельчаемого материала, тем больше износ этих деталей.

Например, в настоящее время наиболее перспективным оборудованием для измельчения твёрдого сырья, позволяющим получать измельчённый продукт требуемого качества с минимальными затратами энергии, являются ударно-центробежные дезинтеграторы [2]. Основными конструкционными элементами дезинтеграторов, определяющих их работоспособность, служат быстровращающиеся диски и ударные элементы [3].

В конструкции дезинтеграторов наименее надёжным является разрушающий элемент – било. При измельчении твердых сыпучих материалов, поверхности било подвержены абразивному износу, который появляется вследствие трения, возникающего при ударе с сопровождающимся скольжением частиц материала по поверхности било.

Для проведения экспериментальных исследований была создана экспериментальная установка (рис. 1), состоящая из дезинтегратора 1, шнекового дозатора 4, разгрузочного циклона 3 и фильтр-циклона 4.



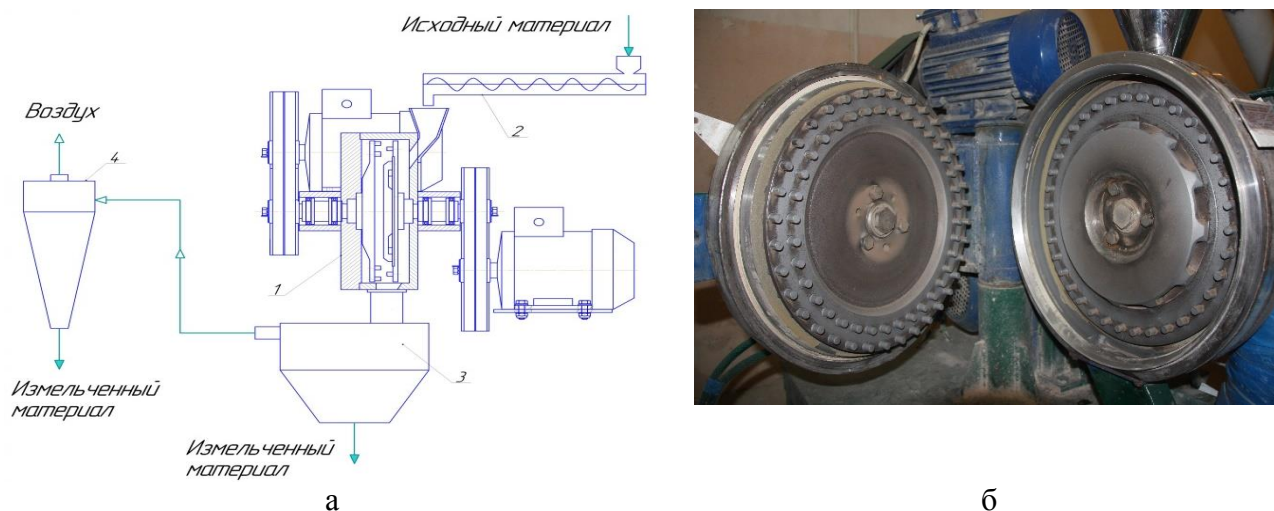


Рис. 1. Экспериментальная установка: а – схема; б – помольная камера дезинтегратора

В качестве измельчаемого материала использовался калиброванный песок ГОСТ 12536-2014. Твердость данного материала 7 единиц по шкале Мооса, предел прочности при сжатии  $\sigma_{сж} = 30$  МПа, влажностью  $W = 3-5\%$ , средняя плотность  $\rho_{ср} = 2600$  кг/м<sup>3</sup>; эквивалентный размер частиц исходного материала  $d_0 = 2 \cdot 10^{-3}$  м. Энергия разрушения песка 26,3 кДж/м<sup>2</sup>.

Объектами исследования являлись било, изготовленные из нормализованной и улучшенной сталей: сталь 35 твердостью – 163НВ с пределом текучести  $\sigma_T = 314$  МПа; сталь 35 твердостью – 228НВ с пределом текучести  $\sigma_T = 430$  МПа; сталь 45 твердостью – 285НВ с пределом текучести  $\sigma_T = 640$  МПа. Номинальный объем рабочей части било равен 785,4 мм<sup>3</sup>.

При проведении исследований калиброванный песок с помощью шнекового дозатора непрерывно подавался в дезинтегратор, подача песка составляла 28 кг/ч. В помольной камере материал разрушался, и при сходе с последнего ряда бил рабочего диска его частицы быстро выводились из зоны измельчения, благодаря создаваемому воздушному потоку. Далее измельченный материал выгружался при помощи разгрузочного циклона, а пылевоздушная смесь по патрубку направлялась к фильтру цикло-ну для выделения измельчаемого материала из пылевоздушной смеси.

Степень износа било оценывалось путем измерения их объема после измельчения 20, 30, 40 и 50 кг песка. Измерение объема проводилось с помощью 3D сканера EinScan-S для било изготовленных из материала каждой группы твердости и расположенных на различных расстояниях от оси вращения дисков дезинтеграторов. На рис. 2 представлены било в исходном и изношенном состоянии.

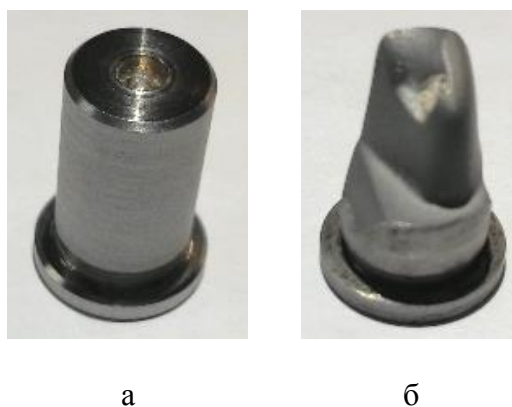
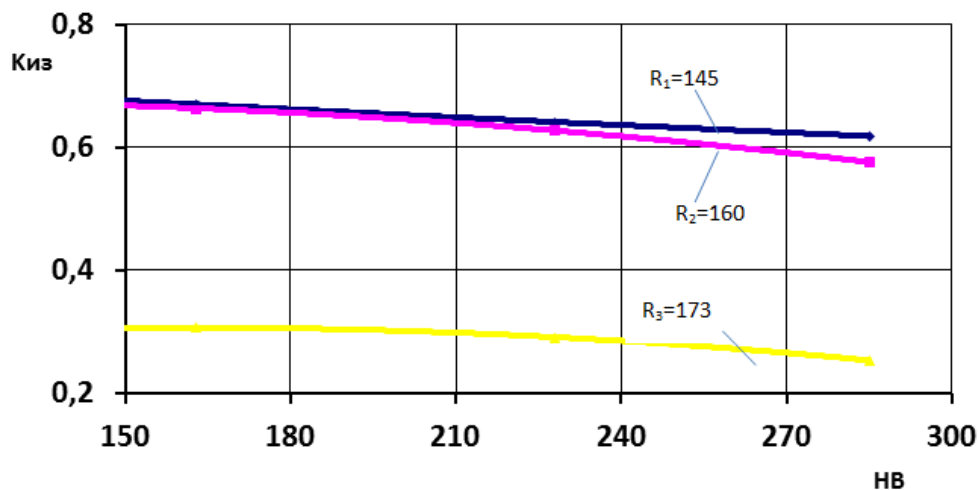


Рис. 2.  
Разрушающий элемент:  
а – исходное состояние;  
б – изношенное состояние

На рис. 3 представлены основные результаты экспериментальных исследований, график изменения коэффициента износа  $K_{из} = \frac{V_k}{V_o}$  (здесь  $V_o$  и  $V_k$  – начальный и конечный объемы материала било) в зависимости от твердости материала било и радиуса  $R$  положения центров било при измельчении 50 кг песка.



**Рис. 3.** Результаты экспериментальных исследований износостойкости било в зависимости от радиуса положения центров било

По результатам проведенных экспериментальных исследований проведена оценка степени износа било в зависимости от твердости материала било и их расположения в помольной камере дезинтегратора.

Результаты проведенных исследований легли в основу разработки методики экспериментальных исследований износа деталей в следствии ударного воздействия абразивного материала.

Так же результаты исследований могут быть использованы для разработки рекомендаций по выбору материала рабочих элементов дезинтеграторов, что позволит оптимизировать технологию изготовления дезинтеграторов и унифицировать их рабочие элементы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Попов В.Л. Механика контактного взаимодействия и физика трения. От нанотрибологии до динамики землетрясений. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 352с.
2. Васечкин М.А., Кустов И.В., Титов Н.С., Чертов Е.Д. Дезинтеграционно-волновой способ рекуперации промышленных отходов предприятий металлургической промышленности // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. №1. С. 52-56.
3. Васечкин М.А., Матвеева Е.В., Титов Н.С., Поданёв А.В., Кустов В. Ю. Конечнo-элементный анализ прочности быстровращающихся дисков // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. №/-3 (50). С. 20-23.

УДК 621.7.06

*А. М. Власов, В. А. Полетаев*

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА НА МОМЕНТ ТРЕНИЯ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УСТРОЙСТВА**

**Ключевые слова:** шероховатость, магнитное поле, мелкодисперсные магнитные среды.

**Аннотация:** Определены профили поверхностей и параметры шероховатости поверхностей втулок. Сняты экспериментальные зависимости моментов трения магнитожидкостного устройства от скорости вращения вала с втулками, имеющими различную шероховатость поверхностей. Показано влияние шероховатости поверхности деталей рабочего зазора на момент трения магнитожидкостного устройства.

*A. M. Vlasov, V. A. Poletaev*

## **STUDY OF THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF ROUGHNESS OF THE SURFACES OF THE WORKING AIR GAP TO THE FRICTION TORQUE FOR A MAGNETIC FLUID DEVICE**

**Keywords:** roughness, magnetic field, fine magnetic media.

**Abstract:** defines the profiles of the surfaces and the roughness parameters of the surfaces of the bushings. The experimental dependences of the friction moments of the magnetofluid device on the speed of rotation of the shaft with bushings having different surface roughness are removed. Shows the effect of surface roughness of parts of the working gap at the time of friction ferrofluid-based devices.

Момент трения является одним из важнейших параметров магнитожидкостных устройств. В магнитожидкостных герметизаторах, стремятся к снижению момента трения, определяющего внутренние тепловыделения и разогрев устройства. В магнитожидкостных муфтах стремятся к увеличению передаваемого момента, и соответственно, передаваемой муфтой мощности.

На поверхностях всех деталей образуются микронеровности в процессе их обработки при изготовлении. Параметры микронеровностей определяют шероховатость поверхностей. Степень перераспределения индукции магнитного поля определяется формой и соотношением ширины и высоты выступов шероховатой поверхности [1–3]. Для определения влияния величины шероховатости на момент трения магнитожидкостного устройства была спроектирована и изготовлена установка [4–5]. Магнитная жидкость размещается с равномерном рабочем зазоре с однородным магнитным полем между сменными полюсами и сменной втулкой. Источником магнитного поля являются цилиндрические постоянные магниты, равномерно размещенные по окружности между полюсами из стали 3. Вал приводится в движение электродвигателем с регулируемой скоростью вращения.

Сменные втулки вала выполнены из стали 40X13 в количестве 3 штук с величинами шероховатости Ra, соответственно, 0,362 мкм, 0,945 мкм и 8,028 мкм.

Сменные полюса изготовлены из стали 3 с величиной шероховатости Ra поверхности 9,477 мкм в рабочем зазоре. При испытаниях первоначально измерялся момент трения на валу в зависимости от скорости, при отсутствии магнитной жидкости в рабочем зазоре, то есть определялся момент создаваемый подшипниками. Затем в зазор вводилась магнитная жидкость и измерение повторялось.

Исследования проводились с магнитными жидкостями типов МКС–003–60 и МКА–1–25, имеющими следующие характеристики (таблица) и постоянными магнитами:

- типа ИЖКГ из материалов ЮНДКТ5БА диаметром 10 мм с индукцией  $\geq 0,5$  (Вт, Тл) и коэрцитивной силой  $\geq 120$  (кА/м);
- типа ЕАЖИ из материала феррита стронция диаметром 15 мм с индукцией  $\geq 0,3$  (Вт, Тл) и коэрцитивной силой  $\geq 158$  (кА/м);
- типа ИЖКГ из материала феррит стронция диаметром 20 мм с индукцией  $\geq 0,3$  (Вт, Тл) и коэрцитивной силой  $\geq 185$  (кА/м).

Таблица. Характеристики магнитных жидкостей

Тип магнитной жидкости	Диапазон рабочих температур, °С	Вязкость пластическая, Па·с	Намагниченность насыщения, кА/м
МК 1–25	– 50÷+70	0,5–0,6	20–30
МКС 003–60	– 50÷+70	0,003–0,02	10–70

На рис. 1–3 представлены зависимости моментов трения от величины шероховатости Ra (соответственно) 0,362 мкм, 0,945 мкм и 8,028 мкм поверхности втулки из стали 40X13 с применяемой магнитной жидкостью типа МКС 003–60 и постоянными магнитами типов ИЖКГ и ЕАЖИ с диаметрами, соответственно, 10, 15 и 20 мм.

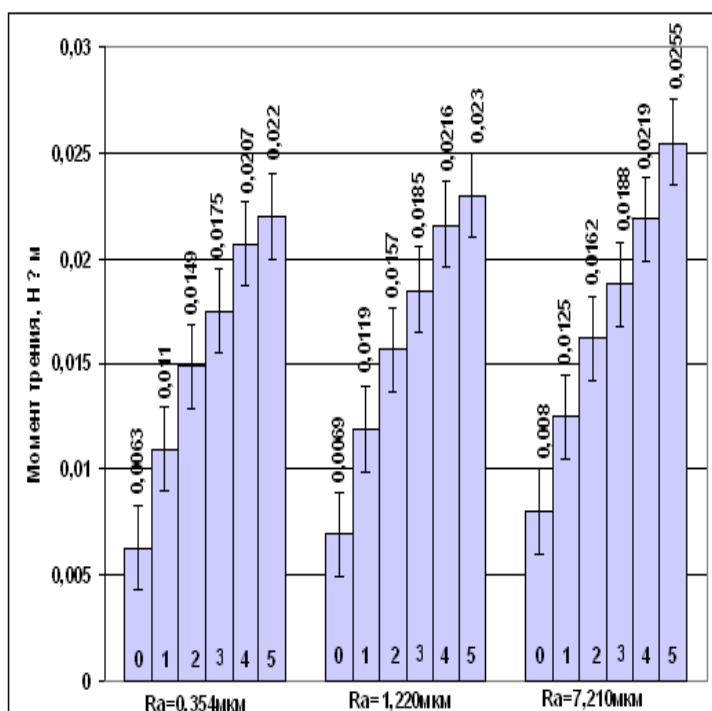
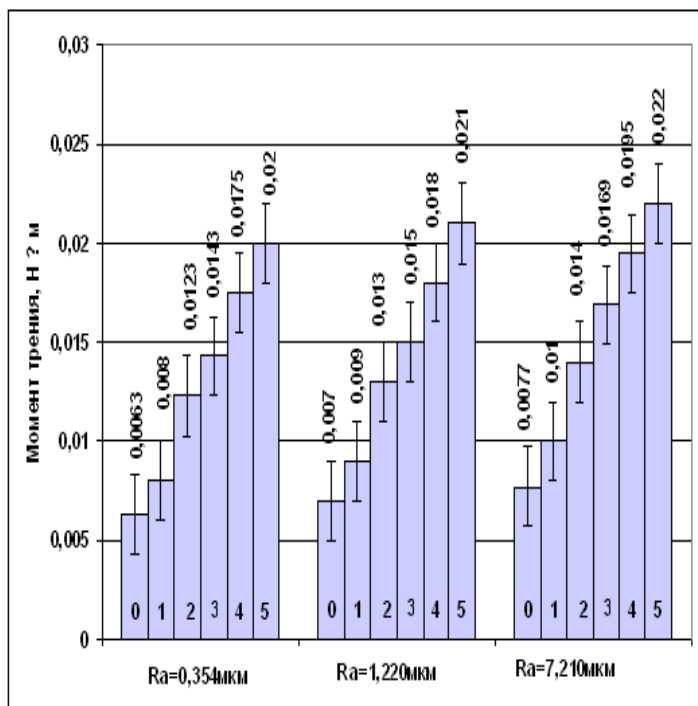
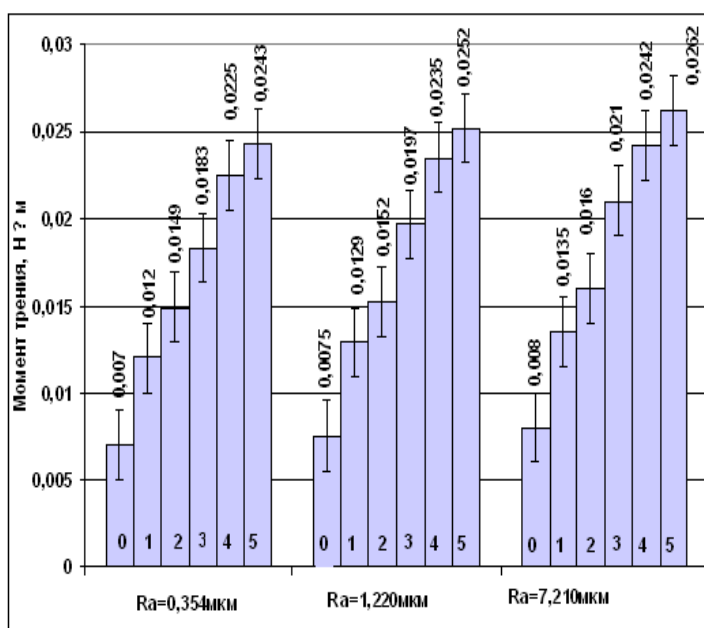


Рис. 1. Зависимость моментов трения от величины шероховатости поверхности Ra втулки из стали 40X13. Тип магнитной жидкости – МКС 003–60; магниты типа ИЖКГ диаметром D = 10 мм.: 0 – без магнитной жидкости; 1 – частота вращения вала 556 об/мин; 2 – частота вращения вала 1146 об/мин; 3 – частота вращения вала 1739 об/мин; 4 – частота вращения вала 2331 об/мин; 5 – частота вращения вала 2897 об/мин



**Рис. 2.** Зависимость моментов трения от величины шероховатости поверхности Ra втулки из стали 40X13. Тип магнитной жидкости– МКС 003–60; магниты типа ЕАЖИ диаметром D = 15 мм.: 0 – без магнитной жидкости; 1 – частота вращения вала 556 об/мин; 2 – частота вращения вала 1146 об/мин; 3 – частота вращения вала 1739 об/мин; 4 – частота вращения вала 2331 об/мин; 5 – частота вращения вала 2897 об/мин



**Рис. 3.** Зависимость моментов трения от величины шероховатости поверхности Ra втулки из стали 40X13. Тип магнитной жидкости– МКС 003–60; магниты типа ИЖКГ диаметром D = 20 мм.: 0 – без магнитной жидкости; 1 – частота вращения вала 556 об/мин; 2 – частота вращения вала 1146 об/мин; 3 – частота вращения вала 1739 об/мин; 4 – частота вращения вала 2331 об/мин; 5 – частота вращения вала 2897 об/мин

Анализ рисунков показывает, что чем выше величина шероховатости Ra поверхности втулки, контактирующей с магнитной жидкостью в магнитном поле, тем значительно больше момент трения во всем диапазоне исследования скорости вращения вала от 500 до 3000 об/мин.

### Выводы

1. Проведенные исследования подтвердили теоретические предпосылки, что рост шероховатости поверхностей магнитопроводящих деталей, контактирующих с магнитной жидкостью в магнитном поле, приводит к увеличению сил взаимодействия между магнитной жидкостью и поверхностью детали, и как следствие, увеличению момента трения магнитожидкостного устройства.

2. Для снижения энергетических потерь магнитоожидкостных устройств, таких, например, как магнитоожидкостное уплотнение, необходимо уменьшить величину шероховатости поверхностей магнитоооводящих поверхностей деталей, образующих зазор и контактирующих с магнитной жидкостью в магнитном поле.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Перминов С.М. Исследование магнитного поля около шероховатой магнитоооводящей поверхности. Вестник ИГЭУ, №1, 2012, с.31-33.
2. Перминов С.М. Патент на изобретение РФ №2340821. Магнитоожидкостное уплотнение вала. Оубл. в Б.И. №34, 10.12.2008, МПК F 16 J 15/53.
3. Полетаев В.А., Перминов С.М. Пахолкова Т.А. Роль площадки на острие зубца в формировании магнитного поля и удерживающей способности рабочего зазора иагнитоожидкостного уплотнения. Вестник ИГЭУ, Вып .5, 2011, С. 32-34.
4. Перминов С.М., Полетаев В.А, Пахолкова Т.А. Исследование магнитного поля в рабочем зазоре с шероховатой магнитоооводящей поверхностью трения электромеханического устройства. Вестник ИГЭУ, 2012. № 2, С. 36–39.
5. Полетаев В.А, Пахолкова Т.А. Исследование моментов трения в рабочем зазоре герметизаторов при использовании разных типов магнитных жидкостей. Вестник ИГЭУ, 2012. № 4.

УДК 544.773.3 : 539.62

*Ф. Я. Гамзина<sup>1</sup>, В. А. Годлевский<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ивановский государственный университет

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ИСПЫТАНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОМОГЕНИЗИРОВАННОЙ ЭМУЛЬСИИ ПРИ ТРЕНИИ МЕТАЛЛОВ

**Ключевые слова:** эмульсия, гомогенизация, испытания, трение

**Аннотация:** Изучено влияние гомогенизации водомасляной эмульсии на ее триботехнические показатели. Приводятся результаты испытаний необработанной и обработанной гомогенизатором эмульсии разных концентраций при различных временах гомогенизации. Установлено, что процесс гомогенизации улучшает антифрикционный показатель эмульсии при трении металлических поверхностей.

*F. Ya. Gamzina, V. A. Godlevskiy*

### TESTS OF THE TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF GOMOGEIZED EMULSION BY FRICTION OF METALS

**Keywords:** emulsion, homogenization, testing, friction

**Abstracts:** Influence of homogenization of water-oil emulsion on its tribotechnical indicators is studied. Results of tests unprocessed and processed emulsions of different oil concentration are received at various times of homogenization. It is established, that homogenization process improves an antifrictional parameter of emulsion at friction of metal surfaces.

Эмульсии получают механическим диспергированием дисперсной фазы в дисперсионной среде в присутствии соответствующего эмульгатора. Для диспергирования эмульгируемые жидкости сильно перемешивают, встряхивают или подвергают вибрационному воздействию. Для этого используют специальные эмульгаторы, мешалки, коллоидные мельницы. В последнее время для эмульгирования начинают применять ультразвук. Иногда полученные грубые эмульсии подвергают дополнительной гомогенизации в специальных гомогенизаторах разнообразных конструкций [1, 2].

Наиболее часто в качестве гомогенизаторов применяют устройства, в которых дополнительное диспергирование капелек грубой эмульсии достигается продавливанием ее через малые отверстия под высоким давлением. При обработке в таких гомогенизаторах, диаметр жировых капелек понижается с 3 до 0,2 мкм. В результате значительно увеличившейся седиментационной устойчивости такая дисперсная система расслаивается значительно медленнее.

Процесс эмульгирования состоит из собственно диспергирования, т. е. образования капелек дисперсной фазы в дисперсионной среде и их стабилизации в результате адсорбции на поверхности эмульгатора. Процесс гомогенизации всегда заключается в образовании из дисперсной фазы тонких цилиндриков, которые весьма неустойчивы и легко распадаются на ряд капелек. Как известно из молекулярной физики, цилиндр жидкости начинает распадаться на капельки, когда его длина становится больше окружности его сечения [3].

Следует учесть, что при эмульгировании наряду с диспергированием всегда в той или иной степени происходит коалесценция возникших капелек, так как эмульгатор не успевает полностью адсорбироваться на поверхности капелек и они еще не обладают той устойчивостью, которая соответствует устойчивости капелек в готовой эмульсии. П. А. Ребиндер показал, что при эмульгировании всегда образуется два типа эмульсии — м/в и в/м и только вследствие большей устойчивости «выживает» та эмульсия, которая соответствует природе примененного эмульгатора.

Влияние эмульгатора на образование эмульсии того или иного рода становится более сложным, когда эмульгатор способен давать как эмульсию м/в, так и в/м. В этом случае на род образующейся эмульсии может влиять природа стенок сосуда и мешалки, равно как и другие предметы, с которыми соприкасается эмульсия. Например, если стенки сосуда смачиваются только какой-нибудь одной жидкостью, то соприкосновение эмульсии с этой стенкой может приводить к обращению типа эмульсии, причем жидкость, смачивающая стенки сосуда, становится дисперсионной средой.

На результат эмульгирования влияет не только природа примененного эмульгатора и вид механического воздействия, но и ряд других условий — температура, количественное соотношение фаз и т. д. При всех прочих равных условиях более низкоконцентрированная эмульсия получается более устойчивой, так как вероятность столкновения двух ее частиц меньше.

Таким образом, эмульгирование представляет собой весьма сложный процесс и для приготовления стойких высокодисперсных эмульсий от технолога требуется много знаний и опыта.

Помимо механического диспергирования эмульсии могут быть получены путем самопроизвольного диспергирования. Однако при самодиспергировании полученные весьма высокодисперсные равновесные системы резко отличаются по термодинамической устойчивости от обычных эмульсий, агрегативная устойчивость которых яв-

ляется временной. Поверхностно-активные вещества (ПАВ) применяются при самопроизвольном диспергировании, также не могут рассматриваться как типичные эмульгаторы, поскольку их берут в таких количествах, что происходит изменение объемных свойств фазы.

Все методы получения эмульсий, как и любой другой дисперсной системы, можно разделить на конденсационные и диспергационные. Конденсационные методы связаны с образованием капелек эмульсии из отдельных молекул. Таким образом, получают критические эмульсии при выделении капель новой фазы из раствора вблизи критической температуры смешения.

В промышленности и лабораторной практике эмульсии получают диспергированием одной жидкости в другой. В свою очередь, диспергационные методы можно разделить на методы, в основе которых лежит взбалтывание, и методы перемешивания. Диспергирование взбалтыванием производится при возвратно-поступательном движении либо сосуда, в котором находится смесь жидкостей, либо специального приспособления, например, спиральной пружины, находящейся внутри жидкости. Методы перемешивания основаны на использовании лопастных или пропеллерных мешалок. Иногда для приготовления эмульсии используют коллоидные мельницы. Имеются указания на то, что высокодиспергированные эмульсионные среды демонстрируют повышенную технологическую эффективность в качестве смазочно-охлаждающих средств при обработке металлов резанием [4].

Цель работы состояла в проверке предположения о том, что активное диспергирование водомасляной эмульсии приводит к усилению ее смазочных свойств. В рамках сформулированной цели были поставлены следующие задачи.

1) Предложить методику лабораторного диспергирования водомасляных эмульсии

2) Произвести трибологические испытания диспергированных эмульсий на трибометре.

3) Дать заключение о повышении трибологической эффективности ультрадиспергирования водомасляных эмульсий

Методика диспергирования.

Диспергирование производилось стержневым роторным диспергатором с диаметром активатора 35 мм и скоростью вращения 13 тыс. об/мин. диспергированию подвергали объем эмульсии, равный 75 мл в течение разных периодов времени. Методом оптической микроскопии установлено снижение среднего размера частиц эмульсии с 50 мкм (при простом ручном перемешивании) до 3-5 мкм при использовании диспергатора.

Методика измерения коэффициента трения

Для изучения трибологических свойств присадок использовали мини-трибометр ТАУ-1, предназначенный для измерения силы трения твердых поверхностей на воздухе и в среде смазочного материала при малых нормальных нагрузках. Это позволяет проводить испытания трибологических характеристик исследуемых присадок для выявления не всегда резко выраженных различий в коэффициенте трения, связанных с особенностями их структуры, не разрушая сформированный граничный смазочный слой. Прибор реализует пару трения «палец-плоскость» (рис. 1).



Конструкция прибора в целом представлена на рис. 2. Каретка 4 совершает возвратно-поступательные движения. Сила трения передается рычагу 7, который, в свою очередь, через вилку 9 передает усилие на деформируемый упругий элемент 8. На упругом элементе закреплен на кронштейне постоянный магнит 10, который, смещаясь относительно датчика 11, возбуждает в нем электрический сигнал, пропорциональный смещению магнита, а значит — и силе упругости, уравновешивающей силу трения. Электрический сигнал регистрируется потенциометром.

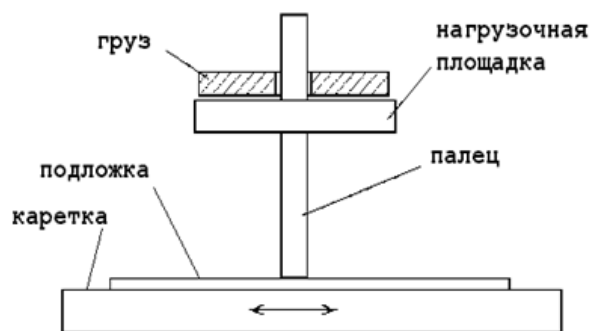


Рис. 1. Узел трения трибометра

В эксперименте определяли коэффициент трения, возникающего в контакте пальца и плоскости. При этом варьировали следующие параметры:

- 1) Величину нормальной нагрузки, гс.
- 2) Длительность диспергирования
- 3) Концентрацию водомасляной эмульсии

Силу трения определяли по тарировочному графику, который строится перед проведением испытаний.

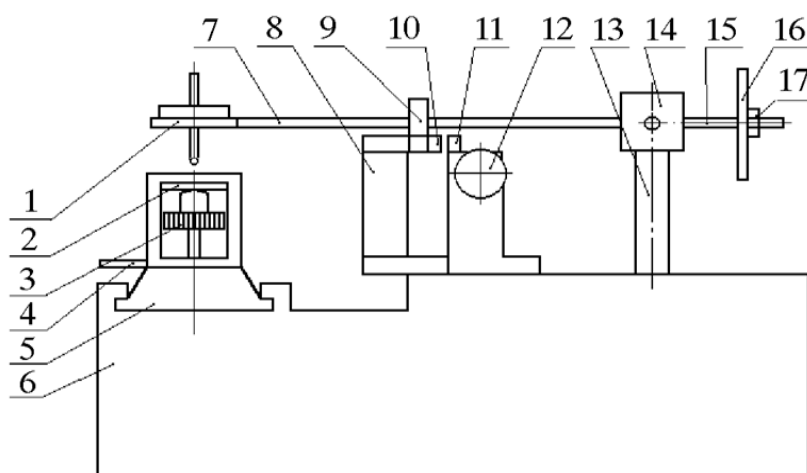


Рис. 2. Схема механического блока трибометра ТАУ-1:  
 1 — палец с нагрузочным устройством; 2 — испытуемый образец; 3 — винт закрепления образца; 4 — винт поперечного смещения каретки; 5 — каретка; 6 — корпус; 7 — рычаг; 8 — упругий элемент; 9 — вилка; 10 — магнит; 11 — датчик Холла; 12 — винт юстировки датчика; 13 — стойка; 14 — шарнир; 15 — ось балансира; 16 — балансирующий груз; 17 — контргайка

Заключение.

Результаты экспериментов свидетельствуют о следующем:

1) Увеличение концентрации эмульсии приводит к снижению коэффициента трения.

2) Для всех уровней концентрации эмульсии увеличение длительности диспергирования приводит к снижению коэффициента трения.

3) При увеличении нормальной нагрузки в контакте в 2 раза (с 20 до 40 гс) коэффициент трения снижается на всех режимах испытаний, что говорит о том, что

снижение толщины смазочного слоя способствует повышению эффекта от диспергирования эмульсии.

Таким образом, получила экспериментальное подтверждение гипотеза о том, что интенсивная механическая гомогенизация водомасляных эмульсий приводит к увеличению их антифрикционных свойств.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латышев В.Н., Нодель Г.М., Годлевский В.А. Экономическая эффективность внедрения нового эмульсола Т в качестве смазочно-охлаждающей жидкости на предприятиях машиностроения.
2. Мицеллообразование, солубилизация и микроэмульсии. / Под общ. ред. Мителла К., - М.: Мир, 1980. 598 с.
3. Шерман Ф. Эмульсии / Пер. с англ. Л.: Химия, 1972. 448 с.

УДК 621.891

*Г. В. Даровской*

ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения»

### ТЕПЛОВАЯ ЗАДАЧА В ПАРЕ ТРЕНИЯ «РОЛИК-КОЛОДКА» НА МАШИНАХ ТРЕНИЯ ТИПА «АМСЛЕР»

**Ключевые слова:** (на русском языке): машина трения типа «Амслер», трибомониторинг, температура, тепловая задача, пара трения «ролик-колодка»

**Аннотация.** Приведено теоретическое решение задачи распределения тепловых потоков в паре трения «ролик-колодка» при трибомониторинге на машине трения ИИ 5018. Установлено, что разность между теоретическими значениями температуры в контакте и экспериментальными не превышает 9,5 %.

*G. V. Darovskoy*

### THERMAL TASK IN THE FRICTION PAIR «ROLLER-SHOE» BY AMSLER TYPE FRICTION MACHINE

**Keywords:** Amsler type friction machine, a tribomonitoring, temperature, a thermal task, couple of sliding friction «roller-shoe».

**Abstracts:** The theoretical solution of a problem of distribution of heat fluxes is provided in couple of sliding friction «roller shoe» at a tribomonitoring by И5018 type friction machine. It is established that the difference between theoretical values of temperature is in contact and the experimental doesn't exceed 9,5 %.

Измерение и регистрация температуры при трибомониторинге на машинах трения типа «Амслер» является ответственной задачей, т.к. она в значительной степени влияет на характеристики трибосопряжений [1].

Для пары трения «ролик-колодка» уравнение теплового баланса (рис. 1) можно представить в виде

$$Q = Q_1 + Q_2, \quad (1)$$

где  $Q_1$  – тепловой поток в колодку, Дж;  
 $Q_2$  – тепловой поток в ролике с валом, Дж.

После несложных математических преобразований (1), учитывая, что термическое сопротивление вала рассматривается как единое целое с роликом, получим

$$\begin{cases} \alpha_K \cdot S_K \cdot (T_K - T_0) = \alpha_{Т.П.} \cdot f \cdot P \cdot V, \\ T_K - T_B = (1 - \alpha_{Т.П.}) \cdot R_{BP} \cdot f \cdot P \cdot V \end{cases} \quad (2)$$

где  $\alpha_K$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности колодки, Вт/м<sup>2</sup>·К;  
 $S_K$  – площадь колодки, отдающая тепло в окружающую среду, м<sup>2</sup>;  
 $T_K$  – температура колодки, К;  
 $T_0$  – температура окружающей среды, К;  
 $T_B$  – температура вала с роликом, К.

$\alpha_{Т.П.}$  – коэффициент разделения тепловых потоков;

$f$  – коэффициент трения;

$P$  – внешняя нагрузка на колодку, Н;

$V$  – скорость движения вала с ролика, м/с;

$R_{BP}$  – термическое сопротивление вала с роликом, К/Вт;

Термическое сопротивление вала с роликом определяется как сумма термических сопротивлений его отдельных составляющих тел по формуле

$$R = \sum_i \frac{\delta_i}{\lambda_i \cdot F_{Xi}}, \quad (3)$$

где  $\delta_i$  – толщина стенки  $i$ -го тела, воспринимающей тепловой напор, м;

$\lambda_i$  – теплопроводность материала стенки  $i$ -го тела, Вт/м·К;

$F_{Xi}$  – расчетная поверхность  $i$ -го тела, м<sup>2</sup>.

Согласно формуле (3) для вала машины трения имеем

$$R_B = \frac{d_B}{\lambda_B \cdot (\pi \cdot r_B^2 + 2 \cdot \pi \cdot r_B \cdot l_P)}, \quad (4)$$

где  $d_B$  и  $r_B$  – диаметр и радиус вала соответственно, м;

$\lambda_B$  – коэффициент теплопроводности материала вала, Вт/м·К;

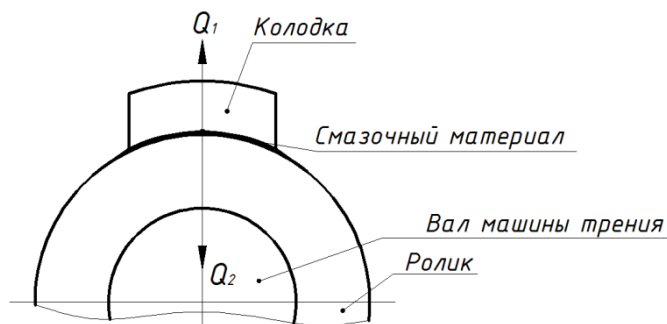


Рис. 1. Схема распределения тепловых потоков в модели «ролик – колодка»

$l_p$  – ширина участка вала, определяемая шириной ролика.  
Термическое сопротивление ролика определяется соотношением

$$R_p = \frac{\ln \frac{r_p}{r_B}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_p \cdot l_p}, \quad (5)$$

где  $r_p$  – радиус ролика, м;

$\lambda_p$  – коэффициент теплопроводности материала ролика, Вт/м·К.

Термическое сопротивление слоя смазочного материала можно определить по формуле

$$R_{CM} = \frac{\ln \left( \frac{r_p + \Delta}{r_p} \right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{CM} \cdot l_p}, \quad (6)$$

где  $\Delta$  – радиальный зазор между роликом и колодкой;

$\lambda_{CM}$  – коэффициент теплопроводности смазочного слоя, Вт/м·К.

Учитывая, что радиальный зазор  $\Delta$  очень мал ( $\approx 15 \dots 30$  мкм), по сравнению с радиусом ролика, а средняя толщина смазочного слоя  $h_0$  в контакте будет еще меньше в несколько раз, то выражение (6) стремится к нулю.

Таким образом, термическим сопротивлением смазочного слоя можно пренебречь и считать, что, во-первых, смазочный слой работает в контакте как теплоизолирующий, а во-вторых, температура смазочного слоя (собственно контакта) равна температуре колодки.

Таким образом, полное термическое сопротивление вращающейся части модели с учетом теплоотдачи с торцевых частей равно

$$R_{BP} = R_B + R_p + \frac{1}{\alpha_B \cdot \pi \cdot r_B^2} + \frac{1}{\alpha_p \cdot 2 \cdot (\pi \cdot r_p^2 - \pi \cdot r_B^2)}. \quad (7)$$

Коэффициент термического сопротивления колодки равен

$$R_K = \frac{1}{\alpha_K \cdot S_K} + \frac{\delta_K}{\lambda_K \cdot S_K}, \quad (8)$$

где  $\delta_K$  – толщина колодки, м;

$\lambda_K$  – теплопроводность материала колодки, Вт/м·К;

$\alpha_K$  – коэффициент теплоотдачи с поверхности колодки, Вт/м<sup>2</sup>·К.

Зная коэффициенты термического сопротивления вала с роликом и колодки можно вычислить коэффициент разделения тепловых потоков

$$\alpha_{т.п.} = \frac{K_{BP}}{K_{BP} + K_K}, \quad (9)$$

где  $K_{BP} = \frac{1}{R_{BP}}$  и  $K_K = \frac{1}{R_K}$  – коэффициенты теплопередачи вала с роликом и колодки соответственно.

Результаты расчета теоретических значений неизвестных температур  $t_K$  и  $t_B$ , при решении системы уравнений (2), приведены в таблице.

Экспериментально температура в зоне контакта определялась с помощью градуированной термопары (см. табл.) на модернизированной машине трения ИИ 5018 [2, 3]. Одновременно, также, с помощью термопары, температура контролировалась в охлаждаемом подшипнике качения вала.

Таблица. Значения теоретических и экспериментальных значений температуры

Нагрузка, Н	Коэффициент трения, $f$	Температура теоретическая колодки, $t_K$ , °С	Температура экспериментальная в контакте $t_s$ , °С
115	0,095	63	57
230	0,054	73	68
345	0,053	96	90
460	0,039	95	103
575	0,029	124	119
691	0,027	117	120
806	0,036	128	131
1036	0,064	232	240

*Примечание:* Пара трения «ролик — колодка» (ролик — сталь 45 ( $R_a$  0,3), колодка — БрАЖ 9-4 ( $R_a$  1,6)), радиальный зазор  $\delta = 30$  мкм; ЖСМ МС-20, расход 0,03125 л/мин;  $V = 2$  м/с

Расхождение между теоретической и экспериментальной температурой составляет не более 9,5 % (см. табл.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евдокимов Ю.А. Тепловая задача металлополимерных сопряжений / Ю.А. Евдокимов, В.И. Колесников, С.А. Подрезов. – Изд-во РГУ, 1987. – 108 с.
2. Даровской Г.В. Исследование фрикционных свойств высокотяговых масел / Г.В. Даровской, М.А. Буракова, В.Н. Поляков, В.Н. Кротов – Ростов н/Д.: РГУПС, 2017. – 88 с.
3. Даровской Г.В., Поляков В. Н., Шайхиев А. Р. Разработка методики исследования длительности существования сплошной смазочной пленки // Сборник матер. VIII Всероссийской науч.-практ. конф. «Надежность и долговечность машин и механизмов». — Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2017. – С. 301—304.

УДК 62-9

*С. А. Егоров<sup>1</sup>, Н. Е. Егорова<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **ИСПЫТАНИЕ ТРЕНИЯ ВОЛОКОН В БУНКЕРНЫХ УСТРОЙСТВАХ С ПОКРЫТИЯМИ**

**Ключевые слова:** текстильные машины, бункерное устройство, трение, хлопок, полиамид, антифрикционные покрытия.

**Аннотация:** Были испытаны бункерные устройства текстильных машин из различных материалов. Определяли силу трения клочков волокон о металлическую поверхность бункера. Предлагается конструировать бункерные устройства для текстильных волокон с покрытием из твердого сплава.

*S. A. Egorov, N. E. Egorova*

## **TEST THE FRICTION OF THE FIBERS IN HOPPER FEEDER WITH COATINGS**

**Keywords:** textile machine, hopper feeder, friction, cotton, polyamide, anti-friction coatings.

**Summary:** hopper feeder of textile machines made of different materials were tested. The friction force of fiber scraps on the metal surface of the hopper was determined. It is proposed to design hopper feeder for textile fibers coated with hard alloy.

В технологических переходах изготовления пряжи и нити происходит движение волокон относительно друг друга и относительно рабочих органов. При этом на этапах разрыхления, трепания, чесания, прядения для прогнозирования процесса разделения и параллелизации волокон используют экспериментально определенные коэффициенты трения волокон о металлические поверхности, которые принимают равными 0,2 – 0,5 [1, 2].

Предполагают, что влажность волокон и состояние металлической поверхности остается неизменным. Для осуществления процессов используют увлажнение, эмульсирование, замасливание, мокрое прядение. Технологические показатели, которые используют для оценки производительности и качества изготовления продукции не прогнозируемы. Это количество обрывов в единицу времени и степень очистки от сорных примесей.

Так как все перечисленные показатели качества связаны с трением волокон о металлические поверхности и во многом определяются их состоянием - свойствами поверхности, такими, как геометрия места контакта, шероховатость, периодичность контакта, наличие антифрикционных покрытий, пленок, наличие энергетических полей и потоков, то актуальным является изучение влияния свойств поверхности на трение волокон о металлические поверхности для создания расчетных методик для конструирования рабочих органов текстильных машин.

Цель работы состояла в изучении влияния влажности волокон на силу трения в контакте волокно-металл.

Для проведения эксперимента были взяты клочки волокон хлопка и полиамида и загружены в бункерные устройства разрыхлителей. Стенки бункерных устройств были изготовлены из стали, алюминиевых сплавов, а также стали с антифрикционными покрытиями. Движение клочков по поверхности бункеров осуществлялось под действием силы тяжести. Оказалось, что вне зависимости от смесок волокон их фрикционные свойства оказываются приблизительно одинаковыми в контакте с металлическими стенками бункера. Различие наблюдается только в зависимости от свойств поверхности бункера. Для бункера из алюминиевого сплава АМг3 при любой влажности от 40% до 60% сохранялся высокий коэффициент трения 0,98. В стальном бункере наблюдался коэффициент трения от 0,5 при влажности 40% до 1,8 при влажности 60 %.

В контакте возникают при движении электреты. [3] Они имеют разный заряд и отталкиваются друг от друга. Поверхность алюминия всегда покрыта прочной оксидной пленкой, которая предохраняет от контакта с металлом. На алюминиевой поверхности электреты не могут стекать и частично гаситься. На стальной поверхности происходит их аннигиляция, которая усиливается при повышении влажности. Каждое отдельное волокно удерживается на поверхности бункера за счет силы поверхностного натяжения, возникающей между волокном, увлажняющей жидкостью и поверхностью бункера. Таким образом, более тяжелые клочки за счет силы тяжести будут отрываться от поверхности бункера, а менее тяжелые задерживаться на ней. Может наблюдаться при движении клочков по поверхности бункера трение скольжения и трение качения, когда отдельный клочок перекачивается под действием силы тяжести, а не скользит.

Были также испытаны стальные бункеры с покрытиями медью и твердым сплавом. Для твердосплавного покрытия коэффициент трения наблюдался от 0,52 для влажности 40% до 0,66 для влажности 60%. Для медного покрытия наблюдается два конкурирующих процесса. С одной стороны образуются электреты, которые влияют на силу трения, а с другой – поверхностное натяжение между волокном, увлажняющей жидкостью и поверхностью бункера. Зависимость приведена на рис. 1.

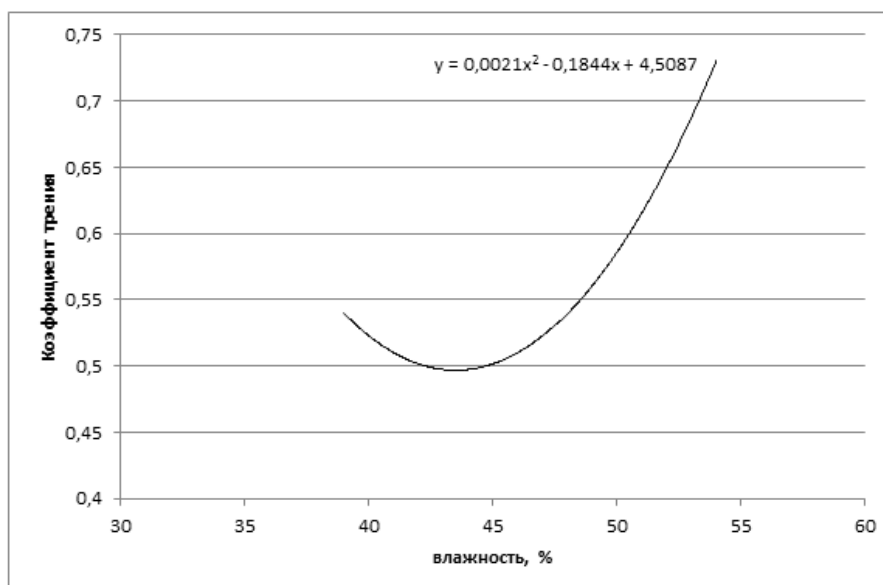


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от влажности для медного покрытия бункера

Вывод. Для конструирования бункера рекомендуется на сталь наносить твердосплавное покрытие, которое снижает вероятность влияния статического электричества и имеет меньшую силу поверхностного натяжения с увлажняющими составами. Это способствует гораздо лучшему продвижению волокнистой массы по поверхности бункерного устройства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Севостьянов, П.А. Оценка влияния свойств волокнистого материала и конструктивных параметров на выравнивающую и смешивающую способности дозатора-смесителя // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 1983. - № 1. – С. 22-25.
2. Общая теория движения волокнистых материалов в шахте бункерных питателей / Т.Я. Красик, А.Г. Хосровян, Г.А. Хосровян // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2011. - № 1. - С.75-79.
3. Егоров, С.А. Способы снижения трибоэлектризации рабочих органов текстильных машин / Известия вузов. Технология текстильной промышленности. - 2006. - № 4. – С. 76-79.

УДК 621.01

*В. П. Зарубин, И. А. Легкова*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### К ИЗУЧЕНИЮ ВОПРОСА ВЛИЯНИЯ МИРАЛЬНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ В СМАЗКИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ТРЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ С НИЗКОЙ ТВЕРДОСТЬЮ

**Ключевые слова:** коэффициент трения, интенсивность изнашивания, смазочные материалы, наполнители к маслам, детали пожарной техники, надежность, долговечность.

**Аннотация:** в статье рассмотрен вопрос влияния минерального наполнителя к смазочному материалу на его триботехнические свойства. Приведены результаты проведенных лабораторных исследований по определению коэффициента трения и интенсивности изнашивания при работе пары трения с деталью, выполненной из металла с низкой твердостью.

*V. P. Zarubin, I. A. Legkova*

### TO STUDY THE EFFECT OF MINERAL FILLERS IN THE GREASE ON THE FRICTION SURFACE PARTS WITH LOW HARDNESS

**Keywords:** friction coefficient, wear rate, lubricants, fillers for oils, parts of fire equipment, reliability, durability.

**Abstracts:** the article deals with the issue of the influence of the mineral filler to the lubricant on its tribological properties. The results of laboratory studies to determine the coefficient of friction and wear rate during the operation of a friction pair with a part made of metal with low hardness are given.



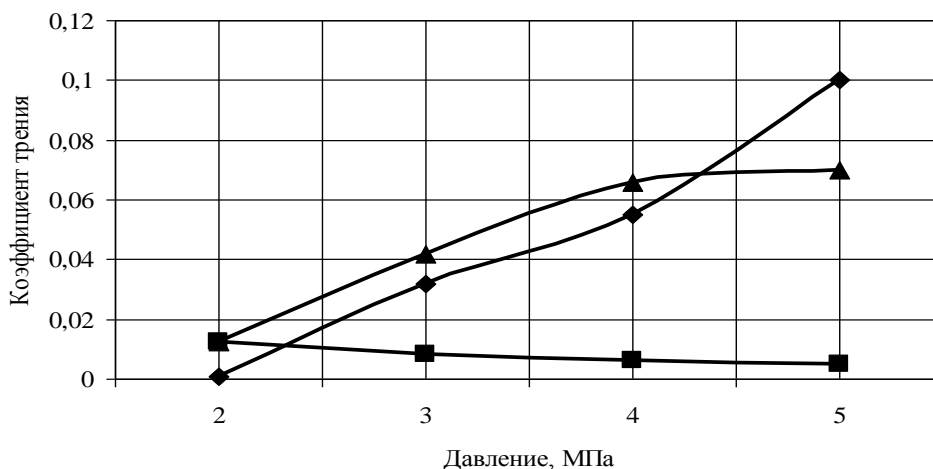
Долговечность работы пожарного автомобиля зависит от надежности отдельных его частей. Каждый узел и агрегат должен безотказно работать в широком диапазоне нагрузок при различных условиях. Необходимый запас прочности для каждой детали закладывается при ее проектировании, однако тяжелые условия эксплуатации оказывают негативное влияние на детали автомобилей и существенно снижают их срок службы. Одним из факторов, негативно влияющих на работу узлов и агрегатов пожарных автомобилей, является трение. Для снижения коэффициента трения и износа, возникающих при трении, используют различные смазочные материалы. Каждый смазочный материал, применяемый для смазки узлов и агрегатов пожарной техники, содержит в себе определенный пакет присадок, положительно влияющих на триботехнические показатели масел и смазок. Однако, не все смазочные материалы справляются с тяжелыми условиями работы узлов пожарной техники. Так при длительных работах, требующих постоянного поддержания высоких оборотов, температура узлов и агрегатов повышается, смазка теряет вязкость, хуже задерживается на поверхностях деталей, что может повлечь за собой повышенный износ, микро схватывание, задиры. Для борьбы с этими негативными последствиями трения в стандартные масла и смазки добавляют дополнительные присадки и наполнители. Большая часть таких добавок направлена на образование на поверхности трения защитных слоев. Так, например, присадки на основе солей мягких металлов за счет избирательного переноса образуют защитную пленку из антифрикционного металла (медь, олово и т.п.). Так же есть отдельная группа минеральных наполнителей в масла, основанная на добавлении измельченного минерала серпентина. В этом случае, при работе пары трения, на поверхности деталей образуется особый металлокерамический слой, обладающий высокой микротвердостью и значительно снижающий интенсивность изнашивания. В ряде работ подробно описывается действие такого наполнителя на поверхности стальных деталей пар трения. Положительный эффект от применения серпентина происходит за счет разрушения частиц минерала попавших в зону трения, возникновения высоких температур на микро выступах и внедрения в размягченную поверхность частиц минерала с последующим ее преобразованием.

Исследования проведенные в лабораторных условиях, на машинах трения СМТ – 1 и ИИ 5018 на паре трения стальной диск – стальной частичный вкладыш подтвердили положительное влияние наполнителя серпентина на триботехнические свойства минерального масла И-20. По результатам проведения экспериментов было отмечено снижение коэффициента трения в 1,5 – 2 раза, уменьшение интенсивности изнашивания в 4 – 5 раз, увеличение микротвердости стальной поверхности трения в 2 – 3 раза.

Однако возникает вопрос, как поведет себя минеральный наполнитель в паре трения содержащей деталь выполненную из антифрикционного металла с низкой твердостью. В таких случаях частицы минерала могут работать как абразив, не разрушаясь и не преобразовывая поверхность из-за низкой твердости материала деталей.

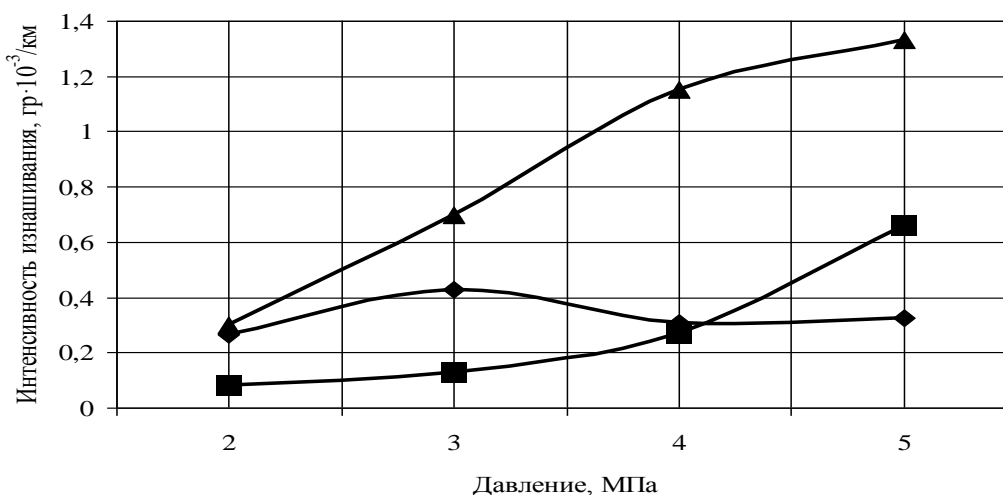
Для изучения этого вопроса был проведен ряд лабораторных триботехнических экспериментов на машине трения СМТ – 1 с парой трения диск – колодка. Материал диска сталь 45 с твердостью 45 – 50 HRC, материал колодки (частичного вкладыша) баббит. На такой паре трения проверили работу трех смазок, чистого минерального масла И-20, масла И-20 наполненного 10% тонкоизмельченного природного минерала серпентина и масла И-20 наполненного 10% аналога природного серпентина полученного в условиях лаборатории. Результаты исследований представлены в виде зависимостей коэффициента трения от давления на образцы (рис. 1), зависимость ин-

тенсивности изнашивания от давления на образцы (рис. 2), зависимости изменения микротвердости поверхности баббитового образца от давления (рис. 3). Скорость скольжения составляла 1 м/с, нагрузка на образцы увеличивалась ступенчато, смазка в зону трения подавалась капельным путем. При каждом очередном повышении давления на образцы отводилось время на приработку пары. Перед испытанием каждой новой смазки поверхности образца и контртела приводились к исходной шероховатости (8 класс) путем шлифования и полирования. Измерение линейного износа проводили методом «искусственных баз» – установлением линейного износа по заранее нанесенным отпечаткам на твердоме ТКС – 1М коническим твердосплавным индентором с углом при вершине  $\alpha = 120^\circ$ . Исследования микротвердости поверхностей образцов проводились на приборе ПМТ – 3.



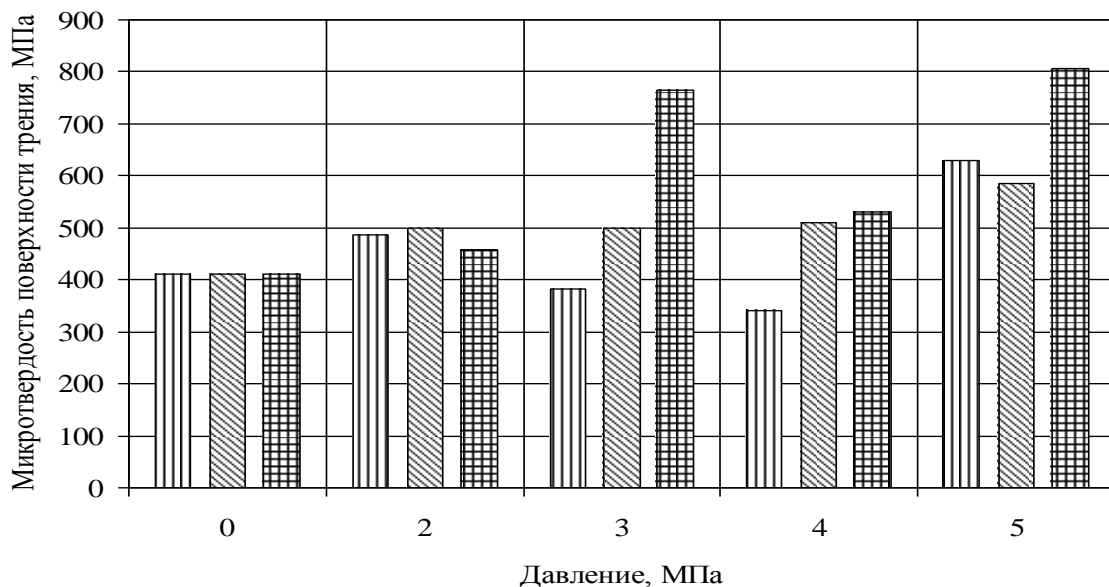
**Рис. 1.** Зависимость коэффициента трения от давления.

- ▲ – Для базового масла И-20 без наполнителей;
- – для масла И-20 с 10 % наполнителя (серпентин искусственный);
- ◆ - для масла И-20 с 10 % наполнителя (серпентин природный)



**Рис. 2.** Зависимость интенсивности изнашивания от давления.

- ▲ – Для базового масла И-20 без наполнителей;
- – для масла И-20 с 10 % наполнителя (серпентин искусственный);
- ◆ - для масла И-20 с 10 % наполнителя (серпентин природный)



**Рис. 3.** Зависимость микротвердости поверхности трения от давления.

□ – Для базового масла И-20 без наполнителей;

▨ – для масла И-20 с 10 % наполнителя (серпентин искусственный);

▩ – для масла И-20 с 10 % наполнителя (серпентин природный)

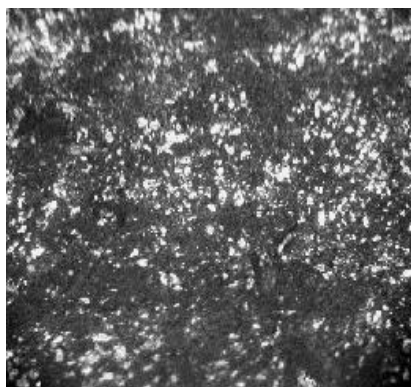
Анализируя данные графиков, можно сделать следующие выводы:

1. Природный серпентин в масле проявил себя как противоизносная добавка. Присутствие его в масле снизило интенсивности изнашивания в 2 – 8 раза. Коэффициент трения при этом мало отличался от значений коэффициента трения в масле без наполнителей. Микротвердость поверхности трения частичного вкладыша увеличилась в 1,5 – 2 раза. Таким образом, природный серпентин снизил интенсивность изнашивания за счет образования на поверхности трения прочного слоя.

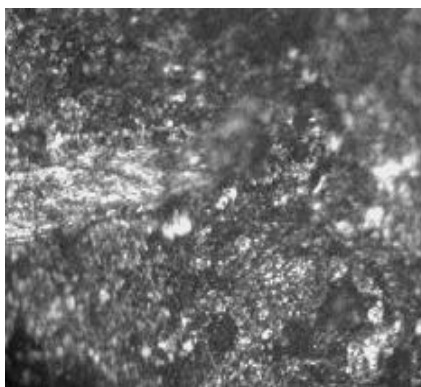
2. Лучшие триботехнические характеристики показала смазочная композиция, содержащая искусственный серпентин. При использовании этой композиции коэффициент трения снизился в 5 – 14 раз, интенсивность изнашивания уменьшилась в 3 – 4 раза, микротвердость поверхности трения увеличилась 1,5 раза.

Таким образом, результаты исследований показали, что применение минерального наполнителя серпентина положительно влияет на триботехнические свойства масла И-20 при работе пар трения с деталью выполненной из металла с низкой твердостью. На снижение интенсивности изнашивания значительное влияние оказывает отсутствие микрорезания в зоне трения. Это подтверждают фотографии поверхностей трения. На поверхностях трения баббитового вкладыша (рис. 5 и рис. 6.) отсутствуют риски и царапины как следствие попадания крупных и твердых частиц.

Внедряясь в поверхность трения, наночастицы порошка природного искусственного серпентина, образуют слой с повышенной микротвердостью. Повышенная микротвердость оказывает непосредственное влияния на снижение интенсивности изнашивания и как следствие, продления срока службы узла трения.



**Рис. 4.** Поверхность баббитового вкладыша после трения в турбинном масле без наполнителей (увеличение x 500)



**Рис. 5.** Поверхность баббитового вкладыша после трения в смазочной композиции содержащей 10 % наполнителя – природный серпентин (увеличение x 500)



**Рис. 6.** Поверхность баббитового вкладыша после трения в смазочной композиции содержащей 10 % наполнителя – искусственный серпентин (увеличение x 500)

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарубин В.П., Легкова И.А. Влияние смазочных материалов на процесс трения и изнашивания в узлах трения пожарной техники NovaInfo.Ru – 2016. - №53 (т.2). – С. 34-36.
2. Зарубин В.П. Общие вопросы трения и изнашивания деталей пожарной техники NovaInfo.Ru – 2016. - №53 (т.2). – С. 16-18.
3. Перспективы применения нанопорошков силикатов в смазочных материалах, используемых в пожарной технике / В.П. Зарубин, В.В. Киселев, А.В. Топоров и др. // Пожаровзрывобезопасность. Том 22, №5, 2013. – С.65 - 69.
4. Зарубин В.П., Киселев В.В., Пучков П.В., Топоров А.В. Улучшение эксплуатационных характеристик автотранспортной техники за счет применения высокоэффективных присадок. – Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2014. – Т. 3. – № 1 (19). – С. 56-62.

УДК 621

**В. В. Киселев, С. А. Никитина**

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### К ВОПРОСУ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ТРАНСМИССИЙ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

**Ключевые слова:** износ, трение, пожарная техника.

**Аннотация:** проведен анализ неисправностей трансмиссий пожарных автомобилей общего и специального назначения на примере подразделений пожарной охраны Ярославской области. Одной из основных причин выхода из строя деталей трансмиссий является невысокое качество смазочных материалов, а в частности их триботехнических свойств. В работе приводится описание разработанной трибоактивной присадки, предназначенной для

улучшение качественных характеристик трансмиссионных масел. Приведены результаты трибологических исследований разработанного смазочного материала, показывающие целесообразность его применения.

*V. V. Kiselev, S. A. Nikitina*

## ON THE ISSUE OF INCREASING THE RELIABILITY AND DURABILITY OF FIRE-VEHICLE TRANSMISSIONS

**Keywords:** wear, friction, fire fighting equipment.

**Abstracts:** the analysis of the failures of transmissions of general and special-purpose fire vehicles was carried out using the example of fire departments of the Yaroslavl Region. One of the main causes of failure of parts of transmissions is the low quality of lubricants, and in particular their tribological properties. This paper describes the developed tribo-active additive designed to improve the quality characteristics of transmission oils. The results of tribological studies of the developed lubricant are given, showing the feasibility of its use.

Повышение надежности автотранспортных средств, используемых в системе МЧС и в любой другой сфере, является важной хозяйственной задачей. Результаты анализа эксплуатационных испытаний пожарных автомобилей на пробегах, близких к капитальному ремонту, в качестве основной причины отказов указывают на преждевременный износ трущихся поверхностей. При этом около четверти всех видов отказов приходится на неисправности трансмиссии пожарных автомобилей.

Износ парка аварийно-спасательной и пожарной техники в Ярославской области составляет порядка 38%. Поэтому поддержание имеющейся пожарной техники в исправном состоянии, проведение ее ремонта и технического обслуживания требуют больших материальных затрат. Общая задача повышения долговечности автомобиля в большинстве случаев сводится к увеличению износостойкости отдельных деталей, лимитирующих надежность узлов, систем и всего агрегата в целом.

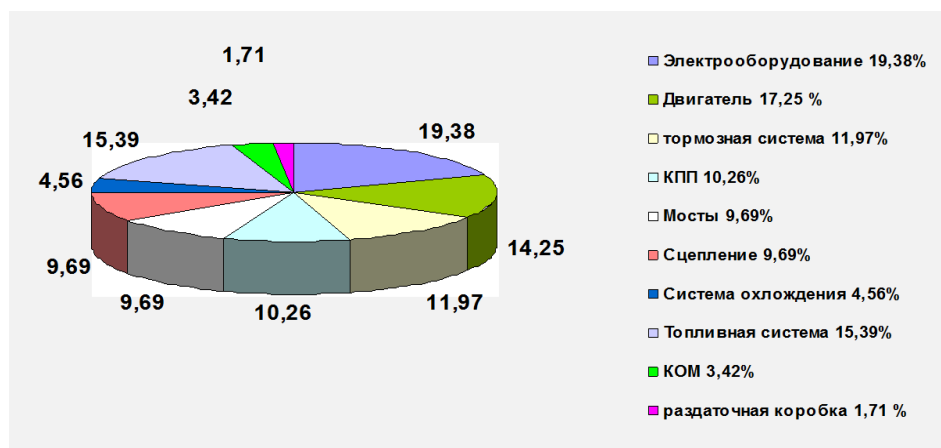
Наиболее действенным и эффективным методом борьбы с износом является использование в узлах трения качественных смазочных материалов. На практике часто складывается ситуация, когда для пожарных автомобилей стоимостью в миллионы рублей в качестве смазочного материала для деталей узлов механизма используют в лучшем случае солидол, в то время как в обычных легковых автомобилях применяют дорогие высококачественные смазочные материалы. Стоимость смазочного материала ничтожно мала по сравнению со стоимостью узлов механизмов, а пользу, которую можно получить при использовании хорошего смазочного материала, может быть огромна.

Все вышеизложенное предопределило задачи исследований и цель данной работы, которая заключалась в разработке присадок к трансмиссионным маслам для улучшения их характеристик.

В настоящее время на вооружении пожарной охраны Ярославской области находится большое количество пожарной аварийно-спасательной техники. Обеспеченность подразделений ФПС ГУ МЧС России по Ярославской области современным пожарно-техническим вооружением и аварийно-спасательным оборудованием составляет всего лишь 30% от общей численности пожарной техники. В основном на вооружении находится техника с большим сроком службы. В результате, чего для

поддержания боевой готовности последней необходимо проведение своевременного и качественного технического обслуживания. Одной из составляющих качественного технического обслуживания является качество применяемых расходных материалов, в частности смазочных материалов.

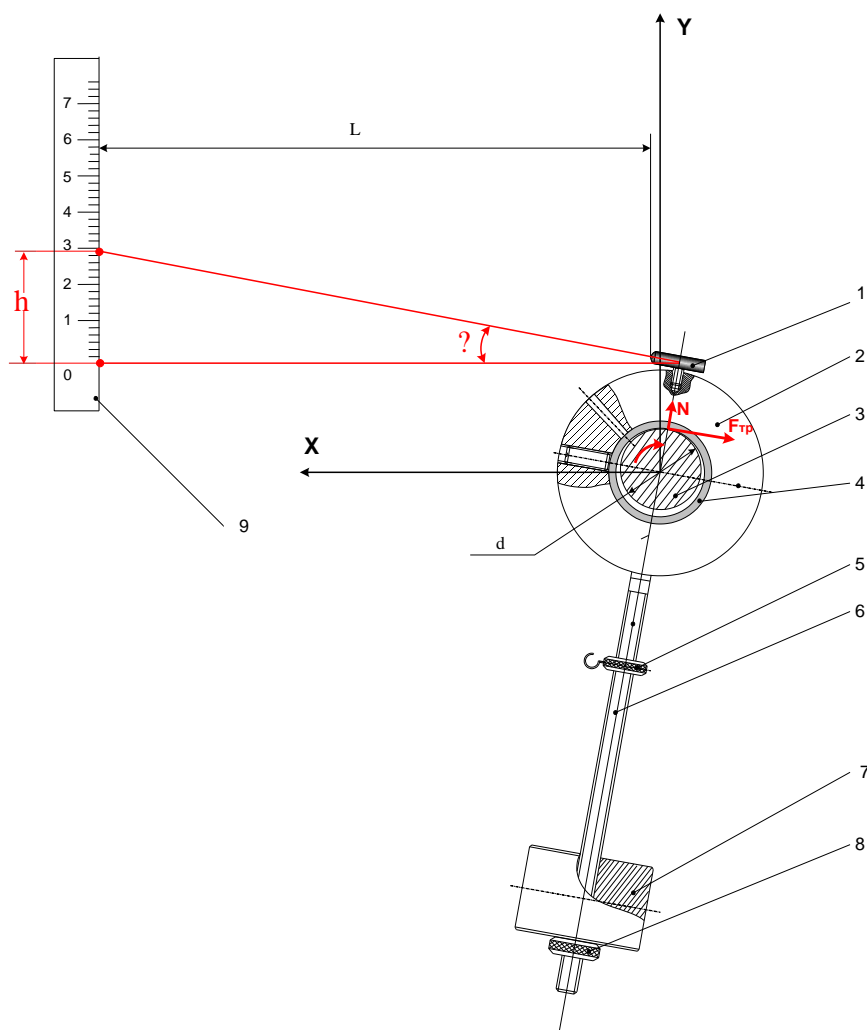
На рис. 1 представлены данные, которые показывают, что значительная доля отказов приходится на нарушение работоспособности трансмиссий пожарных автомобилей. На неисправности деталей трансмиссии пожарной техники, согласно оперативным данным, приходится порядка 25% от общего числа всех поломок. Поэтому улучшение качества их обслуживания, включая своевременную замену смазочных материалов в трансмиссиях пожарных автомобилей, является важной задачей, решение которой позволит повысить боеготовность подразделений пожарной охраны.



**Рис. 1.** Распределение отказов по типам узлов и систем пожарных автомобилей

Исследование триботехнических характеристик трансмиссионного масла с трибоактивной добавкой проводилось с помощью экспериментальной установки - триботехнический маятник. Установка закрепляется на токарно-винторезном станке модели 16К20, показанном на слайде. Триботехнический маятник – это устройство, которое относится к машиностроению, конкретно к динамометрам, моментомерам и приборам для измерения силы трения, момента трения, коэффициента трения и интенсивности изнашивания материалов пары трения.

Данная экспериментальная установка (рис. 2) не имеет ни каких цифровых индикаторов, указывающих на значения нагрузки, момента трения, тем не менее, позволяет с высокой точностью определять коэффициент трения по принципу физического маятника. Значение отклонения маятника от вертикального положения будет пропорционально возникающему в зоне трения моменту трения или коэффициенту трения. Величину отклонения маятника от вертикального положения фиксировали с помощью лазерного указателя, проецирующего изображение на противоположную вертикальную поверхность с нанесенной разметкой. Измеренное перемещение пятна лазерного луча пересчитывается в коэффициент трения контактирующих поверхностей испытываемых материалов.



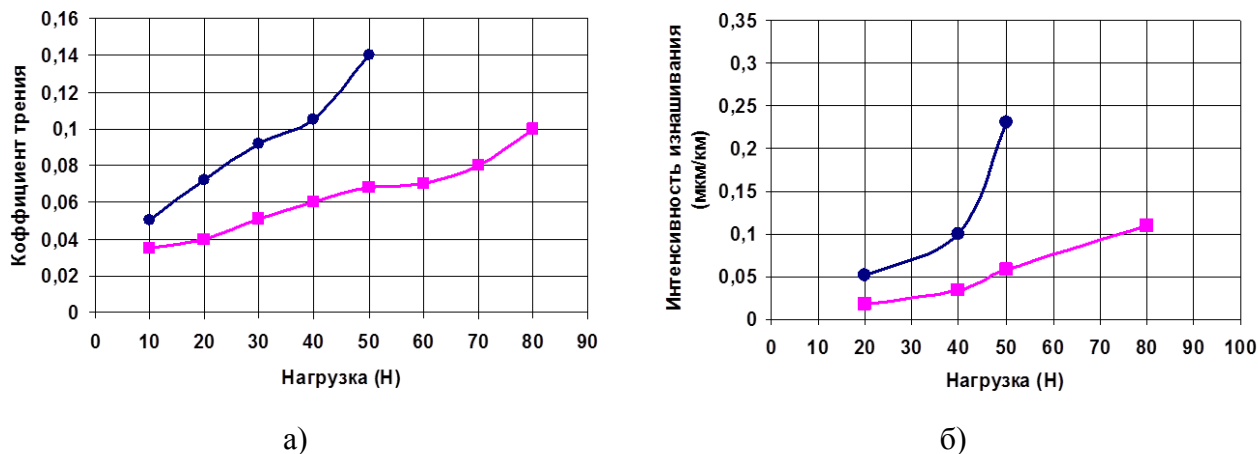
**Рис. 2.** Триботехнический маятник:

1 – источник когерентного излучения, 2 – муфта, 3 – вал, 4 – втулка-образец, 5 – гайка с крючком, 6 – стержень, 7 – груз, 8 – контргайка, 9 – шкала измерительная

В работе для оценки и сравнения присадки были исследованы триботехнические характеристики – зависимости коэффициента трения от приложенной нагрузки и зависимость интенсивности изнашивания от приложенной нагрузки при фиксированном пробеге. Эти характеристики определяют границы работоспособности пары трения. Стойкость материалов к изнашиванию в различных режимах трения определяют ресурс и срок службы узлов трения.

Исследуемая присадка представляет собой стеараты никеля, олова, меди и кобальта стеариновой кислоты. Металлы в стеарате находятся в растворенном виде. При определенных условиях металлические компоненты присадки восстанавливаются на контактирующих поверхностях. Такие условия возникают в зоне трения, где присутствуют нормальные и сдвигающие нагрузки и повышенные температуры. Химически чистые металлы очень активны и практически мгновенно восстанавливаются на металлических поверхностях деталей узлов трения, предотвращая непосредственный контакт пары трения.

Трибоактивная добавка растворялась в базовом масле в различных концентрациях от 1 до 3 %. Наилучшие показатели наблюдались при концентрации присадки в масле 1,5 %. На рис. 3 представлены результаты выполненных исследований с указанной концентрацией.

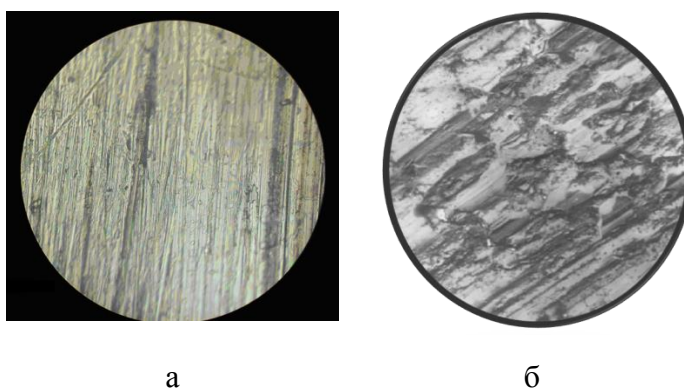


**Рис. 3.** Зависимость коэффициента трения от нагрузки (а) и зависимость интенсивности изнашивания от нагрузки (б) при скорости скольжения 1 м/с:

- – базовое трансмиссионное масло Total 75W-90 без присадки;
- – масло Total 75W-90 с 1,5 масс. % разработанной присадки

Из представленных зависимостей можем заметить, что введение в базовое масло Total 75W-90 разработанной присадки приводит к улучшению его триботехнических свойств, в частности к уменьшению коэффициента трения до 2 раз в зависимости от нагрузки, снижению степени износа поверхности до 4 раз, а также увеличению нагрузочной способности до 60 %.

Все вышеописанные опыты дали возможность предполагать, что на поверхности вала образуется пленка мягких металлов. Это предположение подтвердилось в ходе фотографирования поверхностей трения (рис. 4). Были сделаны две фотографии, одна на металлографическом микроскопе с увеличением 600 раз для детали, испытанной в условиях смазки базовым маслом и при значительном пробеге. На фото слева можем видеть достаточно изношенную поверхность. Другая фотография выполнена с большим увеличением порядка 3000 раз уже для образца, испытанного в масле с трибоактивной присадкой.



**Рис. 4.** Фотографии поверхностей трения испытуемых образцов:  
а) при трении в базовом масле;  
б) при трении в масле с присадкой



На фотографии справа можем увидеть появление на поверхности трения островков металлов. Предположения о том, что эти новообразования есть не что иное, как пленки мягких металлов подтвердились методом электронографии.

В данной работе были проведены исследования, направленные на повышение надежности трансмиссий пожарной автомобильной техники за счет повышения качества ее технического обслуживания, которое может заключаться в применении современных высокоэффективных расходных материалов, в том числе смазочных материалов. Была исследована трибоактивная добавка для трансмиссионных масел.

На основании проведенных экспериментов можем сделать вывод о том, что применение масел, модифицированных исследованной металлсодержащей присадкой позволит снизить коэффициент трения – до 2 раз, интенсивность износа поверхностей – до 4 раз.

Применение модифицированных масел также позволит улучшить технико-экономические показатели, а именно:

- продлить ресурс работы трансмиссий пожарной техники до 2 раз;
- снизить аварийные разрушения узлов;
- сократить затраты на внеплановые ремонты оборудования;
- экономить горюче-смазочные материалы;
- снизить потребление запасных частей и комплектующих.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев В.В., Мельников В.Г. Исследование свойств разработанных присадок на основе солей мягких металлов. // Эффект безызносности и триботехнологии. – 2004. – №1. – С. 16 – 20.
2. Киселев В.В. К проблеме улучшения триботехнических свойств смазочных материалов // Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2006. – Т.49. – № 12. – С113-114.
3. Зарубин В.П., Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В., Мельников А.А. Перспективы применения нанопорошков силикатов в смазочных материалах, используемых в пожарной технике. / Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – Т. 22. – № 5. – С. 65-70.
4. Пучков П.В., Топоров А.В., Киселев В.В. Разработка конструкции трибологически безопасного резьбового соединения. / Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2012. – № 1. – С. 28-31.
5. Пучков П.В., Киселев В.В., Топоров А.В. Разрушение строительных металлоконструкций в условиях пожара. / Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – № 3. – С. 29-32.
6. Киселев В.В. Исследования по выявлению оптимальной концентрации разработанного медно – оловянного комплекса в масле. // Депонирована в ВИНТИ 29.04.2003. – № 836.

УДК 677.017

*Д. В. Митронов<sup>1</sup>, О. В. Блинов<sup>2</sup>, В. А. Годлевский<sup>3</sup>,  
Е. Н. Калинин<sup>2</sup>, В. Б. Кузнецов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ивановский государственный университет

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ТРИБОМЕТРЕ ТАУ-1**

**Ключевые слова:** ткань, испытания, трибометр, коэффициент трения.

**Аннотация:** выполнена модернизация малогабаритного трибометра для получения возможности испытания на нем образцов текстильных материалов при реализации схемы узла трения «сфера-плоскость» и возвратно-поступательном движении индентора. Был произведен цикл испытаний образцов разных типов тканей с разными типами переплетений и поверхностной отделки. Обнаружена корреляция между антифрикционными и антиизносными свойствами различных образцов.

*D. V. Mitronov, O. V. Blinov, V. A. Godlevskiy, E. N. Kalinin, V. B. Kuznetsov*

## **THE STUDY OF TEXTILE MATERIALS TRIBOLOGICAL PROPERTIES ON TRIBOMETER TAU-1**

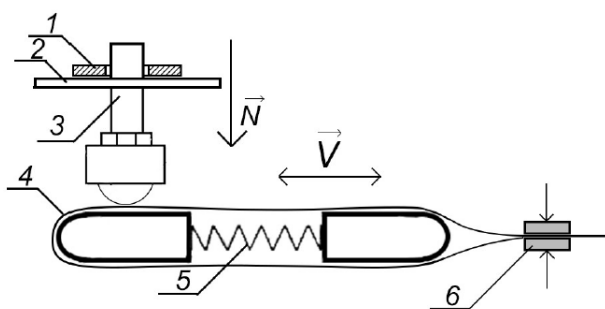
**Keywords:** cloth, testing, tribometer, friction coefficient.

**Abstracts:** the small-sized tribometer was modernized to obtain the possibility of testing textile samples on it with the implementation of friction scheme «pin – plate» and the reciprocating motion of indenter. A cycle of testing of samples of different types of weave and surface finishing was performed. We found the correlation between the antifrictional and anti-wear properties of various samples.

Одним из основных показателей, характеризующих физико-механические свойства тканей, является их трибологические характеристики, из которых главными являются антифрикционные и антиизносные. В результате реализации процессов заключительной отделки текстильные материалы приобретают различные эксплуатационные характеристики, связанные, в том числе, и с изменением свойств поверхности ткани. Эти свойства, а также и внешний вид тканей зависят от сырьевого состава, типа отделки и вида переплетения. Тем не менее, ткацкие переплетения в значительной степени определяют физико-механические показатели текстильных материалов и в частности трибологические [1, 2].

С целью расширения технических возможностей трибометра лабораторного ТАУ-1, предназначенного для измерения силы трения твердых поверхностей, была выполнена его модернизация, позволяющая определять коэффициент трения текстильных материалов. В нем был использован сферический индентор с шариком большего диаметра (6 мм), чем у оригинальной конструкции и введено устройство для обеспечения равномерного натяжения тканевого образца. На рис.1 представлена

принципиальная схема модернизированного узла трения, установленного в трибометр ТАУ-1. Каретка совершает возвратно поступательные движения и нагруженный индентор соприкасается с испытуемой тканью.



**Рис. 1.** Схема узла трения трибометра ТАУ-1, модернизированного для испытания пары трения «ткань — металл»: 1 — груз; 2 — нагрузочная площадка; 3 — индентор; 4 — натянутый образец ткани; 5 — натяжная пружина; 6 — зажим Гофмана;  $N$  — нормальная нагрузка;  $V$  — направление возвратно-поступательного движения каретки

Для исследования были выбраны следующие образцы тканей:

а) однослойные:

- поплин, сатин Люкс, рогожка в суровом и готовом виде;

б) двухслойные армирующие для тентов:

- образец № 1 лицевая сторона ПЭ нити, изнаночная — лен.

- образец № 2 лицевая сторона ПЭ нити, изнаночная — лен + хлопок;

- образец № 3 лицевая сторона ПЭ нити, изнаночная — хлопок пневмомеханического способа прядения.

Измерение коэффициента трения образцов текстильных материалов осуществлялось по двум вариантам:

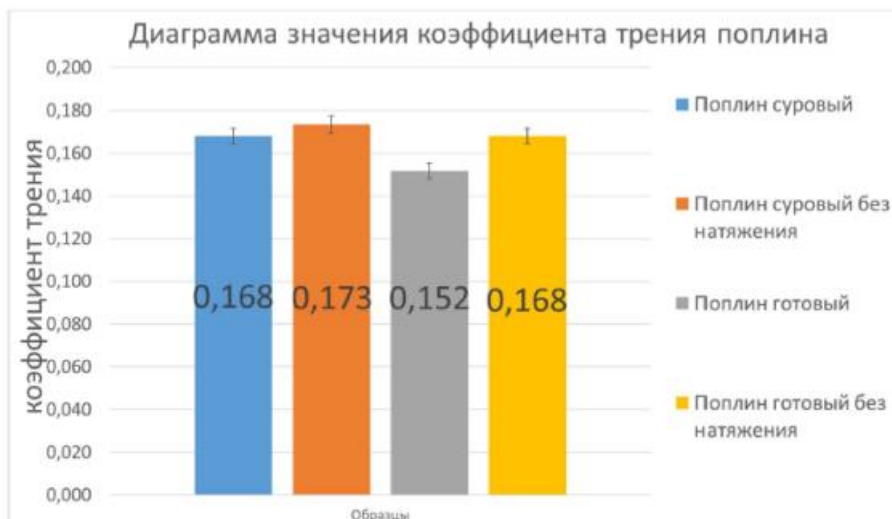
- при максимальном натяжении ткани с помощью натяжного устройства (сила натяжения 10 Н);

- без натяжения.

На диаграмме (рис. 2а) представлена зависимость величины коэффициента трения лицевой поверхности ткани поплин для обоих вышеуказанных вариантов испытаний. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при натяжении у готового образца коэффициент трения примерно на 10% ниже, чем у сурового. Это объясняется его более гладкой поверхностью, образовавшейся в результате проведения отделочных операций, а суровая ткань имеет более рельефную поверхность, что повышает механическую компоненту коэффициента трения.

При отсутствии натяжения коэффициент трения повышается для обоих вариантов. В случае готовой ткани это обусловлено тем, что в процессе измерения образуется волна ткани на пути индентора, которая и создает дополнительное сопротивление. Аналогичные зависимости, представленные на рис. 2 б, прослеживаются и для сатина-Люкс. Дополнительная обработка лицевой стороны сатина поверхностно-активным веществом приводит к еще более резкому, примерно на 15%, снижению коэффициента трения. Это обусловлено образованием более гладкой, чем ткань, пленки ПАВ на поверхности материала [3].

Определение коэффициента трения у ткани рогожка осуществлялось только при натяжении. У суровой ткани он примерно на 13% выше, чем у готовой (рис. 3), и также выше, чем у поплина и сатина-Люкс в суровом виде, что объясняется ее сложной структурой переплетения и более рельефной поверхностью.



а



б

Рис. 2. Влияние натяжения ткани поплин на коэффициент трения различных тканей:  
а — поплина и б — сатин-Люкс



Рис. 3. Коэффициент трения суровой и готовой ткани типа рогожка

Коэффициент трения для двухслойных тканей определяли для всех образцов под натяжением с лицевой и изнаночной сторон, а у образца № 1 еще и для лицевой стороны без натяжения. Полученные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициент трения для двухслойных тканей

Номер образца, сторона	Натяжение	Коэффициент трения
№ 1, лицо	+	0,282 ± 0,008
№ 1, лицо	-	0,327 ± 0,010
№ 1, изнанка	+	0,276 ± 0,005
№ 2, лицо	+	0,272 ± 0,050
№ 2, изнанка	+	0,231 ± 0,003
№ 3, лицо	+	0,269 ± 0,005
№ 3, изнанка	+	0,257 ± 0,010

Более высокие значения коэффициента трения, примерно в 1,5 ÷ 2 раза, по сравнению с поплином, сатином-Люкс и рогожкой обусловлены тем, что двухслойные ткани имеют большую толщину. В результате индентор глубже проникает в их структуру и, соответственно, испытывает большее сопротивление. При этом следует отметить тенденцию возрастания коэффициента трения по изнаночной стороне от образца № 3 (хлопок) к образцу № 1 (лен), что вероятно обусловлено спецификой поверхности образующих ее нитей

В табл. 2 приведены данные по испытанию образцов двухслойных тканей на устойчивость к истиранию по ГОСТ 18976-73 и коэффициентам трения по лицевой стороне, полученным с помощью модернизированного трибометра ТАУ-1.

Таблица 2. Показатели устойчивости к истиранию и коэффициенты трения двухслойных тканей

Номер образца	Коэффициент трения	Стойкость к истиранию, циклы
1	0,276 ± 0,005	20703
2	0,257 ± 0,010	21358
3	0,231 ± 0,003	23702

Анализируя полученные результаты можно отметить, что они хорошо коррелируются между собой и имеют обратно пропорциональную зависимость – чем меньше коэффициент трения, тем больше количество циклов к истиранию выдерживает испытуемый образец. Кроме того, время проведения эксперимента на приборе ТАУ-1 существенно меньше, чем при использовании гостированных средств оценки устойчивости ткани к истиранию.

Таким образом, модернизированный трибометр ТАУ-1 может с успехом быть использован для определения трибологических параметров текстильных материалов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кирюхин С.М., Шустов Ю.С. Текстильное материаловедение-М.: КолосС, 2011. – 360 с.

2. Кукин Г.Н. и др. Текстильные материаловедение (текстильные полотна и изделия). Учебн. для вузов / Г.Н. Кукин, А.Н.Соловьев, А.И. Кобляков. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1992. 272 с.

3. Степанова Т.Ю. Разработка и исследование эмульгирующих составов на основе полиэтиленгликолей как регуляторов трения волокно-волокно и волокно-металл: дисс. канд. техн: 05.02.04 защищена 2003 г./ степанова Татьяна Юрьевна – Иваново, 2003г. -112 с.

УДК 621.23

*С. Л. Панченко, С. М. Яценко*

ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия» имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (г. Воронеж)

## СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ И СНИЖЕНИЯ ИЗНОСА ПРИ РАБОТЕ МАШИН

**Ключевые слова:** износ, надежность, отказ, вибрация.

**Аннотация:** в статье проанализировано воздействие вибрации на машины и механизмы, приведена методика определения вероятности отказов эксплуатационных объектов, а также установлен способ снижения износа за счет своевременной вибродиагностики.

*S. L. Panchenko, S. M. Yashchenko*

## WAYS OF CONTROL AND DECREASE OF DETERIORATION DURING THE WORKING OF MACHINES

**Keywords:** deterioration, reliability, failure, vibration.

**Abstracts:** the article analyzes the effects of vibration on machines and mechanisms; provides a method for determining the probability of failure of operational facilities, and also established a method for reducing of deterioration due to timely vibration diagnostics.

Работа ряда машин и механизмов сопровождается вибрацией, обусловленной колебательными явлениями, в результате которых происходит довольно весомая часть всех неисправностей. Под воздействием периодически изменяющейся нагрузки детали совершают вынужденные колебания, которые особенно опасны в зоне резонансов, когда частоты возмущающих сил и моментов совпадают с частотами собственных колебаний системы. Вероятность возникновения резонансных режимов возрастает с увеличением частот вращения валов и рабочих органов машин. Кроме механических повреждений механизмов, колебания оказывают отрицательное воздействие на организм человека.

Колебания механических систем могут быть вызваны мгновенным импульсом или внезапным приложением и последующим снятием внешних моментов и внешних сил. Помимо вибрационных колебаний, в любых механизмах присутствует процесс трения, вызывающий износ деталей, приводящий постепенно механическую систему в состояние неисправности либо отказа. Износу подвержены многие элементы механических систем. В связи с этим одной из самых важных проблем со-

временных отраслей техники является увеличение срока службы быстроизнашивающихся деталей [1].

Одним из важных понятий безотказной работы механизмов является надежность, которая определяется как свойство механической системы выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих режимам и условиям эксплуатации, технического обслуживания, хранения и транспортировки [2].

Не менее важным понятием является безотказность – свойство механической системы непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение определенного времени или наработки. При этом наработкой является продолжительность работы механизма, выраженная:

- для механизмов в целом – во времени (часах);
- для авиации – в часах налета летательного аппарата;
- для двигателей (в том числе пожарных автомобилей) – в моточасах и т.д.

Вероятность отказа за интервал времени или наработки при работе изделия без замены определяются по формуле:

$$f(l) = \frac{m(\Delta t_i)}{N \cdot \Delta t}, \quad (1)$$

где  $m(\Delta t_i)$  – число отказов за интервал времени  $\Delta t_i$ ;  $\Delta t_i$  – длина  $i$ -го интервала наблюдения;  $N$  – число эксплуатируемых объектов.

Средняя наработка механизма или его отдельного элемента на отказ определяется по формуле:

$$\bar{t} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{n}, \quad (2)$$

где  $\bar{t}$  – средняя наработка машины на отказ;  $t_i$  – наработка  $i$ -го механизма на отказ;  $n$  – число механизмов (машин), взятых под наблюдение.

Отказы деталей механической системы обусловлены появлением дефектов. Наиболее известным и эффективным методом предупреждения возникновения отказов является вибродиагностика [3].

Совокупность методов и средств для снижения явлений вибрации, воспринимаемой объектами защиты, которыми являются машины, механизмы, приборы, находящиеся в зоне действия вибрации, а также составляющие устройства, компоненты и детали, входящие в состав механизмов и люди, работающие с механизмами, называется вибрационной защитой.

Основные методы виброзащиты:

- снижение колебаний в источниках вибрации: статическая и динамическая балансировка вращающихся элементов, замена изношенных деталей (подшипников, валов и т.д., так как появление зазоров способствует увеличению вибрации);

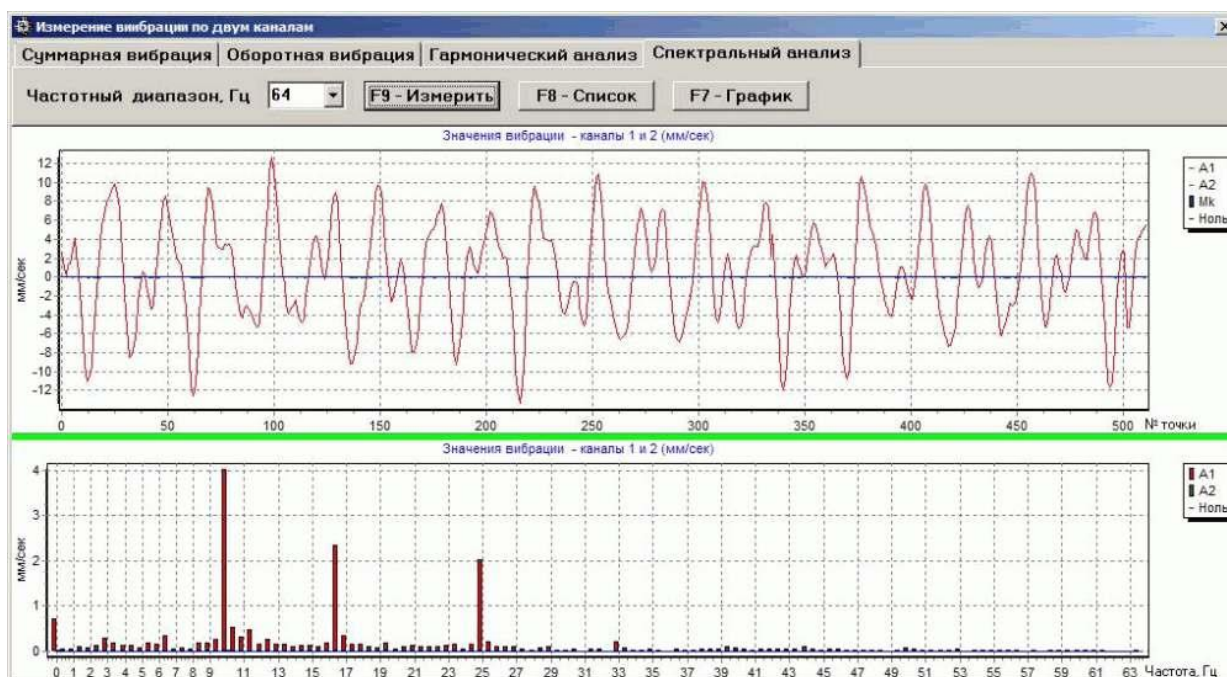
– снижение частоты периодического движения механизма, в том числе за предел диапазона частот нормируемой вибрации, связанное с изменением конструкции объекта;

– динамическое гашение колебаний, достигаемое с помощью динамических виброгасителей, устанавливаемого в механическую систему;

– виброизоляция, которая сводится к изоляции механической системы от вибрирующих механизмов при помощи демпфирующих элементов и устройств, устанавливаемых между вибрирующей деталью и защищаемым объектом.

Наиболее простыми и надежными способами осуществляется вибродиагностика подшипников. В настоящее время оценка дисбаланса по результатам измерения вибропараметров подшипников получила широкое применение. В некоторых случаях при балансировке успешно применимы результаты более сложных измерений параметров вибрации самого вала, особенно при низком уровне вибрации в подшипниках.

Исходной характеристикой при балансировке валов могут служить только параметры вибрации с частотой вращения, вызываемой неуравновешенностью масс вращающихся элементов. Однако в измеряемых вибропараметрах содержатся составляющие и других частот, вызванных определенным рядом причин. Исходя из этого, оборудование для балансировки валов должно обеспечивать возможность выделять и точно измерять параметры гармонической составляющей вибрационных колебаний, имеющих частоту, совпадающую с частотой вращения вала (рисунок).



**Рисунок.** График амплитуды колебаний подшипникового узла и цифровые сигналы вибраций

Перспективным методом диагностики дефектов подшипников является способ по соотношению «пик – фон вибросигнала», разработки которого ведутся в настоящее время. Способ имеет много различных, но практически одинаковых по эффективности модификаций.



Разновидности данного метода позволяют выявлять дефекты вращающихся пар (например подшипников качения) на достаточно ранних стадиях. Приборы, реализующие данный метод диагностики, достаточно просты и доступны по стоимости.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронкин Ю.Н., Поздняков Н.В. Методы профилактики и ремонта промышленного оборудования. – М.: Академия, 2005. – 240с.
2. Надежность машин / Под ред. М.Н. Решетова. – М.: Высш. шк., 1988. – 237 с.
3. Гольдин А.С. Вибрация роторных машин. – М.: Машиностроение, 1999. – 344 с.

УДК 621.892.096

*И. Н. Пахотина, Н. Е. Пахотин*

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»

### СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ РАЗДЕЛЕНИЯ И ОЧИСТКИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ

**Ключевые слова:** смазочные масла, мембраны, ультрафильтрация

**Аннотация:** Для очистки отработанных масел применяются различные технологии. Предлагается комплексная технология разделения и очистки отработанных масел, которая включает механическую фильтрацию, центробежную сепарацию и ультрафильтрацию.

*I. N. Pahotina, N. E. Pahotin*

### MODERN METHODS OF SEPARATION AND PURIFICATION OF WASTE OILS

**Keywords:** lubricating oils, membranes, ultrafiltration

**Abstracts:** Different technologies are used to clean used oils. The complex technology of separation and purification of waste oils, which includes mechanical filtration, centrifugal separation and ultrafiltration, is proposed.

Для работы различных видов автомобилей, в том числе и пожарной техники, применяют большой комплекс смазочных материалов: моторные, трансмиссионные, гидравлические и индустриальные масла, а также пластичные смазки и консервационные смазочные материалы. Наибольший объем занимают моторные масла.

В процессе эксплуатации образуется значительное количество отработанных масел, которые необходимо утилизировать. Смазочные масла претерпевают значительные изменения, а именно изменяется состав масла, срабатываются присадки, происходит загрязнение механическими примесями, продуктами разложения и сгорания топлива. Для очистки и восстановления отработанных масел применяют различные технологии, основанные на физических, физико-химических и химических процессах. Исследование процессов разделения с использованием молекулярных сил позволило выделить мембранный метод, как наиболее перспективный. Мембранная

технология используется для разделения и очистки жидких и газовых систем. Мембраны – это селективно-проницаемый барьер между двумя фазами [1]. Мембраны изготавливают из органических, в том числе полимерных, и неорганических – металлических, керамических, стеклянных и прочих материалов. Мембраны могут быть твердые и жидкие. Для производства мембран необходима современная высокоточная технология. Мембранное разделение основано на селективном переносе компонентов смеси через мембрану. Использование мембранных процессов для разделения масел позволяет создать экономически эффективные, ресурсо- и энергосберегающие малоотходные технологии.

Предлагается комплексная технология разделения и очистки отработанных масел при оптимальном сочетании баромембранной технологии с традиционными методами очистки. Новая технология включает механическую фильтрацию, центробежную сепарацию, и ультрафильтрацию. Она позволяет значительно уменьшить объем утилизации масел и, тем самым, улучшить экологическую обстановку. Мембраны позволяют убрать все механические примеси до 0,1 мкм, влагу, продукты окисления и полимеризации масла. Единственно узким местом подобных систем являются высоковязкие масла и масла с высокомолекулярными присадками – присадки в этом случае тоже отфильтровываются мембраной, и в результате получаем просто базовое масло без присадок на выходе. К наиболее распространенным промышленным мембранным процессам относят обратный осмос, ультра-, микро- и нанофильтрацию.

Наиболее эффективными являются ультрафильтрационные мембраны, так как они улавливают мелкодисперсные включения, а их использование не требует больших затрат. Мембраны имеют поры размером 0,01–0,1 микрон, а сам процесс ультрафильтрации может осуществляться при сравнительно не высоком давлении 0,3 – 1,0 МПа [2].

Ультрафильтрационная технология разделения растворов известна давно, она успешно применяется в текстильной, химической и других отраслях промышленности. Однако в сфере разделения и очистки отработанных моторных, турбинных, вакуумных и прочих масел об этом методе заговорили сравнительно недавно. Это связано с появлением на рынке промышленно освоенных и коммерчески доступных мембран и аппаратов. Применение мембранных технологий позволяет существенно снизить затраты на очистку отработанных масел, по сравнению с традиционными методами сепарации, сорбции и дегазации. Осуществление всех стадий очистки возможно на одной единице оборудования в непрерывном режиме. При этом значительно повышается общая надежность системы, ее отказоустойчивость (единственная подвижная деталь это колесо или мембрана насоса). Система полностью автоматизирована и не требует контроля со стороны человека, легко может быть включена в общую систему автоматизации предприятия.

В зависимости от технологического процесса разделения и очистки получают 2-3 фракции базовых масел. Из них компаундированием и введением присадок могут быть приготовлены товарные масла - моторные, трансмиссионные, гидравлические, СОЖ, пластичные смазки. Организация процесса фильтрации на баромембранных установках разного типа представлена в таблице.

В ряде случаев для борьбы с ростом осадка над поверхностью мембраны создают дополнительный поток из обрабатываемой жидкости, который размывает накапливающийся осадок. Жидкость, содержащая удаленные с поверхности мембраны загрязнения, выводится из разделительного аппарата.

Таблица. Процесс фильтрации на баромембранных установках разного типа

Метод	Давление, бар	Фильтрация
Микрофильтрация	0,1–5	В тупиковом режиме без промывки мембраны
Ультрафильтрация	0,1–5 обычно процесс ведут при трансмембранном давлении не более 1 бар	В тупиковом режиме, регулярные промывки мембраны обратным током
Нанофильтрация	3,5–20	Масло подается параллельно поверхности мембраны с постоянным сбросом концентрата
Обратный осмос	10–70	Масло подается параллельно поверхности мембраны с постоянным сбросом концентрата

Для более эффективного удаления загрязнений с поверхности и из пор мембраны используют метод обратных промывок, при котором фильтрат пропускают через мембрану в направлении, обратном направлению фильтрования [3].

В процессе длительной работы производительность мембранных аппаратов постепенно уменьшается, т. к. на поверхности и в порах мембраны сорбируются различные вещества и отлагаются частички загрязнений, увеличивающие общее гидравлическое сопротивление мембранных аппаратов. Для восстановления первоначальной производительности несколько раз в год проводится химическая промывка мембранных аппаратов специальными кислотными и щелочными реагентами для удаления накопленных загрязнений.

Основные задачи при проектировании мембранных установок – это подбор оптимального типа мембран в зависимости от состава отработанного масла и определение оптимального режима эксплуатации мембранной установки, при котором загрязнение мембран было бы минимальным. Кроме того, важно уметь прогнозировать работу установки в течение длительного периода эксплуатации. Это возможно реализовать только при условии применения новых современных технологий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И.Н. Пахотина, Ю.П. Осадчий, Пахотин Н.Е. Баромембранное разделение и очистка отработанных моторных масел // Молодые ученые развитию текстильно-промышленного кластера (Поиск-2015): Сборник трудов Межвузовской научно-технической конференции с международным участием. - Иваново: ИВГПУ, 2015. – С. 221-222.
2. Осадчий Ю.П., Пахотин Н.Е., Пахотина И.Н. Применение ультрафильтрации при разделении жидких полидисперсных систем// Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2014. – С. 85-88.
3. Пахотина И.Н., Осадчий Ю.П., Пахотин Н.Е. Методы регенерации отработанных моторных масел // Пожарная и аварийная безопасность: Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России, 2013. – С. 241-244.

УДК 621.91.01

*Д. С. Репин, Е. В. Зарубина, Л. Н. Козлов*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ АКТИВИРОВАННЫХ СОТС С ПОЛИМЕРНЫМИ ПРИСАДКАМИ ПРИ ЛЕЗВИЙНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ**

**Ключевые слова:** резьбонарезание, фрезерование, режущий инструмент, смазочно-охлаждающие технологические средства, поливиниловый спирт, коронный разряд.

**Аннотация:** В статье представлены результаты исследований эффективности действия активированных полимерсодержащих СОТС при резьбонарезании и фрезеровании.

*D. S. Repin, E. V. Zarubina, L. N. Kozlov*

## **EFFICIENCY OF ACTIONS OF ACTIVATED OF LUBRICANT-COOLING AGENT WITH POLYMERIC ADDITIVES AT CUTTING METALS**

**Keywords:** during thread cutting, milling, cutting tool, lubricant-cooling agent, polyvinyl alcohol, corona discharge

**Abstracts:** The article presents the results of studies of the effectiveness of activated polymer-containing lubricant-cooling agent during thread cutting and milling.

Современные СОТС - это неотъемлемая часть всего комплекса средств, обеспечивающего эффективную эксплуатацию металлорежущего оборудования. Поскольку в практике металлообработки условия резания различаются значительно, то соответственно применяется и большое число СОТС, искусственно вводимых в зону резания. Естественно, что такие вопросы, как назначение, классификация и физико-химические основы действия СОТС, требуют особого внимания и должны быть достаточно подробно рассмотрены в первую очередь [1]. Так, было исследовано СОТС, с добавлением полимерной присадки ПВС (поливиниловый спирт) и последующей активацией коронным разрядом.

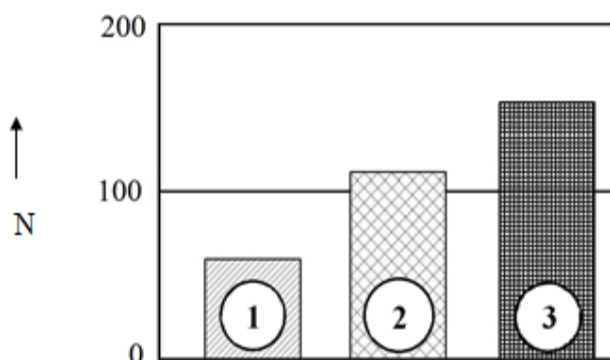
Эффективность действия испытуемых СОТС определялась при нарезании внутренней резьбы и фрезеровании. Выбор операции резьбонарезание обусловлен следующими особенностями. Одновременное участие в работе большого количества зубьев, контактирующих с обрабатываемым материалом не только в зоне резания, но и по нерабочим боковым поверхностям, приводит к возникновению значительных сил трения, на преодоление которых может расходоваться до 60% общей работы резьбонарезания. Срезаются тонкие слои металла (0,02-0,06 мм), что способствует увеличению нормальных сил  $N$ . Особенно это сказывается при нарезании резьбы в титановых сплавах, для которых характерно значительное упругое последствие. Высокие удельные давления действуют на рабочие поверхности метчика, образуемая при этом стружка получает большое упрочнение и сильно деформируется.

Результатом вышеуказанных особенностей является интенсивный износ метчиков, сколы и выкрашивание отдельных зубьев. Кроме того, метчики являются одними из наиболее сложных и наименее надежных инструментов. Метчики при эксплуатации часто преждевременно выходят из строя.

Все вышесказанное обуславливает необходимость применения эффективных СОТС, способствующих повышению стойкости метчиков и улучшению качества резбонарезания.

При резбонарезании использовались машинно-ручные метчики М 6×1, изготовленные из стали Р6М5. Резьба длиной 6 мм нарезалась напроход в заготовках из нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Скорость резания превышала верхний предел рекомендуемых и составляла 3,6 м/мин. Нарезание резьбы осуществлялось с применением СОТС - Эфтол, Эфтол + ПВС, активированного положительно (+), Эфтол + ПВС, активированного отрицательно (-). За критерий износа, согласно [2], было принято двойное увеличение величины крутящего момента.

На рис. 1 показано, количества обработанных отверстий при резбонарезании. Данные эксперимента показывают, что количество обработанных отверстий при резании с использованием в качестве СОТС «Эфтол» составляет 60 отверстий, что приблизительно 2 раза меньше по сравнению с использованием «Эфтол» + ПВС (+), и в 2,5 раза меньше, чем в случае с применением - Эфтол + ПВС (-).



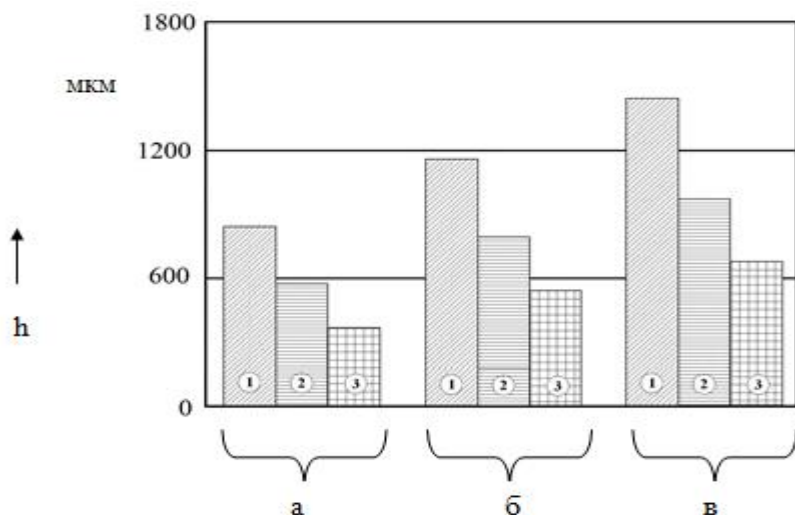
**Рис. 1.** Количество обработанных отверстий N при нарезании резьбы М6×1 в стали 12Х18Н10Т метчиками из быстрорежущей стали Р6М5 при V=3,6 м/мин: 1 – Эфтол; 2 – Эфтол + ПВС (+); 3 – Эфтол + ПВС (-)

Полученные результаты позволяют предположить, что износ режущих зубьев метчиков объясняется не только истирающей способностью материала, но и такими факторами как различные температурные условия и условия наростообразования.

Образующийся нарост оказывает отрицательное действие на стойкость метчиков. Использование активированных полимерсодержащих СОТС позволяет замедлить процесс изнашивания быстрорежущих метчиков, тем самым, способствуя уменьшению размеров нароста, в результате чего стойкость метчиков повышается.

На операции фрезерования в качестве режущего инструмента использовались специальные прорезные фрезы, изготовленные из быстрорежущей стали Р9. Обрабатываемый материал – углеродистая сталь У8. Режимы резания устанавливались согласно и составили V=90 м/мин, S=315 мм/мин, t=0,5 мм. За критерий стойкости фрез принималась величина суммарного износа зубьев при длине пути резания равном 8 м. Данная длина пути резания соответствует среднему значению стойкости фрез с применением в качестве СОТС – Эфтол.

На рис. 2 видно, что фрезы после 8 метров резания, при использовании в качестве СОТС – Эфтол, имеют суммарный износ 1650 мкм. Величина износа фрез при использовании Эфтол + ПВС 2 (+) составила 1000 мкм, Эфтол + ПВС (-) – 700 мкм. Таким образом, на операциях фрезерования применение Эфтол + ПВС (-) позволяет повысить стойкость инструмента по сравнению с использованием СОТС Эфтол в 2 раза, по сравнению с Эфтол + ПВС (+) – в 1,6 раза.



**Рис. 2.** Динамика износа прорезных фрез из стали Р9 при резании стали У8 -  $V=90$  м/мин;  $S=315$  мм/мин;  $t=0,5$  мм. 1 – Эфтол; 2 – Эфтол + ПВС (+); 3 – Эфтол + ПВС (-). При длине пути резания: а – 2 м; б – 5 м; в – 8 м

Исследованиями по определению износостойкости инструментов, с применением активированных полимерсодержащих СОТС, проведенных при точении, резьбонарезании и фрезеровании установлено, что активированные полимерсодержащие СОТС эффективно повышают стойкость инструмента. Значительный эффект был достигнут при использовании в качестве присадки к базовой СОТС поливинилового спирта.

Таким образом, результаты исследований подтверждают выводы о том, что химические реакции, протекающие при резании металлов с применением активированных полимерсодержащих СОТС, имеют свободно-радикальный характер. В результате образования реакционных радикалов происходит их химическое взаимодействие с металлом. На основании химизма смазки можно объяснить механизм действия СОТС при обработке различных металлов.

Важно отметить, что химизм смазки при резании зависит от способности СОТС и их специальных присадок генерировать в зоне резания или в объеме среды реакционные элементы – радикалы, свободные атомы. Активированные кислородсодержащие полимерные присадки, разрушаясь, являются генераторами активных радикалов, наличие которых в зоне резания, оказывает положительное действие как с использованием твердосплавного, так и быстрорежущего инструментов [3].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Латышев, В.Н. Повышение эффективности СОЖ / В.Н. Латышев. – М.: Машиностроение, 1975. – 88 с.
2. Можин, Н.А. О регулировании химической активности СОЖ / Н.А. Можин, В.Н. Латышев // Вопросы обработки металлов резанием. Сборник научных работ. Иваново, Иван. гос. энергетич. ин-т. 1975. – С. 26-31.

3. Репин, Д.С. Влияние активированных полимерсодержащих СОТС при обработке металлов резанием / Д.С. Репин, В.Н. Латышев, А.Г. Наумов // Металлообработка. – 2011 № 4 (64). С. 2-4.

УДК 621.89.017, 621.89

*Т. Ю. Степанова, Е. Ю. Куваева, И. Ю. Тютюкин*

Ивановский государственный химико-технологический университет

## **ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОСТИ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА КОНТАКТНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ**

**Ключевые слова:** кинематическая вязкость, контактное напряжение, коэффициент влияния смазочного материала

**Аннотация:** Исследовано влияние полимерной присадки на кинематическую вязкость индустриального масла И-50. Уточненный расчет коэффициента влияния смазочного материала на контактное напряжение позволяет определить оптимальную вязкость масла для любой марки стали.

*T. Yu. Stepanova, E. Yu. Kuvaeva, I. Yu. Tyutyukin*

## **INFLUENCE OF VISCOSITY OF LUBRICATING MATERIAL ON CONTACT VOLTAGE OF GEAR TRANSFER**

**Keywords:** kinematic viscosity, contact stress, lubricant effect coefficient

**Abstracts:** The effect of a polymeric additive on the kinematic viscosity of I-50 industrial oil was investigated. Refined calculation of the coefficient of influence of the lubricant on the contact voltage allows us to determine the optimal viscosity of the oil for any steel grade.

Эксплуатационные показатели машин и механизмов определяются характеристиками зубчатых передач. Основной составляющей эксплуатационных характеристик зубчатой цилиндрической передачи является смазочный материал. Применение жидких смазочных материалов обусловлено режимами эксплуатации, а также конструктивными особенностями цилиндрической передачи.

Работа зубчатой передачи сопровождается проскальзыванием контактирующих профилей зубьев, что вызывает увеличение сил трения скольжения, уменьшение слоя смазочного материала и рост циклических напряжений, приводящих к образованию усталостных трещин.

Основное назначение смазочного материала – снижение сил трения и оптимальное распределение контактных напряжений.

Применение полимерных добавок – одно из основных направлений в области разработки смазочных материалов для зубчатых передач.

Цель исследования – определить влияние вязкости индустриальных масел на контактное напряжение зубчатой цилиндрической передачи.

В работах Д.Н. Гаркунова, Ю.Н. Дроздова, И.В. Крагельского и др. рассмотрен вопрос применения смазочных материалов для зубчатых передач с полимерными добавками. Применение смазочного материала позволяет уменьшить усталостное разрушение поверхности трения и снизить контактные нагрузки.

Первый этап исследования заключался в определении оптимального процентного содержания полимерной добавки в масле И-50.

Разработана масляная суспензия, которая в количестве 1-10 мас. % вводилась в индустриальное масло И-50. Кинематическую вязкость смазочного материала определяли по ГОСТ 33-2000 с помощью стеклянного вискозиметра ВПЖ-4.

Вязкость имеет большое практическое значение. От величины вязкости зависит способность масла удерживаться в виде слоя необходимой толщины между трущимися поверхностями и обеспечивать режим жидкостного трения. По величине вязкости определяют возможность применения того или другого сорта масла при разных режимах работы механизма.

Применение масла с высокой вязкостью приводит к увеличению потерь мощности на трение, а также может быть причиной повышения температуры трущихся деталей и увеличения контактных напряжений.

Допускаемые контактные напряжения  $\sigma_{HP}$ , не вызывающие опасной контактной усталости материала зубчатой цилиндрической эвольвентной передачи внешнего зацепления, определяли по ГОСТ 21354-87:

$$\sigma_{HP} = \frac{\sigma_{Hlim}}{S_{Hmin}} Z_N Z_L Z_R Z_\theta Z_\omega Z_X,$$

где  $\sigma_{Hlim}$  – предел контактной выносливости поверхностей зубьев, соответствующий базовому числу циклов напряжений;

$S_{Hmin}$  – минимальный коэффициент запаса прочности;

$Z_N$  – коэффициент долговечности;

$Z_L$  – коэффициент, учитывающий влияние вязкости смазочного материала;

$Z_R$  – коэффициент, учитывающий влияние исходной шероховатости сопряженных поверхностей зубьев;

$Z_\theta$  – коэффициент, учитывающий влияние окружной скорости;

$Z_\omega$  – коэффициент, учитывающий влияние перепада твердостей материалов сопряженных поверхностей зубьев;

$Z_X$  – коэффициент, учитывающий размер зубчатого колеса [1].

Коэффициент  $Z_L$  по ГОСТ 21354-87 равен единице и не отражает влияние смазочного материала на допускаемое контактное напряжение.

А. Е. Митяевым предложена эмпирическая зависимость с учетом повышения номинальной вязкости смазочного материала от введения присадки:

$$Z_L = (2,28 \cdot 10^{-4} \cdot \sigma_{Hlim} + 0,636) + \frac{(1,456 - \sigma_{Hlim} \cdot 9,12 \cdot 10^{-4})}{\left(1,2 + \frac{80}{V_H}\right)^2},$$

где  $\sigma_{Hlim}$  – предел контактной выносливости;

$V_H$  – кинематическая вязкость модифицированного смазочного материала [2].



Расчеты проводили для зубчатой цилиндрической передачи с внешним зацеплением изготовленной из стали: шестерня – 25ХГМ, колесо – 40Х. В качестве смазочного материала передачи использовали индустриальное масло И-50 модифицированное полимерной присадкой. Результаты эксперимента приведены в табл. 1 и на рисунке.

Таблица 1. Результаты уточненного расчета коэффициента  $Z_L$

№ п/п	Содержание присадки в масле И-50, мас. %	Кинематическая вязкость, сСт	Коэффициент $Z_L$
1	0	92,0	0,9918
2	1	92,5	0,9923
3	2	94,0	0,9939
4	3	95,6	0,9955
5	4	98,3	0,9982
6	5	101,2	1,0012
7	10	110	1,0096

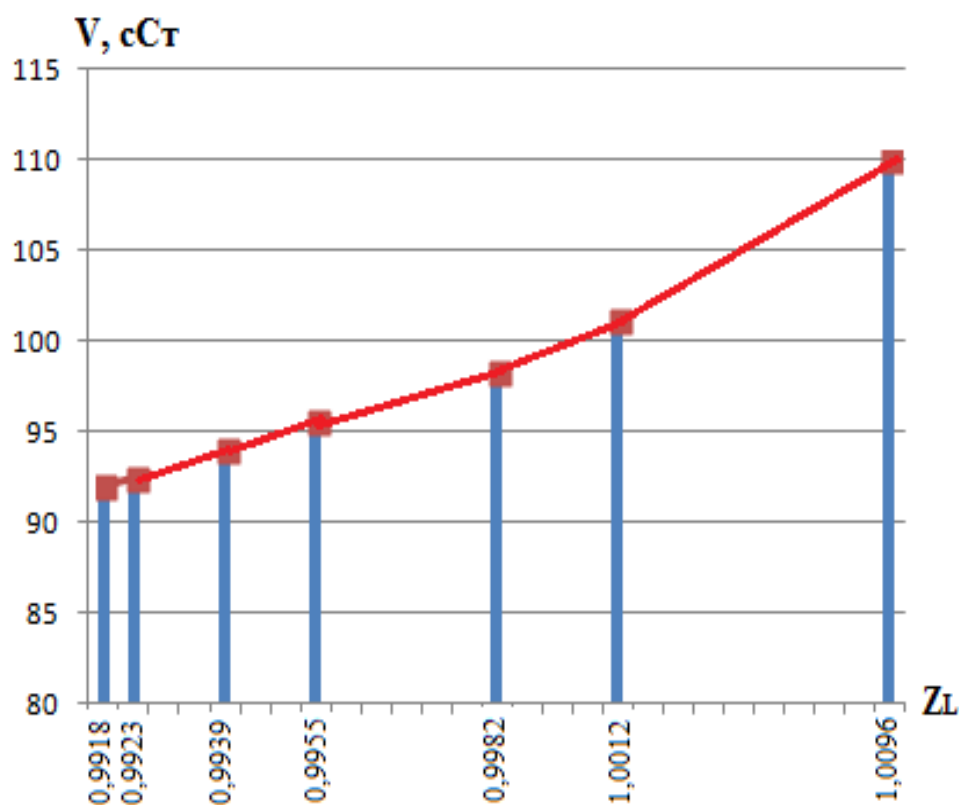


Рисунок. Зависимость коэффициента  $Z_L$  от вязкости  $V$  модифицированного индустриального масла И-50

Вторым этапом работы было определение коэффициента  $Z_L$  при вязкости смазочного материала от 20 до 150 сСт (табл. 2).

Таблица 2. Влияние вязкости смазочного материала на коэффициент  $Z_L$ 

№ п/п	Кинематическая вязкость смазочного материала $V$ , сСт	Контактное напряжение $\sigma$ , МПа	Коэффициент $Z_L$	Допускаемое контактное напряжение передачи $[\sigma]$ , МПа
1	20	669	0,853	784
2	30	682	0,870	
3	40	690	0,878	
4	50	713	0,909	
5	60	729	0,930	
6	70	739	0,943	
7	80	760	0,968	
8	90	781	0,996	
9	100	784	1,000	
10	110	792	1,010	
11	120	804	1,026	
12	130	815	1,039	
13	140	824	1,051	
14	150	833	1,062	

Уточненный расчет коэффициента  $Z_L$  в зависимости от вязкости смазочного материала показал, что при  $Z_L = 0,99 \div 1,01$  и вязкости 90-110 сСт цилиндрическая передача будет работать без перегрузок. При  $Z_L$  меньше 0,99 и больше 1,01 наблюдается изменение контактного напряжения в зацеплении, что будет вызывать повышенный износ деталей.

Вывод. Определена оптимальная концентрация полимерной присадки – 4% от массы масла И-50 по величине коэффициента влияния смазочного материала  $Z_L$ . Используя формулу А. Е. Митяева можно для любой марки стали определить вязкость смазочного материала, не вызывающую опасную контактную усталость конструкционного материала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 21354-87 (СТ СЭВ 5744-86). Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность.
- Митяев, А. Е. Распределение усилий по длине зуба зубчатого зацепления / С.И. Щелканов, А. Е. Митяев, В. Ф. Терентьев // Вестн. Краснояр. гос. техн. ун-та. Вып. 32. Машиностроение. – Красноярск, 2003. – С. 177-180.

УДК 621.899

**В. В. Терентьев, В. Д. Дементьев**

ФГБОУ ВО «Ивановская ГСХА имени Д.К. Беляева»

## **ВЛИЯНИЕ АДСОРБЕНТОВ НА КАЧЕСТВО ОЧИСТКИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

**Ключевые слова:** загрязненное масло, смазочный материал, адсорбент, очистка, утилизация

**Аннотация:** представлены результаты исследований качественных показателей моторного масла после его центробежной очистки в присутствии различных адсорбентов. Отмечено, что применение исследованных адсорбентов позволяет значительно повысить эффективность очистки (количество механических примесей по сравнению с очисткой без адсорбента снизилось в 6,5-26 раз).

*V. V. Terentyev, V. D. Dementyev*

## **THE INFLUENCE OF ADSORBENTS ON THE QUALITY OF THE CLEAN-UP OF CONTAMINATED MOTOR OIL**

**Keywords:** contaminated oil, lubricant, adsorbent, cleaning, disposal

**Abstract:** the results of studies of qualitative indicators of motor oil after its centrifugal purification in the presence of various adsorbents are presented. It is noted that the use of adsorbents studied can significantly improve the efficiency of cleaning (the number of mechanical impurities compared with cleaning without adsorbent decreased by 6.5-26 times).

Эксплуатация мобильной пожарной техники предусматривает использование различных видов смазочных материалов (моторных масел, трансмиссионных масел, пластичных смазок и т.п.).

От качества применяемых смазочных материалов во многом зависит ресурс технического средства. Для повышения ресурса смазочных материалов в него вводят дополнительные присадки и наполнители, которые позволяют снизить интенсивность протекания процессов деградации масла за счет снижения интенсивности изнашивания, улучшения условий смазывания и т.д. Многочисленные ранее проведенные исследования показали, что перспективным является использование как отдельных химических соединений, так и смесевых композиций [1-8].

Однако в процессе работы двигателя под действием высоких температур смазочный материал (особенно жидкие масла) окисляется, загрязняется водой, частицами топлива, охлаждающей жидкости, продуктами износа деталей и другими механическими примесями. При этом ухудшаются эксплуатационные свойства масла. Для поддержания чистоты масла в процессе работы двигатель внутреннего сгорания оснащается масляными фильтрами разнообразных конструкций.

Одними из регламентных работ, проводимых при техническом обслуживании автомобильной техники является замена масла и замена (очистка) масляного фильтра.

При этом большое количество масла выбраковывается и должно быть утилизировано. Утилизация отработанного масла требует дополнительных затрат денежных средств.

Однако более целесообразным и экономически оправданным является качественная очистка масла и его повторное использование.

Для очистки отработанных масел в настоящее время как за рубежом, так и в Российской Федерации используют различные технологические схемы, позволяющие осуществлять как очистку, так и осветление масел.

Все применяемые методы очистки загрязненных масел можно разделить на три основные группы: физические, химические и физико-химические.

К физическим методам относят: гравитационную очистку (отстаивание), сепарацию (центробежную очистку) и фильтрацию.

К химическим методам можно отнести: кислотную и щелочную очистку масла. Методы физико-химические – коагуляция, адсорбция, термовакуумная сушка, селективное растворение и т.д.

Химические методы достаточно широко распространены, позволяют проводить очистку масел от трудно отделяемых компонентов, однако требуют применения кислот (чаще всего серной) и щелочей. Это усложняет технологический процесс и требует дополнительной утилизации высокотоксичных продуктов химического взаимодействия, получаемых вместе с очищенным маслом.

Из физических методов широко распространена центробежная очистка масел. При этом используются центрифуги с повышенной грязеемкостью ротора, а также сепараторы. Эффективным является также применение в качестве технологического оборудования для очистки гидроциклонов различных конструкций. Однако присутствующие в масле трудноотделимые коллоидные частицы - загрязнители масла зачастую приводят к недостаточно высокой эффективности процесса очистки.

Применение селективного растворения зачастую ограничено наличием в очищаемом масле функциональных присадок, которые также взаимодействуют и нейтрализуются применяемыми растворителями.

Для повышения качества, а также снижения времени очистки эффективным является совмещение физических и физико-химических методов очистки [9].

Перспективным и наименее затратным является использование адсорбентов и коагулянтов. Принцип действия коагулянтов заключается в том, что в процессе взаимодействия коагулянта с коллоидными частицами загрязнителя масла эти частицы укрупняются, утяжеляются и далее могут быть удалены из очищаемого масла фильтрацией или чаще (центробежной очисткой).

Принцип действия адсорбентов заключается в том, что в результате прохождения через высокопористую структуру адсорбента в нем задерживаются растворенные в масле примеси.

Целью данной работы являлось исследование влияния введения различных адсорбентов на процесс центробежной очистки загрязненного масла.

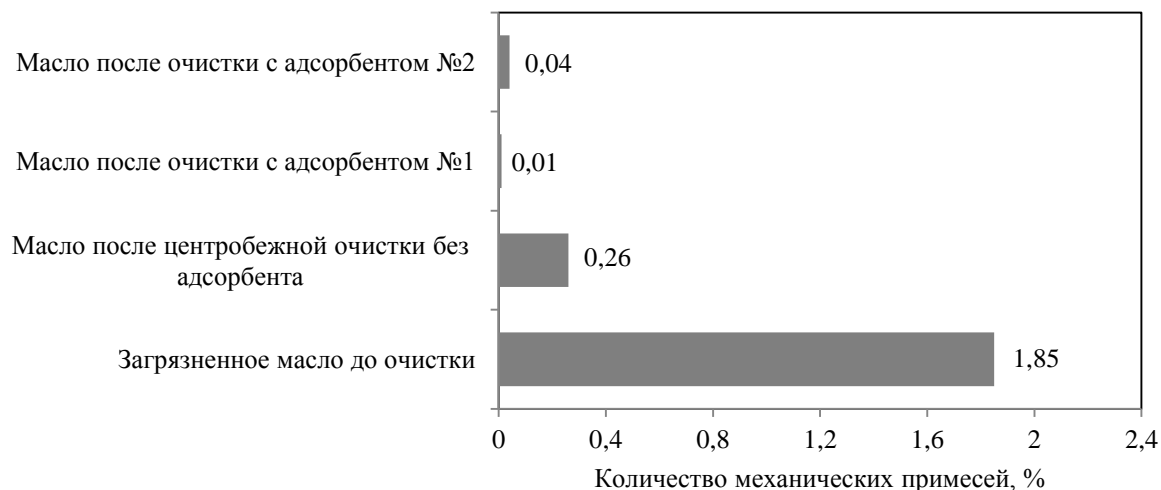
В качестве адсорбентов исследовались: аморфный силикат магния (адсорбент №1), и полиметилсилоксана полигидрат (адсорбент №2). В качестве загрязненного масла исследовалось моторное масло М-8Г2.

Программа эксперимента предусматривала очистку масла по следующей схеме: предварительный нагрев загрязненного масла, далее в него добавлялся адсорбент, происходило перемешивание адсорбента с маслом, (процесс осуществлялся в течение

30 мин.), охлаждение смеси и центробежная очистка на лабораторной центрифуге при 4300-4400 мин<sup>-1</sup> в течение 5 мин.

Количество механических примесей в масле до и после очистки определялось с помощью прибора ИЗЖ-М.

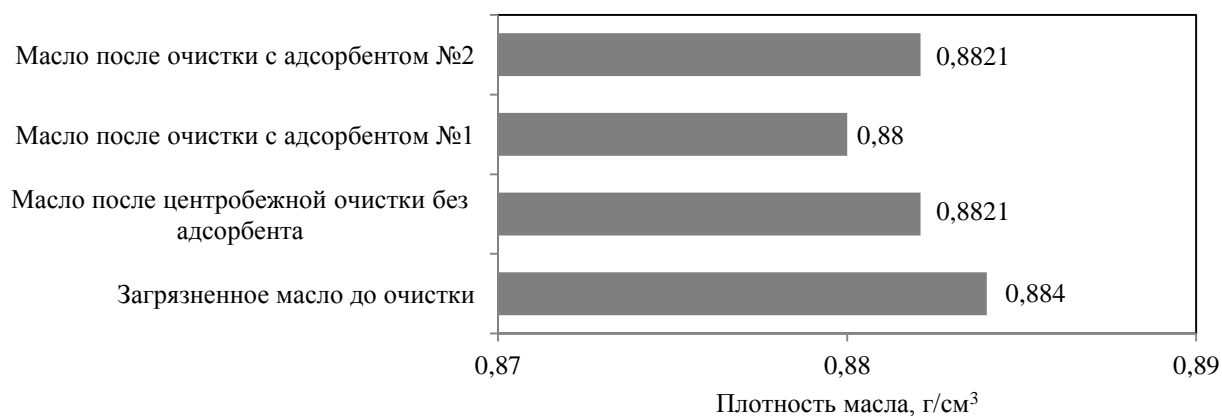
Результаты определения количества механических примесей до и после очистки представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Количество механических примесей в масле

Можно отметить эффективность применения в качестве адсорбентов при центробежной очистке масел как аморфного силиката магния, так и полиметилсилоксана полигидрата. Применение исследованных адсорбентов позволяет значительно повысить эффективность очистки (количество механических примесей по сравнению с очисткой без адсорбента снизилось в 6,5-26 раз).

Применение адсорбентов приводит к изменению основных вязкостно-температурных свойств масел. Плотность масла определялась по ГОСТ 3900-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности». Влияние введения адсорбентов на плотность масла представлено на рис. 2.



**Рис. 2.** Плотность масла до и после очистки

Изменение плотности масла обусловлено снижением содержания в масле не только механических частиц, но и влаги. При этом применение полиметилсилоксана полигидрата является менее эффективным по сравнению с аморфным силикатом магния. Это обусловлено тем, что силикат магния вводился в виде порошка, а полиметилсилоксана полигидрат вводился в виде геля, в состав которого входит вода.

Исследование остальных характеристик масла (кинематическая вязкость, щелочное число, температура вспышки в открытом тигле, влагосодержание) также указывают на высокую эффективность применения рассмотренных адсорбентов при очистке загрязненных моторных масел.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев В. В., Аكوпова О.Б., Баусов А. М., Герасимов А.И., Телегин И.М. Разработка и исследование антифрикционных и противоизносных дискотических мезогенных присадок для пластичных смазок машин и оборудования // Известия Самарской ГСХА. – 2014. – №3. – С. 53-56.
2. Терентьев В. В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А., Боброва Н.В. Повышение надежности сельскохозяйственной техники за счет использования пластичных смазочных материалов с мезогенными присадками-карбоксилатами меди // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2014. – Т.14, №4. – С. 97-102.
3. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А. Влияние на трибологические характеристики пластичных смазок карбоксилатов меди на основе валериановой и изовалериановой кислот // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2016. – Т.16, №2. – С. 100-105.
4. Терентьев В. В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А. Влияние присадок из смесей карбоксилатов меди на трибологические характеристики пластичных смазок // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2015. – Т.15, №4. – С. 96-101.
5. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А. Влияние мезогенной присадки бегената меди на реологические и триботехнические характеристики пластичных смазок // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2017. – Т.17, №1. – С. 93-100.
6. Терентьев В.В., Лапшин В.Б., Субботин К.В., Богданов В.С., Аكوпова О.Б. Смазочная композиция. Патент РФ на изобретение №2530023 С2. от 20.11.2012. Опубликовано 10.10.2014. Бюл.№28.
7. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Лапшин В.Б., Субботин К.В. Влияние строения дискотических мезогенных присадок-карбоксилатов меди на свойства синтетических кальциевых смазок // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. – №4. – С. 31-33.
8. Терентьев В.В., Телегин И.А., Рябинин В.В. Повышение износостойкости трибосопряжений сельскохозяйственной и автотракторной техники путем совершенствования смазочных материалов//Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 35. – С. 151-157.
9. Терентьев В.В., Хохлов Е.Н. Комплексная технология очистки отработанных масел от загрязнений //Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России: Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 100-летию академика Д.К. Беляева. Том 3.Современные тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА, 2017.С.187-191.

УДК 620.178.162.43+621.892

**В. В. Терентьев<sup>1</sup>, И. А. Телегин<sup>2</sup>, О. Б. Аكوпова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ивановская ГСХА имени Д.К. Беляева»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Ивановский государственный университет»

## УЛУЧШЕНИЕ АНТИФРИКЦИОННЫХ И ПРОТИВОИЗНОСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКИ

**Ключевые слова:** износ, смазка, ресурс, надежность, коэффициент трения.

**Аннотация:** представлены результаты триботехнических исследований пластичной смазки, состоящей из жирового солидола с функциональным наполнителем в виде соли марганца и стеариновой кислоты. Отмечено, что введение наполнителя позволяет повысить нагрузку на задир на 33%, снизить коэффициент трения в 1,39-3 раза, а также износ образцов в 1,2-1,8 раза.

*V. V. Terentyev, I. A. Telegin, O. B. Akopova*

## IMPROVEMENT ANTIFRICTION AND ANTIWEAR CHARACTERISTICS OF PLASTIC LUBRICANTS

**Keywords:** wear, lubricant, resource, reliability, friction coefficient.

**Abstract:** the results of tribotechnical studies of grease consisting of fat solidol with functional filler in the form of manganese salt and stearic acid are presented. It is noted that the introduction of the filler can increase the load of the grasp by 33%, reduce the coefficient of friction by 1.39-3 times, as well as the wear of the samples by 1.2-1.8 times.

Изнашивание является одной из основных, постоянно действующих причин ухудшения технического состояния машины. Продукты износа, появляющиеся в зоне трения, зачастую усиливают интенсивность изнашивания, что способствует сокращению ресурса трущихся элементов. Применение эффективных смазочных материалов позволяет значительно сократить скорость изнашивания за счет надежного разделения трущихся поверхностей и устранения возможности их контакта при взаимном перемещении.

Эффективность смазочных материалов определяется их составом. Развитие машиностроения предъявляет новые требования к составу и характеристикам применяемых смазочных материалов. Одним из общеизвестных путей функционального улучшения составов традиционно применяемых смазочных материалов, является введение в них разнообразных присадок и наполнителей. При этом, подбирая тип и количество добавляемого наполнителя можно управлять характеристиками смазочного материала, и создавать смазочную композицию наиболее эффективную для конкретного узла трения.

Наиболее важными эксплуатационными свойствами смазочного материала являются его способность снижать трение, противостоять износу, обладать высокими противозадирными и вязкостно-температурными характеристиками.

Ранее авторами установлено положительное влияние на триботехнические и реологические свойства пластичных смазочных материалов введения в их состав металлмезогенных жидкокристаллических соединений - карбоксилатов меди [1-8].

Улучшение триботехнических характеристик смазочных материалов за счет введения в их состав металлических солей стеариновой кислоты (солей олова, меди) также является эффективным [9, 10].

Одним из металлов, положительно влияющих на прочностные и противоизносные свойства стальных изделий, является марганец и соединения на его основе.

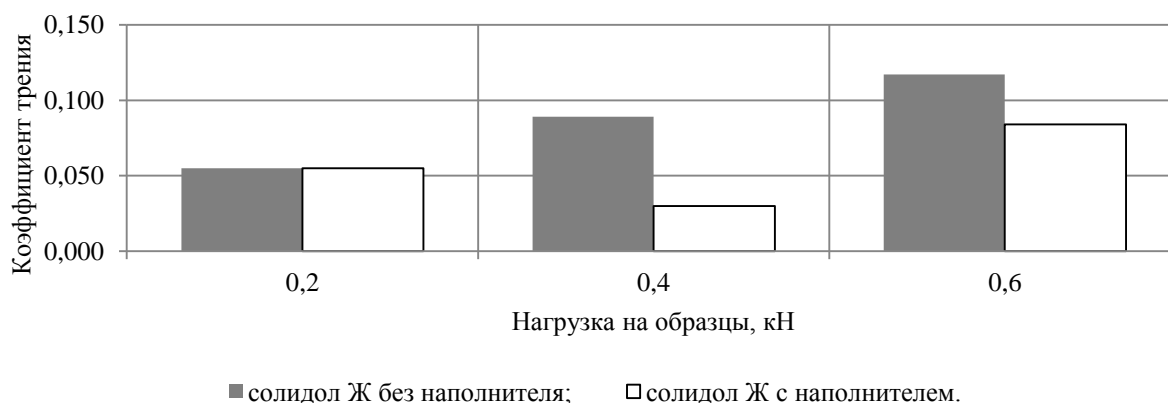
Соли марганца являются катализаторами окислительных процессов, происходящих с участием кислорода. При этом соли марганца и стеариновой кислоты широко используются в косметологии в качестве загустителя, а также вещества, повышающего скольжение в различных кремах. Также данное вещество используется также в качестве активного стабилизатора при производстве поливинилхлорида.

Целью данной работы является определение триботехнических характеристик смазочной композиции, состоящей из жирового солидола (марка Ж ГОСТ 1033-79) и наполнителя в виде соли марганца и стеариновой кислоты.

Выбор солидола в качестве основы обусловлен его широким применением в узлах трения ходовой части автомобильной техники (втулки валов разжимных кулаков, шарниры рулевых тяг, шлицы карданных валов и т.д).

Исследование триботехнических свойств осуществлялось на машине трения СМТ-1 по схеме «вращающийся диск-неподвижный шар». Определение противозадирных свойств осуществлялось путем увеличения нагрузки на образцы до резкого, скачкообразного повышения коэффициента трения.

Результаты определения коэффициента трения представлены на рис. 1.

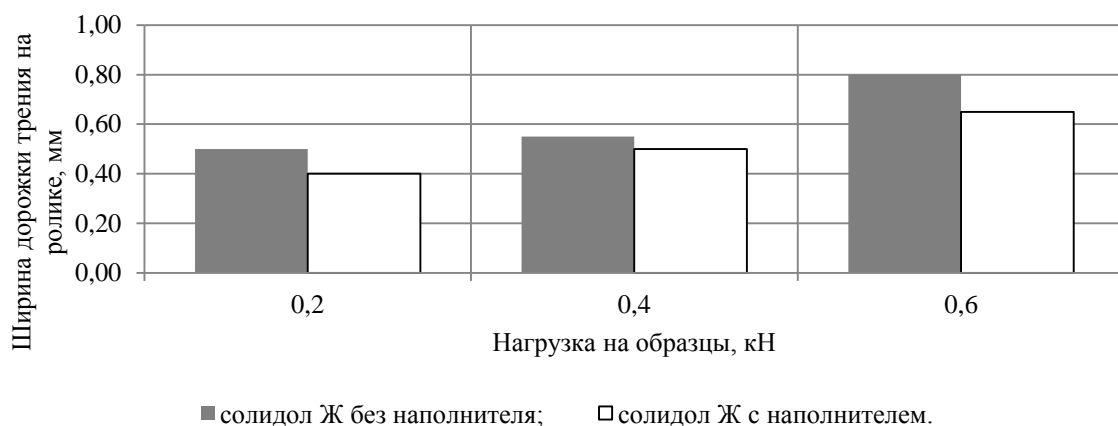


**Рис. 1.** Зависимость коэффициента трения от нагрузки

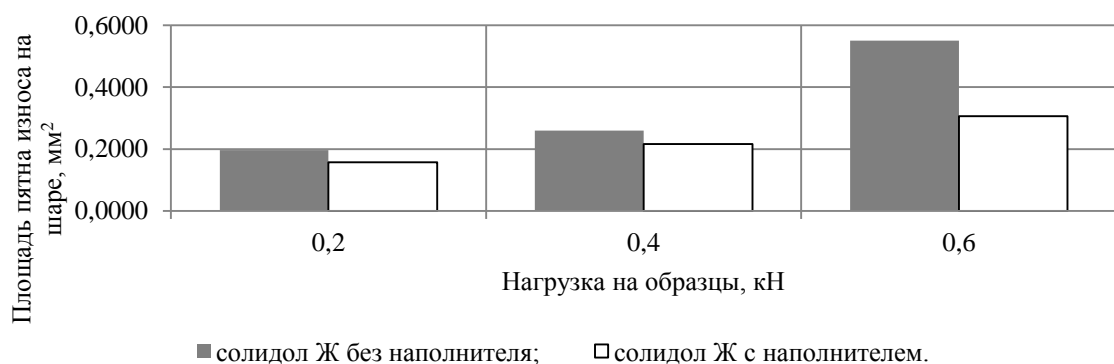
Анализируя полученные данные, можно сделать вывод о том, что введение изучаемого наполнителя в солидол улучшает его антифрикционные характеристики (коэффициент трения снижается в 1,39-3 раза в зависимости от нагрузки).



Результаты определения износа образцов представлены на рис. 2-3.



**Рис. 2.** Зависимость ширины дорожки трения на ролике от нагрузки



**Рис. 3.** Зависимость площади пятна износа неподвижного образца (шара) от нагрузки

Из полученных данных видно, что введение изучаемого наполнителя ведет к улучшению противоизносных свойств солидола (снижение износа ролика в среднем на 20%, снижение износа шара в 1,2-1,8 раза).

Исследование противозадирных свойств показало, что для опытной смазочной композиции по сравнению с чистым солидолом нагрузка задира повысилась на 33%.

Анализ полученных данных позволяет сделать вывод об эффективности модификации жирового солидола посредством введения в него исследованного наполнителя.

Улучшение антифрикционных, противоизносных и противозадирных свойств очевидно связано с тем, что соль марганца и стеариновой кислоты, являясь сильным катализатором окислительных процессов в присутствии кислорода воздуха, активно взаимодействуя с продуктами трибодеструкции, окисляет их и способствует образованию на поверхностях окисных пленок, позволяющих эффективно разделяться поверхности. Особенно сильно это проявляется в условиях высоких нагрузок на образцы, способствующих переходу работы узла в граничный режим смазывания.

Таким образом, введение исследованного наполнителя в жировой солидол является эффективным путем улучшения триботехнических характеристик последнего, однако для получения наиболее эффективных смазочных композиций необходимы дополнительные исследования, позволяющие оптимизировать количество вводимого наполнителя в базовую смазку в зависимости от условий эксплуатации конкретного узла трения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А. Влияние на трибологические характеристики пластичных смазок карбоксилатов меди на основе валериановой и изовалериановой кислот // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2016. – Т.16, №2. – С. 100-105.
2. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Лапшин В.Б., Субботин К.В. Влияние строения дискотических мезогенных присадок-карбоксилатов меди на свойства синтетических кальциевых смазок // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2011. – №4. – С. 31-33.
3. Терентьев В. В., Лапшин В. Б., Субботин К. В., Богданов В. С. Повышение ресурса узлов трения почвообрабатывающей техники // Научное обозрение. – 2011. – №6. – С. 27-31.
4. Терентьев В. В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А., Боброва Н.В. Повышение надежности сельскохозяйственной техники за счет использования пластичных смазочных материалов с мезогенными присадками-карбоксилатами меди // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2014. – Т.14, №4. – С. 97-102.
5. Аكوпова О.Б., Рязанцева А.В., Терентьев В.В. Использование дезинтеграторной технологии при создании экологичных смазочных композиций // Аграрный вестник Верхневолжья. – 2016. – №4 (17). – С.40-45.
6. Терентьев В. В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А. Влияние присадок из смесей карбоксилатов меди на трибологические характеристики пластичных смазок // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2015. – Т.15, №4. – С. 96-101.
7. Терентьев В. В., Аكوпова О.Б., Баусов А. М., Герасимов А.И., Телегин И.М. Разработка и исследование антифрикционных и противоизносных дискотических мезогенных присадок для пластичных смазок машин и оборудования // Известия Самарской ГСХА. – 2014. – №3. – С. 53-56.
8. Терентьев В.В., Аكوпова О.Б., Телегин И.А. Влияние мезогенной присадки бегената меди на реологические и триботехнические характеристики пластичных смазок // Жидкие кристаллы и их практическое использование. – 2017. – Т.17, №1. – С. 93-100.
9. Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В., Коновалов А.С. К вопросу экономической и технической эффективности разработки и внедрения новых смазочных материалов // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов/Под ред. В.В. Киселева, С.А. Никитиной. – Иваново; ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России». – 2015. – С.182-184.
10. Киселев В.В., Зарубин В.П., Топоров А.В., Пучков П.В., Калинин И.А. Комбинированная смазочная композиция для узлов трения автотракторной техники материалов // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов/Под ред. В.В. Киселева, С.А. Никитиной. – Иваново; ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России». – 2015. – С.171-177.

УДК 677.074/.076

*Е. А. Топорова*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СРЕДЫ MICROSOFT EXCEL ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА «БОКС-3» ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТКАНИ ДЛЯ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ**

**Ключевые слова:** механические свойства, технические ткани, пожарные рукава, разрывная нагрузка, математическое моделирование.

**Аннотация:** как известно, механические свойства технических тканей различного назначения, в том числе и тканей, из которых изготовлены пожарные рукава, являются одними из наиболее важных свойств. В процессе эксплуатации пожарные рукава находятся под действием растягивающих, изгибающих, скручивающих и других видов нагрузок. Поэтому, то насколько успешно будет решена задача проектирования механических свойств тканей для рукавов, зависит их надежность и долговечность.

*Е. А. Топорова*

**THE USING MICROSOFT EXCEL TO BUILD MATHEMATICAL MODELS APPLICATION THE METHOD OF «BOX-3» DESIGN OF MECHANICAL PROPERTIES OF THE FABRIC, FOR FIRE HOSES.**

**Keywords:** mechanical properties, technical fabrics, fire hoses, breaking load, mathematical modeling.

**Abstracts:** this is known that mechanical properties of technical fabrics of different function, including fabrics from which fire hoses are made, are one of the most important properties. During operation, fire hoses are under the influence of tensile, bending, twisting and other types of loads. Therefore, how successfully the task of designing the mechanical properties of fabrics for sleeves will be solved depends on their reliability and durability.

Для изготовления пожарных рукавов традиционно применяют льняные ткани. Льноволокно обладает рядом положительных свойств, таких как высокая гигроскопичность, что позволяет выдерживать ткани рукава повышенные температуры. Кроме льняных тканей, используют синтетические как более высокопрочные, ткани, содержащие углеродные волокна и др. Все эти ткани должны обладать достаточной прочностью при растяжении и других видах механического нагружения [1].

На механические характеристики текстильных материалов, в том числе и тканей различного назначения, как и любых других материалов (металлических, полимерных, композиционных) в процессе их изготовления влияет большое количество независимых факторов. Поэтому, чтобы получить определённые значения механических характеристик как конечный результат, необходимо провести исследование влияния этих входных факторов на выходной параметр, которым можно являться наиболее важное в каждом конкретном случае механическое свойство. Исследование мож-

но провести при помощи, например, физического моделирования технологического процесса изготовления ткани, которое заключается в том, что исследование проводится на стендах, установках, макетах или моделях, сохраняющих в той или иной степени физическую природу явлений и процессов.

Физическое моделирование имеет следующие достоинства [2]:

- более полно по сравнению с математическим моделированием воспроизводятся свойства исследуемого процесса, системы или объекта;
- более просто исследование процесса по сравнению с исследованием его на реальном объекте.

Недостатком физического моделирования является меньшая универсальность метода, так как при изменении параметров исследуемого процесса или при воспроизведении нового объекта необходимо переделывать или создавать заново модель, что обычно связано с большими затратами времени и средств, относительно высокой стоимостью моделей сложных объектов.

В последнее время всё чаще используются методы математического моделирования. В этом случае, исследование технологических процессов проводится на модели, имеющей физическую природу, отличную от природы реального объекта или процесса. Метод математического моделирования основан на идентичности математических описаний процессов, протекающих в моделируемой системе и модели.

Математической моделью называется совокупность математических соотношений, уравнений, неравенств и т. п., описывающих основные закономерности, присущие изучаемому процессу, объекту или системе. Математическая модель может быть получена на основе данных так называемого пассивного эксперимента. [1]. При пассивном эксперименте информацию о параметрах объекта или процесса получают при нормальной эксплуатации объекта, без внесения каких-либо искусственных возмущений. Часто в качестве данных пассивного эксперимента используют записи в эксплуатационных журналах технологического оборудования или в журналах технического контроля, а также данные измерительных приборов. Полученные данные подвергаются статистической обработке. При получении динамических моделей объекта при проведении пассивного эксперимента используют корреляционный спектральный и динамический регрессионный анализы.

Наиболее эффективным решением задачи получения математической модели сложных процессов (к таким видам процессов относятся и технологические процессы прядильного, ткацкого и других текстильных производств) является сочетание теоретического и экспериментального методов. При этом на долю теоретического метода приходится анализ в основном структурных свойств объекта и получение общего вида уравнений, а на долю экспериментального – количественный анализ и проверка теоретических выводов. Эксперимент играет решающую роль в получении математической модели сложного реального процесса или объекта. При проведении эксперимента осуществляют его планирование. В задачу планирования эксперимента входит выбор последовательности проведения опытов, т.е. построение матрицы планирования и выбор методов математической обработки результатов эксперимента. При этом используется факторное (многофакторное) планирование эксперимента, то есть такое планирование, при котором варьируются одновременно все входящие влияющие на выходной параметр наиболее значимые факторы. Такое планирование обеспечивает достаточную точность эксперимента при меньшем числе опытов по сравнению с планированием однофакторного эксперимента, в котором в каждой серии опытов меня-

ется уровень лишь одного фактора (конкретное значение фактора из его области определения).

Одним из методов математического моделирования с использованием регрессионного анализа является метод «Бокс-3» [2].

Первым этапом реализации данного метода является определение наиболее значимых с точки зрения технологического процесса факторов. Минимальное их количество выбирается равным трём.

Для определения нижнего и верхнего уровней варьирования ( $X_{ни}$  и  $X_{ви}$ ) для входных параметров проводится предварительный эксперимент. При разработке предварительного эксперимента необходимо устанавливать максимально возможный диапазон варьирования факторов, который ограничивается нормальностью протекания технологического процесса.

Каждому натуральному значению фактора присваивается кодированное значение. Верхний уровень соответствует +1, средний – 0, нижний – 1.

Затем, при разных сочетаниях варьирования факторов проводится эксперимент. Если факторов – 3, то возможных сочетаний – 15. Соответственно и экспериментальных значений выходящего параметра должно быть 15.

Следующим этапом является статистическая обработка исходных и полученных данных (рассчитываются дисперсии выходного параметра, проверяется гипотеза об однородности дисперсий, рассчитывается среднеквадратичная дисперсия выходного параметра, коэффициенты регрессии). Составляется математическая модель второго порядка вида:

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{33} \cdot x_3^2 + b_{12} \cdot x_{12} + b_{13} \cdot x_{13} + b_{23} \cdot x_{23} ,$$

где  $b_0, b_1 \dots b_{23}$  – коэффициенты регрессии.

Далее просчитываются дисперсии коэффициентов регрессии и определяется значимость коэффициентов при помощи критерия Стьюдента. Производится проверка гипотезы об адекватности полученной модели при помощи критерия Фишера. Если модель адекватна, то по ней рассчитываются значения выходного параметра.

Суть общих выводов по математической модели состоит в анализе коэффициентов регрессии как величин, показывающих различное влияние тех или иных факторов на выходной параметр.

В данной работе предлагается использовать среду Microsoft Excel для выполнения автоматического расчёта всех показателей при помощи математических и статистических функций [3]. При изменении входных параметров Microsoft Excel произведёт необходимый пересчет. В качестве входных параметров при получении математической модели – зависимости разрывной нагрузки полоски технической ткани для пожарных рукавов на ткацком станке могут быть: натяжение нитей основы, плотность ткани по утку, угол поворота главного вала, соответствующий положению заступа (моменту закрытия зева). На разрывную нагрузку ткани также оказывает влияние прочность пряжи, из которой изготовлена данная ткань. В этом случае, прочность пряжи сама будет являться выходным параметром в прядильном производстве.

Таким образом, при использовании в комплексе метода «Бокс-3» и среды Microsoft Excel можно получить математическую модель, отражающую зависимость разрывной нагрузки как одну из важнейших механических характеристик техниче-

ской ткани, используемой для изготовления пожарных рукавов от наиболее значимых входных параметров. Выполнение данной задачи является одним из путей проектирования механических свойств технической ткани как составного элемента пожарного рукава, от надежности которого зависит надежность и долговечность пожарного рукава в целом.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оников Э.А. Технология, оборудование и рентабельность ткацкого производства // Практическое пособие – справочник. М.: Текстильная промышленность. - 2003. - 320 с.
2. Назарова М.В., Фелелова Т.Л. Методы и средства исследования технологических процессов ткацкого производства. //Учебное пособие. Волгоград: РПК «Политехник». - 2006. - 139 с.
3. Руководство пользователя Microsoft Excel – 2010.

УДК 621.2.082

*Р. И. Харламов, В. А. Годлевский*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### УЛУЧШЕНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ПРИСАДОК С НАНОЧАСТИЦАМИ

**Ключевые слова:** смазочный материал, трибосопряжения, улучшение трибологических показателей, композитная смесь.

**Аннотация:** приведены результаты анализа разработок новой технологии получения смазочной композиции для улучшения антифрикционных свойств трибосопряжений.

*R. I. Kharlamov, V. A. Godlevsky*

### IMPROVING THE TRIBOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LUBRICANT BASED ON ADDITIVES WITH NANOPARTICLES

**Keywords:** lubricant, tribo-conjugations, improvement of tribological parameters, composite mixture.

**Abstracts:** the results of the analysis of the development of a new technology for obtaining a lubricant composition to improve the anti-friction properties of tribo-stresses are presented.

Известно [1], что одним из важнейших факторов, определяющих надежность трибосопряжений, является качественная смазка. Одним из способов повышения экономичности машин и, в частности, судовых дизелей, а также ресурсных возможностей узлов трения, является введение в смазочные материалы различных присадок, улучшающих как трибологические свойства смазочной среды, так и свойства смазываемых поверхностей. В последние годы предпринимаются попытки создания так называемых геомодификаторов трения — присадок на основе природных материалов или наночастиц, или совместно, оказывающих положительное влияние как на трибо-

логические характеристики смазочного материала, так и на структуру и свойства твердых поверхностей, участвующих в трении.

Деление многочисленных присадок на плакирующие (кондиционеры), восстанавливающие (реметаллизаторы) и модифицирующие является условным и не всегда соответствует их поведению в изменяющихся условиях трения. К тому же в механизмах влияния присадок на смазочные композиции (СК) и на материалы пар трения еще много неясного. Большинство присадок рекомендуется добавлять в СК, используемые для смазки подвижных соединений, работающих при сравнительно невысоких температурах в зоне контакта и низких коэффициентах трения. О работоспособности СК с различными присадками в более жестких условиях трения (при температуре до 3000С и коэффициентах трения до 0,2 до 0,4) судить не представляется возможным из-за отсутствия в литературе достоверных опытных данных.

Поэтому, разработка новых рецептуры и технологии получения геомодификаторов трения (присадок на основе соединения природных материалов с наночастицами), оказывающих положительное влияние как на трибологические характеристики смазочного материала, так и на структуру и свойства твердых поверхностей, участвующих в жестких условиях трения является актуальной с научной точки зрения и важной для практического применения задачей трибологии.

Известно, что некоторые минералы слоистого строения (типа слюды, каолина, графита и т.д.) широко используют в качестве загущающих и противоизносных присадок [2,3]. Их положительный эффект обусловлен способностью этих минералов образовывать на поверхностях трения тонкие пленки, состоящие из чешуйчатых частиц, ориентированных параллельно поверхности трения. Эти пленки (или слои) разделяют трущиеся поверхности, сглаживают их микрорельеф, а в случае сухого трения переводят его в трение внутреннее, при котором сдвиг происходит внутри слоя частиц. Таким образом, осуществляется чисто механическая защита трущихся поверхностей от износа.

В этой связи большой практический интерес представляет собой задача подобрать такой смазочный материал, который наряду вышеуказанными положительными свойствами обладал бы способностью химически и механохимически взаимодействовать с материалом деталей трибосопряжений, создавая на их поверхностях пленки с улучшенными трибологическими свойствами [3].

При изучении механохимических реакций с участием минеральных частиц, поверхностно-активных веществ (ПАВ), наноразмерных частиц и первичной сажи была обнаружена важная роль их композиций в механоактивации металлических поверхностей при трении, способных при их разрушении вступать совместно во взаимодействие с вновь образованными активными фрагментами и металлом трущихся тел.

На основании проведенных исследований в Центре научно-исследовательских работ Петербургского института ядерной физики (ПИЯФ) Российской академии наук видно, что фуллерены и фуллереновые сажи могут успешно применяться в качестве антифрикционных, противоизносных и антизадирных добавок

Известно [6], что минералы этой группы силикатов минерализуются в виде тонких пластинок и проявляют совершенную спайность параллельно структурным слоям. Они характеризуются слоистыми кристаллическими решетками, образованными пакетами, состоящими из одного октаэдрического, состав которого определяется формулой  $Mg_3O_2(OH)_4$ , и одного тетраэдрического ( $Si_2O_3$ ) слоев. При этом прочность связи между слоями такова, что механическое разрушение минерала по плоско-

стям спайности с разрывом связей O-OH может сопровождаться разрывом внутри-пакетных связей. Это может приводить к появлению активных фрагментов кристаллической решетки, способных химически и механохимически взаимодействовать совместно с наноразмерными частицами с атомами поверхности металлов.

Авторами [7] проведены лабораторные трибологические испытания различных модификаций серпентина и было показано, что введение высокодисперсного порошка одной из модификаций серпентина (офита) в смазочные среды существенно повышает их противоизносные свойства и улучшает противоизносные и антифрикционные свойства как моторных, так и трансмиссионных масел.

Образование устойчивых износостойких пленок на поверхностях трения при смазке маслами с добавкой серпентина и наноразмерных частиц было обнаружено авторами при эксплуатационных испытаниях непосредственно на двигателях внутреннего сгорания. Исследования показали, что противоизносный эффект, наблюдаемый при введении в смазочную среду высокодисперсного порошка серпентина, наноразмерных частиц SiO<sub>2</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O и первичной сажи обусловлен их воздействием не на смазочную среду, а на поверхность трения. Поскольку процесс образования на трущейся поверхности противоизносной пленки является кинетическим, то естественно, что положительное влияние твердосмазочной смеси проявляется не сразу, а через некоторый, иногда достаточно продолжительный период приработки.

Значительная толщина образующихся поверхностных пленок позволила однократно вводить в смазочную среду твердосмазочную смесь с высокодисперсными материалами не только для модифицирования фрикционных свойств, но и для безразборного восстановления работоспособности изношенных деталей фрикционных сопряжений.

Использование предлагаемой смазочной среды приводит, например, к заметному увеличению толщины зубьев по делительной окружности шестерен (до 0,2 мм).

Кроме этого, предлагаемая смазочная композиция при введении в моторные масла повышает давление в цилиндрах, что свидетельствует об улучшении приработки поршневых колец и гильз цилиндров. При этом наблюдалось повышение мощности двигателей на 10...15% и снижение расхода моторного топлива на 7...10%.

Авторами разработан состав и технология получения композитной смеси, добавляемой в смазочные материалы для формирования покрытия на трущихся поверхностях. Кроме этого, определен состав технологического оборудования и оптимальные режимы работы для промышленной реализации новой технологии.

Отличительной особенностью предлагаемого состава твердосмазочной композиции является то, что для ее получения с дисперсностью 1...40 мкм используется исходная смесь минералов, содержащая серпентин, ПАВ, магниевый концентрат, а также нано-размерные частицы SiO<sub>2</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O и первичная (нано-размерная) сажа.

Несколько видов нано-размерных частиц SiO<sub>2</sub>, FeO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O, получают транспортированием водородом из нагретых природных глин, также транспортированием гелием продуктов первичной сажи, получаемых в электрической дуге электролизных электродов. Твердосмазочную композицию получают путем помола смеси из: серпентина, магниевых концентратов и поверхностно активного вещества (ПАВ - ОП-7), до размеров частиц 1...40 мкм.



Магниевый концентрат получают при очистке высокоминерализованных термальных вод. Он содержит оксидов в мас. % MgO 80...88, CaO 10...18, FeO - AlO 0,2...2,2, SiO 1,6...3,5.

Серпентин природный представляет собой смесь хризотил – асбеста, офита, антигорита и лизардита в мас.ч. 1:3,5:2,5:3.

Модификации трущихся поверхностей с помощью предлагаемой твердосмазочной композиции могут быть подвергнуты детали кривошипно-шатунного механизма, цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания, детали редукторов, подшипники скольжения и качения, гидроцилиндры, масляные насосы и др.

Экспериментально установлена необходимая норма предлагаемой твердосмазочной композиции, включающей минералы группы силикатов, обладающие слоистым строением, поверхностно-активные наноразмерные частицы, содержащиеся в первичной саже.

При добавлении новой СК в смазочные материалы (моторное масло) трибологические характеристики (коэффициент трения, износостойкость) поверхностей деталей улучшаются.

Состав смазочной композиции, мас. %:

Твердо-смазочная смесь-----	1,5
Нано-размерные частицы в сумме-----	0,825
Первичная сажа-----	0,675
Связующее-----	97

Использование новой твердосмазочной смеси в сочетании с наноразмерными частицами и первичной сажой для модифицирования поверхностей трибосопряжений позволяет уменьшить коэффициент трения и повысить износостойкость узлов трения, снизить энергозатраты и улучшить виброшумовые характеристики опорных узлов механизмов и машин.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Погодаев Л.И. Повышение надежности трибосопряжений/ Л.И. Погодаев, В.Н. Кузьмин, П.П. Дудко. — С-Пб.: Академия транспорта РФ, 2001. — 304 с.: ил.
2. Брейтуэйт Е.Р. Твердые смазочные материалы и антифрикционные покрытия. — М: —1967. — 317 с.
3. Волков В.П., Павлов К.А., Лознецова Н.Н., Топоров Ю.П. Использование высокодисперсных природных гидросиликатов и наноразмерных частиц для модифицирования трущихся поверхностей. //Трение и смазка в машинах и механизмах, 2006. № 12. С.3—5.
4. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. — Новосибирск., 1986. — 306 с.
5. Нечаева СИ., Топоров Ю.П., Матвеев В.В. Механо-химические превращения в композициях на основе полиамида и активного минерального наполнителя при трении //Трение и износ. —1994. — Т. 15. № 2. — С. 210—215.
6. Лознецова Н.Н., Ляхов Б.Ф., Павлов К.А., Топоров Ю.П. Оценка наводороживающей способности смазочных материалов //Эффект безызносности и триботехнологии. — 2003.— № 2.— С. 13—15.
7. Волков В.Г., Лознецова Н.Н., Павлов К.А., Топоров Ю.П. Силикаты группы серпентина как материал для присадок к смазочным маслам //Материаловедение. — 2006.— № 4.— С. 41—45.

## ТРИБОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

УДК 621.320

*К. О. Аладышкина, В. А. Полетаев*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

### КОНСТРУКЦИИ АЛМАЗНЫХ ВЫГЛАЖИВАТЕЛЕЙ

**Ключевые слова:** шероховатость, качество поверхностного слоя, состав, эксплуатационные свойства, микронеровности.

**Аннотация:** приведены конструкции алмазных выглаживателей. Показана связь характеристик качества поверхностного слоя с эксплуатационными свойствами деталей, с интенсификацией эксплуатационных процессов, увеличением скоростей перемещения рабочих органов, повышением температур и давлений.

*K. O. Aladyshkina, V. A. Poletaev,*

### DESIGN DIAMOND VIGLIATURA

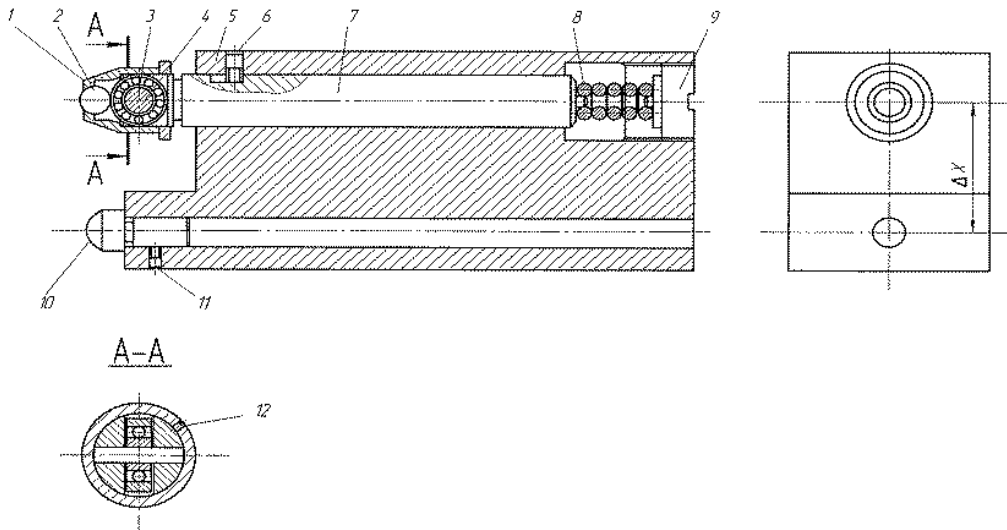
**Keywords:** roughness, surface layer quality, composition, performance properties, micro-roughness.

**Abstracts:** designs of diamond smoothers are presented. The connection of the characteristics of the surface layer quality with the operational properties of the parts, with the intensification of operational processes, increase in the speed of movement of the working bodies, increase in temperatures and pressures is shown.

Надежность работы машин непосредственно связана с качеством поверхностного слоя деталей, которое характеризуется геометрическими и физико-механическими параметрами. При эксплуатации, детали машин контактируют друг с другом или с окружающей средой. От качества поверхностного слоя деталей зависят их эксплуатационные свойства. В связи с интенсификацией эксплуатационных процессов, увеличением скоростей перемещения рабочих органов, повышением температур и давлений роль качества поверхности значительно возрастает. Связь характеристик качества поверхностного слоя с эксплуатационными свойствами деталей свидетельствуют о том, что оптимальная (с точки зрения повышения эксплуатационных свойств деталей) поверхность должна быть достаточно твёрдой, должна иметь сжимающие остаточные напряжения, мелкодисперсную структуру, сглаженную форму микронеровностей с большой площадью опорной поверхности.

Инструмент для отделочно-упрочняющей обработки (патент на полезную модель № 128148) относится к области технологии машиностроения и может быть применен для отделочно-упрочняющей обработки на металлообрабатывающих станках с жестко-упругим закреплением инструмента. Конструкция инструмента для отделочно-упрочняющей обработки включает в себя следующие элементы (рис. 1.): сепара-

тор 1, шарик 2, подшипник 3, ось 4, державка 5, винт 6, шток 7, пружина 8, винт 9, индентор 10, винт 11, винт 12. При помощи винта 11 индентор 10 закрепляется в державке 5. В паз штока 7 вставляется подшипник 3 и фиксируется осью 4. В сепаратор 1 вставляется шарик 2. Сепаратор 1 одевается на шток 7 и фиксируется на нем при помощи винта 12. Шток 7 вставляется в державку 5 и фиксируется в нем при помощи винта 6. На шток 7 одевается пружина 8 и в державку 5 ввинчивается винт 9. Посредством ввинчивания винта 9 в державку 5 осуществляется сжатие пружины 8 на требуемую силу отделочно-упрочняющей обработки.



**Рис. 1.** Выглаживатель с жёстко-упругой кинематической связью

Выглаживатель (патент на полезную модель № 68950) может быть использован для выглаживания поверхностей деталей - тел вращения при обработке на токарных станках с использованием способа выглаживания с жестким закреплением инструмента (рис. 2).

Конструкция выглаживателя включает в себя следующие элементы: индентор 1, винт 2, втулку 3, регулировочный винт 4, державку 5, опору 6, фиксирующий винт 7. При помощи винта 2 индентор 1 закрепляется во втулке 3, которая устанавливается в державку 5. Во втулку 3 устанавливается регулировочный винт 4. Державка 5 устанавливается и закрепляется в резцедержателе станка. В державку 5 вставляется опора 6. Внешним усилием  $F$  опора 6 поджимается к обрабатываемой детали. Посредством регулировочного винта 4 осуществляется регулировка вылета индентора 1, т.е. задается требуемый натяг. Фиксирующим винтом 7 обеспечивается фиксация втулки 3 для устранения ее поворота относительно собственной оси.

Выглаживатель (патент на полезную модель № 64553) может быть использован для выглаживания поверхностей деталей при обработке на токарных станках с использованием способа выглаживания с жестким закреплением инструмента. На рис. 3. показана конструкция выглаживателя.

Конструкция выглаживателя включает в себя следующие элементы: два индентора 1, 2, два винта 3, 4, основание державки 5, крышку державки 6, четыре винта 7, 8, 9, 10, регулировочную прокладку 11. При помощи винта 3 индентор 1 закрепляется в основании державки 5, а индентор 2 закрепляется при помощи винта 4 в крышке

державки 6. Между основанием державки 5 и крышкой державки 6 устанавливается регулировочная прокладка 11. Основание державки 5 и крышка державки 6 соединяются между собой винтами 7, 8, 9, 10.

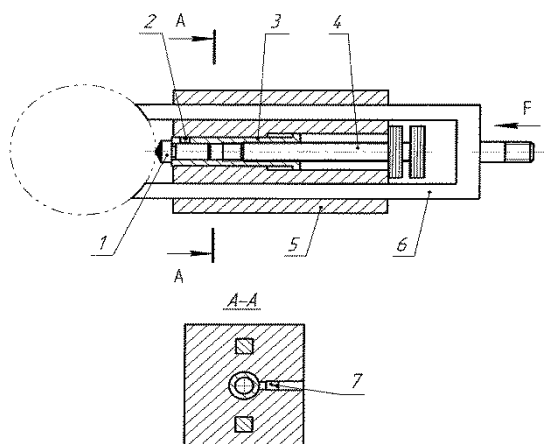


Рис. 2. Выглаживатель

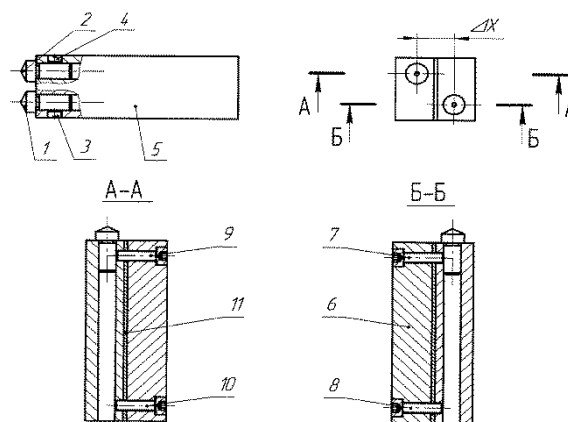


Рис. 3. Выглаживатель с двумя рабочими элементами и регулировочной пластиной

Выглаживатель (патент на полезную модель № 62554) относится к области технологии машиностроения и может быть использован для выглаживания поверхностей деталей - тел вращения при обработке на токарных станках с использованием способа выглаживания с упругим закреплением инструмента. Для возможности работы с высокой скоростью выглаживания и без автоколебаний инструмента, выглаживатель дополнительно включает в себя резиновую втулку, устанавливаемую в корпусе, резиновое уплотнение, устанавливаемое на гайку и наливаемую в корпус низкокипящую жидкость, охлаждающую индентор. В результате наличия охлаждения индентора появляется возможность работать с более высокими скоростями выглаживания, следовательно, снизить трудоемкость процесса обработки. На рис. 4. показана конструкция выглаживателя.

Конструкция выглаживателя включает в себя следующие элементы: корпус 1, индентор 2, набор тарельчатых пружин 3, гайку 4, резиновое уплотнение 5, низкокипящую жидкость 6, резиновую втулку 7. Корпус 1 располагается вертикально. Индентор 2 с надетой на него резиновой втулкой 7 устанавливается в корпус 1. В корпус 1 устанавливается набор тарельчатых пружин 3 и заливается низкокипящая жидкость 6. На гайку 4 надевается резиновое уплотнение 5. Посредством ввинчивания гайки 4 в корпус 1 осуществляется поджатие набора тарельчатых пружин 3 на требуемую силу выглаживания.

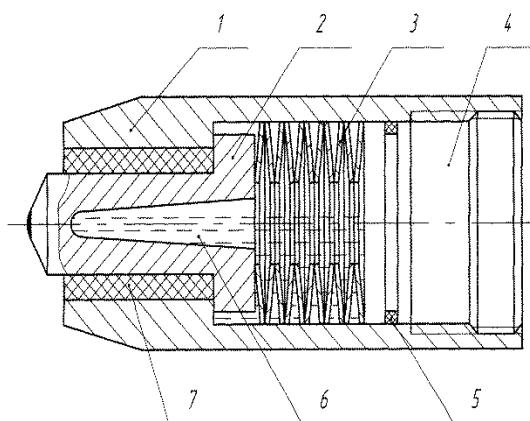


Рис. 4. Выглаживатель с демпфирующим элементом и внутренним подводом охлаждающей жидкости

Выглаживатель функционирует следующим образом. Тарированный набор тарельчатых пружин 3 поджимается гайкой 4 на требуемую силу выглаживания. После касания индентором 2 обрабатываемой детали инструмент внедряется в деталь до тех пор, пока индентор 2 упирается в корпус 1. Как только индентор 2 перестает упираться в корпус 1, он начинает полностью воспринимать силу предварительно поджатых тарельчатых пружин 3. При рабочем движении выглаживателя происходит охлаждение индентора 2 низкокипящей жидкостью 6, а резиновая втулка 7 демпфирует автоколебания индентора 2.

УДК 621.9.079:621.7.031

*О. В. Блинов<sup>1</sup>, Д. М. Булаев<sup>2</sup>, В. А. Годлевский<sup>3</sup>, Ю. Н. Моисеев<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ФБГОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет

<sup>2</sup>ФБГОУ ВО Ивановский государственный университет

<sup>3</sup>ФБГОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС РФ

## **ЭКСПРЕСС-ДИАГНОСТИКА АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ СОТС НА ОПЕРАЦИЯХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ОСЕВЫМ ИНСТРУМЕНТОМ**

**Ключевые слова:** СОТС, обработка металлов резанием, осевой инструмент, диагностика, трение.

**Аннотация:** дано описание экспрессной методики испытания антифрикционных свойств СОТС для обработки резанием с применением осевого инструмента. Методика основана на интегрировании сигнала крутящего момента на инструменте и оценке на этой основе общей работы резания, произведенной за весь технологический проход. Методика проста, малозатратна и дает хорошую воспроизводимость при испытаниях.

*O. V. Blinov, D. M. Bulaev, V. A. Godlevskiy, Yu. N. Moiseev*

## **EXPRESS DIAGNOSTICS OF ANTIFRICTIONAL PROPERTIES OF CUTTING LIQUIDS ON OPERATIONS OF PROCESSING OF METALS BY THE AXIAL TOOL**

**Keywords:** Metalworking fluids, cutting of metals, axial instruments, diagnostic, friction.

**Abstracts:** the description of an express technique of test of antifrictional properties СОТС for processing by cutting with application of the axial tool is given. The technique is based on integration of a signal of the torque on the tool and an estimation on this basis of the general work of cutting made for all technological pass. The technique is simple, lowcosted and gives good reproducibility at tests.

Проблема испытания трибоактивных присадок для смазочных масел и СОТС характеризуется следующими методическими особенностями

Присадки добавляются в базовую основу (воду или минеральное масло) в небольших количествах (обычно не более 5%). Присадка — гораздо более дорогой, чем основа, продукт. В этих условиях эксперимент по поиску оптимальной концентрации проводится на пределе чувствительности аппаратуры. Наиболее наглядным результа-

том испытания присадки является концентрационная зависимость параметров трения или изнашивания, которая дает представление об устойчивости смазочного эффекта и дает возможность выбора рабочей концентрации присадки [1].

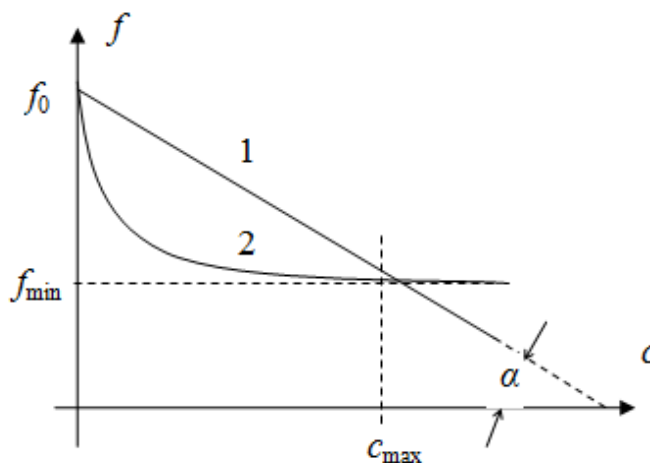
Основными результатами действия трибоактивной присадки являются уменьшение трения и снижение интенсивности изнашивания. Вторым параметром является гораздо более практически значимым, но его определение является гораздо более трудоемким и менее надежным. Измерения часто носят относительный характер, когда действие присадки оценивается по сравнению с исходной базовой средой, либо разные присадки сравниваются между собой. Большое количество неоднородностей эксперимента делает необходимым накапливать экспериментальный материал и применять для оценки результатов статистические методы.

Как следует из вышеизложенного, методически более оправдано получать в процессе испытаний концентрационные зависимости (КЗ) силы трения (или силы резания). В общем случае пусть это будет зависимость коэффициента трения от концентрации присадки  $f(c)$  [2]. Разберем этот вопрос на примере простой операции сверления сквозного отверстия спиральным сверлом.

Практика испытаний присадок различного типа в процессах резания показывает, что КЗ могут быть двух типов (см. рис. 1). Первый тип — это прямая (1) с отрицательным наклоном под углом  $\alpha$ , исходящая из точки  $f_0$  (коэффициент трения базовой среды).

Второй тип (2) — это характерная кривая насыщения, которая показывает, что, начиная с некоторого уровня концентрации, дальнейшее добавление присадки эффекта не дает. При этом анализ зависимостей обоих типов производят в пределах  $0 \dots c_{\max}$ , поскольку величиной предельно возможной концентрации присадки  $c_{\max}$  обычно задаются заранее из экономических или экологических соображений.

Тот или иной тип зависимости получается путем аппроксимации многих экспериментальных точек по МНК. Мы считаем, что тип кривой 2 и является наиболее адекватной зависимостью, соответствующей современным представлениям о кинетике формирования смазочных слоев [3]. Иногда линейный тип зависимости принимают по причине большого разброса результатов, когда кривая второго порядка не может быть построена с достоверностью. Рассмотрим, какие количественные критерии оценки смазочного действия присадок могут быть получены из построения линий регрессии двух типов, представленных на рисунке.



**Рис. 1.** Концентрационная зависимость коэффициента трения  $f$  от концентрации  $c$  трибоактивной присадки;  
1 — линейный тип зависимости;  
2 — зависимость с насыщением

Линейный тип зависимости. Аппроксимацию выполняют по линейной регрессионной модели  $f = f_0 - kc$ . Свободный член модели принимают фиксированным и не имеющим погрешности, поскольку этот параметр представляет собой коэффициент трения в базовой среде, который может быть определен в результате большого числа опытов. Параметр  $k$  является единственным, который дает оценку эффективности присадки. При этом регрессионный расчет дает также величину погрешности этого коэффициента  $\Delta k$  и коэффициент линейной корреляции  $R$ .

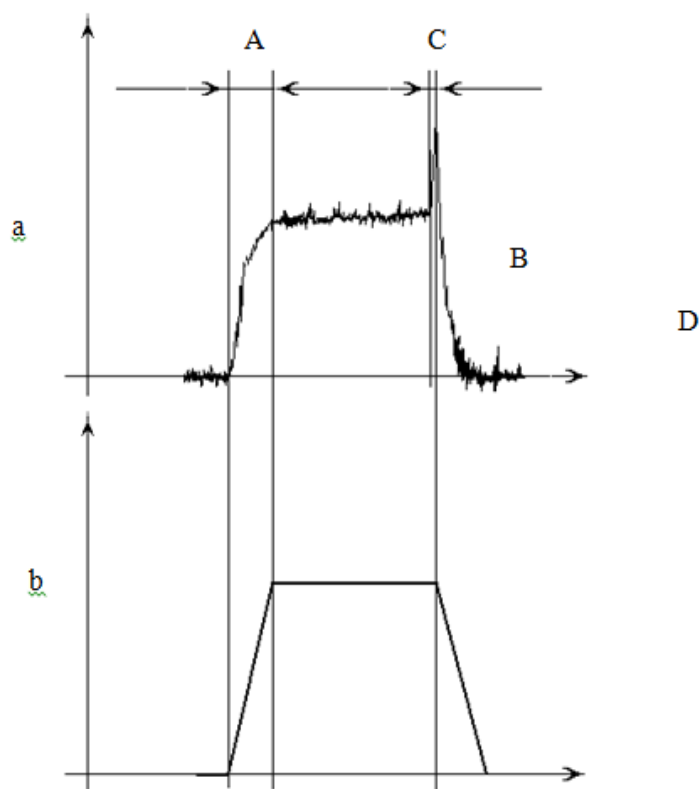
Если  $R$  мал по сравнению с 1 (например,  $R < 0,6$ ), а величина  $\Delta k$  сопоставима с величиной  $k$ , то принимают решение о некоррелированности величин  $f$  и  $c$ . Это означает, что данная присадка не оказывает значимого влияния на процесс трения. Если же корреляция значима, то оценкой смазочной эффективности является величина  $|k|$ . Чем она больше, тем более действенна присадка. Чтобы сравнить две присадки, тогда достаточно сравнить их расчетные значения  $|k|_1$  и  $|k|_2$ . Различие  $|k|_1 - |k|_2$  будет значимым, если величины  $\Delta k$  не превышают этой разности.

Зависимость типа кривой насыщения. Для описания модели типа 2. можно принять либо дробно-рациональную зависимость  $f = b_0 - \frac{b_1 f_{\min} c}{b_2 + b_3 c}$ , либо нисходящую экспоненту вида  $f = b_0 + b_1 \exp\left(-\frac{c}{b_2}\right)$ .

Анализ обширного экспериментального материала показывает, что и та, и другая зависимости могут адекватно отражать опытные точки. Однако, интерпретация параметров второй, экспоненциальной модели более прозрачна, и из ее параметров могут быть построена обобщенная оценка эффективности присадки. Так параметр  $b_0$  характеризует минимальное трение, достижимое присадкой. Комбинация параметров  $b_0 + b_1$  соответствует  $f_0$ , а коэффициент  $b_2$  характеризует пологость экспоненты, отражающую способность присадки оказывать больший эффект в меньших концентрациях. Тогда можно сравнивать присадки по коэффициенту эффективности, рассчитываемому из коэффициентов регрессии:

$K_{эф} = \left(1 - \frac{b_1}{b_0 + b_1}\right) \cdot 100\%$ . Это снижение трения по отношению к базовой среде в процентах. Величину  $b_2$  можно использовать в качестве дополнительного оценочного параметра. Сравнительные оценки разных присадок производят с учетом погрешностей коэффициентов регрессии, как об этом сказано выше для линейной зависимости.

Одной из главных целей эксперимента было получение величины работы, затрачиваемой на обработку одного отверстия. Процессор, обрабатывающий сигнал крутящего момента, должен рассчитывать площадь под кривой изменения момента  $M_{кр}(t)$ . Типичная форма экспериментальной кривой показана на рис. 2а. В идеальном виде эта кривая представлена на рис. 2б. Она имеет трапецеидальную форму и описывает четыре этапа обработки отверстия инструментом: А — участок врезания (в течение которого заборный конус осевого инструмента входит в изделие); В — стационарный участок; С — пикообразный максимум, связанный с прорывом сверлом дна отверстия; D — участок выхода сверла из обрабатываемого тела.



**Рис. 2.** Реальная (а) и идеальная (b) осциллограммы крутящего момента на инструменте при просверливании сквозного отверстия: А — врезание; В — стационарное резание; С — выходной пик; D — выходной спад

Как можно видеть на рис. 2а, реальная осциллограмма крутящего момента существенно отличается от ее идеализированного изображения трапецеидальной формы (рис. 2). На реальных осциллограммах видны всплески, максимум и участок устойчивого резания, который, как правило, отличается от строго горизонтального. Традиционно используемым параметром была оценка среднего или же максимального значения  $M_{кр}$  из графика. Но эта оценка являлась неточной, поскольку, например, момент на участке В мог возрастать с увеличением глубины обработки или же испытывать большие колебания [4, 5].

Чтобы избежать этих трудностей и повысить точность количественной оценки процесса, нами было предложено использовать обобщенный параметр процесса, а именно — энергия, затраченная на обработку.

Этот параметр представляет собой работу  $A$  [Дж], которая выполняется инструментом на протяжении всего прохода, т. е. на участках А, В, С и D. Величина этой работы должна быть пропорциональна площади под кривые осциллограммы крутящего момента. Измерить величину суммарной работы  $A$  можно следующим образом.

Тарируют отклонение пера графопостроителя согласно показаниям стрелочного прибора, создавая на динамометрической головке определенные величины крутящего момента  $M$ . С помощью какого-либо процессора данных интегрируют функции электрического сигнала, отражающего крутящий момент за весь проход инструмента ( $S$ , мкВ·с). По этим данным определяют величину пересчетного коэффициента для перевода величины  $S$  [мкВ·с] в искомую величину затраченной работы  $A$  [Дж].

При расчете поправочного коэффициента использовались следующие соображения. Так как тарифовочный момент имитирует  $M$  резания, работа, которую выполнил бы этот момент за время  $t$ , составляет

$$A = M_{кр} \omega t \tag{1}$$

где  $\omega$  — угловая скорость вращения, 1/с;  $M$  — момент силы, Н·м;  $t$  — время, с.



Чтобы перейти к употребительным измеряемым единицам, преобразуем уравнение (1) с учетом того, что  $\omega = 2\pi n/60$ .

$$A = \frac{2\pi n t g M_{кр}}{1000} = \frac{n t M_{кр}}{975}, \text{ Дж}, \quad (2)$$

где  $M_{кр}$  — крутящий момент, кгс·мм;  $n$  — угловая скорость вращения инструмента, об/мин;  $t$  — время обработки отверстия, с;  $g$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

Далее для вычисления работы, расходуемой на резание, показания интегратора делим на переводной коэффициент, рассчитываемый для каждой серии опытов. Таким образом, поправочный коэффициент для пересчета показаний интегратора в величину суммарной работы резания определяется как

$$k = \frac{S}{W}. \quad (3)$$

### Заключение

Таким образом, предложена экспрессная методика испытаний СОТС для металлообработки различными видами осевого инструмента. Методика, помимо экспрессности, обладает хорошей воспроизводимостью и небольшими затратами на изготовление опытных образцов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ganesh S., Mohamed J.U., Rajaganapathy C. Van Akumar V. S. A Review on the Performance of Tribological Properties of Cutting Fluids Applied Mechanics and Materials. Vol. 812. P. 102-106.
2. Anand A.; Vohra K.; Ul Haq M.I.; Raina A., Wani M.F. Tribological Considerations of Cutting Fluids in Machining Environment: A Review // Tribology in Industry. 2016. Vol. 38, No. 4. P. 463–474.
3. Godlevskiy V.A., Volkov A.V., Maurin L.N., Latyshev V.N. A description of lubrication action of the tribo-active components of cutting fluids // Lubrication Science. Vol. 11, Issue 1, November 1998, Pages: 51-62.
4. Biresaw G., Mittal K. Surfactants in Tribology. Taylor & Francis Group, LLC., CRC Press, 2013. XVII, 555 p.
5. Astakhov V.P., Joksch S., Godlevskiy V.A., Rave A., Evans R. Metal working fluids for cutting and grinding: fundamentals and recent advances // Woodhead Publishing Ltd. Cambridge, UK. 2012. 413 p.

УДК 621.7.06

**Е. В. Егорычева, М. Ю. Волкова**

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО УПРОЧНЕНИЯ И СОЖ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ

**Ключевые слова:** режущий инструмент, процесс изнашивания, сила резания, упрочнение инструмента.

**Аннотация:** статья посвящена изучению влияния различных методов предварительного упрочнения инструмента на величину составляющих силы резания. Рассмотрено влияние применения СОЖ при резании на величину составляющих силы резания.

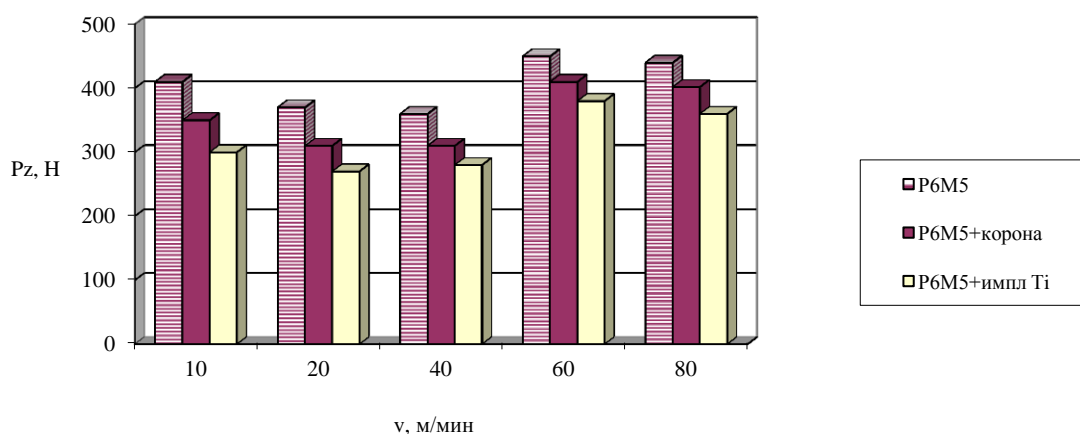
**E. V. Egorycheva, M. Yu. Volkova**

## STUDY OF THE INFLUENCE OF PRE-HARDENING AND CUTTING FLUID ON CUTTING FORCE

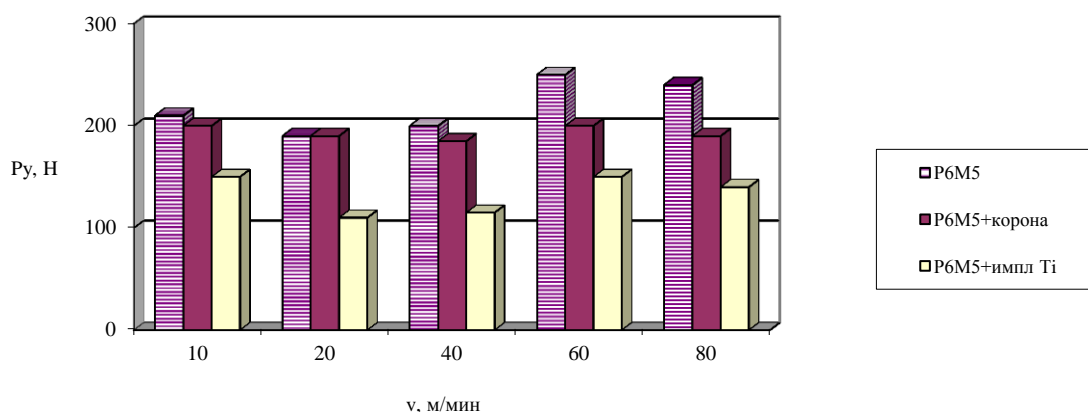
**Keywords:** cutting tool, wear process, cutting force, tool hardening.

**Abstracts:** the article is devoted to the study of the influence of various methods of pre-hardening of the tool on the value of the components of the cutting force. The influence of the use of coolant in cutting on the value of the components of the cutting force is considered.

В данной работе рассматривается влияние различных методов упрочнения и СОЖ на величину составляющих силы резания. На рис. 1 представлен график зависимости составляющих силы резания от скорости при точении стали 40Х инструментом без упрочнения. Данная зависимость имеет немонотонный характер, который определяется особенностями процесса наростообразования.



a)



б)

**Рис. 1.** Зависимость составляющих силы резания  $P_z$  и  $P_y$  от скорости резания  $V$  при обработке стали 40X ( $S=0,1$  мм/об;  $t=1$  мм): а –  $P_z$ ; б –  $P_y$

В диапазоне скоростей  $V=10... 30$  м/мин, при которых увеличивается высота нароста, значения составляющих силы резания  $P_z$  и  $P_y$  уменьшаются, достигая минимума при максимально развитом наросте. При скоростях резания от  $V=30$  м/мин до  $V=60$  м/мин, при которых высота нароста уменьшается, значения  $P_z$  и  $P_y$  возрастают. При увеличении скорости резания выше  $V=60$  м/мин составляющие силы резания непрерывно уменьшаются за счет снижения интенсивности наростообразования.

Характер зависимости составляющих силы резания  $P_z$  и  $P_y$  от скорости при точении инструментом с упрочнением аналогичен характеру кривой “ $P - V$ ” при использовании неупрочнённых пластин. В таблице приведены значения составляющих силы резания  $P_z$  и  $P_y$  при обработке стали 40X инструментом Р6М5 без упрочнения и с упрочнением в среде СОЖ.

**Таблица. Значение составляющих силы резания при точении стали 40X в среде различных СОТС ( $S=0.1$  мм/об;  $t=1$ мм)**

№ п/п	Инструмент	Скорость резания $V, м/мин$	$P_z, Н$	$P_y, Н$
1	Р6М5	10	410	230
2	Р6М5+корона	10	360	200
3	Р6М5+импл Ti	10	300	140
4	Р6М5	30	340	180
5	Р6М5+корона	30	300	160
6	Р6М5+импл Ti	30	260	100
7	Р6М5	60	460	220
8	Р6М5+корона	60	410	200
9	Р6М5+импл Ti	60	350	160

Анализ данных показывает, что во всем диапазоне скоростей резания, значения составляющих силы резания при точении инструментом с упрочнением меньше, чем при применении режущих пластин без упрочнения. Наибольшее уменьшение состав-

ляющих силы резания вызывает применение имплантации ионов Ti. Следует отметить, что применение смазочно-охлаждающих жидкостей практически не влияет на величину составляющих силы резания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. - М.: Машиностроение, 2003. – 192с.: ил.
2. Егорычева Е.В. Упрочнение инструмента из быстрорежущей стали // Надежность и долговечность машин и механизмов: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, 2018. – С. 351-353.
3. Егорычева Е.В. Трансформация субструктуры инструмента из быстрорежущей стали в процессе резания // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии: Материалы международной научно-технической конференции (XVIII Бенардосовские чтения), 2015. – С. 323-326.

УДК 621.7.06

*Е. В. Егорычева*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

### ИЗМЕНЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГИИ ДЕФОРМАЦИИ В КОНТАКТНОЙ ЗОНЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

**Ключевые слова:** режущий инструмент, процесс изнашивания, скорость резания, дислокационная структура.

**Аннотация:** статья посвящена изучению изменения уровня энергии деформации в режущем клине инструмента в процессе изнашивания. Рассмотрена взаимосвязь уровня энергии деформации с образованием дислокационных структур в контактной зоне инструмента.

*E. V. Egoricheva*

### CHANGES IN THE LEVEL OF STRAIN ENERGY IN THE CONTACT ZONE OF CUTTING TOOL

**Keywords:** cutting tool, wear process, cutting speed, dislocation structure.

**Abstracts:** the article is devoted to the study of changes in the level of deformation energy in the cutting wedge of the tool during wear. The interrelation of the strain energy level with the formation of dislocation structures in the contact zone of the tool is considered.

Скрытая энергия деформации является характеристикой энергетического состояния контактной зоны режущего инструмента в процессе изнашивания, определяющей свойства поверхностных и подповерхностных слоев. Данная величина определяется главным образом искажениями кристаллической решетки, обусловленными наличием дислокаций, их плотностью.

Энергия, накапливаемая в локальном объеме деформируемого контактного слоя режущего инструмента пропорциональна увеличению плотности дислокаций:

$$U = U_0 \cdot \rho, \quad (1)$$

где  $U_0$  – удельная энергия деформации на единицу длины дислокаций;  $\rho$  – плотность дислокаций.

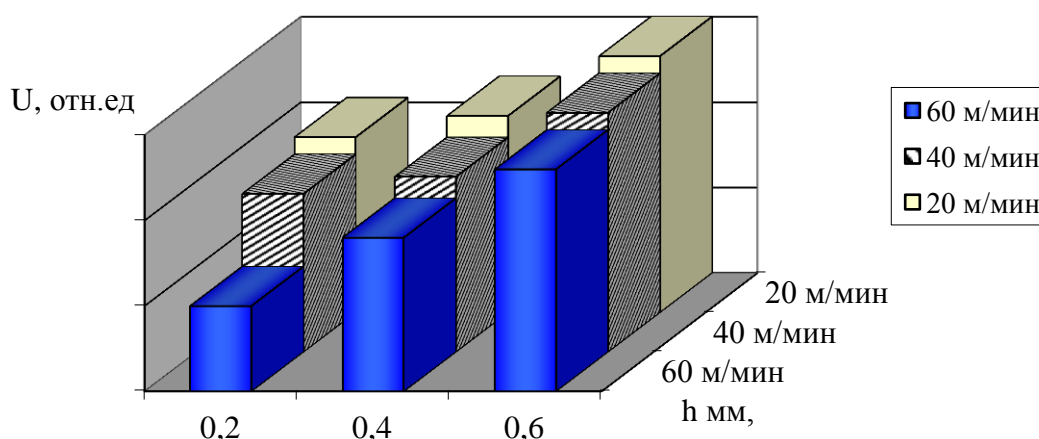
В настоящей работе внутренняя энергия деформации поверхностных слоев режущего инструмента Р6М5 определялась при обработке стали 40Х в диапазоне скоростей  $V = 20 \dots 60$  м/мин.

Расчеты проводились на основе данных рентгеноструктурного анализа по формуле:

$$U = 2\kappa/3 \cdot [E/(1+2\mu)] (\Delta a/a)^2, \quad (2)$$

где  $\kappa$  – коэффициент;  $E$  – модуль упругости;  $\mu$  – коэффициент Пуассона;  $\Delta a/a$  – искажения кристаллической решетки

Зависимость исследуемой величины от фаски износа по задней поверхности режущего инструмента показана на рис. 1. Расчеты, необходимые для установления характера данной зависимости, выполнялись в относительных единицах.



**Рис. 1.** Изменение уровня скрытой энергии в поверхностном слое режущего инструмента в процессе изнашивания ( $S=0,3$  мм/об)

Анализ исследования показал, что поверхностный слой режущего инструмента после цикла стандартной термообработки и заточки обладает определенным запасом энергии, что согласуется с данными по плотности дислокаций. Хаотическое распределение дислокаций после данных операций свидетельствует о неоднородном распределении энергии деформации в локальных объемах поверхностного слоя инструментального материала.

В процессе изнашивания режущего инструмента наблюдается изменение уровня скрытой энергии. Участок приработки характеризуется повышением внутренней энергии деформации в поверхностных слоях инструмента при резании со скоростью

$V=20...40$  м/мин (рис. 1). Это связано с активным увеличением плотности линейных дефектов, которое приводит к локальным субструктурным перестройкам: образованию скоплений дислокаций, малоугловых границ и дислокационных ячеек. Разрушение локальных объемов режущего инструмента происходит при достижении ими состояния предельного энергетического насыщения  $U_{пр}$ :

$$U_{пр}=U+ U_T, \quad (3)$$

где  $U$  – энергия деформации;  $U_T$  – тепловая энергия.

Для предотвращения этого состояния необходима диссипация накопленной энергии деформации.

Интенсивное повышение внутренней энергии деформации на участке приработки в процессе обработки стали 40Х со скоростью  $V=20...40$  м/мин свидетельствует о низкой скорости диссипации энергии. Это связано с затруднением движения дислокаций в результате повышения их плотности.

Электроннографическое и рентгеноструктурное исследования показали, что на участке нормального изнашивания в поверхностных слоях режущего инструмента наблюдается фрагментированная структура с высокоугловыми границами межзеренного типа. Именно, данная структура обладает высокими диссипативными свойствами. Стабилизация значения энергии деформации в поверхностных слоях режущего инструмента в процессе при обработке со скоростью  $V=20...40$  м/мин (рис. 1) в период нормального изнашивания свидетельствует о более однородной деформации за счет образования такой дисперсной структуры, как фрагментированная структура с высокоугловыми границами межзеренного типа, являющейся эффективным каналом диссипации энергии. Именно данная структура является причиной снижения интенсивности износа в период нормального изнашивания режущего инструмента.

При увеличении скорости резания до  $V=60$  м/мин наблюдается интенсивное повышение уровня внутренней энергии деформации в поверхностных слоях режущего инструмента в процессе нормального изнашивания, что свидетельствует о низкой скорости диссипации, накачиваемой в материал извне энергии. Это подтверждается данными электроннографического и рентгеноструктурного анализа, согласно которому образование диссипативной фрагментированной структуры в процессе резания со скоростью  $V=60$  м/мин не наблюдается. Это вызвано значительным влиянием температурного фактора на активизацию диффузионного механизма движения линейных дефектов, ответственного за величину угла их разориентации.

Максимальный угол разориентации границ деформационного происхождения определяется:

$$\Theta_{max}= \alpha(T) \cdot (E-E_0), \quad (4)$$

где  $\alpha(T)$  – коэффициент, зависящий от температуры;  $E$  – степень деформации;  $E_0$  – усредненная величина, зависящая от структуры параметров.

При температуре  $T = (0,1...0,2) \cdot T_{пл}$  значения  $E_0 = 0,3$  и  $\alpha = 1$ , при температуре  $T = 0,3 \cdot T_{пл}$  значения  $E_0 = 0,2$  и  $\alpha = 0,6$ .

Таким образом, увеличение температуры приводит к уменьшению величины угла разориентации границ деформационного происхождения.

Следовательно, влияние скорости на данную величину можно представить в следующем виде:

$$V \uparrow \rightarrow T \uparrow \rightarrow E_0 \downarrow \rightarrow \alpha \downarrow \rightarrow \Theta_{\max} \downarrow, \quad (5)$$

где стрелки вверх обозначают повышение; стрелки вниз – уменьшение; горизонтальные двойные стрелки – следствие.

Исходя из уравнений (1) и (3) влияние скорости резания на величину предельной энергии деформации характеризуется такой зависимостью:

$$V \uparrow \rightarrow T \uparrow \rightarrow \rho \downarrow \rightarrow U_{\text{пр}} \downarrow, \quad (6)$$

Таким образом, увеличение скорости до  $V=60$  м/мин препятствует развитию фрагментированной структуры с высокоугловыми границами межзеренного типа (т. е. с углами разориентации более  $10^\circ$ ) за счет ограничения параметра  $\Theta_{\max}$  вследствие активного диффузионного движения дислокаций, а также приводит к снижению уровня предельной внутренней энергии деформации, необходимой для разрушения локальных объемов инструмента. Данные факторы обуславливают низкую износостойкость инструмента из быстрорежущей стали в процессе резания со скоростью  $V=60$  м/мин.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дубинин А.Д. Энергетика трения и износа деталей машин / А.Д. Дубинин. – М. – Киев: Лагуна, 2009. – 140с.
2. Егорычева Е.В. Упрочнение инструмента из быстрорежущей стали // Надежность и долговечность машин и механизмов: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. – 2018. – С. 351-353.
3. Егорычева Е.В. Трансформация субструктуры инструмента из быстрорежущей стали в процессе резания // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии: Материалы международной научно-технической конференции (XVIII Бенардосовские чтения). 2015. С. 323-326.
4. Якубов Ф.Я. Энергетические соотношения процесса механической обработки металлов / Ф.Я. Якубов. – Ташкент: ФАН, 2000. – 105 с.
5. Якубов Ф.Я. Энергетические соотношения процесса резания металлов / Ф.Я. Якубов. – Ташкент: ФАН, 2005. – 193 с.

УДК 621.7.06

*Е. В. Егорычева*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

**ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИНСТРУМЕНТА  
НА ШЕРОХОВАТОСТЬ ОБРАБОТАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ**

**Ключевые слова:** режущий инструмент, процесс изнашивания, сила резания, упрочнение инструмента, шероховатость.

**Аннотация:** статья посвящена изучению влияния предварительного упрочнения инструмента на шероховатость обрабатываемой поверхности при резании в сухую и с использованием СОЖ.

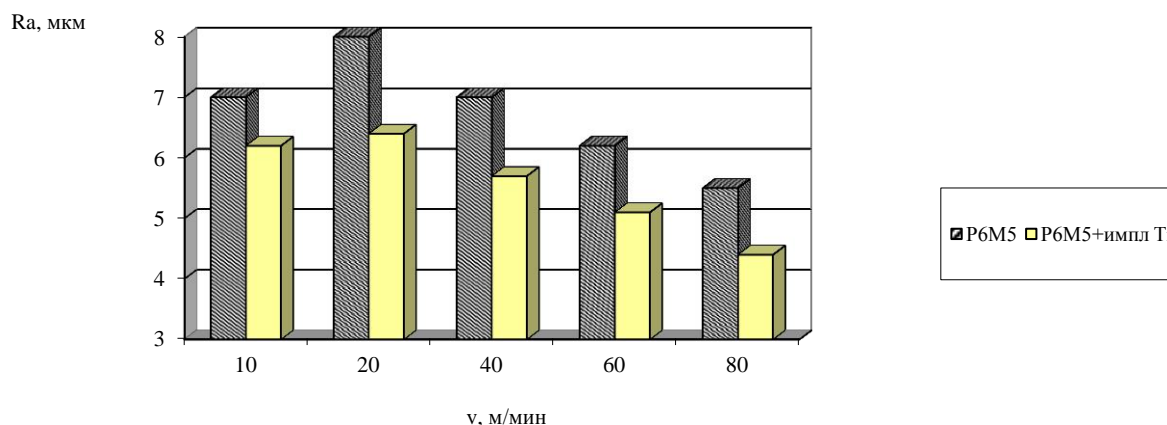
*Е. V. Egorycheva***THE INFLUENCE OF PRE-TREATMENT OF THE TOOL  
ON MACHINED SURFACE ROUGHNESS**

**Keywords:** cutting tool, wear process, cutting force, tool hardening, roughness.

**Abstracts:** the article is devoted to the study of the effect of pre-hardening of the tool on the roughness of the treated surface during processing in dry and using coolant.

Исследование шероховатости обработанной поверхности проводилось при обработке стали 40Х в различных средах инструментом из быстрорежущей стали без упрочнения и с упрочнением рабочих поверхностей. За критерий оценки шероховатости поверхности принималась высота микронеровностей.

На рис. 1 представлен график зависимости высоты микронеровностей обработанной поверхности от скорости резания. Анализ графика показывает, что зависимость « $R_a - V$ » при резании стали 40Х инструментом P6M5 имеет немонотонный характер. Высота микронеровностей находится в прямой зависимости от высоты нароста.



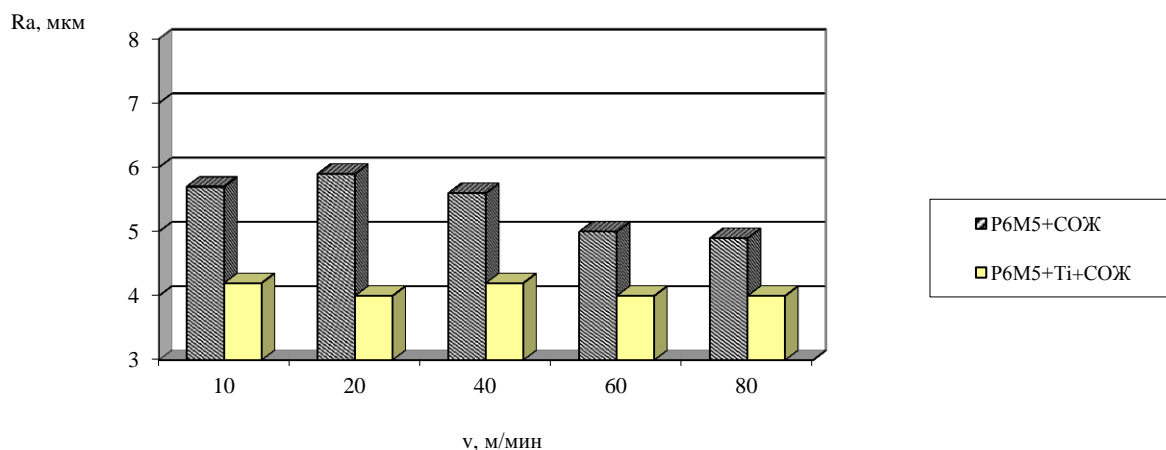
**Рис. 1.** Зависимость высоты микронеровностей  $R_a$  от скорости резания  $V$  при обработке стали 40Х ( $S=0,3$  мм/об;  $t=1$  мм)



При увеличении скорости резания от  $V=10$  м/мин до  $V=30$  м/мин высота нароста увеличивается и вследствие этого растет высота микронеровностей, достигая максимума при наибольшем развитии нароста. Уменьшение нароста вызывает уменьшение высоты микронеровностей при увеличении скорости до  $V=60$  м/мин. При скоростях резания больше  $V=60$  м/мин наблюдается исчезновение нароста, влияние скорости проявляется в чистом виде, и высота неровностей непрерывно уменьшается.

Применение инструмента с предварительным упрочнением имплантацией ионов Ti вызывает уменьшение высоты микронеровностей обработанной поверхности во всем исследуемом диапазоне скоростей резания по сравнению с использованием пластин без упрочнения. Характеры зависимостей «Ra – V» при резании инструментом с упрочнением контактных поверхностей и без упрочнения аналогичны.

Изучение влияния смазочно-охлаждающих жидкостей на высоту микронеровностей при точении режущими пластинами с упрочнением и без него в широком диапазоне скоростей показало, что применение СОЖ изменяет характер зависимости «Ra–V» (рис. 2).



**Рис. 2.** Зависимость высоты микронеровностей  $Ra$  от скорости резания  $V$  при обработке стали 40X ( $S=0,3$  мм/об;  $t=1$  мм) с применением СОЖ «MP»

Использование СОЖ «MP» вызывает практически монотонное уменьшение высоты микронеровностей обработанной поверхности. Значительное снижение шероховатости при резании инструментом как без упрочнения, так и с упрочнением, в среде индустриального масла «MP» вызвано уменьшением коэффициента трения. Анализ графика показывает, что при увеличении скорости резания действие СОЖ «MP» ослабевает вследствие уменьшения времени физико-химического воздействия жидкости.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верещака А.С. Режущие инструменты с износостойкими покрытиями / А.С. Верещака. - М.: Машиностроение, 2003. -192с.: ил.
2. Егорычева Е.В. Упрочнение инструмента из быстрорежущей стали // Надежность и долговечность машин и механизмов: Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, 2018. – С. 351-353.

3. Егорычева Е.В. Трансформация субструктуры инструмента из быстрорежущей стали в процессе резания // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии: Материалы международной научно-технической конференции (XVIII Бенардосовские чтения), 2015. – С. 323-326.

УДК 621.1

*А. Д. Колесникова, И. И. Ведерникова*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## **СПОСОБЫ УПРОЧНЕНИЯ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС**

**Ключевые слова:** упрочнение, зубчатые колеса, способ, устройство, технология.

**Аннотация:** Объектом исследования являются возможности различных способов упрочнения зубчатых колес.

*A. D. Kolesnikova, I. I. Vedernikova*

## **THE METHODS FOR HARDENING THE TEETH OF GEAR WHEELS**

**Keywords:** ardening, gears, method, device, technology.

**Abstract:** the object of the study is the possibility of different ways of strengthening the gears.

Известен способ поверхностной обработки, при выполнении которого на обрабатываемую поверхность изделия воздействуют с использованием сразу двух технологических факторов:

- при помощи деформации, выполняемой накатным инструментом,
- за счет осуществляемого переменным магнитным полем перемагничивания обрабатываемых структур, входящих в состав образующей металл кристаллической решетки.

Совместное применение указанных выше факторов обеспечивает получение качественно новых характеристик у формируемых с их помощью ее фрагментов, размещенных в подвергнутых воздействию наружных слоях металла.

То есть благодаря использованию в указанном выше методе обработки сразу двух искусственно созданных волновых процессов в сформированном тонком упрочненном слое создаются новые фазы - прослойки из смеси мелких зерен мартенсита и цементита. Наличие факта появления этих структур приводит к существенному улучшению получаемых физико-механических свойств у проходящих через указанный вид обработки изделий.

Применяемое для проведения такого рода известной обработки устройство представляет собой замкнутый цельный прямоугольный магнитопровод с расположенными на нем наружными электрическими обмотками-катушками.

Обрабатываемое изделие, а также конец державки с накатным инструментом размещают в зазоре, остающемся между телом такого магнитопровода и самим обрабатываемым изделием. Однако следует отметить, что указанному выше известному способу и применяемому для его осуществления устройству присущи следующие недостатки. В силу появления значительных воздушных зазоров между контуром используемого магнитопровода и поверхностью проходящих обработку изделий, резко возрастает величина магнитного сопротивления, определяющая значение получаемых в зоне обработки параметров генерируемого там магнитного поля.

При таком размещении конструктивных элементов магнитного контура и обрабатываемой детали до ее наружных участков, на которых проводится упрочняющая обработка, в этом случае доходит только незначительная часть генерируемого магнитопроводом потока (т.е. только поток так называемого «рассеивания»). Основная же часть формируемого в устройстве магнитного потока полезного практического применения в процессе осуществления обработки при помощи этого известного технического решения так и не находит. В случае его использования обрабатываемое изделие оказывается вынесенным далеко за пределы формирующего магнитный поток контура и является чужеродным для него элементом с всеми вытекающими из этого последствиями.

Следует указать еще и на то, что контроль за напряженностью используемого переменного магнитного поля, а также регулировка получаемых в процессе выполнения упрочнения ее значений, в известном техническом решении осуществляется, исходя из величин, замеряемых на самом магнитопроводе.

Наличие этого обстоятельства не позволяет обеспечить оптимальные условия для протекания фазовой структурной перестройки в кристаллических решетках, входящих в состав такого обрабатываемого поверхностного слоя.

Таким образом, наличие достаточно высокого значения напряженности магнитного поля в теле используемого магнитного контура не гарантирует, что в самой зоне, где происходят фазовые преобразования, она будет иметь необходимую для создания условий оптимального протекания этого процесса величину.

Наличие всех перечисленных обстоятельств не только оказывает отрицательное влияние относительно величины уровня необходимых для осуществления процесса энергозатрат, но и создает предпосылки для того, чтобы получаемые в ходе обработки результаты не отличались высокой стабильностью. Т.е. вновь созданный в ходе упрочнения при помощи этого известного способа модифицированный слой может оказаться очень тонким (0,1-0,3 мм), а твердость формируемых в нем структур оказывается недостаточной, чтобы удовлетворять предъявляемым конструкторской документацией требованиям.

Указанные выше недостатки другого указанного ранее известного технического решения ликвидируются при его применении за счет использования набора из следующих отмеченных ниже технических признаков:

- при осуществлении деформации вращающейся вокруг своей оси детали перемещающимся по ее наружной поверхности накатным инструментом, от начала детали до ее конца, на зону, формируемую на участках созданного указанными выше элементами системы контакта, воздействуют с помощью переменного магнитного поля,
- напряженность воздействующего на эту зону генерируемого применяемой составной системой переменного магнитного поля, составляет  $1 \cdot 10^5 - 1 \cdot 10^6$  А/м, а частота его колебаний находится в границах предела в 20-70 Гц,

- само же упрочняемое при осуществлении обработки изделие вместе с контактирующей с его поверхностью накатным рабочим инструментом образует соединительное замыкающее звено для применяемой для генерации и создания магнитного потока составной системы.

Устройство для осуществления такого известного способа включает в свой состав собранные в пакеты отдельные пластины из магнитопроводящего материала, стыкуемые по линии разъема с формированием при этом прямоугольного замкнутого контура.

В теле составляющих указанный контур отдельных деталей размещены три электрические обмотки-катушки, выполняющие функции соленоидов. Электрические обмотки-катушки соединены с соответствующими фазами внешнего источника их питания. Закрепление рабочих элементов контура на линии разъема осуществляется при помощи эксцентрикового поворотного кулачкового механизма.

В одном из входящих в состав контура рабочем элементе выполнен сквозной паз, габариты которого обеспечивают установку в нем самого обрабатываемого изделия. В известном устройстве в специально выполненной в теле магнитопровода полости осуществляется монтаж гильзы, в которой, в свою очередь, размещается державка с накатным инструментом.

Кроме того, в таком известном устройстве в магнитопроводе, на противоположном от державки конце паза, устанавливается опора, конец которой в процессе перемещения магнитного контура по обрабатываемому изделию может проскальзывать по его поверхности.

За счет использования в перечисленных выше особенностей выполнения способа, а также конструктивных отличий применяемого для его осуществления устройства, удастся существенно интенсифицировать процесс перемещения потока дислокации и захватываемых им лежащих на путях его прохождения атомов углерода, направленного от середины объема изделия к периферийным его слоям.

Под воздействием указанных выше факторов при выполнении предлагаемого способа обеспечивается формирование в поверхностных слоях обрабатываемого металла новых фазовых структур (цементит плюс мартенсит), имеющих достаточно большую толщину (до 2 мм) и обладающих высокими показателями поверхностной твердости (HRC до 70 ед.)

Оснастка должна обеспечить перемещение находящегося в зоне влияния магнитного контура накатного инструмента по всем составляющим такую поверхность участкам, как и по эвольвенте, так и по разделяющим один зуб от другого - канавками, а также и по его вершине.

Обеспечивающее такого рода перемещения накатника приспособление, в случае, если возникнет настоятельная необходимость его использования, получилось бы настолько сложным, что его изготовление и последующая эксплуатация была бы связана с такими затратами, что их наличие сразу же отнесло эту технологию к категории «экономически нецелесообразных».

Кроме того, в указанном выше известном техническом решении для формирования в наружных слоях новых твердых фазовых цементитных структур используется принцип организации перемещения составляющего их строительного материала, извлекаемого непосредственно из более глубоко лежащих под ними внутренних слоев металла (последние расположены как бы рядом с «сердцевинной» изделия). Т.е. наличие ситуация, заключающаяся в преимущественном использовании только одних

внутренних ресурсов для получения последних. Наличие этого обстоятельства не дает возможности проведения повышения толщины получаемых обработкой новых структурных слоев до значений, составляющих несколько десятков миллиметров. Например, осуществление формирования на поверхности входящих в зацепление зубьев колеса цементитного слоя толщиной 30-50 мм.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ поверхностного упрочнения изготовленных из ферромагнитных материалов зубчатых колес и устройство для его осуществления. Пат. 2516859 РФ МПК: В24В39/04; В21Н5/00/Авторы патента: Семенов Юрий Александрович (RU), Таранов Алексей Степанович (RU).

2. Оптимальный выбор материала и способа поверхностного упрочнения высоконагруженных зубчатых колес с целью повышения сопротивления заеданию, 2018. [Электронный ресурс] URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20289094>.

УДК 621.7

*И. А. Кононов, П. В. Пучков*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### БЕЗАБРАЗИВНАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ МАШИН В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

**Ключевые слова:** магнитная жидкость, поверхностное пластическое деформирование, магнитное поле.

**Аннотация:** статья посвящена проблеме безабразивной обработки деталей из металлов и сплавов. В статье рассмотрены принцип поверхностного пластического деформирования микронеровностей. Также в статье приводится схема установки для финишной безабразивной обработки изделий из металлов и сплавов.

*I. A. Kononov, P. V. Puchkov*

### TRANSPARENT TREATMENT OF MACHINE DETAILS IN MAGNETIC FLUID

**Keywords:** magnetic fluid, surface plastic deformation, magnetic field.

**Abstracts:** the article is devoted to the problem of non-abrasive machining of parts from metals and alloys. The article discusses the principle of surface plastic deformation of asperities. The article also provides an installation diagram for finishing non-abrasive processing of products from metals and alloys.

В 21 веке металлы и сплавы занимают лидирующие позиции среди всех материалов, применяемых в производстве. Металлы и сплавы нашли широкое применение во всех отраслях промышленности и во многих из них являются незаменимыми. Для придания изделиям декоративного блеска, высокого качества поверхности и при под-

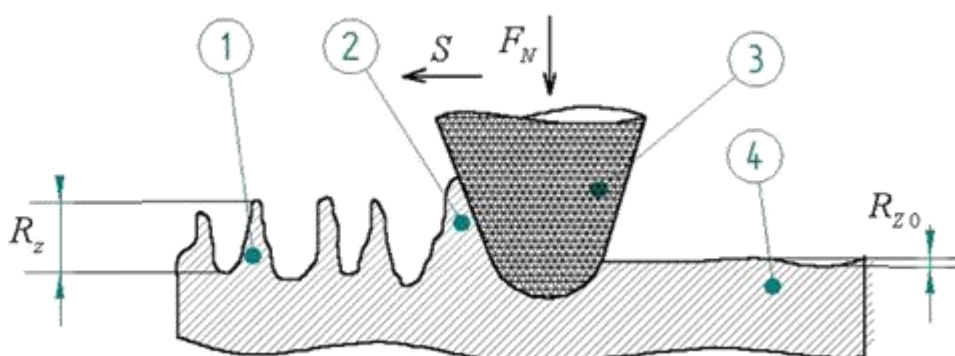
готовке поверхности изделий для нанесения гальванических покрытий их поверхности подвергают механической обработке. К абразивной финишной обработке материалов относят: шлифование, хонингование, полирование, магнитно-абразивная обработка, суперфиниширование.

Отделочная абразивная финишная обработка изделий заключается в сглаживании микронеровностей на обрабатываемой поверхности. При всех перечисленных видах финишной обработки высота микронеровностей на обрабатываемой поверхности уменьшается за счёт срезания их вершин. Срезанные вершины микронеровностей переносятся в шлам и безвозвратно теряются. При обработке драгоценных или дефицитных металлов такие безвозвратные их потери крайне нежелательны и недопустимы. При обработке изделий из таких металлов предпочтительно вести процесс обработки поверхностей без срезания микронеровностей (безабразивный способ), путём их пластического деформирования твердыми гладкими телами из инертных материалов – т.е. поверхностным пластическим деформированием, что позволит значительно снизить потери металла при обработке изделий.

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) – это обработка деталей давлением (без снятия стружки), при которой пластически деформируется только их поверхностный слой. ППД осуществляется инструментом, деформирующие элементы которого (шарики, ролики или тела иной конфигурации) взаимодействуют с обрабатываемой поверхностью по схемам качения, скольжения или внедрения.

К методам ППД, в которых деформирующие элементы работают по схеме скольжения, относятся выглаживание и дорнование. Для этих процессов деформирующие элементы должны изготавливаться из материалов, имеющих высокую твердость (алмаз, твердый сплав и т.п.) и несклонных к адгезионному схватыванию с обрабатываемым материалом.

Выглаживание применяется для ППД закаленных сталей и маложестких деталей, (см. рис. 1.).



**Рис. 1.** Схема деформации поверхностного слоя детали при алмазном выглаживании:

1-микронеровности исходной поверхности; 2- наплыв; 3-выглаживатель;  
4- поверхность после выглаживания

Недостатком выглаживания является низкая производительность и невысокая стойкость инструмента. К достоинствам неабразивной обработки материалов можно отнести: повышение плотности дислокаций в упрочненном слое металла; измельчение исходной кристаллической структуры; повышение величины твердости поверх-

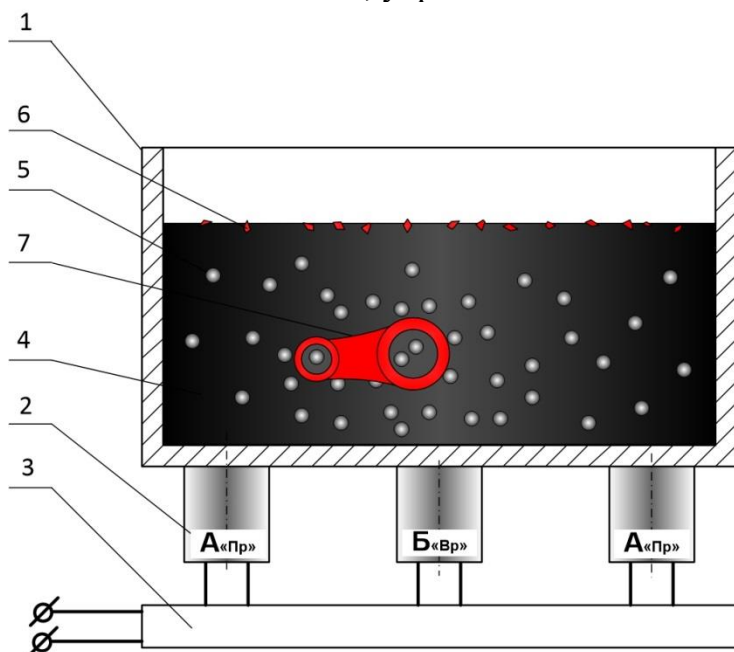
ности; уменьшение величины шероховатости поверхности; повышение износостойкости деталей пожарной техники и сопротивление схватыванию; увеличение предела выносливости.

Учитывая положительные стороны ППД предлагается неабразивная технология обработки металлических деталей в среде магнитовосприимчивой технологической композиции с деформирующим наполнителем в виде стеклянных шариков диаметром 0,5–0,6мм. Магнитовосприимчивая композиция содержит магнитную жидкость на основе воды с концентрацией магнетита 10 – 12%, поверхностно-активное вещество-триэтаноламиновою соль олеиновой кислоты 10-12%, остальное вода.

В магнитную жидкость дополнительно введено шаровидное стекло в виде шариков диаметром 0,5– 0,6мм. Оптимальное объёмное соотношение стеклянных шариков указанного размера и магнитной жидкости составляет 2:1, что обеспечивает на поверхности шариков образование пленки из магнитной жидкости толщиной 100-130 мкм, что делает их магнитовосприимчивыми.

Применение магнитной жидкости на основе воды обеспечивает низкую стоимость композиции, высокую её подвижность в силу низкой вязкости, пластифицирующее действие, хорошую смешиваемость с другими компонентами композиции и легкую смываемость их с поверхности обрабатываемых изделий.

Предполагаемый способ безабразивной обработки металлических изделий может осуществляться с помощью показанного на рис. 2 устройства, состоящего из ёмкости 1 из немагнитного материала, наполненной магнитной жидкостью 2 и введенными в её объём стеклянными шариками 3 и обрабатываемыми деталями 4, генераторов магнитного поля 5, установленных в одну линию поочередно, «Пр»-генераторы продольного магнитного поля А, чередующихся с «Вр»-генераторами кругового вращения магнитного поля Б, управляющего механизма 6.



**Рис. 2.** Схема установки для финишной безабразивной обработки изделий из металлов: 1- емкость из немагнитного материала; 2 – генераторы магнитного поля; 3 – управляющее устройство; 4 – магнитная жидкость; 5 – деформирующие тела; 6 -отделившиеся вершины микронеровностей; 7 – обрабатываемое изделие

При работе устройства управляющее устройство 6 обеспечивает круговое и линейное возвратно-поступательное перемещение магнитной жидкости 2 вместе со стеклянными шариками 3 или иными деформирующими телами. Под действием маг-

нитного поля магнитная жидкость перемещается в зону наибольшей его напряжённости и увлекает за собой стеклянные или иные шарики, которые при своём движении в объёме магнитной жидкости ударяют по обрабатываемой поверхности, пластически деформируют вершины встречающихся на их пути микронеровностей и таким образом выглаживают обрабатываемую поверхность.

При таком способе обработки изделий из металлов эффективно используется уникальное свойство «кажущейся плотности» магнитной жидкости, под действием которого отделившиеся вершины 7 микронеровностей немагнитного металла всплывают на поверхность магнитной жидкости, с которой легко собираются и отправляются на переработку. В момент выключения генераторов магнитного поля немагнитные стеклянные шарики, опускаясь на дно емкости, перемешивают магнитную жидкость и дополнительно выглаживают поверхность обрабатываемых изделий 7 в вертикальном направлении.

Перемешивание магнитной жидкости необходимо для наиболее полного освобождения частиц металла из её объёма.

Достоинством устройства является отсутствие в нем элементов механической передачи движения, а наличие управляющего устройства позволяет создавать и регулировать форму, скорость и частоту изменения движения магнитной жидкости и находящихся в ней деформирующих рабочих тел.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Магнитные жидкости в машиностроении /Д.В. Орлов, Ю.О. Михалёв, Н.К. Мышкин и др.: Под общ. ред. Д.В. Орлов и В.В. Подгоркова. – М.: Машиностроение. 1993.-272с.
2. Магнитовосприимчивая смазочная композиция для приготовления смазок и смазочно-охлаждающих жидкостей и способ её получения. Патент РФ № 2215776, МКИ7С10М 169/04, 177/00/(С10М 169/04, 125:02) - Прототип.
3. Подгорков В.В., Полетаев В.А., Фалеев М.В., Киселев А.А., Пучков П.В. Магнитовосприимчивая технологическая композиция для финишной отделочной обработки изделий из драгоценных металлов и устройство для её использования/ Патент РФ на изобретение № 2296148, МПК С09G 1/02, С09G 1/. Опубликовано 27.03.2007 г. Бюл. №9.

УДК 621.9.06

***В. Н. Копосов***

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

### **СИНТЕЗ СТРУКТУР АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГПС НА РАННЕЙ СТАДИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

**Ключевые слова:** гибкие производственные системы, корпусные детали, автоматизированные системы инструментального обеспечения, структура, проектирование.



**Аннотация:** в работе изложены основные принципы синтеза структур автоматизированных систем инструментального обеспечения гибких производственных систем для обработки корпусных деталей на ранней стадии проектирования.

*V. N. Kuposov*

## SYNTHESIS OF THE SYSTEMS AUTOMATED SYSTEMS INSTRUMENTAL TO ENSURE GPS AT AN EARLY DESIGN STAGE

**Keywords:** flexible manufacturing systems, case details, automated systems instrumental to ensure the structure, designing.

**Abstracts:** this paper contains the main principles of the synthesis of structures of automated systems instrumental to ensure flexible production systems for the processing of body parts at an early stage of design.

Многokратное увеличение производительности труда в машиностроении возможно лишь при активном внедрении гибких производственных систем (ГПС), позволяющих реализовать принцип «безлюдной» технологии изготовления изделий.

Наибольшее развитие в настоящее время получили ГПС для механической обработки корпусных деталей. Они составляют более 60 % от общего числа функционирующих в мире ГПС для механической обработки деталей. В данной работе рассматриваются именно такие системы.

Важнейшей подсистемой ГПС является автоматизированная система инструментального обеспечения (АСИО). Она оказывает существенное влияние на технологические возможности и эффективность функционирования ГПС. Отсутствие на станке ГПС в нужный момент времени необходимого инструмента делает невозможной полную обработку детали. Это приводит к усложнению маршрута обработки детали и управления системой. К таким же последствиям приводит поломка инструментов и (или) отсутствие инструментов-дублеров в инструментальном магазине станка.

Структурообразующими факторами АСИО являются инструментальные накопители и функционально-организационные отношения между ними. Инструментальные накопители и наличие (либо отсутствие) связей между ними характеризуют топологию структуры, статику системы. Приняв во внимание способы обмена инструментами между накопителями (характер связей), можно говорить о динамике АСИО.

Структуру АСИО удобно представлять в виде ориентированного графа. Он включает в себя множество вершин графа (накопителей инструментов, инструментальных кассет, инструментальных магазинов, многошпиндельных головок) и множество дуг (ребер) графа, материальными носителями которых в АСИО являются технические средства транспортирования инструментов.

На каждом иерархическом уровне структуры АСИО могут находиться несколько однотипных накопителей инструментов. Например, каждый станок ГПС оснащен индивидуальным инструментальным магазином, входящим в систему оперативного обеспечения инструментами станка.

Разработан граф обобщенной структуры трехуровневой автоматизированной системы инструментального обеспечения, «погруженной» в технологическую среду, т.е. установлены связи АСИО с цеховой системой инструментального обеспечения и технологическим оборудованием ГПС. Каждое ребро графа идентифицирует две дуги

встречного направления. Граф включает в себя все возможные варианты структур АСИО, имеющих не более трех иерархических уровней накопления инструментов, что характерно для современных автоматизированных систем инструментального обеспечения ГПС.

На нижнем уровне иерархии АСИО находятся оперативные накопители инструментов станков ГПС. Каждый из этих накопителей обслуживает свой станок в соответствии с требованиями технологических процессов изготовления деталей.

Промежуточные накопители инструментов могут также выступать в качестве буферных накопителей в целях сокращения очередей при обслуживании оперативных накопителей из центрального инструментального склада (накопителя) инструментов.

Долговременное хранение инструментов осуществляется в центральном накопителе инструментов (ЦНИ) – центральном инструментальном складе. Отсюда инструменты поступают в накопители среднего уровня. Из ЦНИ инструменты могут транспортироваться непосредственно в инструментальные магазины станков. Инструменты, вышедшие из строя или ресурс стойкости которых исчерпан, возвращаются в ЦНИ.

Решение задачи синтеза структур АСИО сводится к выделению из каждого выбранного комплекта технических средств инструментальных накопителей и установлению связей между ними, которые практически осуществимы входящими в комплект техническими средствами транспортирования инструментов. Эта задача решается одновременно с проработкой вопроса установления связей между проектируемой АСИО и цеховой системой инструментального обеспечения. Конкретная структура изображается подграфом или частью графа обобщенной структуры АСИО.

УДК 621.1

*А. А. Коровкин, И. И. Ведерникова*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## **ТЕХНОЛОГИЯ СВАРКИ ТРУБ**

**Ключевые слова:** сварка, технологический процесс, конструкция, сборка, технология, операция, обработка, технические требования.

**Аннотация:** объектом исследования являются проблемы разработки новых способов и технологических процессов сварки при ремонте трубопроводов печей пиролиза и необходимость получения сварных швов, равнопрочных основному металлу, а также обследования и прогнозирования характеристик жаропрочности и надежности таких сварных соединений.

*А. А. Korovkin, I. I. Vedernikova*

## **THE TECHNOLOGY OF WELDING PIPES**

**Keywords:** welding, technological process, construction, Assembly, technology, operation, processing, technical requirements.

**Abstracts:** The object of the study is the problem of developing new methods and processes of welding in the repair of pipelines of pyrolysis furnaces and the need to obtain welds equal to the base metal, as well as the survey and prediction of the characteristics of heat resistance and reliability of such welds.

В настоящее время производство пластических масс и синтетических смол обеспечивается благодаря большому количеству оборудования, главным из которых являются печи пиролиза. Печи выполнены из трубопроводов в виде радиантных змеевиков, в качестве материала которых используются, высоколегированные жаростойкие стали (типа 45X25H35СБ).

Одной из важнейших задач современного производства является повышение долговечности и эксплуатационной надежности установок, как вновь вводимых, так и проработавших расчетный срок эксплуатации.

Продление срока службы возможно путем своевременного ремонта трубопроводов. Участки, где наблюдаются прогибы, вздутия, коробления и увеличение диаметра, вырезаются и заменяются на новые. В связи с этим возрастает актуальность проблемы разработки новых способов и технологических процессов сварки при ремонте трубопроводов печей пиролиза и необходимость получения сварных швов, равнопрочных основному металлу, а также обследования и прогнозирования характеристик жаропрочности и надежности таких сварных соединений.

Целью данной работы является разработка технологии сварки труб диаметром 108 мм с толщиной стенки 14 мм из стали 45X25H35СБ, используемых для изготовления змеевиков в печах пиролиза.

Расчет режимов сварки следует начать с определения геометрических размеров шва. Геометрию шва и разделки кромок для труб выбирают согласно ГОСТ 16037-80.

Для определения числа проходов найдем общую площадь поперечного сечения наплавленного металла. Площадь наплавки обычно находят как сумму площадей элементарных геометрических фигур:

$$F_H = h^2 \cdot \tan + b \cdot s + 0,75 \cdot g \cdot e \quad (1)$$

где  $S$ ,  $b$ ,  $e$ ,  $g$  – размеры конструктивных элементов сварного соединения.

$$F_H = 13^2 \cdot \operatorname{tg}30 + 2 \cdot 14 + 0,75 \cdot 2 \cdot 21 = 157, \text{ мм}^2.$$

$$F = 0,73 \cdot e(S + g) \quad (2)$$

$$F = 0,73 \cdot 21(14 + 2) = 245 \text{ мм}^2$$

Находим площадь поперечного сечения проплавленного металла по формуле:

$$F_{\text{ПП}} = F - F_H \quad (3)$$

$$F_{\text{ПП}} = 245 - 157 = 88 \text{ мм}^2.$$

Сварку выполняем электродами 3 мм.

Воспользуемся формулой, описанной в [5] для определения площади поперечного сечения первого прохода:

$$F_l = (6...8)d_s) \quad (4)$$

где  $d_s$  – диаметр электрода, мм;

$$F_l = 6 \cdot 3 = 18 \text{ мм}^2.$$

Принимаем площадь направленного металла для первого прохода  $F_l = 18 \text{ мм}^2$ .

Для определения площади поперечного сочетания последующих проходов:

$$F_n = (8...12)d_s) \quad (5)$$

$F_n = 12 \cdot 3 = 36 \text{ мм}^2$ , принимаем площадь наплавленного металла для последующих проходов  $F_n = 36 \text{ мм}^2$ .

Число проходов рассчитывается по формуле:

$$n = \frac{F_n - F_l}{F_n} + 1 = \frac{36 - 18}{36} + 1 = 1,5 \quad (6)$$

Назначаем пять проходов.

Расчет силы сварочного тока при сварке покрытыми электродами производится по диаметру электрода и допускаемой плотности тока [5].

$$I_{cs} = \frac{\pi \cdot d_s^2}{F_n} \cdot j \quad (7)$$

где  $d_s$  – диаметр электродного стержня, мм;

$j$  – допускаемая плотность тока, А/мм<sup>2</sup>.

$$I_{cs} = \frac{3,14 \cdot 3^2}{4} (14...20) = 99...141 \text{ А},$$

Принимаем, согласно рекомендации [4],  $I_{cs} = 9110 \text{ А}$ .

Для приближенного расчета напряжения на дуге воспользуемся выражением:

$$U_\delta = 20 + 0,40 \cdot I_{cs} = 20 + 0,40 \cdot 110 = 24,4 \text{ В} \quad (8)$$

принимаем  $U_\delta = 24 \text{ В}$ .

Скорость дуговой сварки покрытыми электродами обычно задается и контролируется косвенно по необходимым размерам получаемого шва и может быть определена по формуле:

$$V_{cs} = \frac{\alpha_n \cdot I_{cs}}{3600 \cdot \gamma \cdot F_n} \quad (9)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент наплавки, гАч;

$F_n$  – площадь поперечного сечения наплавленного металла за данный проход, см<sup>2</sup>;

$\gamma$  – плотность наплавленного металла за данный проход, г/см<sup>3</sup> (для высоколегированной стали  $\gamma = 7,9$  г/см<sup>3</sup>).

Подставляем значения в формулу (9) и получаем для корня шва:

$$V_{св} = \frac{13,5 \cdot 110}{3600 \cdot 7,9 \cdot 18 \cdot 10^{-2}} = 0,29 \text{ см/с} = 10,4 \text{ м/ч.}$$

Подставляем значения в формулу (9) и получаем для последующих проходов:

$$V_{св} = \frac{13,5 \cdot 110}{3600 \cdot 7,9 \cdot 18 \cdot 10^{-2}} = 0,15 \text{ см/с} = 5,3 \text{ м/ч.}$$

Значение погонной энергии определяет количество энергии, вводимое в единицу длины шва:

$$q_n = \frac{q_{эф}}{V_{св}} = \frac{I_{св} U_{д} \eta_u}{V_{св}} \quad (10)$$

где  $q_{эф}$  – эффективная тепловая мощность сварочной дуги. Дж;

$I_{св}$  – ток сварочной дуги. А;

$U_{д}$  – напряжение на дуге, В;

$\eta_u$  – эффективный КПД нагрева изделия дугой, для дуговых методов сварки находится в пределах 0,6...0,9; покрытыми электродами на постоянном токе 0,75...0,85;

$V_{д}$  – скорость перемещения сварочной дуги, см/с.

Подставляем значения в формулу (10) и получаем для корня шва:

$$q_n = \frac{110 \cdot 24 \cdot 0,8}{0,29} = 7283 \text{ Дж/см.}$$

Подставляем значения в формулу (10) и получаем для последующих проходов:

$$q_n = \frac{110 \cdot 24 \cdot 0,8}{0,15} = 14080 \text{ Дж/см.}$$

Максимальную температуру на расстоянии  $r$  рассчитывают по формуле изложенной в [4]:

$$T_{\max} = \frac{2 \cdot q}{\pi \cdot V \cdot c \cdot p \cdot r_0^2} \quad (11)$$

где  $q$  – эффективная тепловая мощность источника, Вт;

$V$  – скорость сварки, см/с;

$c \cdot p$  – Дж/см<sup>3</sup> град – объемная теплоемкость;

$r_0$  – расстояние до изотермы плавления  $T_{пл}$ .

Отсюда расстояние  $r$  до изотермы  $T_{пл}$   $r = 0,005588 \sqrt{q_n} = 0,48 \text{ см}$ ,

Принимаем глубину провара равной 0,3 см.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сварка в машиностроении: Справочник. В 4-х т Ред-кол.: Г.А. Николаев и др. – М.: Машиностроение, 1978.
2. Технологические основы сварки давлением и плавлением. Сварка плавлением: учебно-методическое пособие/ Е.А. Трущенко. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. –Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 80 с.

УДК 544.47; 621.785.53.062; 669.018.6

*М. В. Кузнецов*

ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (федеральный центр науки и высоких технологий) МЧС России

### **КАТАЛИТИЧЕСКОЕ АЗОТИРОВАНИЕ: НОВАЯ ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

**Ключевые слова:** стекловолокнистые тканые катализаторы (СВТК), каталитическая обработка, металлы и сплавы, азотирование, высокотемпературный реактор, кассетный дизайн, улучшение свойств, изделия.

**Аннотация:** Предложена новая перспективная каталитическая технология, основанная на использовании стекловолокнистых тканых катализаторов (СВТК) для активации азотной или аммиачной атмосферы в высокотемпературном реакторе при обработке металлов и сплавов. Это приводит к значительному упрочнению, увеличению коррозионной стойкости, износостойкости и т.д. получаемых изделий.

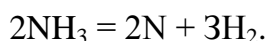
*M. V. Kuznetsov*

### **CATALYTIC NITRIDING: A PROMISING NEW TECHNOLOGY OF CHEMICO-THERMAL SURFACE TREATMENT OF METAL PRODUCTS**

**Keywords:** fiberglass woven catalysts (FGWC), catalytic processing, metals and alloys, nitriding, high temperature reactor, cassette design, property improvement, products.

**Abstracts:** A new promising catalytic technology based on the use of fiberglass woven catalysts (FGWC) for the activation of nitrogen or ammonia atmosphere in a high-temperature reactor during the processing of metals and alloys was proposed. This leads to significant hardening, increase in corrosion resistance, wear resistance, etc. of the resulting products.

Процесс азотирования в рамках предлагаемой технологии основывается на выделении активного азота при диссоциации аммиака при температурах порядка 500-650 °С по реакции:



Научной основой для разработки данного технологического подхода явилась нетрадиционная для существующей теории азотирования концепция. Она построена на гипотезе о том, что при азотировании металлов активными компонентами в газовой среде являются не стабильные, равновесные продукты взаимодействия компонентов печной атмосферы, а промежуточные, лабильные, высокоактивные в химическом отношении образования (азот-, водород-, кислородсодержащие радикалы, ионы, ион-радикалы). Этим была продиктована целесообразность введения в процесс каталитического фактора, селективным образом воздействующего на превращения в аммиачно-воздушной среде в ходе ее взаимодействия с металлическими поверхностями.

Проведенные исследования в полной мере подтвердили правомерность исходных предпосылок: процесс азотирования радикально изменил свой характер по всем режимным параметрам и качеству обрабатываемого изделия. Нами была разработана конструкция каталитического реактора, а также специальные стеклотканые катализаторы с различными металлическими наполнителями.

Созданный класс стекловолокнистых тканых каталитических материалов (СВТК) с различной структурой плетения (жаккардовое тканье, полотно, сатин и др.) обладает существенными конструктивными, технологическими, эксплуатационными и экономическими преимуществами перед традиционными гранулированными или порошковыми катализаторами. Технология их изготовления позволяет управлять размерами пор стеклоткани (от 10 до 1000 А), развивать её поверхность от единиц до сотни и более м<sup>2</sup>/г, целенаправленно вводить необходимые металлические наполнители (Pt, Pd, Cr и т.д.). Установка в печи на аммиачной (аммиачно-воздушной) магистрали каталитического реактора снаряженной кассеты (кассет) из СВТ-катализаторов специального назначения обеспечила радикальную активацию печной атмосферы, что позитивно отразилось на реализации процесса азотирования металлических поверхностей. В результате этого, по сравнению со стандартными процессами азотирования:

- была значительно увеличена коррозионная стойкость конструкционных сталей;
- была увеличена твердость обработанного изделия на глубину более 1 мм;
- была увеличена износостойкость и ударная вязкость обработанного изделия;
- был подавлен при азотировании процесс обезуглероживания чугуна и сталей;
- было достигнуто значительное ускорение процесса азотирования (часы вместо суток);
- был многократно сокращен расход аммиака;
- была впервые обеспечена возможность азотирования изделий, азотирование которых не представлялось возможным с применением традиционных технологий, а именно - быстрорежущих сталей, изделий печной металлургии, а также титана и его сплавов.

К настоящему времени предлагаемая технология опробована на ряде металлургических и машиностроительных предприятий России и показала отличные результаты применительно к различным изделиям и материалам. Классическим примером оборудования для осуществления каталитического газового азотирования шахтной печи, такой как ССХВ 6.9/7 и ее аналоги.

Предлагаемая упрочняющая технология каталитического азотирования может быть использована применительно ко всему спектру металлической продукции и в первую очередь для обработки элементов нефтегазового бурового оборудования, ме-

таллургического и горного оборудования, а также продукции из специальных и обычных сталей. Шахтная печь для газового азотирования может быть оборудована устройством для каталитической обработки изделий в атмосфере аммиака и/или азота, которое обеспечивает проведение процесса насыщения чугуна, стали и сплавов азотом в условиях, близких к равновесным. Отдельные элементы или кассетная сборка с СВТК могут быть помещены внутрь этого устройства в любом количестве и форме, которые необходимы для осуществления конкретного процесса азотирования. Чтобы учесть влияние некоторых переменных факторов, была разработана система косвенного контроля азотного потенциала атмосферы печи. При определенном содержании азота в поверхностных слоях заготовок, эта система позволяет оператору изменять уровень потока технологических газов, а также температуру и динамику протекания процесса диффузии в режиме реального времени. Система также позволяет рассчитать распределение концентрации азота от поверхности в глубину изделия, фазовый состав приповерхностной зоны, а также распределение микротвердости в пределах диффузионного слоя.

Технология каталитического азотирования с использованием СВТК-реакторов, а также катализаторов различного дизайна и химического состава может быть применена на практике при обработке широкого ряда изделий: зубчатых колес; валов и штоков; деталей насосов; гидро- и пневмоаппаратуры; штампов и пресс-форм; метизов с антикоррозионным покрытием, изготовленных из разнообразных материалов, среди которых можно выделить конструкционные стали, цементуемые стали с комбинацией азотирования и закалки, штамповые сплавы, стали для холодного деформирования, быстрорежущие стали, нержавеющей стали, изделия порошковой металлургии, а также изделия из титана и его сплавов.

УДК 629.373

*В. Ф. Кушляев, О. В. Кушляева, Д. В. Курчин*

ФГБВОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России, АО «Машлес»

## **МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОФИЛЯ НОЖЕЙ РАБОЧЕГО ОРГАНА ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

**Ключевые слова:** машина для разрубки противопожарных просек, рабочий орган, ножи подвижные и неподвижные, профиль ножей, оптимальное проектирование профиля ножей.

**Аннотация:** рассмотрен метод оптимального проектирования профиля ножей рабочего органа машин с гидроманипулятором. Метод позволяет обосновать оптимальную компоновку ножей в рабочем органе.



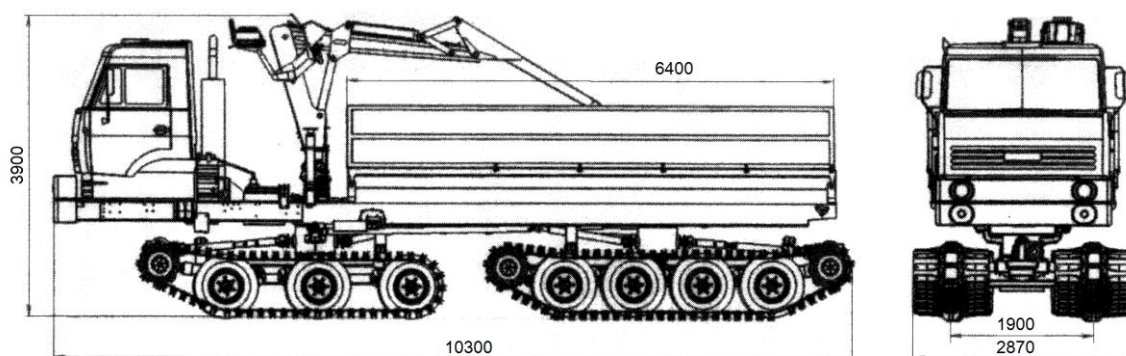
V. F. Kushljaev, O. V. Kusljaeva, D. V. Kurchin

## METHODS OF OPTIMAL DESIGNING PROFILE KNIVES OF THE WORKING BODY OF THE TRANSPORT-TECHNOLOGICAL MACHINES

**Keywords:** machine for cutting fire glades, working body, movable and fixed knives, knife profile, optimal design of knife profile.

**Abstracts:** the method of optimum design of a profile of knives of working body of machines with a hydraulic manipulator is considered. The method allows to justify the optimal layout of the knives in the working body.

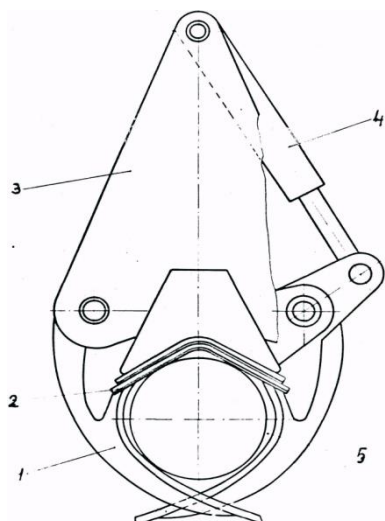
Ножи подвижные и неподвижные, различного профиля используются в технологическом оборудовании машин для разрубки противопожарных просек, сбора экологически опасных отходов в Арктике, ликвидации торфяных пожаров, перемещения грунта, очистки насаждений от радиоактивной древесины (рис. 1). Оптимизация профиля и параметров ножей производится на стадиях проектирования и применения оборудования и позволяет улучшить эксплуатационные свойства машин [1-5, 7].



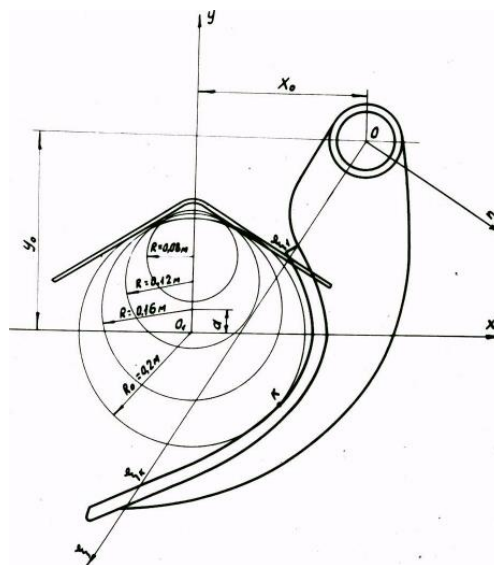
**Рис. 1.** Компоновочная схема транспортно-технологической машины с грейферным (клещевым) захватом для сбора отходов в Арктике, с валочно-сучкорезно-раскряжевочным рабочим органом для разрубки противопожарных просек

Задан максимальный диапазон диаметров деревьев, протаскиваемых через режущее (сучкорезное) устройство машины для разрубки противопожарных просек  $d_0 - D_0$ , где  $d_0$  – диаметр вершины;  $D_0$  – диаметр комлевой части (зоны расположения сучьев). Задана схема компоновки ножей: количество ножей неподвижных и подвижных. Например, для серийных отечественных и большого ряда зарубежных машин принята схема с одним неподвижным и двумя подвижными ножами с рычажной подвеской, рис. 1 [1, 2, 3].

На компоновочно-кинематической схеме режущего устройства определены неподвижная система координат  $O_1 x y$  (рис. 3), связанная с центром окружности максимального диаметра  $D_0$  и подвижная система координат  $O \eta \zeta$ , связанная с осью подвески подвижного ножа (подвеска ножей предполагается симметричной относительно оси  $O_1 y$ ).



**Рис. 2.** Общий вид ножевого устройства рабочего органа машин для разрубки противопожарных просек: 1 – подвижные ножи; 2 – неподвижный нож; 3 – корпус; 4 – гидроцилиндр привода подвижных ножей; 5 – ствол дерева (сваи и др.)



**Рис. 3.** Расчетная схема оптимизации профиля ножей режущего устройства рабочего органа машин для разрубки противопожарных просек

Начало подвижной системы координат зададим координатами  $x_0, y_0$ . Требуется среди множества профилей подвижных и неподвижного ножей и множества координат точек подвески ножей и координат установки неподвижного ножа выбрать такую совокупность, для которой наилучшим образом осуществляются вписывание окружностей диаметром  $d_0 \div D_0$  в замкнутый контур, образованный режущими кромками прижатых к дереву ножей.

В качестве критерия оптимальности примем максимальное отклонение окружности от замкнутого контура, образованного режущими кромками прижатых к дереву ножей.

Указанное отклонение характеризует возможную максимальную высоту оставшейся части срезанных сучьев, и, следовательно, характеризует непосредственно качество процесса обрезки сучьев.

Профиль режущей кромки будем разыскивать среди многообразия кривых, определяемых полиномом третьей степени

$$\eta(\zeta) = K_0 + K_1 \zeta + K_2 \zeta^2 + K_3 \zeta^3 \quad (1)$$

Если профилирование режущей кромки ведется не на всем интервале  $0 \div \xi_k$ , а на некотором интервале  $\xi_1 \div \xi_k$ , где  $\xi_1$  – начальная координата передней режущей кромки ножа;  $\xi_k$  – соответственно конечная координата профилируемой кромки ножа, то семейство профилей определяется зависимостью

$$\eta(\xi) = K_0 + K_1(\xi - \xi_1) + K_2(\xi - \xi_1)^2 + K_3(\xi - \xi_1)^3 \quad (2)$$

Неопределенные коэффициенты  $K_0, K_1, K_2, K_3$  должны быть найдены из заданных граничных условий на концах интервала

$$\xi_1 \leq \xi \leq \xi_K.$$

При  $\xi = \xi_1$  имеем:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= K_0; \\ \eta_1 &= K_1. \end{aligned} \quad (3)$$

При  $\xi = \xi_K$ , соответственно имеем:

$$\begin{aligned} \eta_K &= K_0 + K_1(\xi_K - \xi_1) + K_2(\xi_K - \xi_1)^2 + K_3(\xi_K - \xi_1)^3; \\ \eta_K &= K_1 + 2K_2(\xi_K - \xi_1) + 3K_3(\xi_K - \xi_1)^3 \end{aligned} \quad (4)$$

Полагая граничные условия заданными, найдём

$$\begin{aligned} K_0 &= \eta_1, \\ K_1 &= \eta_1, \\ K_2(\xi_K - \xi_1) + K_3(\xi_K - \xi_1)^2 &= \frac{\eta_K - K_0}{\xi_K - \xi_1} - K_1, \\ 2K_2(\xi_K - \xi_1) + 3K_3(\xi_K - \xi_1)^2 &= \dot{\eta}_K - K_1, \\ K_2 &= \frac{-\dot{\eta}_K + K_1 + 3\left(\frac{\eta_K - K_0}{\xi_K - \xi_1} - K_1\right)}{\xi_K - \xi_1}, \\ K_3 &= \frac{\dot{\eta}_K - K_1 - 2\left(\frac{\eta_K - K_0}{\xi_K - \xi_1} - K_1\right)}{(\xi_K - \xi_1)^2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Рассматриваемое семейство профилей является пятипараметрическим и содержит варьируемые величины  $\eta_1$ ,  $\dot{\eta}_1$ ,  $\eta_K$ ,  $\dot{\eta}_K$ ,  $\xi_1$ .

К этим пяти варьируемым параметрам следует присовокупить две координаты точки подвеса ножа  $x_0$ ,  $y_0$ , а также, по крайней мере, две координаты, определяющие переднюю режущую кромку неподвижного ножа.

Естественно, что выбор оптимального решения среди множества девяти варьируемых параметров представляется весьма сложной вычислительной проблемой. Поэтому в качестве первого приближения можно ограничиться урезанным семейством профилей, определенных при условиях  $\eta_1 = 0$ ,  $\eta_K = 0$  и при кромке неподвижного ножа. В этом случае задача формулируется следующим образом. Среди множества профилей режущих кромок подвижных ножей, отличающихся параметрами  $\eta_1$ ,  $\dot{\eta}_K$ ,  $\xi_1$  и среди множества координат точек подвески  $x_0$ ,  $y_0$ , найти такое значение совокупности величин  $\langle \dot{\eta}_1, \dot{\eta}_K, \xi_1, x_0, y_0 \rangle$  при которой минимум максимального отклонения окружности диаметров от замкнутого контура, образованного дугами кривых профилей ножей на всем диапазоне диаметров  $d_0 \div D_0$ .

Таким образом, сформулированная задача сводится к разрешению минимакса

$$\begin{aligned} \min \max \Delta(\dot{\eta}_1, \dot{\eta}_K, \xi_1, x_0, y_0) \\ d_0 \leq D \leq D_0 \\ (x_0, y_0) \in E \end{aligned} \quad (6)$$

$$(\dot{\eta}_1, \dot{\eta}_k, \xi_1) \in K.$$

Основу алгоритма оптимизации составляет установление функциональной зависимости отклонения окружности от контура, образованного профилями ножей, в который вписана эта окружность.

Введем в рассмотрение угол  $\varphi$ , характеризующий поворот ножа относительно точки 0. Каждому диаметру дерева  $D$  на интервале  $d_0 \div D_0$  будет соответствовать определенное значение угла  $\varphi$ , при котором окружность имеет хотя бы одну общую точку с кривого профиля (точка  $K$  на рис. 3). При этом ни одна точка профиля не должна попадать внутрь окружности диаметра  $D$ . Условие непересечения кривой профиля с окружностью получим в неподвижной системе координат. [1,2,4,5,6].

Уравнение окружности радиуса  $R_0$

$$x^2 + y^2 = R_0^2. \quad (7)$$

Уравнение окружности произвольного радиуса

$$x^2 + (y - a)^2 = R^2,$$

где  $a$  – расстояние между центрами произвольной окружности и началом координат.

Величина  $a$  определяется путем вписывания дуги окружности радиуса  $R$  в профиль неподвижного ножа.

Запишем выражение для координат профиля в неподвижной системе.

Для точки 1 имеем:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 - \xi_1 \cos \varphi + \eta_1 \sin \varphi, \\ y_1 &= y_0 - \xi_1 \sin \varphi - \eta_1 \cos \varphi. \end{aligned} \quad (8)$$

Для произвольной точки с координатами  $\xi, \eta$

$$\begin{aligned} x &= x_0 - \xi \cos \varphi + \eta \sin \varphi, \\ y &= y_0 - \xi \sin \varphi - \eta \cos \varphi. \end{aligned} \quad (9)$$

Условие контакта профиля режущей кромки подвижного ножа с окружностью представляется совместным решением уравнений

$$\begin{aligned} x^2 + (y - a)^2 &= R^2, \\ x &= x_0 - \xi \cos \varphi + \eta \sin \varphi, \\ y &= y_0 - \xi \sin \varphi - \eta \cos \varphi, \\ \eta &= K_1(\xi - \xi_1) + K_2(\xi - \xi_1)^2 + K_3(\xi - \xi_1)^3, \\ \xi_1 &\leq \xi \leq \xi_K. \end{aligned} \quad (10)$$

В уравнениях (10) коэффициенты  $K_1, K_2, K_3$  и величина  $\xi_1$  постоянны. Координаты  $X_0, Y_0$  заданы. Величина  $a$  определяется радиусом окружности  $a(R)$ .

Алгоритм поиска условия контакта сводится к следующей процедуре вычислений:

- 1) Задаемся величинами  $\xi$  на интервале  $\xi_1 \leq \xi \leq \xi_k$ .
- 2) Вычисляем координаты  $\eta(\xi)$ .
- 3) Задаемся  $\varphi$  и вычисляем координаты точек профиля режущей кромки подвижного ножа  $X(\xi, \eta)$ ,  $Y(\xi, \eta)$ .
- 4) Вычисляем сумму квадратов  $X^2 + (Y - \alpha)^2$ .
- 5) Сравниваем значения этой суммы  $R$ .
- 6) Если для  $\xi_1 \leq \xi \leq \xi_k$   $X^2 + (Y - \alpha)^2 > R^2$ , то контакта нет. Нужно увеличить  $\varphi$  и повторить вычисления.
- 7) Если для  $\xi_1 \leq \xi \leq \xi_k$   $X^2 + (Y - \alpha)^2 > R^2$ , то профиль пересекает окружность. Нужно увеличить угол  $\varphi$  и повторить вычисления.
- 8) Варьируя угол  $\varphi$  добиваемся выполнения равенства

$$X^2 + (Y - \alpha)^2 > R^2$$

Обозначим это значение  $\varphi$  через  $\varphi_k$ . Определив условия контакта профиля ножей с окружностью для радиуса  $R$ , можно выяснить отклонение окружности от контура, образованного профилями ножей, в который вписана окружность.

$X(\xi), Y(\xi)$  от центра окружности радиуса  $R$  определяется зависимостью

$$\ell = \sqrt{x^2(\xi) + [y(\xi) - \alpha]^2} \quad (11)$$

Тогда, искомая зависимость отклонения точек окружности от контура, образованного профилями ножей, представится в виде

$$\Delta = \ell - R = \sqrt{x^2(\xi) + [y(\xi) - \alpha]^2} - R, \quad (12)$$

где  $x(\xi)$ ,  $y(\xi)$  – координаты точек профиля ножей, определяемые формулами

$$\begin{aligned} x(\xi) &= x_0 + \xi \cos \varphi_* + \eta \sin \varphi_*, \\ y(\xi) &= y_0 - \xi \sin \varphi_* - \eta \cos \varphi_*, \\ \eta &= K_1(\xi - \xi_1) + K_2(\xi - \xi_1)^2 + K_3(\xi - \xi_1)^3, \\ K_1 &= \dot{\eta}_1, \\ K_2 &= -\frac{\dot{\eta}_k + 2\dot{\eta}_1}{\xi_k - \xi_1}, \\ K_3 &= -\frac{\dot{\eta}_k + \dot{\eta}_1}{(\xi_k - \xi_1)^2}, \end{aligned}$$

Здесь и далее принята схема, профиля подвижных ножей, определенная семейством кривых, имеющих начальные и конечные координаты

$$\eta_1 = 0, \quad \eta_k = 0.$$

Вследствие симметрии подвески подвижных ножей вычисление по формуле (12) ведем в пределах изменения координаты  $x$ , равной нулю (на оси симметрии при  $y = a - R$ ) до координаты точки пересечения профилей неподвижного ножа, с подвижным. Обозначим эту координату через  $x_\sigma$ .

Выбор оптимальной компоновки подвижных ножей и параметров профиля осуществляется путем минимизации функции

$$\begin{aligned} \min \max(\sqrt{x^2(\xi) + [y(\xi) - \alpha]^2} - R) \\ r_0 \leq R \leq R_0 \\ (\eta_1, \eta_K, \xi_1) \in K, \\ (x_0, y_0) \in E \end{aligned} \quad (13)$$

Области варьирования проектных параметров  $\eta_1, \eta_K, \xi_1, x_0, y_0$  выбираются в окрестности первого приближения, в качестве которого рекомендуется взять средние данные существующих сучкорезных устройств зарубежных машин. Например, для сучкорезного устройства отечественной машины ЛП-33, схема которого показана на рис. 2, эти параметры имеют следующие значения

$$\eta_1 = 1,65, \quad \eta_K = 0,7, \quad \xi_1 = 0,25 \text{ м}, \quad x_0 = 0,3 \text{ м}, \quad y_0 = 0,35 \text{ м}.$$

Полученное минимальное значение максимального отклонения  $\Delta_*$  необходимо сравнить с максимальным отклонением профиля неподвижного ножа от окружностей радиусов  $R$  на всем диапазоне  $d_0 \div D_0$ .

Обозначим максимум этого отклонения через  $\Delta_H$ . Если окажется, что  $\Delta_H \leq \Delta_*$ , то найденные проектные параметры подвижных ножей определяют собой оптимальные параметры проектируемого сучкорезного устройства в целом.

Если же окажется, что  $\Delta_H > \Delta_*$ , то для реализации оптимального решения необходимо изменить профиль неподвижного ножа так, чтобы выполнялось условие

$$\Delta_H \leq \Delta_* \quad (14)$$

Для оценки  $\Delta_H$  необходимо аппроксимировать профиль неподвижного ножа, некоторой функцией в неподвижной системе координат

$$Y_H = Y_H(x) \quad (15)$$

При известной зависимости (15) точка пересечения профилей определяется совместным решением уравнения (15) с уравнением профиля подвижного ножа в неподвижной системе координат

$$\begin{aligned} X &= X_0 + \xi \cos \varphi_* + \eta \sin \varphi_*, \\ Y &= Y_0 - \xi \sin \varphi_* - \eta \cos \varphi_*, \end{aligned} \quad (16)$$

где  $\varphi_*$  – известные для каждого радиуса углы поворота ножей, при которых обеспечивается контакт ножа, с деревом.

Координаты точки пересечения профилей уже учтены при минимизации зависимости (13). Поэтому достаточно оценить отклонение  $\Delta_H$  при оси симметрии

$$\Delta_{H \cdot 0} = Y_H - (R + a) \quad (17)$$

и сравнить это отклонение с  $\Delta_H$

В заключение заметим, что профиль неподвижных ножей, безусловно влияет на оптимальные проектные параметры подвижных ножей, поскольку минимизируются отклонения окружности от конца профилей в том числе и в точке пересечения профилей подвижного и неподвижного ножей.

Запишем блочный алгоритм для решения задачи на ЭВМ.

1) Блок формирования профиля подвижного ножа в неподвижной системе координат. В этот блок исходные данные вводятся в виде областей варьирования проектных параметров  $\dot{\eta}_1, \dot{\eta}_K, \xi_1, \xi_k$

2) Блок преобразования, подвижных координат профиля ножей в неподвижной системе  $X, Y$

$$\begin{aligned} X &= X_0 + \xi \cos \varphi_* + \eta \sin \varphi_* , \\ Y &= Y_0 - \xi \sin \varphi_* - \eta \cos \varphi_* . \end{aligned}$$

Сюда исходные данные вводятся в виде областей координат точек подвеса ножей  $X_0, Y_0$  и областей изменения угла  $\varphi$ , определяемых из кинематической схемы.

3) Блок определения угла  $\alpha$ , при котором достигается контакт подвижных ножей с окружностью радиуса  $R$ .

4) Блок формирования отклонения профиля ножа от окружности радиуса  $R$

5) Блок определения области варьирования координат  $\xi$  при вычислении  $\Delta$ .

Начальная координата  $\xi_0$  определяется из условия пересечения профилей подвижного ножа с неподвижным:

$$\begin{aligned} Y_H &= Y_H(x), \\ X &= X_0 + \xi \cos \varphi_* + \eta \sin \varphi_* , \\ Y &= Y_0 - \xi \sin \varphi_* - \eta \cos \varphi_* . \end{aligned}$$

Конечная координата  $\xi_2$ , определяется из условия

$$\begin{aligned} X &= 0, \\ Y &= \alpha - R. \end{aligned}$$

6) Блок определения максимальных отклонений

$$\begin{aligned} \Delta_{max} &= \max(\sqrt{x^2(\xi) + [Y(\xi) - \alpha]^2} - R) \\ \xi_0 &\leq \xi \leq \xi_2 \\ r_0 &\leq R \leq R_0, \\ (\dot{\eta}_1, \dot{\eta}_K, \xi_1, \xi_k) &\in K, \\ (X_0, Y_0) &\in E. \end{aligned}$$

7) Блок минимизаций максимальных отклонений

$$\begin{aligned} \Delta_{minmax} &= \min(\sqrt{x^2(\xi) + [Y(\xi) - \alpha]^2} - R) \\ \xi_0 &\leq \xi \leq \xi_2 \\ r_0 &\leq R \leq R_0, \\ (\dot{\eta}_1, \dot{\eta}_K, \xi_1, \xi_k) &\in K, \\ (X_0, Y_0) &\in E. \end{aligned}$$

Машинный метод оптимизации дает хорошие результаты, если имеется достаточно хорошее первое приближение областей варьирования проектных параметров. Поэтому ниже предлагается графоаналитический метод определения первого приближения [3 5,7].

Задаемся профилем неподвижного ножа, исходя из  $d_0 \div D_0$  и определяем величину  $\alpha$  для ряда диаметров рис. 2 (например, при  $D = 0,40; 0,32; 0,24; 0,16; 0,08$  м).

Задаемся рядом комбинаций  $\dot{\eta}_1, \dot{\eta}_K$  и строим профиль на некоторой протяженности переменной  $\xi$ , определяемой длиной режущей кромки ножа. При этом следует иметь в виду, что чем больше отличается абсолютное значение производной  $\dot{\eta}_1$  от  $\dot{\eta}_K$ , тем сильнее сдвинут максимум профиля в сторону начала ножа. При построении зависимости  $\eta = \eta(\xi)$  оставляем неопределенное продолжение оси  $\xi$  в сторону точки подвеса ножа.

Далее переходим к графическому решению задачи. Для этого вырезаем из твердой бумаги трафарет профиля ножа, с продолжением оси  $\xi$  в сторону подвеса ножа. Намечаем из конструктивных соображений возможные точки подвеса ножа и измеряем максимальные отклонения окружности от контура профилей подвижного и неподвижного ножей. Для каждого из сравниваемых профилей находим такие координаты  $X_0, Y_0$ . Такое значение  $\xi_1$ , при которых  $\Delta$ max максимально. Сравнивая отклонения  $\Delta$  для всего семейства профилей подвижных ножей, устанавливаем самый лучший вариант проектных параметров среди сравниваемых.

С этими данными входим на ЭВМ и продолжаем поиск оптимального решения.

Чем глубже проработка вариантов на этапе подготовки первого приближения, тем быстрее будет найден оптимальный вариант конструкции сучкорезного устройства.

До сих пор мы рассматривали профили подвижных ножей, построенные при нулевых граничных значениях координат  $\eta_1$  и  $\eta_K$ . Вводя графически эти координаты в сравниваемые профили, можно оценить эффект этих координат с точки зрения уменьшения максимальных отклонений окружности от контуров ножей и тем самым, подобрать хорошее первое приближение при варьировании координат  $\eta_1, \eta_K$ . Рассмотрим примеры расчета профиля режущих ножей сучкорезного устройства[2, 4-7].

Пример № 1.

Дано:  $\dot{\eta}_1 = 1,65$  м,  $\dot{\eta}_K = 0,7$  м,  $\xi_1 = 0,24$  м,  $\xi_K = 0,72$  м,  
 $X_0 = 0,3$  м,  $Y_0 = 0,33$  м,  $d_0 = 0,08$  м,  $D_0 = 0,4$  м.

Указанные параметры соответствуют параметрам режущего устройства, машины ЛП-33. Сучкорезное устройство включает три режущих ножа: один неподвижный и два подвижных, расположенных симметрично. Исходя из значений  $d_0 \div D_0$  профиль конструкции неподвижного ножа принимается состоящим из трех отрезков дуг. Один из указанных отрезков имеет радиус равный 0,08 м, а два других выполнены с радиусом равным 0,2 м. Отрезки дуг сопряжены между собой прямолинейными отрезками. При этом расстояние между концами неподвижного ножа  $\lambda_{н.н} = D_0$ , а расстояние наиболее вогнутой части ножа от концов  $\delta_{н.н} = 0,3 D_0$ .

Необходимо определить профиль подвижного ножа, (второй подвижный нож выполнен симметрично) или вычислить функцию  $\eta(\xi)$  при перечисленных исходных данных.

Вычислим коэффициенты  $K_1, K_2, K_3$ , входящие в формулу, описывающую профиль подвижного ножа

$$\eta = K_1(\xi - \xi_1) + K_2(\xi - \xi_1)^2 + K_3(\xi - \xi_1)^3,$$

$$K_1 = \dot{\eta}_1 = 1,65$$

$$K_2 = -\frac{\dot{\eta}_K + 2\dot{\eta}_1}{\xi_K - \xi_1} = \frac{-0,7 + 3,3}{0,72 - 0,24} = -5,417$$

$$K_3 = \frac{\dot{\eta}_K + \dot{\eta}_1}{(\xi_K - \xi_1)^2} = \frac{-0,7 + 1,65}{(0,72 - 0,24)^2} = 4,13$$



Вычисление профиля подвижного ножа ведем в соответствии с формулой

$$\eta = 1,65(\xi - \xi_1) - 5,417(\xi - \xi_1)^2 + 4,13(\xi - \xi_1)^3$$

Для более точного построения профиля подвижного ножа всю длину режущей кромки по оси = 0,48 м можно разбить на 12 частей через 0,04 м.

В табл. 1 приведены результаты расчета профиля подвижного ножа через 0,08 м по оси  $\xi$ .

Таблица 1. Параметры профиля режущей кромки подвижного ножа сучкорезного устройства машины ЛП-33 (рис.4 а)

$\xi - \xi_1$	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48
$(\xi - \xi_1)^2$	0,0064	0,0256	0,0576	0,1024	0,16	0,2304
$(\xi - \xi_1)^3$	0,0005	0,0041	0,0138	0,0328	0,064	0,1106
$K_1(\xi - \xi_1)$	0,1320	0,264	0,396	0,528	0,66	0,792
$K_2(\xi - \xi_1)^2$	-0,0347	-0,1387	-0,312	-0,5547	-0,8667	-1,2481
$K_3(\xi - \xi_1)^3$	0,0021	0,0169	0,057	0,1355	0,2643	0,4568
$\eta_{(м.)}$	0,0994	0,1422	0,141	0,1088	0,0576	0

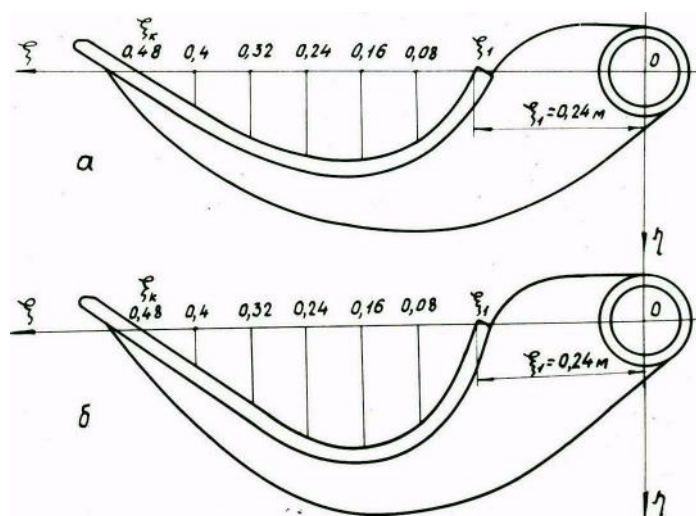


Рис. 4. Расчетные профили подвижных ножей режущего устройства машины ЛП -33 при исходных данных:

### Пример № 2.

Дано:  $\eta_1 = 2,5$  м,  $\eta_K = 0,44$  м,  $\xi_1 = 0,24$  м,  $\xi_K = 0,72$  м,  
 $X_0 = 0,3$  м,  $Y_0 = 0,35$  м,  $d_0 = 0,08$  м,  $D_0 = 0,4$  м.

Конструкция сучкорезного устройства аналогична по своему исполнению конструкции сучкорезного устройства аналога машины ЛП-33.

Необходимо определить профиль подвижного ножа

Вычислим коэффициенты,  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$ .

$$K_1 = \eta_1 = 2,5 \text{ м};$$

$$K_2 = -\frac{-0,44 + 2 \times 2,5}{0,72 - 0,24} = -9,5;$$

$$K_3 = \frac{-0,44 + 2,5}{(0,72 - 0,24)^2} = 8,94$$

Подставляем коэффициенты в формулу профиля ножа

$$\eta = 2,5 (\xi - \xi_1) - 9,5 (\xi - \xi_1)^2 + 8,94 (\xi - \xi_1)^3$$

Результаты расчета сведем в табл. 2.

**Таблица 2. Параметры профиля режущей кромки подвижного ножа сучкорезного устройства (рис. 4. б)**

$\xi - \xi_1$	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,48
$K_1(\xi - \xi_1)$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
$K_2(\xi - \xi_1)^2$	- 0,061	- 0,243	- 0,547	- 0,973	- 1,52	- 2,189
$K_3(\xi - \xi_1)^3$	0,0045	0,0367	0,123	0,293	0,572	0,989
$\eta_{(м.)}$	0,144	0,194	0,176	0,121	0,052	0

Основные выводы:

1. Координатный метод оптимизации в сочетании с графоаналитическим и математические выражения, представленные в работе, позволяют использовать при разработке и совершенствовании технологического оборудования систему автоматизированного проектирования.

2. Теоретические и методические положения данной работы могут быть использованы в расчетах для повышения качества процесса эксплуатации проектируемых и используемых аварийно-спасательных и пожарных машин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баринов К.Н. Координатный метод оптимизации компоновки рабочих органов лесозаготовительных машин//К.Н. Баринов, В.Ф. Кушляев. Рукопись 27 с. Библиограф. указ. «Депонированные научные работы». - М.: ВИНТИ, 1986. - № 12. - С. 106.
2. Баринов К.Н. Оптимальное проектирование профиля ножей сучкорезного устройства лесозаготовительной машины// К.Н. Баринов, В.Ф. Кушляев, В.В. Панев. Рукопись 18 с. Библиограф. указ. «Депонированные научные работы», - М.: ВИНТИ, 1988. - № 4, - С.162.
3. Баринов К.Н. Методика оптимизации компоновки манипулятора лесных машин// К.Н. Баринов, Г.В. Каршев, В.Ф. Кушляев... Рукопись 92 с. Библиограф. указ. «Депонированные научные работы». - М.: ВИНТИ, 1990, № 9, с. 98. Справка о деп. № 2632 - лб.90, 20.04.90.
4. Кушляева О.В. Совершенствование эксплуатационных параметров рабочих органов машин, применяемых в чрезвычайных ситуациях, путем оптимального проектирования. / О.В. Кушляева, В.Ф. Кушляев. // Предотвращение. Спасение, Помощь.: сборник трудов XXVIII Международной НПК, 22 марта 2018. Химки: ФГБВОУ ВО АГЗ МЧС России, 2018. - Секц. 10. - С.79-87.
5. Кушляева О.В. К вопросу обоснования технических требований на поисково-спасательную машину на базе шасси завода «ЕЗСМ «Континент»// В.Ф. Кушляев, Р.М. Галимуллин, О.В. Кушляева, В.А. Леонов. Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сб. ст. по материалам IX Всерос. науч.-практ. конф. курсантов, слушателей, студентов и молодых ученых с междунар.уч.27 сент. 2018 г. Воронежский институт – филиал ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России. – Воронеж, 2018. – С. 504-509.

6. Кушляева О.В. К вопросу обоснования мощности двигателя сочлененной гусеничной аварийно-спасательной машины. / О.В. Кушляева, В.Ф. Кушляев, С.П. Максименко. // Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, посвященной Году пожарной охраны «Пожарная и аварийная безопасность». Иваново: ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России, 2016. - С.260-264.

7. Кушляев В.Ф. Модель функционирования крановой установки аварийно-спасательной машины при автоматизированной системе управления. / В.Ф. Кушляев, К.К. Найдюк, Р.М. Галимуллин, О.В. Кушляева. // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности, 19 сентября 2018 г.– Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. - Часть II. - С. 36-45.

УДК 621.7.06

**Ю. С. Мухин, В. А. Полетаев**

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## **РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛА ДЕТАЛИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

**Ключевые слова:** напряженно деформированное состояние, расчётная схема, подача, фрезерование.

**Аннотация:** определена природа дефектов обработки и выявлены «слабые» места управляющей программы. Исследован процесс напряженно-деформированного состояния заготовки в момент фрезерования.

*Yu. S. Mukhin, V. A. Poletaev*

## **THE CALCULATION OF THE STRESS STRAIN STATE OF METAL PARTS DURING MECHANICAL PROCESSING**

**Keywords:** tensely deformed condition, settlement layout, supply, and milling.

**Abstracts:** the nature of processing defects is determined and «weak» places of the control program are revealed. The process of the stress-strain state of the workpiece at the time of milling is investigated.

Напряженно деформированное состояние (НДС) конструкции – совокупность внутренних напряжений и деформаций, возникающих при действии на нее внешних нагрузок, температурных полей и других факторов.

Напряженно деформированное состояние определяется двумя методами: расчетным и экспериментальным, в виде распределения напряжений, деформаций и перемещений в конструкции. НДС является главным критерием для оценки статической прочности и ресурса конструкций на всех этапах жизненного цикла изделия [1-3].

При расчете напряженно деформированного состояния особым образом идеализируется расчетная схема. С внедрением современных универсальных численных

методов расчета сложная конструкция может рассматриваться как совокупность простых механических элементов (балок, пластин, стержней).

НДС классифицируется на местное и общее.

Общее НДС определяется в силовых элементах конструкции без учета концентрации напряжений, вызванных местными конструктивно-технологическими особенностями (отверстиями, выточками и пр.).

Местное НДС определяется в районе концентратора напряжений и учитывает вид концентратора и приложенную нагрузку.

Фрезерование характеризуется наиболее сложной кинематикой и динамикой резания, связанной с переменностью срезаемого слоя, ударностью процесса врезания и их периодической повторяемостью. Для исследования аспектов фрезерования применяется анализ напряженно-деформированного состояния заготовки в момент механической обработки.

Напряженно-деформированное состояние при резании определяется геометрией режущего инструмента и физико-механическими свойствами обрабатываемого материала, и чаще всего описывается моделью ассиметричного остро заточенного клина, внедряемого в упругопластическое твердое тело и совершающего скольжение в направлении плоскости резания, при этом толщина срезаемого слоя является постоянной.

В данной работе расчет НДС произведен для определения процессов, проходящих во время обработки заготовки, в тех зонах, где наблюдаются зарезы и дробление материала.

При фрезерной обработке для расчета НДС необходимо знать нагрузки, с которыми инструмент воздействует на заготовку. К таким нагрузкам относится окружная сила резания и крутящий момент при фрезеровании.

Окружная сила резания (тангенциальная) наиболее важная сила, так как она производит основную работу резания и по ней рассчитывают крутящий момент.

Расчет данных нагрузок произведен по формуле:

$$P = 10 * C * t^x * S^y * B * z * D^q, \text{ Н}, \quad (1)$$

где  $C$  - коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала и материала из которого изготовлен режущий инструмент;

$t_x$  – глубина фрезерования, мм;

$S_y$  – подача, мм/зуб;  $B$  – ширина фрезерования, мм;

$z$  – число зубьев фрезы, шт;

$D_q$  – диаметр режущего инструмента, мм;

$x, y, q$  – показатели степеней, зависящие от обрабатываемого материала и материала из которого изготовлен режущий инструмент.

$$M = P * \frac{D}{2}, \quad (2)$$

где  $P$  – окружная сила, Н;

$D$  – диаметр режущего инструмента, мм.

Используя формулы (1) и (2) производится расчет нагрузок, действующих в процессе обработки.

Коэффициент  $C$  указывается в справочных таблицах для каждого материала отдельно.

Подачу на зуб можно определить двумя способами. Первый способ - это стандартное значение из каталога режущего инструмента. Второй способ подразумевает под собой тот факт, что с учетом опыта внедрения большого количества управляющих программ на определенном типе оборудования и постоянством поставляемого материала, технолог-программист задает собственные значения подачи на зуб или скорости подачи стола станка.

При использовании параметра скорости подачи стола станка, для получения необходимого значения  $S$ , производится перерасчет значения по формуле:

$$S = \frac{V_c}{N * z}, \quad (3)$$

где  $S$  – подача на зуб, мм;

$V_c$  – скорость подачи стола, мм/мин;

$N$  – частота вращения шпинделя, об/мин;

$z$  – количество зубьев фрезы, шт.

Применив полученные данные для расчета НДС, получаем эпюру напряжений по Мизесу (пластическая деформация наступает тогда, когда интенсивность напряжений достигает величины, равной пределу текучести при напряженном состоянии) см. рисунок.

Как видно из полученной эпюры, в зонах, отмеченных красным и желтым цветом, напряжения превосходят предел текучести, установленный для данного материала, образуя в этом месте пластическую деформацию с последующим «затягиванием» фрезы в тело детали.

Благодаря проведенному анализу и исследованиям НДС была определена природа дефектов обработки и выявлены «слабые» места управляющей программы. Возможности САМ-системы, использованной для создания УП, и ее верификатора не позволили выявить данные дефекты на стадии разработки управляющей программы, дав тем самым, возможность для корректировки и оптимизации.

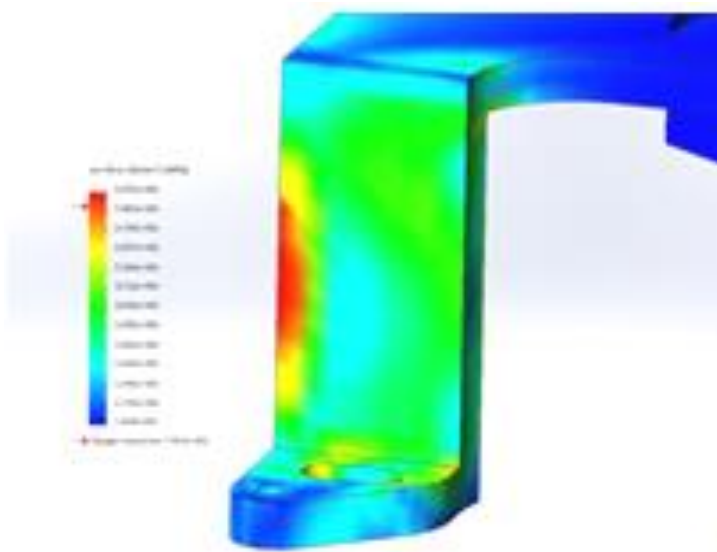


Рис. 1. Эпюра напряжений

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверченков В.В. САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: Учебное пособие для вузов / В.В. Аверченков, И.С. Каштальян, А.Н. Пархутик. – Москва: Высшая школа, 1993. – 288 с.
2. Алексанкин Я.Я. Автоматизированное проектирование систем автоматизированного управления / Я.Я. Алексанкин, А.Н. Бржозовский, В.С. Жданов. – Москва: Машиностроение, 1990. – 334 с.
3. Харченко А. Станки с ЧПУ и оборудование гибких производственных систем: Учебное пособие для студентов вузов / А. Харченко. – Санкт-Петербург: Професионал, 2004. – 304 с.

УДК 621.7.06

*Ю. С. Мухин, В. А. Полетаев*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛИ

**Ключевые слова:** управляющая программа, дефект, дробление материала, силы резания.

**Аннотация:** проведен анализ напряженно деформированного состояния детали во время на станке с ЧПУ в местах резкого изменения траектории относительного движения режущего инструмента вследствие разного изменения глубины резания с целью последующего учета полученных сведений для корректировки и оптимизации управляющей программы.

*Yu. S. Mukhin, V. A. Poletaev*

## ANALYSIS OF STRESS STRAIN STATE OF THE PART

**Keywords:** control program, defect, crushing of the material, the cutting force,

**Abstracts:** the analysis of the stress-strain state of the part during the CNC machine in places of sharp changes in the trajectory of the relative motion of the cutting tool due to different changes in the depth of cut in order to take into account the information obtained for the correction and optimization of the control program.

В большинстве случаев, при использовании пяти координатного оборудования, результатом обработки заготовки по новой управляющей программе, является деталь, максимально приближенная по своему внешнему виду к тому, который установлен инженером-конструктором в конструкторском чертеже. Отклонениями от данного правила являются случаи, когда технологический процесс содержит дальнейшие операции с механической обработкой или заготовка подверглась деформациям и повреждениям, которые нельзя учесть на стадии верификации и подготовки производства

(некачественный материал в поставке, ограниченный математический функционал верификатора, поломка инструмента, перебои с электроснабжением и т.д.).

В результате обработки на первой детали был выявлен ряд дефектов, которые не позволяют считать данную деталь годной и продолжать дальнейший технологический процесс с ее использованием. К таким дефектам относятся зарезы (рис. 1) в тело детали и дробление материала (рис. 2.). Данный вид зарезов инструмента не относится к числу «стандартных» зарезов, возникающих при некорректном написании управляющей программы. В данном случае возникает, так называемое «затягивание» фрезы в материал, возникающее из-за упругих деформаций технологической системы под действием сил резания. Силы резания при контурном фрезеровании на станке с ЧПУ в местах резкого изменения траектории относительного движения изменяются вследствие разного изменения глубины резания. Стоит рассмотреть данный процесс, для анализа его природы и последующего учета полученных сведений для корректировки и оптимизации управляющей программы процесс.

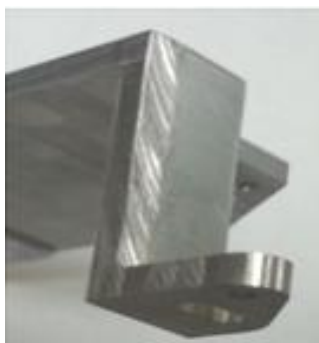


Рис.1 «Затягивание» фрезы

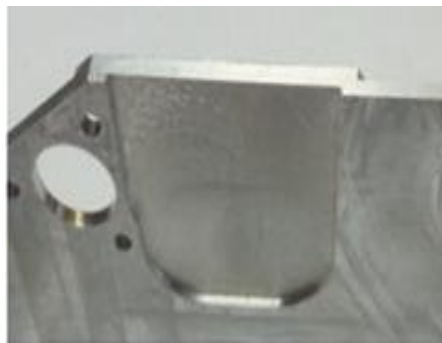
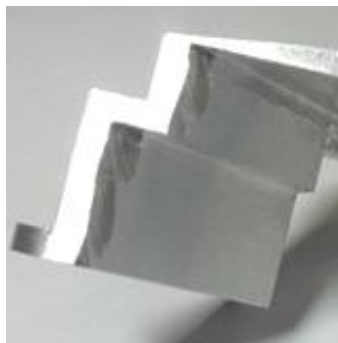


Рис. 2. Дробление материала

На заготовку со стороны фрезы действуют составляющие силы резания: тангенциальная  $P_Z$  и радиальная  $P_r$ , (рис. 3.).

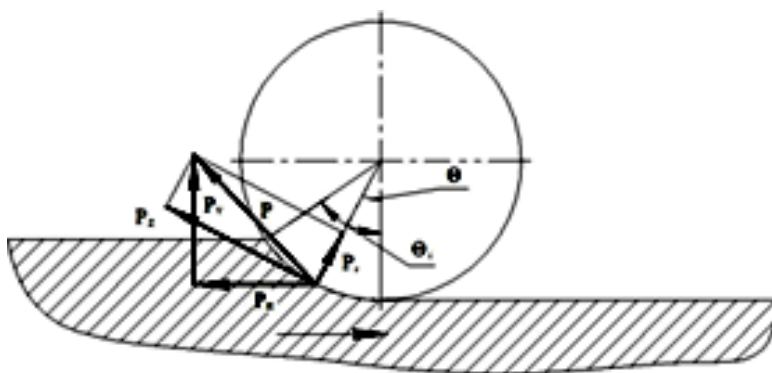


Рис. 3. Схема силового взаимодействия концевой фрезы и заготовки при плоском контурном встречном фрезеровании приложены в некоторой точке, определяемой значением центрального угла  $\Theta_i$

Значения этих сил зависят от параметров режима обработки и в значительной мере от текущей глубины резания, определяющей угол контакта фрезы с заготовкой  $\Theta$ . Значение  $\Theta_i$  неизвестно. Сложением векторов  $P_Z$  и  $P_r$  определяют результирующую силу резания  $R$ . Последнюю в свою очередь можно представить, как сумму сил

действующих в направлениях: параллельном подаче  $P_H$  и перпендикулярном подаче  $P_V$ . Главное влияние на величину погрешности контура оказывает составляющая силы резания  $P_V$ , лежащая в плоскости, перпендикулярной оси инструмента, и перпендикулярная направлению подачи. Сила  $P_V$ , параллельная направлению подачи, по модулю в большинстве случаев силы  $P_H$ . Она оказывает влияние на величины погрешности контура лишь в местах резкого изменения траектории относительного движения фрезы и обрабатываемой детали.

Из геометрических соотношений между силами резания, возникающими в процессе встречного фрезерования, можно записать:

$$\begin{cases} P = \sqrt{P_z^2 + P_r^2} \sin\left(\Theta - \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z}\right) \\ P_H = \sqrt{P_z^2 + P_r^2} \cos\left(\Theta - \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z}\right) \end{cases} \quad (1)$$

где  $P_Z$  - окружная сила резания, направленная касательно к фрезе в точке приложения силы, Н;

$P_r$  - радиальная сила резания, направленная по нормали к фрезе в точке приложения силы, Н;

$\Theta$  - угловая координата (центральный угол) точки приложения силы резания, град.

Из анализа данных соотношений видно, что при встречном фрезеровании можно создать такие условия обработки, при которых сила  $P_V$  равна нулю, а, следовательно, погрешность контура отсутствует.

Очевидно, знак силы  $P_V$  определяется знаком выражения

$$\left(\Theta - \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z}\right) \quad (2)$$

При

$$\Theta = \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z} > 0 \quad (3)$$

происходит затягивание фрезы в тело детали.

При

$$\Theta = \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z} < 0 \quad (4)$$

происходит отжим фрезы.

При

$$\Theta = \operatorname{arctg} \frac{P_r}{P_z}, \quad (5)$$

$$P_V = 0.$$



Данные выводы, о полученных зависимостях сил, будут учтены при последующей оптимизации существующей управляющей программы и, в дальнейшем, при разработке новых.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аверченков В.В. САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: Учебное пособие для вузов / В.В. Аверченков, И.С. Кашталъян, А.Н. Пархутик. – Москва: Высшая школа, 1993. – 288 с.

2. Алексанкин Я.Я. Автоматизированное проектирование систем автоматизированного управления / Я.Я. Алексанкин, А.Н. Бржозовский, В.С. Жданов. – Москва: Машиностроение, 1990. – 334 с.

УДК 621.9.01

***В. В. Новиков<sup>1</sup>, К. С. Бурченков<sup>1</sup>, С. А. Сырбу<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ивановский государственный университет

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ РЕЗАНИИ С УЧЕТОМ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА**

**Ключевые слова:** резание, температура, трение, стружка, инструмент, моделирование.

**Аннотация:** Нагрев материала стружки в зоне контакт «стружка-инструмент» приводит изменению условий трения из-за увеличения пластичности материала стружки. Построена модель для численного расчета температурных полей, позволяющая учесть изменения условий трения из-за увеличения пластичности материала стружки и повысить точность расчетов температуры в зоне резания.

***V. V. Novikov, K. S. Burchenkov, S. A. Syrbu***

### **NUMERICAL SIMULATION OF THERMAL PROCESSES WHEN CUTTING WITH THE TEMPERATURE CHANGE OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE PROCESSED MATERIAL**

**Keywords:** cutting, temperature, friction, chips, tool, modeling

**Abstracts:** Heating of the material chips in the contact area of the «chip-tool» leads to a change in the conditions of friction due to increase of material ductility of the chip. A model for the numerical calculation of temperature fields is constructed. This model enables into account changes in friction conditions due to the increase in the plasticity of the chip material and improves the accuracy of temperature calculations in the cutting zone.

Источником теплоты при резании металлов является работа, которая затрачивается на пластические и упругие деформации в срезаемом слое и в прилегающих слоях; и на преодоление трений по передней и задней поверхностям резца. Теплота, переходящая в резец, размягчает его (снижает твердость) и делает менее износостойким. Теплота, выделившаяся в зоне стружкообразования и в местах контакта стружки с инструментом и инструмента с заготовкой, будет оказывать большое влияние на трущиеся поверхности и смазочную способность СОТС, на точность обработки и на весь процесс и связанные с ним явления (деформации, наростообразование, упрочнение, износ инструмента и другие). Из-за этого влияния необходимо учитывать температурный фактор и иметь надежный инструмент для расчета температур в зоне резания.

Поскольку из-за нагрева в зоне контакта изменяются свойства материала, эти изменения необходимо учитывать при расчетах тепловых полей при резании. Однако существующие аналитические модели расчета температуры не учитывают это явление [1-3]. Ранее нами было показано, что учет изменений свойств материала стружки из-за нагрева дает возможность построить более точную аналитическую модель процесса на стадии теплонасыщения инструмента [4]. Численное моделирование позволяет учитывать изменения не только в конечной стадии нагрева, но и на всех стадиях установления температурного поля [5].

Цель работы – разработка модели и численное моделирование тепловых процессов при свободном резании с учетом нелинейности механических свойств обрабатываемого материала.

Математическая модель. Нами была разработана модель для численного расчета в виде сетки методом конечных разностей. Теплообмен в расчетной области имеет сложный характер. Поэтому расчетная область разбивается на несколько частей – область заготовки, область инструмента и область стружки. Получены уравнения, с помощью которых задавалась сетка по пространству и времени. При разбиении учитывались подача, размер резца, длина контакта и усадка стружки.

В области движения заготовки расчет температурного поля производился по разностной схеме, следующей из решения уравнения теплопроводности, с учетом того, что часть теплоты переносится движущимся относительно резца с постоянной скоростью материалом заготовки. В области движения заготовки в области, прилегающей к инструменту, но не имеющей с ним теплового контакта расчет температурного поля производился по разностной схеме с учетом движения стружки и конвективного теплообмена стружки с окружающей средой, температура которой принималась постоянной.

В области основного тела инструмента расчет температурного поля производился по обычной разностной схеме. На границах инструмента в областях конвективного теплообмена с окружающей средой этот процесс учитывался в виде добавочных членов в уравнение теплопроводности. На свободной границе инструмента задней поверхности разностное уравнение будет иметь вид. На нижней границе инструмента учитывался теплообмен с окружающей средой.

В области стружкообразования расчет температурного поля производился по разностной схеме с учетом объемных источников теплоты в зоне первичной деформации и теплового переноса за счет движения стружки. В области контакта стружки и инструмента учитывались выделение теплоты в застойной зоне из-за трения. Для застойной зоны принималось также, что скорость движения стружки равна половине

скорости скольжения из-за торможения этой области стружки на границе с инструментом. Это торможение и вызывает возникновение в ней сдвиговых напряжений. В области свободной поверхности стружки на ее нижней границе, которая оторвалась от резца, учитывался конвективный теплообмен. На верхней поверхности стружки на ее границе с окружающей средой в области в граничных условиях также учитывался теплообмен с окружающей средой.

Разработанная модель была реализована в виде компьютерной программы на языке PascalABC.Net

Численный эксперимент. С целью проверки адекватности построенной модели с помощью разработанной программы нами был проведен численный эксперимент по расчету температурного поля в зоне резания для режимов резания, для которых известны основные параметры, необходимые для расчетов, и измерена средняя температура на инструменте. В качестве такого примера был использован эксперимент Н.Н. Зорева по точению материала – стали 40 твердосплавным инструментом Т15К5 [6]. В таблице приведены теплофизические свойства инструмента и материала, использованные нами в модели для численного расчета температурного поля при резании.

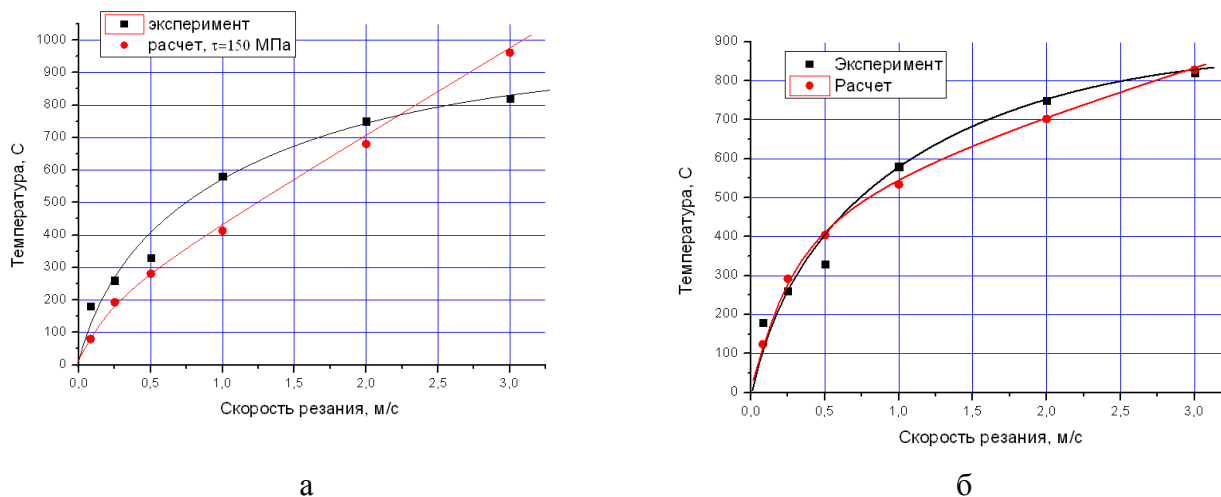
Таблица. Теплофизические свойства материалов контактной пары при резании

Свойство	Обозначение	Единицы измерения	Значение параметра
Шаг сетки по оси $Ox$	$\Delta x$	Мкм	200
Шаг сетки по оси $Oy$	$\Delta y$	Мкм	100
Шаг сетки по времени	$\Delta t$	Мкс	20
Время расчета	$t_n$	С	0,1
Коэффициент теплопроводности Т15К6	$\lambda_1$	Вт/м·К	25
Теплоемкость Т15К6	$c_1$	Дж/кг·К	251
Плотность Т15К6	$\rho_1$	кг/м <sup>3</sup>	11300
Коэффициент теплопроводности стали 40	$\lambda_2$	Вт/м·К	45
Теплоемкость стали 40	$c_2$	Дж/кг·К	500
Плотность стали 40	$\rho_2$	кг/м <sup>3</sup>	7850
Напряжение сдвига	$\tau_0$	МПа	150 / 280
Температурный коэффициент напряжения	$\alpha_\tau$	МПа/градус	0 / 20

Исследовали два варианта – с постоянным напряжением сдвига и переменным напряжением сдвига. Так как значения показателей механических свойств стали 40 с ростом температуры существенно снижаются, для оценочных расчетов по второму варианту мы принимали, что эта зависимость линейна и может быть описана выражением

$$\tau_{сд} = \tau_0 - \alpha_\tau T, \quad (1)$$

По результатам численного эксперимента установлено, что при расчетах с постоянным напряжением сдвига в стружке, т.е. постоянным по интенсивности источником теплоты, наблюдается тенденция к практически пропорциональному росту температуры с повышением скорости резания. В тоже время экспериментальная кривая зависимости температуры от скорости резания выходит на насыщение (рисунок, а). Результаты расчета с переменным напряжением сдвига (рисунок, б) значительно точнее соответствуют экспериментальным результатам по характеру зависимости и по численным значениям, чем при постоянном напряжении сдвига.



**Рисунок.** Результаты расчета температуры в зоне обработки (сталь 40, T15K6,  $s = 0.2$  мм/об,  $t = 4$  мм) при напряжении сдвига, а — не зависящем от температуры как  $\tau_{cd} = 150$  МПа, б — зависящем от температуры как  $\tau_{cd} = (280 - 0.2 \cdot T)$  МПа

**Выводы.** В результате работы нами показано, что для моделирования процесса нагрева при резании для повышения точности расчетов необходимо учитывать изменение механических свойств обрабатываемого материала.

Дальнейшее развитие построенной модели мы видим в учете при расчетах наростообразования и нелинейности теплофизических и механических свойств материалов заготовки и инструмента.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-43-370027

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Резников А.Н. Теплообмен при резании и охлаждение инструментов. М.: Машгиз, 1963. - 200 с.
2. Рыжкин А.А. Теплофизические процессы при изнашивании инструментальных режущих материалов. Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2005. - 310 с.
3. Рыжкин А.А., Шучев К.Г., Климов М.М. Обработка материалов резанием. Ростов н/Д: Феникс, 2008. - 411 с.
4. Новиков В.В., Наумов А.Г., Афанасьева О.А., Бурченков К.С. Моделирование влияния изменений условий трения на контакте «стружка-инструмент» на температуру при резании // Металлообработка, 2017. № 5 (101). – С. 9-12.

5. Васин С.А., Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание металлов: Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании. М: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 448 с.
6. Зорев Н.Н. Вопросы механики процесса резания металлов. М.: Машгиз, 1956. 367 с.

УДК 621.1

*А. Г. Сошников, И. И. Ведерникова*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## **СОЗДАНИЕ СИСТЕМЫ ПОДГОТОВКИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛИ СТАНКА С ЧПУ**

**Ключевые слова:** функциональная модель, обработка, производство, программный модуль, система подготовки обработки, ЧПУ.

**Аннотация:** Объектом исследования являются возможности программного модуля и работа в нем для создания управляющей программы станка с ЧПУ.

*A. G. Soshnikov, I. I. Vedernikova*

## **APPLICATION OF MAGNETIC BEARINGS**

**Keywords:** functional model, processing, production, software module, processing preparation system, CNC.

**Abstracts:** the object of the study is the possibility of the software module and work in it to create a control program of the CNC machine.

Для создания функциональной модели удобно пользоваться CALS системами. Доказав свою эффективность, CALS технологии начали активно применяться в промышленности, строительстве, транспорте и других отраслях экономики, расширяясь и охватывая все этапы жизненного цикла продукта – от маркетинга до утилизации. В данном случае необходима только та часть функций системы ВрWin, работающей по CALS технологии, которая отвечает за построение функциональной модели.

Функциональная модель представляет собой структурированное изображение функций производственной системы или среды, информации и объектов, связывающих эти функции. Модель строится методом декомпозиции: от крупных составных структур к более мелким и простым.

На нулевом уровне вся система представляется в виде черного ящика, целью которого является создание управляющей программы для системы ЧПУ. Для этого на вход системы должен поступить ряд данных. Данные из чертежа изделия включают весь комплекс информации о геометрических свойствах изделия, его размерах, наборе поверхностей, подлежащих обработке, их точности и шероховатости.

Технологический процесс содержит рекомендации по режимам резания, технологической оснастке, применяемой при данной обработке. Также в технологическом процессе могут содержаться технологические нюансы обработки,

которые обязательно надо учесть при создании управляющей программы системы ЧПУ. Также на вход должна поступить информация об инструменте и заготовке, которые будут использоваться в процессе обработки данного изделия.

Работать с данной системой будут технологи, отвечающие за технологический процесс, программисты, отвечающие за корректную работу всех программных модулей системы и процесс постпроцессирования в код управляющей программы системы ЧПУ. Совместно с наладчиком станков с ЧПУ будет осуществляться ввод данных об инструменте и заготовке, в частности об их взаимном расположении друг относительно друга. Оператор будет вводить данные коррекции после правки кругов. Иногда функции оператора и наладчика станков с ЧПУ могут объединяться в одном специалисте.

Работа системы должна осуществляться на основании следующих документов:

- технического паспорта станка, в котором содержится информация об особенностях его эксплуатации, ограничениях перемещений по осям, режимах работы и габаритных ограничениях заготовки и инструмента;

- инструкции по программированию ЧПУ, в которой содержится справочная информация о языке программирования, вспомогательных и служебных функциях, ограничениях системы ЧПУ;

- Санитарные нормы и правила (СНИП) по работе на шлифовальных станках содержит методологию по способам безопасного ведения обработки;

- Стандарт предприятия (СТП) предприятия на изготовление осевого режущего инструмента содержит всю технологическую базу по обработке данного инструмента, накопленную за все время его работы, а также возможные варианты решения спорных вопросов по конструкции изделия и технологии его обработки.

Результатом работы будет выдача управляющей программы для системы ЧПУ, карты наладки для данного оборудования или кода ошибки, если введенных данных недостаточно, либо они ошибочны и выполнить расчеты и преобразования по ним невозможно.

На первом уровне система разбивается два модуля. Первый модуль занимается расчетом перемещений инструмента, учитывая технологические и технические ограничения. Все входные данные поступают именно на этот модуль и соответственно все их преобразования также происходят в этом модуле. Модуль будет выдавать два вида файлов. Одна группа файлов будет являться управляющей программой системы ЧПУ, две другие группы файлов системные, обеспечивающие связь первого модуля со вторым. Первая группа системных файлов должна передавать исходные данные, содержащие информацию об оснащении станка (тип оснастки, инструмент, заготовка, их взаимное расположение). Вторая группа файлов должна содержать рассчитанные данные (траектории всех перемещений инструмента).

Второй модуль обеспечивает визуализацию обработки в анимированном, фотореалистичном виде. Данный модуль обеспечивает возможность наглядно проследить весь процесс обработки и, введя необходимые поправки, избежать получения бракованной продукции. Также этот модуль позволит провести процесс отладки и оптимизации программы на этапе ее создания.

Работать с этим модулем должны технолог и наладчик станков с ЧПУ. Работа модуля основывается на техническом паспорте станка и СТП предприятия на изготовление осевого режущего инструмента. Результатом работы данного модуля является создание карты наладки и проверка результата обработки на аномалии

(отклонение размеров от заданных, геометрия поверхностей, наличие зарезов, как на изделии, так и на оснастке).

На втором уровне, модуль расчета перемещений инструмента можно разделить на четыре этапа. Первый этап – это моделирование заготовки.

Заданием параметров занимается технолог, но в процессе работы параметры могут менять в определенных пределах наладчик станков с ЧПУ и оператор. Следующий этап – моделирование наладки инструмента. В этом этапе задаются типы используемых кругов, их размеры и координатные привязки к системе координат станка. Профиль каждого круга должен быть поставлен в соответствие поверхности (или группе поверхностей), которую он обрабатывает, поэтому при подборе кругов и создании их наладки необходимо использовать данные чертежа изделия. При этом необходимо руководствоваться техническим паспортом станка, СТП предприятия на изготовление осевого режущего инструмента и СНИП по работе на шлифовальных станках. По результату этого этапа создается первая группа системных файлов, содержащих информацию об оснащении. Те же данные, что и в файле передаются на следующий этап. Третий этап – моделирование обработки. Самый важный этап, на котором создается траектория обработки. Траектория должна учитывать особенности технологического процесса, и применяемого инструмента. Ввод данных на этом этапе осуществляет только технолог. На этот этап оказывают влияние те же документы, что и на втором этапе. На этом этапе формируется группа системных файлов, содержащих информацию обо всех перемещениях инструмента и заготовки, та же информация передается на следующий этап. На трех выше перечисленных этапах при определенных условиях необходимо вводить поправки по результатам визуализации. Это сделано для того, чтобы система могла работать в условиях реального производства, где невозможно учесть всех случайностей, как-то: отсутствие заказанного инструмента, отклонений заготовок, наличия оснастки и т.д. Последний этап – постпроцессирование. На этом этапе вся набранная системой информация преобразуется в управляющую программу системы ЧПУ. Преобразование осуществляется программистом на основании инструкции по программированию ЧПУ станка. Этап моделирования обработки в свою очередь можно разделить еще на два этапа. Первый этап – анализ геометрии изделия. На этом этапе технолог производит настройку приложения для максимально объективного преобразования данных в графическую информацию. Сюда необходимо подать информацию об оснащении и об инструменте. Здесь технолог вводит все уточнения по конструкции изделия, которых не было в чертеже. Все уточнения вводятся на основании СТП предприятия на изготовление осевого режущего инструмента.

В результате проведенного анализа на следующий этап передаются все геометрические параметры в оцифрованном виде. Второй этап – назначение технологических переходов. На этом этапе технолог выделяет отдельные элементарные операции в соответствии с технологическим процессом и применяемым инструментом. Определяет все траектории движений на каждой операции в соответствии с СТП предприятия на изготовление осевого режущего инструмента, СНИП по работе на шлифовальных станках и техническим паспортом станка. По итогам этого этапа выдается информация о перемещениях в группу системных файлов и на этап постпроцессирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автоматизация проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства в машиностроении. / Под ред. О. И. Семенкова. - Минск: Высшая школа, 2005. - Т. 1
2. Архангельский А.Я. Знакомство с Delphi 7. - Москва: Бином, 2004.
3. Фаронов В.В. Инструменты программирования в Delphi 7. СПб.: Питер, 2006.
4. Интернет источник. CALS-технологии. [www.calscenter.com](http://www.calscenter.com).

УДК 621.1

*А. Г. Сошников, И. И. Ведерникова*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА РЕЖУЩЕЙ ПЛАСТИНЫ НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

**Ключевые слова:** износ, шероховатость, керамические режущие материалы, резание.

**Аннотация:** Объектом исследования являются закономерности влияния факторов точения и изменение критерия состояния на составляющие силы резания, возникающие при растачивании отверстий деталей из низколегированных чугунов расточными головками оснащенные СМП из керамики на основе нитрида кремния с добавлением оксидов.

*A. G. Soshnikov, I. I. Vedernikova*

## THE INFLUENCE OF THE MATERIAL OF THE CUTTING PLATE ON THE CUTTING PROCESS

**Keywords:** wear, roughness, ceramic cutting materials, cutting.

**Abstracts:** The object of the study is the laws of influence of turning factors and changes in the criterion of the state of the components of the cutting force, arising from the boring of the holes of parts of low-alloy cast iron boring heads equipped with a SMP of ceramics based on silicon nitride with the addition of oxides.

Режущая керамика – это наиболее перспективный инструментальный материал, удельный вес которого в металлообработке постоянно возрастает. Повышенный интерес к керамическим режущим материалам обусловлен их значительной износостойкостью и жаростойкостью по сравнению с быстрорежущими сталями и твердыми сплавами. За счет применения таких материалов можно резко повысить скорости резания (в 1,5 – 8 раз по сравнению с твердосплавными инструментами) и снизить время обработки в 2-3 раза.

Очевидно, что режущая керамика, как и любой другой инструментальный материал, должна быть максимально износостойкой в рабочих условиях (увеличение долговечности), обладать минимальным коэффициентом трения в паре с обрабатываемым материалом (уменьшение энергозатрат обработки) и не разрушаться преждевременно (повышение надежности). Однако связь этих простых требований с физиче-



скими и химическими свойствами неочевидна. Тем не менее принято считать, что современная керамика должна обладать высокими твердостью, прочностью (в том числе усталостной), термостойкостью, вязкостью разрушения, теплопроводностью, малым коэффициентом термического расширения (КТР) и пониженной реакционной способностью по отношению как к окружающей среде, так и к обрабатываемому материалу. Причем требования эти должны выполняться в широком интервале температур (вплоть до 1000 – 1200 °С).

Сопоставление свойств различных тугоплавких соединений и достижимых свойств материалов на их основе позволяет сделать вывод, что сегодня нет альтернатив  $Al_2O_3$ ,  $Si_3N_4$  и сиалону в качестве основы режущей керамики. Действительно по уровню механических характеристик они далеко опережают другие керамические материалы: даже для оксидной керамики достижимы прочность при изгибе 900 МПа (известный Whiskal фирмы «Ниппон тунгусутен к.к»), а для нитридной – 1200 МПа (известный Kyon), твердость по Виккерсу – 20 – 25 и 18 – 20 ГПа соответственно, вязкость разрушения нитридной керамики – порядка 8 МПа $\times$ м<sup>1/2</sup> (большие значения характерны лишь для твердых сплавов). Не менее привлекательно сочетание теплофизических свойств этих материалов: КТР нитридной керамики весьма мал – порядка  $(3,0 - 3,5) \times 10^{-6}$  град<sup>-1</sup> в широком диапазоне температур, что существенно меньше, чем у других тугоплавких (особенно металлоподобных) соединений, а у оксидной он сравним с КТР этих соединений; теплопроводность достаточно велика – порядка 25 Вт/м $\times$ град для оксидной керамики и 50 Вт/м $\times$ град – для нитридной (это, конечно, очень много, хотя и меньше, чем у AlN). Такое сочетание механических и теплофизических свойств делает керамику на основе нитрида кремния и сиалона достаточно трещиностойкой.

Процесс определения состояния расточных головок, оснащенных СМП из режущей керамики при прерывистом резании низколегированных чугунов (НВ 163...229) по силовым параметрам был изучен в малой степени, поэтому требует дополнительных теоретических и практических исследований.

Объектом исследования являются расточные головки, оснащенные режущей керамикой марки ТВИН – 200. Предметом исследования являются закономерности влияния факторов точения и изменение критерия состояния на составляющие силы резания, возникающие при растачивании отверстий деталей из низколегированных чугунов расточными головками оснащенные СМП из керамики на основе нитрида кремния с добавлением оксидов.

При образовании элементной стружки процессы деформации в зоне сдвига, в зоне контакта стружки с передней поверхностью инструмента, соответственно силы  $P_z$  и  $P_y$  переменны. При решении технологических задач управления процессом резания в условиях элементного стружкообразования прежде всего необходимо знать максимальные и средние значения сил  $P_z$  и  $P_y$ . Максимальные значения этих сил достигают в конце третьей стадии образования элемента, перед разрушением в зоне конечного сдвига элемента, когда определилось направление поверхности конечного сдвига элемента, площадь контакта стружки с передней поверхностью инструмента и касательные напряжения на поверхностях сдвига и трения достигли своих максимальных значений. Касательные напряжения на поверхности конечного сдвига элемента распределяются равномерно.

С помощью аналитического расчета среднеконтактной температуры рассмотрим схему движения тепловых потоков от источника тепла, возникающего в зоне стружкообразования (рисунок).

Интенсивность тепловых потоков от источника тепла, возникающего в зоне стружкообразования распределяется между стружкой  $Q_{дс}$  и деталью  $Q_{и}$ . Стружка, перемещаясь по контактной площадке с пластиной, отдает последней часть тепла  $Q_{п}$ , полученного в зоне стружкообразования. Эта часть тепла частично рассеивается в тело пластины, а другая ее часть через пластину передается в заготовку, по контактной площадке задней поверхности пластины и поверхностью резания.

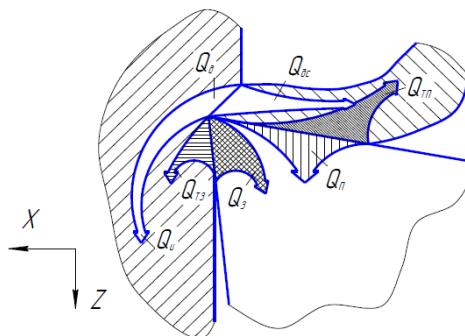


Рисунок. Схема движения тепловых потоков

Доля тепла  $Q_{д}$ , попавшая из зоны стружкообразования в деталь, переносится в инструмент  $Q_{з}$  по контактной площадке задней поверхности с пластиной. В связи с этим в зоне резания имеет место переплетение путей движения потоков теплоты. Интенсивность каждого в той или иной мере передается всем компонентам технологической системы, участвующим в процессе резания.

В ходе эксперимента было выявлено то, что высокие свойства инструмента из режущей керамики позволили существенно повысить скорости механической обработки стали и чугуна относительно скоростей обработки инструментом, изготовленным из твердых сплавов и быстрорежущих сталей.

В процессе исследования обрабатываемость чугуна проводилось путём определения закономерностей износа режущих пластин при различных сочетаниях параметров режима точения. Из параметров, определяющих износ, была выбрана ширина фаски износа по задней поверхности  $h_z$ . Увеличивая длину пути резания ширина фаски износа закономерно и непрерывно увеличивается, что приводит соответственно к возрастанию силы резания и температуры, что отражается на изменении показателя шероховатости обработанной поверхности.

При изучении износа пластин выявлено, что при точении для всех типов пластин преобладающими видами износа являются абразивный и адгезионный. Из экспериментов выявлено, что наименьший износ у пластин из керамики на основе нитрида кремния с добавлением оксидов ТВИН-200 с геометрией стружколома FN, имеющей большие значение переднего угла  $\gamma$ .

Анализ изменения величины фаски износа при изменении материала пластин показал, что величина износа близка по значению, но все же отличается. Данный факт констатирует, что материал пластин вносит влияния в изменение величины фаски износа.

Экспериментально исследовался геометрический параметр качества поверхностного слоя – шероховатость обработанной поверхности. Исследование изменения шероховатости поверхности осуществлялось на образцах, также которые использовались для измерения составляющих силы резания и среднеконтактной температуры резания. Установлено, что при точении различными типами пластин нет однозначного влияния параметров режима точения на изменение параметра  $R_a$  шероховатости поверхности. Анализ результатов показывает, что при прочих равных сочетаниях па-

раметров режима резания минимальное значение величины параметра шероховатости поверхности обеспечивает пластина ТВИН-200 FN.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрушин С.И. Обработка чугунов и сталей сборными резцами со сменными многогранными пластинами / С.И. Петрушин, С.В. Грубый. – Томск: Изд. ТПУ, 2000. – 156 с.
2. Мартинова Л.И. Диагностика и прогноз износа режущего инструмента в процессе обработки на станках с ЧПУ / Л.И. Мартинова, С.Н. Григорьев, С.В. Соколов // Автоматизация в промышленности. – 2010. - №5. – С. 46-50.
3. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов / А.Н. Резников. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.

УДК 621.1

***В. В. Шуваева, И. И. Ведерникова***

ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

### МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДЕТАЛЕЙ ТИПА ТЕЛО ВРАЩЕНИЯ

**Ключевые слова:** тела вращения, обработка, методы, сравнение, детали, инструмент.

**Аннотация:** обработка тел вращения с помощью точения и возникающие при этом проблемы точности деталей.

***V. V. Shuvaeva, I. I. Vedernikova***

### MECHANICAL PROCESSING OF PARTS SUCH AS A BODY OF ROTATION

**Keywords:** bodies of rotation, processing, methods, comparisons, details, tool.

**Abstracts:** the processing of bodies of rotation by turning and the problems of accuracy of parts.

Точение применяется для обработки преимущественно поверхностей вращения, а также резьбы и червяков с помощью резцов. Чаще всего главное вращательное движение сообщается заготовке, которая устанавливается в центрах, в самоцентрирующем патроне, в патроне и центре, в специальном или специализированном приспособлении, которое крепится к шпинделю станка, а движения подачи — резцу. Если станок снабжен соответствующей системой управления подачами (ЧПУ или копирования), то продольное точение (обтачивание и растачивание) позволяет обрабатывать любую комбинацию типовых поверхностей, особенно если их размеры изменяются монотонно.

Точению присущи следующие недостатки:

1. Изгиб обрабатываемой заготовки под действием односторонней силы резания приводит к искажению формы обрабатываемой поверхности, а в некоторых случаях — к потере устойчивости процесса резания (автоколебаниям);

2. При точении стальных заготовок на высоких скоростях резания получается раскаленная сливная стружка, которая наматывается на инструмент, загромождает рабочее пространство и представляет серьезную угрозу для рабочего;

3. Режущая часть резца во время точения непрерывно находится в зоне воздействия больших сил и высокой температуры, что существенно снижает его стойкость и ограничивает скорость резания.

При точении длинных цилиндрических поверхностей первый недостаток компенсируется многорезцовым точением, когда радиальные силы резания уравновешиваются.

Второй недостаток точения компенсируется использованием различных способов стружколомания. Их можно разбить на две группы. В первом случае дробление стружки достигается за счет создания определенных условий стружкообразования. Во втором случае (кинематические способы) дробление стружки происходит за счет периодического прерывания процесса резания путем наложения на движение подачи колебательного движения, параллельного направляющей обрабатываемой поверхности.

Третий недостаток точения компенсируется применением ротационного способа, т. е. точения вращающимся резцом с круговой режущей кромкой. В данном случае активный участок режущего лезвия непрерывно обновляется и резко снижается скорость скольжения стружки и поверхности резания по поверхностям режущего клина инструмента. Ротационные резцы могут вращаться принудительно или от сил трения между инструментом и стружкой (самовращение). Однако таким способом можно обрабатывать только поверхности с плавно изменяющейся образующей.

При проектировании переходов обрабатываемая область, ограниченная контурами детали и заготовки, разделяется на отдельные зоны в зависимости от требований к чистоте и точности поверхностей детали, режущего инструмента и способа крепления заготовки на станке. Каждая зона ограничивается замкнутым контуром, состоящим из основного и вспомогательного участков. Основным считается тот участок контура зоны, который является границей траектории инструмента при обработке.

Все многообразие зон может быть представлено зонами выборки объемов металла и зонами контурной обработки детали. Зоны выборки служат для многопроходной обработки при больших съемах припуска. Они делятся на открытые, полуоткрытые и закрытые. Основной участок контура открытой зоны выборки ограничивает ее с одной стороны, полуоткрытой - с двух, а закрытой - с трех сторон.

Контурные зоны состоят из припуска на получистовую или чистовую обработку поверхностей и служат для прохода инструмента эквидистантно к участкам контура детали.

«Петля» используется при обработке заготовки резцами, которые работают в одном направлении. Схема «зигзаг» применяется в основном при обработке в обоих направлениях глубоких впадин чашечными резцами. Схема «виток» мало отличается от схемы «зигзаг», но имеет преимущество при обработке неглубоких и относительно пологих впадин чашечными резцами. Схема «спуск» предназначена для работы канавочными резцами. Контурную зону составляют линии, эквидистантные к основному

контуру детали. Основное ее назначение состоит в формировании контура детали или при необходимости чистовой обработки в обеспечении равномерного припуска.

При токарной обработке деталей предусматривается измерение погрешностей формы обрабатываемой поверхности при помощи универсальных измерительных устройств, после чего инструментом задают колебательное движение в соответствии с погрешностью формы.

Недостатком такого способа является нестабильность точностных параметров обработанной поверхности из-за переменных параметров обрабатываемой поверхности в поперечном и продольном направлениях при постоянных параметрах задаваемых колебаний, сложность и трудоемкость предварительного определения погрешностей обрабатываемой поверхности.

Известен также способ, предусматривающий обработку в самоцентрирующихся опорах с измерением упругой реакции деталей в опорах. При этом управление подачей ведут в функции стабилизации разницы между силами резания и измеренными в опорах реакциями. Недостатком данного способа является сложность адаптивного управления по причине инерционности, создание неравномерных внутренних напряжений в объеме заготовки при ее зажиме за счет деформаций в поперечном направлении.

Существует способ обработки, который предусматривает базирование заготовки в расположенных по ее длине самоцентрирующихся опорах, базирование заготовки при черновой ее обработке ведут по вписанной окружности, а при чистовой – по описанной. Самоцентрирующиеся опоры устанавливают в зонах узлов пучностей заготовки, при этом задают координаты положения контактных точек опоры с заготовкой из условия отсутствия давления на базовую поверхность заготовки, а в процессе обработки заготовки производят управление положением ее оси путем переключения самоцентрирующихся опор на ступенчатое изменение положения координат контактных точек опоры с заготовкой при изменении диаметра заготовки по ходу перемещения инструмента в момент его прохода мимо опоры в условиях электрической изоляции резца и заготовки.

Недостатком такого способа является ограниченность технологических возможностей, трудность снижения технологической наследственности при обработке заготовок валов, не относящихся к нежестким, например, валопроводам, в том числе переменного сечения, имеющим погрешности формы и искривление оси.

Задачей является снижение технологической наследственности при обработке заготовок валопроводов, имеющих погрешности формы и искривление оси.

Эта задача решается тем, что устанавливают положение оси, по которой осуществляют базирование заготовки, путем обмера поперечных сечений заготовки с определением координат точек контура сечения, по которым определяют положение центров тяжести ее поперечных сечений с последующим усреднением методом наименьших квадратов, после чего определяют координаты точек пересечения установленной оси с торцами заготовки и осуществляют их зацентровку с последующей установкой заготовки во вращающихся центрах.

Работа устройства, реализующего способ осуществляется в следующей последовательности: заготовка валопровода устанавливается во вращающиеся центры, при вращении заготовки вокруг оси ( $Z$ ) для поперечных сечений с помощью измерительной системы определяют координаты точек контура сечения, по измеренным координатам точек контура для каждого  $i$ -го поперечного сечения определяется его площадь и положение его центра тяжести, далее определяется положение конструктивной оси валопровода (технологической оси) путем минимизации, по методу

наименьших квадратов, ее отклонения от центров тяжести поперечных сечений заготовки, затем определяются координаты точек пересечения оси с торцами заготовки, эти точки размечаются и зацентрируются.

Достигается снижение технологической наследственности при обработке заготовок валопроводов, имеющих погрешности формы и искривление оси.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ обработки тел вращения пат. 2612877 Рос. Федерация МПК В23В25/06/ Кремлева Л.В., Лобанов Н.В., Малыгин В.И. // Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова».

2. Научная электронная библиотека. [Электронный ресурс].2018. <https://elibrary.ru/item.asp?id=25241679>

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПОЖАРНЫХ И СПАСАТЕЛЕЙ

УДК 699.058

*Н. В. Артемова, И. В. Багажков*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ГАЗОВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

**Ключевые слова:** алгоритм функционирования, градиентный спуск, нейросеть, метод наименьших квадратов, классический сигмоид, производная активационной функции, единственный скачок, пьезосенсор, токсикант.

**Аннотация:** при создании анализатора газовых смесей, в основу которого положена модель природного аналога определителя запахов – человеческого носа, с использованием интеллектуальной обработки информации - создана информационная система, которая, используя данные технического устройства о состоянии исследуемой газовой смеси, позволяет провести ее качественный анализ.

*N. V. Artemova, I. V. Bagzhakov*

### ARTIFICIAL NEURAL NETWORK MODEL ESTIMATING THE AIR-GAS ENVIRONMENT

**Keywords:** operation algorithm, gradient descent, neural network, least squares method, classical sigmoid, activation function derivative, single jump, piezosensor, toxicant.

**Abstracts:** when creating an analyzer of gas mixtures, which is based on the model of the natural analogue of the odor detector - the human nose, using intelligent information processing - created an information system that, using the data of the technical device on the state of the gas mixture under study, allows for its qualitative analysis.

Для анализа и оценки газовой среды в процессе переработки и эксплуатации строительных материалов из полимерных композитов в качестве моделей обонятельной системы следует использовать искусственные нейронные сети (ИНС). Все ИНС отличаются выбранными алгоритмами функционирования, архитектурой, определяемыми предметной областью использования ИНС. Обратимся к решению подобной задачи.

В решении задач анализа веществ ИНС должна обеспечивать нахождение некой функциональной зависимости  $Y=F(X)$  где  $X$  – входной вектор (сигналы пьезосенсора и момент времени), а  $Y$  – выходное значение (код вещества). При этом для каждого входного вектора очевиден определенный результат (каждому токсиканту ставится в соответствие уникальный код), поэтому для обучения нейросети следует ис-

пользовать алгоритм обучения с учителем. Учитывая выбранную архитектуру ИНС, определим в качестве способа обучения алгоритм обратного распространения ошибки (backpropagation), в котором ошибка распространяется от выходного слоя к входному, т.е. в направлении, противоположном направлению распространения сигнала при нормальном функционировании сети.

Задача нахождения функциональной зависимости, при ограниченном наборе входных данных, имеет бесконечное множество решений. Для ограничения множества вариантов поиска при обучении ставится задача минимизации целевой функции ошибки нейросети, которая рассчитывается по методу наименьших квадратов:

$$E(\omega) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^p (y_j - d_j)^2 \quad (1)$$

где  $y_j$  – реальное значение  $j$ -го выхода нейросети;

$d_j$  – целевое (желаемое) значение  $j$ -го выхода;

$p$  – число нейронов в выходном слое

Суммирование ведется по всем нейронам выходного слоя и по всем обрабатываемым сетью образам.

Связи между нейронами характеризуются силами связей или весами. Обучение сети начинается с инициализации весов связей (также называемых весовыми коэффициентами) случайными величинами. Сетям подобного вида действия предъявляют различные данные, а весовые коэффициенты подстраиваются согласно выбранной математической схеме. После обучения сеть может распознавать входные данные. Информация о полученном во время обучения опыте хранится в виде весовых коэффициентах связей, аналогично тому, как это происходит в человеческом мозге.

Обучение нейросети производится методом градиентного спуска, т.е. на каждой итерации изменение веса производится по следующей формуле:

$$\Delta \omega_{ij} = -\eta \frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}} \quad (2)$$

где  $\omega_{ij}$  – весовой коэффициент синаптической связи, соединяющей  $i$ -ый нейрон слоя  $n-1$  с  $j$ -ым нейроном слоя  $n$ ,  $\eta$  – коэффициент скорости обучения,  $0 < \eta < 1$ .

$$\frac{\partial E}{\partial \omega_{ij}} = \frac{\partial E}{\partial y_j} + \frac{\partial y_j}{\partial s_j} + \frac{\partial s_j}{\partial \omega_{ij}} \quad (3)$$

где  $y_j$  – значение выхода  $j$ -го нейрона;

$s_j$  – взвешенная сумма входных сигналов, определяемая по следующей формуле:

$$s = \sum_{i=1}^n x_i \omega_i \quad (4)$$



Так как множитель  $dy_j/ds_j$  является производной этой функции по ее аргументу, из этого следует, что производная активационной функции должна быть определена на всей оси абсцисс. В связи с этим функция единичного скачка и прочие активационные функции с неоднородностями не подходят для рассматриваемых ИНС. Поэтому для решения данной задачи применим классический сигмоид.

При этом множитель представляется в виде:

$$\frac{\partial s_j}{\partial \omega_{ij}} \equiv x_i \quad (5)$$

где  $x_i$  – значение  $i$ -го входа нейрона

Далее рассмотрим определение первого множителя формулы:

$$\frac{\partial E}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{\partial y_k}{\partial s_k} \cdot \frac{\partial s_k}{\partial y_j} = \sum_k \frac{\partial E}{\partial y_k} \cdot \frac{\partial y_k}{\partial s_k} \cdot \omega_{jk}^{(n+1)} \quad (6)$$

где  $k$  – число нейронов в слое  $n+1$ .

Введем вспомогательную переменную вида:

$$\delta_j^{(n)} = \frac{\partial E}{\partial y_j} \cdot \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \quad (7)$$

Тогда мы сможем определить рекурсивную формулу для определения  $\delta_j^{(n)}$   $n$ -го слоя, если нам известно  $\delta_k^{(n+1)}$  следующего  $(n+1)$ -го слоя.

$$\delta_j^{(n)} = \left[ \sum_k \delta_k^{(n+1)} \cdot \omega_{jk}^{(n+1)} \right] \cdot \frac{\partial y_j}{\partial s_j} \quad (8)$$

Нахождение же  $\delta_j^{(n)}$  для последнего слоя ИНС не представляет трудности, так как нам известен целевой вектор, т.е. вектор тех значений, которые должна выдавать НС при данном наборе входных значений.

$$\delta_j^N = (y_i^{(N)} - d_i) \cdot \frac{\partial y_i}{\partial s_i} \quad (9)$$

И наконец, запишем формулу в раскрытом виде:

$$\Delta \omega_{ij}^{(N)} = -\eta \cdot \delta_j^{(n)} \cdot x_i^n \quad (10)$$

Таким образом, полный алгоритм обучения нейросети можно представить в следующем виде:

1. Подать на вход НС один из требуемых образов и определить значения выходов нейронов нейросети.
2. Рассчитать  $\delta^{(N)}$  для выходного слоя ИНС по формуле (2.9) и рассчитать изменения весов  $\omega_{ij}^{(N)}$  выходного слоя  $N$ ;
3. Рассчитать  $\delta_j^{(N)}$  и  $\Delta\omega_{ij}^{(N)}$  для остальных слоев ИНС,  $n=N-1..1$ .
4. Скорректировать все веса НС по выражению:

$$\omega_{ij}^{(n)}(t) = \omega_{ij}^{(n)}(t-1) + \Delta\omega_{ij}^{(n)}(t) \quad (11)$$

5. Если ошибка существенна, то следует перейти на шаг 1.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Искусственные нейронные сети. Теория и практика [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: [http://stu.scask.ru/book\\_ins.php?id=9](http://stu.scask.ru/book_ins.php?id=9).
2. Основные положения теории искусственных нейронных сетей [Электронный ресурс]. – 2018. – Режим доступа: <https://pandia.ru/text/78/393/56772.php>.

УДК 614.841

**И. В. Багажков**

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗА РАЗВИТИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА В ЗДАНИЯХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

**Ключевые слова:** источник пожарной опасности, стадии развития пожара, пожарная нагрузка, противодымная вентиляция, пустоты стен, продукты сгорания, разрушение остекления, локализация пожара.

**Аннотация:** С точки зрения пожарной опасности можно отметить, что наличие в помещениях учебного заведения, синтетических изделий и разнообразной бытовой техники, с одной стороны, увеличивает потенциальную возможность возникновения пожаров, а с другой стороны, делает даже самый незначительный пожар опасным для жизни и здоровья людей из-за выделения ядовитых газов при горении синтетических материалов. Другими источниками пожарной опасности являются: венткамеры, электрощитовые, гардеробы, книгохранилища, компьютерные залы, подсобные помещения. Еще более естественным и опасным путем распространения пожара являются открытые дверные проемы. Через пустоты в стенах учебного корпуса пожар может распространиться на верхние этажи здания. Продолжительность затяжных пожаров может достигать значительных величин, что может привести к значительному ущербу.

*I. V. Bagazhkov*

## **FEATURES PREDICTING THE DEVELOPMENT AND SPREAD OF FIRE IN BUILDINGS OF EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

**Keywords:** fire hazard source development stage of fire, fire load, protivodymnaja ventilation, void walls, products of combustion, destruction of glazing, localization of fire.

**Abstracts:** in terms of fire danger, it may be noted that the presence on the premises of the educational institution, synthetic products and various household appliances, on the one hand, increases the potential for fires, and, on the other hand, makes even the most minor fire dangerous for life and health due to allocation of poisonous gases during combustion of synthetic materials. Other sources of fire danger are: equipment, ventilating Chamber rooms not, wardrobes, libraries, computer rooms, utility rooms. Even more natural and dangerous by the spread of the fire are open doorways. Through the voids in the walls of the building fire may spread to the upper floors of the building. The duration of the prolonged fires could reach significant values that can cause significant damage.

Здания образовательных учреждений как правило, строят из негорючих материалов I и II степеней огнестойкости по типовым проектам. В настоящее время еще много эксплуатируется зданий учебных заведений III степени огнестойкости с пустотными конструкциями из трудно горючих материалов, а иногда встречаются и здания IV, V степеней огнестойкости.

Данную тему рассмотрим на примере «Ивановского энергетического колледжа» расположенным в г. Иваново, ул. Ермака, д.41. Территория объекта занимает площадь 3 га. В учебном заведении обучается свыше трехсот человек. В учебном корпусе № 1 имеется актовый зал, который составляет наибольшую пожарную опасность, именно поэтому рассмотрим данное помещение.

С точки зрения пожарной опасности можно отметить, что наличие в помещениях колледжа, синтетических изделий и разнообразной бытовой техники, с одной стороны, увеличивает потенциальную возможность возникновения пожаров, а с другой стороны, делает даже самый незначительный пожар опасным для жизни и здоровья людей из-за выделения ядовитых газов при горении синтетических материалов. Другими источниками пожарной опасности являются: венткамеры, электрощитовые, гардеробы, книгохранилища, компьютерные залы, подсобные помещения.

Наименее опасны в пожарном отношении учебные кабинеты, коридоры. Кроме того, большую опасность представляет горючая нагрузка находящаяся в актовом зале, такой будет являться обивка кресел, декорации на сцене и др.). Пожар в зале может распространяться по кабельным коммуникациям, если проемы в местах прохождения труб не заделаны строительным раствором или бетоном, а так же пустотам стен. В течение нескольких минут помещение актового зала полностью задымляется, и находиться в помещениях без средств защиты органов дыхания невозможно.

Наиболее интенсивно происходит задымление верхних этажей учебного корпуса, особенно с подветренной стороны. Следует также добавить, что фактором, существенно повышающим пожарную опасность многоэтажных зданий и зданий повышенной этажности, является высокая вероятность позднего обнаружения пожара в случае отсутствия или нахождения в неисправном состоянии соответствующих систем пожарной автоматики.

Установлено, что временная пожарная нагрузка в актовом зале, состоит из мебели – 58-65%; изделий из ткани 24-29%, изделий из бумаги 10-13%. Любой пожар при свободном горении может быть разделен на пять стадий: 1 – начальную, 2 – развивающегося пожара, 3 – объемного пожара, 4 – развитого пожара, 5 – затухающего пожара. Каждая стадия характеризуется определенной продолжительностью и температурой.

Стадии развития пожара на примере Ивановского энергетического колледжа.

1. Максимальная среднеобъемная температура на начальной стадии развития в очаге пожара – актовый зал учебного корпуса № 1, составит до 200-300°C. Именно на этой стадии пожара может наблюдаться наибольшая гибель людей (до 90%), причем в основном от дыма и токсичных газообразных продуктов, выделяемых при тлении и горении обивки стульев и декораций в сценической части. Длительность этой стадии пожара может быть от нескольких минут до нескольких часов (при тлеющих пожарах в закрытых помещениях). Стадия сопровождается выделением дыма и газообразных продуктов, характеризуется постепенным переходом тления или пламенного горения от одного предмета обстановки к другому при медленном росте среднеобъемных температур в помещении очага пожара. На прогрев конструкций и потерю их огнестойкости пожар на этой стадии оказывает мало влияния. Пожар развивается на малой площади одного помещения в основном без распространения за его пределы.

2. Следующая стадия – стадия развивающегося пожара – обычно наступает после вскрытия оконного остекления в помещении актового зала. Пламенное горение становится более интенсивным с быстрым нарастанием параметров пожара. Длительность этой стадии на реальных пожарах небольшая, от 5 до 20 мин.

3. Пожар на этой стадии сопровождается нарастанием выделения большого количества дыма, газообразных продуктов горения и огня, интенсивно перемешивающихся в объеме помещения, и выходом их из проемов и отверстий за пределы помещения очага пожара. Стадия характеризуется наступлением так называемой общей вспышки, когда происходит воспламенение всех предметов находящихся в актовом зале. Температура достигает больших величин 900-1000°C, а среднеобъемная температура повышается до 600-800°C. Эта стадия переходит в развитую стадию пожара.

4. Стадия развитого пожара характеризуется наступлением экстремальных значений параметров пожара. Температура достигает 1100-1300°C. Происходит интенсивный прогрев конструкций и их теплообмен с очагом пожара. В основном на этой стадии происходит пламенное горение. Количество дыма сокращается. Длительность этой стадии может быть от нескольких минут до получаса, в зависимости от количества пожарной нагрузки и условий воздухообмена. К завершению этой стадии выгорает 70-80% пожарной нагрузки.

5. Затухающая стадия пожара характеризуется систематическим понижением значений параметров пожара: падением значений температуры, скорости выгорания, интенсивности тепловыделения и т.д. Прогрев конструкций в первое время этого периода еще продолжается, причем температуры по глубине конструкции еще растут, а на поверхности конструкций со стороны очага пожара понижаются в соответствии со снижением температуры пожара.

В «Ивановском энергетическом колледже» с учетом фактической пожарной нагрузки и при наличии всего комплекса систем противопожарной защиты (пожарная сигнализация, автоматические установки пожаротушения, вытяжная противодымная вентиляция, внутренний противопожарный водопровод и др.) реальный температур-

ный режим пожара, если он все-таки произойдет и получит активное развитие, будет существенно отличаться (очевидно, в меньшую сторону) от «стандартного» режима. Этот режим десятилетиями применяется во многих странах для стандартизации условий испытаний и сопоставления получаемых пределов огнестойкости идентичных конструкций, а продолжительность пожара в реальных условиях, вероятно, вряд ли превысит 1-1,5 часа, либо из-за полного выгорания за это время пожарной нагрузки, либо в результате влияния систем противопожарной защиты и тушения пожара силами пожарных подразделений. Среднее время локализации пожара в городах, где, по сравнению с сельской местностью, преимущественно сосредоточены здания I – IV степени огнестойкости, составляет около 16 мин., а время ликвидации пожара – менее 30 мин. при среднем времени тушения пожара менее 40 мин.

Пламя выходит за пределы актового зала, в котором оно возникло, через оконные проемы, если дверь в помещение была плотно закрыта. Это происходит, во-первых, потому, что остекление окон, как правило, разрушается при среднеобъемной температуре пожара 250-300°C (т.е. через 10-15 мин. после начала пожара); во-вторых, при недостатке воздуха в зоне горения, который обычно имеет место при внутренних пожарах, продукты пиролиза сторают за пределами помещения, в оконных проемах и над ними. Языки пламени из окна с разрушившимся остеклением вместе с горячими продуктами горения устремляются вверх и достигают оконных переплетов верхних этажей, которые могут воспламениться. При отсутствии горизонтальных преград на фасаде пламя из оконного проема уже через 10-12 минут от начала пожара может выбиваться наружу на фасад и подниматься вверх по стене, поджигая стораемые элементы фасада и оконного заполнения выше расположенного проема. После разрушения остекления огонь и дым могут проникнуть в помещение верхнего этажа. Для предотвращения распространения пожара через оконные проемы на вышерасположенные этажи в зданиях I-VI степеней огнестойкости расстояние по вертикали между оконными проемами следует принимать не менее 1,2 м, при этом, расстояние от верха оконного проема до низа перекрытия не превышает 0,2 м.

Еще более естественным и опасным путем распространения пожара за пределы актового зала, где он первоначально возник, являются дверные проемы, если дверь во время возникновения пожара не была закрыта или если она самопроизвольно открылась под действием избыточного давления газовой среды в горящем помещении. Даже если дверь плотно закрыта, это одно из слабых мест в отношении опасности распространения пожара за пределы горящего помещения, так как огнестойкость дверей, как правило, сравнительно мала и составляет 10-15 мин, а иногда и 4-5 мин.

В пределах 2 этажа наиболее вероятным является развитие пожара с выходом на лестничную клетку, распространение огня через перегородки и лестничные площадки. По вертикальным ограждающим конструкциям пожар может интенсивно распространяться с обогреваемой стороны в пределах того же помещения, если эти конструкции покрыты горючими, а тем более легковоспламеняемыми декоративно-отделочными синтетическими материалами. Конструкции имеющие пустоты обладают низкой огнестойкостью и способны прогореть или разрушиться под воздействием пламени или высоких температур на обогреваемой поверхности, то пожар распространится в смежное помещение.

Через пустоты в стенах учебного корпуса пожар может распространиться на верхние этажи здания. Наиболее опасными путями распространения пожара в верхние этажи здания являются пустоты в строительных конструкциях, вентиляционные и

кабельные каналы и т.п. Продукты неполного сгорания, интенсивно выделяющиеся в горящем помещении, по законам естественной конвекции устремляются по таким каналам вверх. В течение нескольких минут здание полностью задымляется, и находиться в помещениях без средств защиты органов дыхания невозможно. Наиболее интенсивно происходит задымление верхних этажей, со 2 на 3 этажи учебного корпуса № 1, особенно с подветренной стороны.

Изложенные соображения показывают, что при свободном горении пожар в учебном корпусе № 1 нанесет существенный ущерб как зданию, так и обслуживающему персоналу находящимся в здании в количестве восьмидесяти человек. Продолжительность затяжных пожаров может достигать значительных величин, что может привести к значительному ущербу.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69–ФЗ «О пожарной безопасности».
2. Федеральный закон от 22 июля 2008 года, №123–ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
3. Приказ Минтруда России от 23.12.2014 № 1100н «Об утверждении Правил по охране труда в подразделениях федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы».
4. Приказ МЧС России № 3 от 09.01.2013 г. «Об утверждении Правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием СИЗОД».
5. Приказ МЧС России №156 от 31.03.2011г. «Об утверждении Порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны».
6. Методические рекомендации по действиям подразделений Федеральной Противопожарной службы при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ от 26.05.2010 № 43–2007–18.
7. Анализ обстановки с пожарами и последствий от них на территории Российской Федерации за 2016 год.

УДК 621:330

*М. С. Берёзкин, М. А. Романович*

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

### УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МАШИНОСТРОЕНИЯ КАК ОСНОВА РАЗВИТИЯ ЭКОНОМИКИ РОССИИ

**Ключевые слова:** машиностроение, экономика России, усовершенствование, производственное оборудование.

**Аннотация:** В статье изложены и раскрыты основные проблемы машиностроительного комплекса России, а также перечислены способы развития машиностроения. Подробно рассмотрены способы развития и основные проблемы данного сегмента производства, сделаны соответствующие выводы и изложены пути решения.

*M. S. Berezkin, M. A. Romanovich*

## **IMPROVEMENT OF MACHINERY AS A BASIS DEVELOPMENT OF RUSSIAN ECONOMY**

**Keywords:** mechanical engineering, economy of Russia, improvement, production equipment.

**Abstract:** The article outlines and discloses the main problems of the machine-building complex of Russia, as well as the ways of development of mechanical engineering. The development paths and the main problems of this segment of production are considered in detail.

Не все отрасли экономики России развиваются сейчас одинаковыми темпами. В стране в последние годы наметилось усиление сектора услуг, который включает в себя торговлю, транспорт, связь, финансовую деятельность и т.п. Все эти виды деятельности в настоящее время идут вперед семимильными шагами. А вот добывающая и обрабатывающая промышленность развивается и растет не так стремительно. От показателей развития машиностроительного комплекса зависят важнейшие удельные показатели валового внутреннего продукта страны (материалоемкость, энергоемкость и т. д.), производительность труда в отраслях народного хозяйства, уровень экологической безопасности промышленного производства и, конечно же, обороноспособность государства.

Проанализировав историю развития машиностроения с 1993 по 2005 год, мы выявили, что рост производства в машиностроении начался в 1999 году. В 2000-е годы (до экономического кризиса 2008—2009 годов) сектор машиностроения характеризовался высокими и устойчивыми темпами роста. В 2007 году совокупный оборот (выручка) российских машиностроительных компаний вырос на 20 %, что превысило темпы роста совокупной выручки промышленности. В настоящее время предприятия рассматриваемой отрасли, испытывают значительное давление извне, связанное с экономическими санкциями со стороны Европейского Союза и США. Также обесценивание национальной валюты накладывает дополнительные ограничения на развитие рассматриваемого сектора. Сложившиеся условия с одной стороны можно расценивать как угрозы существования машиностроения в нашей стране, а с другой возникают дополнительные возможности и конкурентные преимущества в сравнении с западными производителями [3].

Проведя анализ российского машиностроения, мы выделили следующие основные проблемы:

1. Одной из серьезных проблем является высокий уровень износа основных производственных фондов. Средний возраст оборудования составляет в среднем 22 года. Доля оборудования старше 20 лет превышает 40%, а на многих предприятиях используются машины, чуть ли не полувековой давности. Фонды многих предприятий отрасли требуют обновления, что невозможно без привлечения инвестиций. Высокая доля устаревшего оборудования объясняет недостаточное использование производственных мощностей в машиностроительных организациях. Необходимость развития отечественного машиностроения особенно подчеркивает коэффициент обновления основных фондов, который повысился с 1,4 % в 2000 г. до 3,9 % в 2010 г., однако данный показатель еще не достиг уровня 1990 г. (6,3 %), а темпы обновления машиностроения в 2 раза ниже, чем в целом по промышленности. Учитывая темпы

выбытия основных фондов, составивших за период 2000-2010 гг. порядка 1%, можно сделать вывод о том, что все это ведет к сохранению высокого уровня износа основных фондов.

2. Длительность периода окупаемости инвестиционных ресурсов. Поскольку производственные фонды машиностроительных предприятий нуждаются в существенном обновлении, важным показателем является объем инвестиций в машиностроительный сектор.

3. Производство машин и оборудования (не включённых в другие группировки) характеризуется ограниченной конкурентоспособностью на внутреннем рынке и низкой конкурентоспособностью на мировом рынке.

4. Углубленная специализация производства. Каждое машиностроительное предприятие до сих пор имеет свою, достаточно строго определенную номенклатуру выпускаемой продукции. В рыночных условиях слишком узко направленная специализация – серьезное препятствие для развития [4].

Многие виды отраслевого и универсального производственного оборудования в России находится в состоянии, близком к критическому: основные фонды морально и физически устарели, собственные конструкторские разработки минимальны. Многие предприятия работают в убыток, испытывают большую долговую нагрузку, банкротятся и исчезают. Выпускаемая продукция по большинству параметров проигрывает зарубежным аналогам, если до недавнего времени местные продуценты имели преимущество хотя бы в цене, то с экспансией машиностроительных компаний из Китая они лишились и его. На приемлемом уровне с зарубежным товаром конкурирует, по сути, только энергетическое оборудование, в остальных крупных сегментах можно найти лишь отдельные узкие ниши, где российские производители успешны (например, реактивные двигатели). Достаточной конкурентоспособностью также обладают предприятия, создаваемые частично или полностью при участии ведущих зарубежных машиностроительных компаний, однако их число пока невелико.

Один из существенных тормозящих факторов развития отрасли – несовершенство российского законодательства в промышленной сфере (отсутствием законодательно оформленной государственной поддержки, нацеленной на стимулирование развития отрасли).

Несмотря на все перечисленные проблемы в России имеются предпосылки для эффективного развития предприятий машиностроения:

- наличие собственной сырьевой базы, собственных энергоносителей;
- развитая сеть транспортных и энергетических коммуникаций;
- высокий потенциал фундаментальной и прикладной науки;
- запасы интеллектуальной собственности;
- необходимый образовательный уровень населения;
- производственный потенциал и традиции [5].

Проведя анализ существующих проблем, мы выявили предпосылки для эффективного развития предприятий, а также мы можем сделать вывод, что необходима разработка эффективной многоуровневой политики в машиностроительной отрасли, которая должна быть адекватной общественным потребностям и носить ярко выраженный инновационный характер развития [6]. Это задача довольно сложная и требующая, прежде всего, определения приоритетов развития отрасли. Исследование этого вопроса показало, что расстановка приоритетов должна основываться на усиле-



нии роли государства в развитии машиностроения. Государство должно создавать равные условия для развития всех предприятий, благоприятную конкурентную среду и ликвидировать множество бюрократических барьеров. Промышленная политика России должна определить основные, стратегически важные направления развития машиностроения, науки и технологий с учетом мировых тенденций, а также отрасли, предприятия и группы товаров, в отсутствии которых страна не сможет вести независимую экономическую политику в мировом сообществе, не сможет обеспечить социальной стабильности и возможность для успешной жизнедеятельности населения [7].

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демура Н.А. Организация производства и менеджмент: Учеб. пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 267 с.
2. Муханова И.В. Модернизация машиностроения России в условиях экономических санкций: проблемы и пути решения // Экономический журнал. 2015. № 2. С. 34-41.
3. Абрамян С.И. Проблемы современного машиностроения России и подходы к их решению // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. 2015. № 8 (80). С. 3.
4. Машиностроение России [Сайт] Wikipedia, the free encyclopedia. [2019]. URL: [wikipedia.org/wiki/Машиностроение\\_России](https://wikipedia.org/wiki/Машиностроение_России) (дата обращения: 01.03.2019).
5. Шендрикова О.О. Применение механизма повышения эффективности производства на предприятиях машиностроения // Интеллектуализация управления в социальных и экономических системах: тр. Всероссийской конференции. Воронеж, 2008. 107-108 с.
6. Romanovich, A.A. Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // A.A. Romanovich, M.A. Romanovich, E.I. Chekhovskoy // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. V. 194 (032025). P. 1-6.
7. Romanovich A.A., Romanovich L.G, Chekhovskoy E.I. Determination of rational parameters for process of grinding materials pre-crushed by pressure in ball mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 327 (042091) P. 1-6.

УДК 004:658.5

***М. С. Берёзкин, М. А. Романович***

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

### **ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕННОМ ПРОЦЕССЕ**

**Ключевые слова:** производство, автоматизация, информационные технологии, производственный процесс.

**Аннотация:** В статье приведены и обоснованы положительные и отрицательные примеры введения автоматизации на производстве, перечислены пути повышения эффективности. Ведь конечной целью любого предприятия является увеличение дохода и получение возможностей для дальнейшего развития производства. Для достижения этих целей необходимо повысить эффективность производства, что целесообразно сделать путем применения сформированного механизма повышения эффективности производства за счет применения новых информационных технологий (НИТ).

*M. S. Berezkin, M. A. Romanovich*

## APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE PRODUCTION PROCESS

**Keywords:** production, automation, information technology, the production process.

**Abstracts:** The article presents and substantiates the positive and negative examples of the introduction of automation in production, lists ways to improve efficiency. After all, the ultimate goal of any enterprise is to increase income and gain opportunities for further development of production. To achieve these goals, it is necessary to increase production efficiency, which is advisable to do by applying the established mechanism to improve production efficiency through the use of new information technologies (BAT).

В современном мире просто невозможно представить жизнь без информационных технологий, несмотря на то, что в самом недалеком прошлом человек и понятия не имел о них. В нашу жизнь они вошли прочно, применяются информационные технологии во всех сферах жизни человечества, выполняя особо значимую роль.

Информационные технологии и компьютеризация позволяют усовершенствовать и облегчить производственный процесс, а полная или частичная его автоматизация позволяет облегчить труд человека, а также связанный с выполнением опасных для жизни трудовых действий [1].

Решение задач, стоящих перед информатизацией на предприятии, тесно связано с закономерностями и особенностями информационных процессов в целом и информационных процессов в сфере производственной деятельности, их компьютеризацией (автоматизацией), принципами построения и использования информационных, управленческих, экспертных и консультационных систем на основе всеобъемлющих процессов глобальной информатизации [2].

Конкретизация и выбор наиболее рациональных и целесообразных из них осуществляется исходя из специфики производства каждого предприятия. Такими путями могут быть:

- уменьшение потерь рабочего времени (за счет устранения недостатков в нормативном планировании, организации и обслуживании рабочих мест, повышения трудовой дисциплины, уменьшения перерывов в ходе производственных процессов);
- снижение и устранение потерь, связанных с неполным использованием производственных мощностей;
- уменьшение показателей запасов, незавершенного производства, готовой продукции, относительно нормативных показателей; как следствие, снижение затрат на хранение готовой продукции и незавершенного производства, уменьшение времени производства, увеличение уровня использования оборотных средств;
- ускорение производственных процессов, а именно сокращение длительности производственного цикла. Сокращение длительности производственного цикла целесообразно за счет ряда факторов:
  - применения организационных методов и средств (уменьшение времени перерывов в ходе производственных процессов, оптимизация маршрутов движения предметов труда, снижение времени контрольных операций и наладки оборудования);

- изменения затрат на производство, а именно поиск и реализация путей экономии материальных и энергетических ресурсов, использование прогрессивных систем эксплуатации оборудования, логистических принципов управления материальными потоками;

- снижения трудоемкости продукции за счет внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами;

- применения программно-целевых методов управления [3].

Действие механизма повышения эффективности производства на основе применения новых информационных технологий заключается в том, что он посредством организационных и экономических мер принуждает всех участников производства к определенной последовательности действий и модели поведения, направленных на повышение эффективности производственно-хозяйственной деятельности предприятия [4].

Однако внедрение в производство современных средств автоматизации и передовых производственных технологий может не только не привести к росту эффективности, но и обернуться потерями и убытками при несоответствующей организации и планировании производства, например, если организация и управление производством не обеспечат проектную загрузку мощностей, необходимую их пропорциональность, четкое планирование и снабжение рабочих мест всеми необходимыми ресурсами. Таким образом, мероприятия в сфере организации производства и системе управления являются крайне важным звеном в создании необходимых организационных и социально-экономических условий, определяющих достижение роста эффективности многономенклатурного производства [5].

Реализацию механизма повышения эффективности производства в условиях применения новых информационных технологий целесообразно начинать с оптимизации системы управления многономенклатурным производством [8].

Примером эффекта от применения программных продуктов автоматизации управления, которые также могут быть использованы на российских промышленных предприятиях, являются следующие статистические данные о результатах работы западных предприятий:

- 1) снижение транспортно-заготовительных расходов -60%;
- 2) сокращение производственного цикла по заказным изделиям -50%;
- 3) снижение задержек с отгрузкой готовой продукции -45%;
- 4) уменьшение страховых запасов (уровня неснижаемых остатков на складах) -40%;
- 5) снижение производственного брака -35%;
- 6) уменьшение затрат на административно-управленческий аппарат -30%;
- 7) сокращение производственного цикла по базовым изделиям -30%;
- 8) уменьшение складских площадей - 25%;
- 9) увеличение оборачиваемости средств в расчетах - 30%;
- 10) увеличение количества поставок точно в срок - 80% [6].

Исходя из выше сказанного можно сделать вывод, что предложенные пути повышения эффективности применения информационных технологий в производственном процессе способствуют облегчению труда работников и позволит осуществить процесс производства быстрее, что соответственно приведет к увеличению производства большего объема выпускаемой продукции [7].

Определение эффекта от реализуемых мероприятий по повышению эффективности предлагается проводить посредством сравнения соответствующих показателей состояния многономенклатурного производства до и после внедрения механизма повышения эффективности производства на основе информационных технологий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демура Н.А. Организация производства и менеджмент: Учеб. пособие. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 267 с.
2. Михайлов, А. В. Основы проектирования технологических процессов машиностроительных производств: Учеб. пособие. Старый Оскол «ТНТ». 2010. 303 с.
3. Romanovich A.A., Kolesnikov R.S., Romanovich M.A. Study of device for precompaction and uniform supply of materials to working bodies of aggregate // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic resource. 2018. V. 11. № 3. P. 42-52.
4. Determination of power mill spent on the creation of the longitudinal motion of the grinding load / A.A Romanovich, V.S. Bogdanov, L.G. Romanovich, D.V. Romanischin // Journal of Applied Engineering Science. 2015 V. 13. № 3. P. 155-160.
5. NX Advanced Simulation. Инженерный анализ / П.С. Гончаров, И.А. Артамонов, Т.Ф. Халитов, С.В. Денисихин, Д.Е. Сотник. М.: ДМК Пресс, 2012. 504 с.
6. Romanovich, A.A. Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // A.A. Romanovich, M.A. Romanovich, E.I. Chekhovskoy // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. V. 194 (032025). P. 1-6.
7. Romanovich A.A., Romanovich L.G, Chekhovskoy E.I. Determination of rational parameters for process of grinding materials pre-crushed by pressure in ball mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2018. V. 327 (042091). P. 1-6.
8. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes. / A.A. Romanovich, M.A. Romanovich, A.I. Belov, E.I. Chekhovskoy // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conference Series. 2018. V. 1118 (012035). P. 1-6.

УДК 621.317

**А. В. Боговик, О. А. Губская**

ФГКВОУ ВО Военная академия связи

### МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТЬЮ СВЯЗИ

**Ключевые слова:** информационно-измерительная система мониторинга, транспортная сеть связи, методика формирования, оценки и выбора, рациональный вариант.

**Аннотация:** В данной статье представлена методика формирования, оценки и выбора рационального варианта информационно-измерительной системы мониторинга транспортной сети связи. Рассмотрены структура и содержание предлагаемой методики.

*A. V. Bogovik, O. A. Gubskaya*

## **METROLOGICAL APPROACH TO MODELING AN INFORMATION-MEASURING SYSTEM FOR MONITORING AND MANAGING A TRANSPORT COMMUNICATIONS NETWORK**

**Keywords:** information-measuring monitoring system, transport communication network, methods of formation, evaluation and selection, rational option.

**Abstracts:** This article offers an approach to the formation, evaluation and selection of a rational option for an information-measuring system for monitoring a transport communication network. The structure and content of the proposed method are considered.

Успешность решения задачи построения автоматизированной системы управления транспортной сетью связи (АСУ ТСС) во многом связана с наличием в ее структуре эффективной информационно-измерительной системы мониторинга (ИИСМ), решающей задачи мониторинга состояния ТС, в том числе реализации процессов измерений параметров (характеристик) ее элементов. В этой связи, весьма важным, является методологический подход к формированию, оценке и выбору (ФОиВ) рационального варианта структуры ИИСМ, учитывающий современные требования к качеству реализуемых измерительных процессов мониторинга и управления. Оптимальным вариантом ФОиВ структуры будет такой, который при заданных внешних условиях достигает максимального значения показателя качества (эффективности, результативности) в рамках заданных ограничений.

Предлагаемая методика ФОиВ варианта структуры ИИСМ транспортной сети связи разработана на основе методов общей теории систем и направлена на решение следующих практических задач:

осуществление процедуры оценивания и выбора оптимального (рационального) варианта измерений из нескольких сформированных вариантов, реализующих заданную функцию, удовлетворяющего заданным требованиям адекватности, универсальности, оперативности и ресурсопотребления;

получение временных оценок выполнения алгоритма измерений (АИ);

осуществление разработки и совершенствования эффективных АИ на основе практического анализа;

определение возможных путей оптимизации алгоритмов измерений при решении задач мониторинга и управления ТСС.

Методика состоит из совокупности логически взаимосвязанных этапов, системно раскрывающей последовательность (алгоритм) выработки и принятия решения по созданию рационального варианта ИИСМ.

Основными этапами методики являются:

1. Постановка задачи синтеза (формирования, оценки и выбора) рационального варианта ИИСМ ТСС.

2. Определение (анализ) исходных данных.

3. Постановка формализованной задачи синтеза ИИСМ ТСС.

4. Структурно-функциональный синтез ИИСМ ТСС: формирование, оценка и выбор структуры, алгоритмов функционирования (предоставления сервисов) требуемого качества.

5. Формирование обобщенной архитектуры ИИСМ ТСС и алгоритмов её функционирования (предоставления сервисов требуемого качества).

6. Комплексная оценка качества решения задачи синтеза ИИСМ ТСС.
7. Модификация вариантов ИИСМ ТСС.
8. Упорядочение допустимых вариантов.
9. Вывод оптимального (рационального) варианта ИИСМ ТСС требуемого качества.

На первом этапе формулируется постановка задачи синтеза рационального варианта информационно-измерительной системы мониторинга транспортной сети связи. При этом уточняются задачи, возлагаемые на ИИСМ, требования к синтезируемой системе, выделяемый ресурс, исходные данные, необходимые для проектирования и построения ИИСМ ТСС.

На втором этапе производится детальный анализ исходных данных для решения задачи синтеза, уточняются цели и условия синтеза ИИСМ.

На третьем этапе осуществляется постановка формализованной задачи синтеза ИИСМ: производится задание целевой функции и определяется система ограничений.

На четвертом этапе осуществляется структурно-функциональный синтез вариантов ИИСМ: осуществляется формирование, оценка и выбор структуры элементов и в целом архитектуры ИИСМ и рациональных алгоритмов функционирования (предоставления сервисов) требуемого качества.

На пятом, шестом этапах на основе результатов предыдущих этапов выполняются операции формирования обобщенной архитектуры ИИСМ и алгоритмов предоставления сервисов требуемого качества. Далее производится комплексная оценка качества разработанного варианта ИИСМ.

На седьмом, восьмом этапе, при необходимости, осуществляется модификация разработанных вариантов, их упорядочивание и вывод оптимального (рационального) варианта ИИСМ требуемого качества, упорядочение допустимых вариантов. Далее производится вывод оптимального (рационального) варианта ИИСМ ТСС требуемого качества.

Таким образом, разработанная методика может быть использована при оценке качества уже разработанных и действующих ИИСМ ТСС с целью определения возможности их совершенствования и оптимизации. Данная методика необходима при разработке новых вариантов создаваемых (проектируемых, планируемых) информационно-измерительных систем АСУ ТСС, что особенно актуально на данном этапе развития телекоммуникационных сетей связи.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Боговик А.В., Одоевский С.М. Новые информационные и сетевые технологии в системах управления военного назначения. СПб.: ВАС, 2010 – С. 432.
2. Боговик А.В., Игнатов В.В. Теория управления в системах военного назначения. СПб.: ВАС, 2008 – С. 460.
3. Денисов А.А. информационные основы управления. – Л.: Энергоавтомиздат, 1983 – С. 72.
4. Основы проектирования и эксплуатации автоматизированных систем управления военного назначения: учеб. пособие / под ред. Доктора технических наук, профессора Лясковского В.Л. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016 – С. 473.
5. Лясковский В.Л., Алашеев М.А., Бутров В.А. и др. Проектирование автоматизированных систем обработки информации и управления. Общесистемное проектирование и содержание работ по проектированию АСОИУ. Тверь: ВА ВКО, 2010 – С. 72.

УДК 621.317

*А. В. Боговик, О. А. Губская*

ФГКВОУ ВО Военная академия связи

## **ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ ПАРАМЕТРАМИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ СВЯЗИ**

**Ключевые слова:** система мониторинга и управления, транспортная сеть связи, автоматизированная система управления, моделирование.

**Аннотация:** В статье рассматриваются проблемы и особенности моделирования современных автоматизированных систем мониторинга и управления как сложных организационно-технических систем.

*A. V. Bogovik, O. A. Gubskaya*

## **FEATURES OF MODELING THE HIERARCHICAL MONITORING SYSTEM AND MANAGEMENT OF THE PARAMETERS OF THE TELECOMMUNICATION EQUIPMENT OF THE TRANSPORT NETWORK COMMUNICATION**

**Keywords:** Monitoring and control system, transport communication network, automated control system, modeling.

**Abstracts:** The article deals with the problems and features of modeling modern automated monitoring systems and management as complex organizational and technical systems.

В процессе моделирования подсистемы мониторинга и управления параметрами телекоммуникационного оборудования, как составной части автоматизированной системы управления транспортной сетью связи (АСУ ТСС), следует учитывать определенные особенности, характерные для моделирования сложных организационно-технических иерархических систем (СОТИС), к классу которых, безусловно, относится АСУ ТСС и ее подсистемы.

Особенности построения существующих и перспективных АСУ ТСС порождают ряд проблем, которые следует учитывать при ее моделировании.

Первой проблемой является описание функционирования АСУ ТСС как СОТИС.

Центральным вопросом формализации процессов управления в СОТИС является отражение в математическом описании координации действий элементов относительно общих целей. Важной задачей является выбор количественной формы выражения целей и задач функционирования системы. В общем случае цель должна отражать свойства системы и формулироваться на естественном языке. Свойственная этому языку неоднозначность терминов, определений, понятий и интуитивное представление о желаемом исходе событий часто не позволяют выразить цели и задачи системы и ее подсистем в целом однозначно в явной количественной форме.

Второй проблемой является информационное обеспечение при моделировании процессов подготовки и принятия решений в АСУ ТСС. Как правило, информация поступает в какое-либо звено на языке других уровней иерархической системы. При поступлении информации от вышестоящей инстанции требуется ее детализация, а при поступлении информации от подчиненных инстанций необходимо ее обобщение. В обеих ситуациях такой перевод неоднозначен (не обладает свойством изоморфизма), и основной проблемой является отыскание способа разрешения этого вида неопределенности.

Третья проблема связана с выбором критерия «качества» принимаемого решения, который, с одной стороны, обладая общеизвестными свойствами критериев – соответствием цели, критичностью, устойчивостью и удобством вычисления, обеспечивал бы возможность учета как объективных, так и субъективных факторов, влияющих на решение. С другой стороны, позволял бы осуществлять объективные измерения степени разрешения встретившихся неопределенностей, т.е. давал объективную оценку «качества «принятого решения».

Четвертая проблема – создание формального аппарата количественной оценки разрабатываемых альтернатив. Прогноз возможных исходов в значительной мере зависит от неформализуемых факторов. Единственным способом разрешения этого вида неопределенности, пожалуй, является экспертиза высококвалифицированных специалистов, основанная на интуитивно-логических представлениях о ходе процесса.

Пятой проблемой является перевод интуитивных оценок в количественные без участия лица, принимающего решения.

И, наконец, проблема реализации разрабатываемых математических подходов. При этом формальный аппарат должен: обеспечить высокую оперативность принятия решений; быть простым и удобным; обеспечивать выдачу наглядных и «информативных» выходных результатов.

Основополагающим принципом осуществления целенаправленной деятельности сложных иерархических систем является принцип последовательного разрешения неопределенности. Принцип последовательного разрешения неопределенности в иерархических системах заключается в поэтапной процедуре процесса принятия решения каждым звеном управления, представляющей собой движение от выбора общей стратегии деятельности системы (или ее подсистемы) до выработки конкретного плана действий подчиненных подсистем или элементов.

Для того чтобы частные модели можно было объединить в систему, необходимо установить между ними определенные отношения. В соответствии с общим подходом последовательного разрешения неопределенности основные принципы построения системы моделей АСУ ТСС могут быть сформулированы как: принцип целевого назначения; принцип информационного единства; принцип координации критериев; принцип алгоритмической независимости моделей системы.

Принцип целевого назначения является определяющим моментом в выборе структуры системы моделей и характеристик ее элементов, отражающих конкретное назначение системы и каждой ее модели.

Исходным пунктом процесса синтеза системы моделей и отдельных моделей этой системы являются те количественные и качественные показатели, которые необходимы лицу, принимающему решение на каждом этапе функционирования.



Исходя из этих показателей, а также из условий и схемы работы данного звена управления выбираются основные характеристики системы моделей. Принцип информационного единства системы моделей предполагает установление определенных отношений между языками описания процесса функционирования иерархической системы управления на разных уровнях системы моделей АСУ ТСС. Фактически это вопрос об общих условиях агрегирования и дезагрегирования информации в системе моделей и в отдельных моделях при использовании формальных языков. Представим, например, лингвистическую структуру моделей двухуровневой системы, в виде трех уровней описания:  $S = \{s_i\}$ ,  $U = \{u_i\}$  и  $K = \{k_i\}$ . Здесь множества  $S$ ,  $U$ ,  $K$  – словари исходных понятий нижнего (исполнительного), среднего (управленческого) и верхнего (координирующего) уровней описаний соответственно. Элементами этих множеств являются параметры описания состояния (альтернатив действий)  $\{s_i\}$ ,  $\{u_i\}$ ,  $\{k_i\}$  на соответствующем уровне.

Рассматриваемый принцип информационного единства системы математических моделей соблюдается при наличии следующих свойств лингвистической структуры:

1. Языки всех более высоких уровней являются производными от самого низшего (исполнительного) языка описания, являющегося в данном случае базовым. Формально это означает, что в системе математических моделей должна существовать некоторая последовательность образования понятий на каждом уровне обобщения из понятий нижестоящего уровня или базового уровня описания:

$$\Phi_u : S \rightarrow U; \quad \Phi_k : U \rightarrow K \quad (1)$$

Предполагается также, что существуют операторы обратного отображения понятий языка верхнего уровня на язык нижестоящего уровня описаний:

$$\bar{\Phi}_u : K \rightarrow U; \quad \bar{\Phi}_s : U \rightarrow S \quad (2)$$

Понятия (элементы) языков разных уровней при этом должны соотноситься как:

$$\Phi_{u_i} : \{S_{u_i}\} \rightarrow u_i; \quad \Phi_{k_j} : \{u_{ij}\} \rightarrow K_j \quad (3)$$

$$\bar{\Phi}_{u_i} : \{S_{u_i}\} \rightarrow u_i; \quad \bar{\Phi}_{k_j} : \{u_{ij}\} \rightarrow K_j \quad (4)$$

Здесь  $\Phi$  и  $\bar{\Phi}$  - операторы формирования понятий верхнего уровня из некоторого набора понятий нижнего уровня и наоборот.

2. Каждому описанию конкретной ситуации на языке нижестоящего уровня, т. е. каждому набору количественных значений параметров описания деятельности (состояния) нижестоящего уровня, должно соответствовать единственное значение параметров описания ситуации на вышестоящем уровне.

3. Обратный переход сверху вниз в иерархии описаний неоднозначен. В этом случае конкретному значению параметра описания ситуации на вышестоящем уровне

может соответствовать некоторый набор множеств значений параметров, описывающих ту же ситуацию на нижестоящем уровне описания.

Результативность работы органов управления (ОУ) связью при решении задач управления определяется не только опытом и квалификацией самих ДЛ органов управления, но и уровнем автоматизации реализуемых процессов, в том числе и характеристиками комплексов средств мониторинга и управления, возможностями обеспечения ДЛ ОУ связью необходимым набором услуг.

Таким образом, при моделирование и синтезе такой сложной иерархической системы мониторинга и управления, требуется разработка системы моделей с учетом особенностей их структуры и применения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месарович М. Д. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир. 1973. - С. 344.
2. Боговик А. В., Игнатов В. В. Теория управления в системах военного назначения. Учеб. – СПб.: ВАС, 2008. – С. 460.

УДК 004.4 : 004.92 : 744.4

*А. А. Бойков*

МИРЭА – Российский технологический университет  
Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

### ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ В САПР

**Ключевые слова:** САПР, CAD-системы, конструктивное геометрическое моделирование, конструктивные алгоритмы, геометрические построения.

**Аннотация:** В статье обосновывается актуальность реализации средств конструктивного геометрического моделирования в САПР. Для этого предлагается использовать подключаемые модули, автоматизирующие создание и выполнение конструктивных алгоритмов.

*А. А. Boykov*

### SOME ISSUES OF USING THE CONSTRUCTIVE GEOMETRICAL METHODS IN CAD

**Keywords:** CAD, constructive geometrical modeling, constructive geometrical algorithm, geometrical constructions.

**Abstracts:** In the paper the relevance of the implementation of constructive geometric modeling tools in CAD is justified, the using of program units for automation of the creating and execution of constructive algorithms is proposed.

Для большинства современных САПР набор приемов (инструментов), при помощи которых решаются задачи создания электронных геометрических моделей де-

талей, можно считать сложившимся. На практике, однако, часто возникает ситуация, когда использование стандартных средств для создания модели (например, содержащей сложные технические поверхности) не дает удовлетворительного результата. В таких случаях для создания модели или ее части можно использовать подходящий конструктивный геометрический алгоритм (КГА), то есть последовательность геометрических построений, позволяющую на основе значений параметров исходных фигур формировать модели новых фигур (точек, линий, поверхностей) по заданным требованиям.

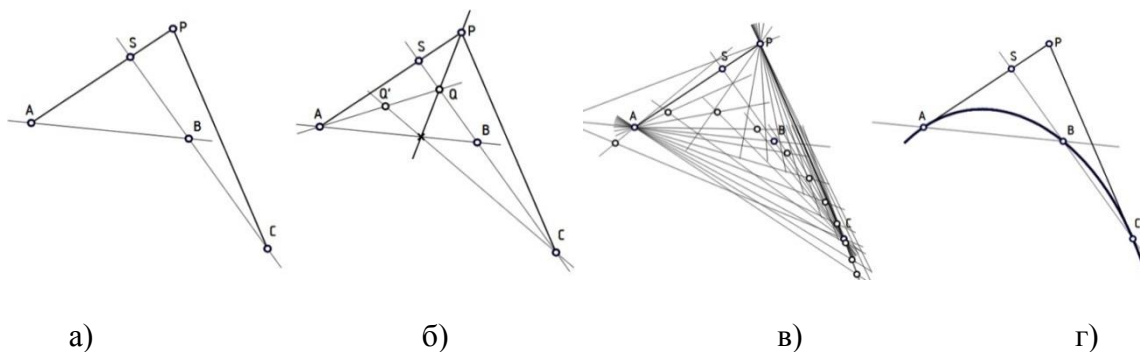
Продемонстрируем сказанное на примерах. В [1] показывается конструирование поверхности зуба червячного колеса, поверхности капота автомобиля, гравюры ковочных вальцов конструктивным способом. В [2] показывается создание трехмерной модели червячной фрезы при помощи КГА, реализованного на языке *AutoLISP* в САПР *AutoCAD*. В [3] показывается построение каркаса некоторых архитектурных оболочек из дуг кривых второго порядка (КВП). В [4] показывается формирование точечного каркаса теоретической кривой профиля Жуковского и передача его в САПР «Компас-3D». В [5] приводится пример поверхности кулачка, созданного в САПР «Компас-3D» на основе профиля, построенного конструктивным (графическим) способом. В [6] рассматриваются примеры технических оболочек, которые могут быть созданы на основе КГА, и вопросы реализации инструментов конструктивного геометрического моделирования в САПР. Во всех перечисленных случаях для реализации конструктивного алгоритма использовалось либо программирование на встроенном в САПР языке, либо специальная графическая среда. В [6] было показано на примере САПР «Компас-3D», что принципиально все необходимые функции для реализации КГА в САПР имеются, хотя соответствующие инструменты не предусмотрены. Приведенные примеры подтверждают актуальность разработки инструментов САПР для создания и автоматизации выполнения КГА.

Рассмотрим пример простого КГА. Пусть КВП задана точками  $A$ ,  $B$  и  $C$  и парой касательных  $AP$  и  $CP$  (рис. 1, а). Для построения произвольной ее точки необходимо выбрать некоторую точку  $Q$  на прямой  $BC$ , провести  $PQ$ ,  $AQ$  и вспомогательную прямую  $C-x$ . Точка  $Q'$  в пересечении  $AQ$  и  $C-x$  – точка заданной КВП (рис. 1, б). С точки зрения конструктивного геометрического моделирования [1] действие КГА осуществляется мгновенно. Представим отдельные шаги алгоритма как элементы геометрической конструкции, связанные соответствиями. Выбор точки  $Q$  на  $BC$  равнозначен мгновенному указанию (высвечиванию) прямой  $PQ$  пучка ( $P$ ) и прямой  $AQ$  пучка ( $A$ ). Пересекаясь с  $AB$ , прямая  $PQ$  мгновенно указывает точку  $x$  (помечена крестиком), которая, в свою очередь, указывает прямую  $C-x$  пучка ( $C$ ). Наконец, две высвеченные прямые  $AQ$  и  $C-x$  также мгновенно высвечивают на плоскости точку  $Q'$ . Если на вход КГА подается несколько точек прямой  $BC$ , на плоскости мгновенно высвечиваются соответствующие точки (рис. 1, в); если прямая  $BC$  целиком или какой-то ее отрезок, – высвечивается КВП или соответствующая дуга (рис. 1, г).

КГА составляется из отдельных построений, каждое из них обеспечивает добавление в модель некоторой фигуры, связанной с уже имеющимися. С этой точки зрения КГА, выполнение которого приводит к появлению фигуры, связанной с исходными через цепочку построений, логично рассматривать как особый вид построения – *составное*, а построения, из которых оно составляется, как *элементарные*. В качестве элементарных выступают команды редактора САПР. Символически это можно записать следующим образом:

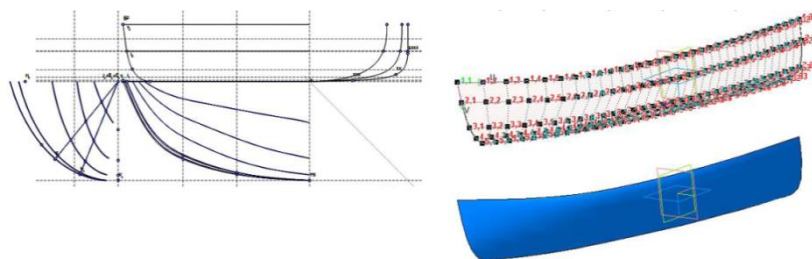
```

sub составное_построение (исходные фигуры)
    фигура1 = построение1 (фигуры)
    ...
    фигурак = построениек (фигуры)
ret (фигурак) // объявление целевой фигуры
end sub
    
```



**Рис. 1.** Работа простого КГА

В [7] показывается, что такие символические конструкции могут обозначать действия проектировщика в ходе работы и одновременно являются протоколом таких действий, своеобразным сценарием для повторного использования. Ключевую роль играют циклические конструкции и автоматическое применение подпрограмм к базовым линиям и областям (точечные ряды и поля) [5, 7]. Среди инструментов САПР «Компас-3D» этим объектам соответствуют макросы, массивы (в том числе массивы «по кривой»), сплайны и поверхности по сети/пласту точек. Теоретические и методические аспекты автоматизации КГА на основе языка построений достаточно подробно проработаны: возможности сценариев при решении различных задач освещены в [5, 6, 7]; показано их применение для создания моделей сложных поверхностей и передача их в САПР «Компас-3D» (рис. 2).



**Рис. 2.** Пример сложной технической поверхности, полученной при помощи КГА

Поэтому задачу разработки инструментов создания и выполнения КГА в САПР можно рассматривать как задачу создания внедряемого модуля для записи и выполнения сценариев на языке геометрических построений. Этот подход обладает преимуществами перед созданием специальных систем конструктивной геометрии и экспортом моделей в САПР: в распоряжении проектировщика остаются все инструменты САПР, их не требуется создавать «с нуля» в новой системе, не требуется тратить уси-

лия на передачу данных между различными системами и др. Возможность внедрения новых модулей является важным достоинством системы «Компас-3D», поэтому мы будем говорить о расширении возможностей САПР на примере этой системы.

Создание подключаемых модулей для решения разного рода прикладных задач, для которых не имеется стандартных инструментов, в САПР «Компас-3D» рассматривается в следующих работах: в [8] показывается использование *API* (интерфейса программирования) «Компас-3D» на примерах создания чертежей, трехмерных моделей и сборок в среде *Delphi*, в [9] показывается создание приложения для расчетов параметров гидроцилиндра и построения его 3D-модели, в [10] рассматривается создание модуля для расчета трудоемкости чертежа детали на языке *Python*. Кроме того, на сайте компании «АСКОН» действует форум для разработчиков. Создание модуля, который бы позволял в интерактивном режиме записывать сценарии и в дальнейшем использовать их для формирования элементов модели позволит автоматизировать использование геометрических преобразований, в том числе нелинейных – кремоновых, топологических – для образования кривых и поверхностей, конкурирующих гиперповерхностей (ключевые и гиперключевые способы [1]), а также графоаналитических (номограммных) способов задания кривых и поверхностей [7] в САПР.

Таким образом, было показано, что реализация КГА как инструмента для создания электронных моделей изделий в САПР имеет несомненную практическую значимость. Одним из подходов является использование сценариев на языке геометрических построений, которые могут формироваться в результате автоматической записи действий проектировщика. Поскольку стандартных средств для использования КГА (сценариев построений) пользователями-непрограммистами в составе современных САПР нет, требуется разработка внедряемого модуля, расширяющего базовый набор функций САПР. Планируется создание такого модуля для САПР «Компас-3D».

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волошинов Д.В. Конструктивное геометрическое моделирование. – Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2010. – 355 с.
2. Хейфец А.Л. 3D-модель червячной фрезы // Обработка металлов. – 2013. – №3 (60). – С. 47–53.
3. Короткий В.А., Усманова Е.А. Применение кривых второго порядка для конструирования гладких каркасно-сетчатых поверхностей // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2014. – Т.14, №3. – С. 45–48.
4. Никифоров П.В. Получение кривой теоретического профиля Жуковского для создания 3D-модели поверхности крыла [Электронный ресурс]. – URL: <http://dgng.pstu.ru/conf2017/papers/62/> (Дата обращения: 06.11.2018).
5. Бойков А.А. Элементы языка геометрических построений [Электронный ресурс]. – URL: <http://dgng.pstu.ru/conf2017/papers/138/> (Дата обращения: 06.11.2018).
6. Бойков А.А. Некоторые вопросы автоматизации конструктивных алгоритмов формирования геометрических моделей для CAD-систем // Ситуационные центры и информационно-аналитические системы для задач мониторинга и безопасности (SCVRT2018). – М., 2018.
7. Бойков А.А. О построении моделей объектов пространства четырех и более измерений в учебном процессе // Геометрия и графика. – 2018. – № 4. – С. 54–71. – DOI: 10.12737/article\_5c21f96dce5de8.36096061

8. Норсеев С. Разработка приложений под «Компас» в *Delphi* [электронный ресурс]. – URL: <https://norseev.ru/books/kompas-delphi-2013/> (Дата обращения: 06.11.2018).

9. Создание САПР на базе «Компас-3D» / ГОУ ВПО «Тульский государственный университет». – Тула, 2007. – 20 с.

10. *Python* на службе у конструктора. Укрощаем *API Kompas 3D* [электронный ресурс]. – URL: <https://habr.com/ru/post/323078/> (Дата обращения: 11.03.2019)

УДК: 614.847.9

**О. В. Бочкарева, А. Д. Семенов, А. Н. Бочкарев**

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РАСЧЕТ ВРЕМЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОВЕДЕНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ**

**Ключевые слова:** аварийно-спасательный инструмент, аварийно-спасательные работы, математическое моделирование, нормативы.

**Аннотация:** в работе рассматриваются вопросы проведения аварийно-спасательных работ (АСР) при использовании гидравлического аварийно-спасательного инструмента. Предложена методика расчета временных показателей этапов проведения АСР при дорожно-транспортном происшествии.

**O. V. Bochkareva, A. D. Semenov, A. N. Bochkarev**

## **THE CALCULATION OF THE TEMPORAL PARAMETERS OF RESCUE WORKS**

**Keywords:** rescue tools, rescue operations, mathematical modeling, standards.

**Abstracts:** the work deals with the rescue (ASR) when using a hydraulic rescue tool. The technique of calculation of time characteristics of the stages of the ASR in a traffic accident.

В современном мире с его высоким уровнем технического развития человечество не только научилось избегать бедствий, изобретая всё новые и новые средства защиты от негативных факторов, но и получило из-за интенсивного технического прогресса чрезвычайные ситуации (ЧС) нового типа — техногенные [1].

Вместе с характером ЧС изменился и способ их ликвидации, проведения спасательных работ. С техническим прогрессом в мир пришли авиакатастрофы, аварии на АЭС, последствия применения современных средств поражения. Нередко из-за неправильного проведения и организации АСР гибнут люди, а спасатели получают различного рода травмы.

В работе проведено изучение процессов при работе обучающихся с аварийно-спасательным инструментом (АСИ) так, как этот инструмент в основном используется на практических занятиях по пожарной технике в Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Работу с АСИ при ликвидации последствий ЧС и ДТП можно рассматривать как комплекс управленческих решений и оперативно-тактических действий, направ-

ленных на спасение и сохранение жизни людей. Исходя из технологического порядка операций (схема 1, таблица) проведения АСР, ликвидация последствий ЧС является сложным процессом, который включает в себя несколько видов действий: обработка вызова; выезд и следование к месту вызова; разведка ситуации; развертывание; действия, направленные на спасение пострадавших, сохранение материальных ценностей, защита конструкций от возможного обрушения, а также сбор и возвращение подразделения к месту дислокации (рисунок) [2-5].

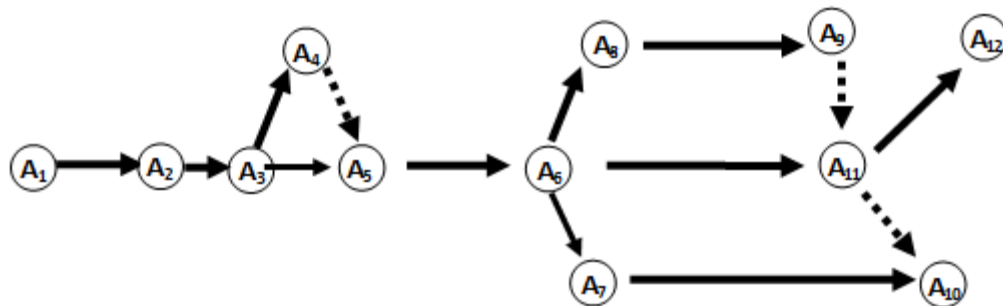


Рис. 1. Технологический порядок выполнения АСР

Таблица. Перечень операций технологического порядка при проведении АСР

Операция	Наименование операции
A <sub>1</sub>	Разгрузка и подготовка инструмента. Ликвидация вторичных поражающих факторов. Запуск гидравлических станций, генератора и подача энергии
A <sub>2</sub>	Стабилизация аварийного автомобиля (разрушенных конструкций)
A <sub>3</sub>	Удаление стекла и обеспечение защиты от его осколков
A <sub>4</sub>	Уборка стекла
A <sub>5</sub>	Снятие остаточного напряжения кузова ТС (разрушенных конструкций)
A <sub>6</sub>	Вскрытие и удаление дверей (конструкций), установка домкратов для увеличения расстояния более критического (80 мм)
A <sub>7</sub>	Выдвигание передней части ТС (разрушенных конструкций). При необходимости, удаление педалей
A <sub>8</sub>	Перекусывание стоек, отгибание или удаление крыши (разрушенных конструкций)
A <sub>9</sub>	Обеспечение защиты от порезов
A <sub>10</sub>	Оказание первой помощи
A <sub>11</sub>	Выключение станций и расчеховка инструмента
A <sub>12</sub>	Предварительная чистка и подготовка инструмента к транспортировке и применению

Важным критерием для оценки эффективной работы спасателей с АСИ при ликвидации последствий ЧС является время проведения АСР, от которого будет зависеть количество спасенных пострадавших. Таким образом, чем быстрее будет проведен комплекс необходимых операций (схема 1) по аварийно спасательным работам, тем больше вероятность спасения жизни пострадавшего. Однако необходимо учитывать качественную составляющую проведения АСР, которая включает в себя максимальное снижение материальных и социальных последствий от деструктивного собы-

тия, требующего применения сил и средств спасательной службы, при минимальных затратах трудовых, материальных и финансовых ресурсов.

В настоящее время изучены и разработаны нормативы по развёртыванию спасательного и пожарного оборудования [4], но не показаны возможности развёртывания и нормирования процессов, связанных с работой на аварийно-спасательном оборудовании.

В общем виде время, требующееся на проведение аварийно-спасательные работы можно описать моделью:

$$\tau_{\text{аср}} = \sum_{i=1} \tau_{\text{Ai}} + \Delta \quad (1)$$

где  $\tau_{\text{A1}} - \tau_{\text{A12}}$  – время, расходуемое на каждую операцию технологического порядка при проведении АСР;

$\Delta$  – случайная компонента, учитывающая влияние случайных факторов (поломка оборудование и др.).

Проведенные исследования по работе курсантов с АСИ показали, что время той или иной операции зависит от ряда факторов:

1. масса инструмента (выгрузка необходимого инструмента);
2. подготовка оборудования к работе (доставка к месту ЧС, соединения рабочих линий и др.);
3. условия, в которых проводится работа с АСИ (погодные условия, задымленность, время суток и др.)
4. количество личного состава;
5. количество инструмента используемого в работе.

Для учета многофакторности функциональной зависимости (1), времени проведения аварийно-спасательных работ вводятся поправочные коэффициенты, полученные при анализе экспериментального времени полученного при выполнении упражнения, что позволит оптимизировать работу спасательных подразделений.

Таким образом, изучение процессов протекающих при работе с аварийно-спасательным инструментом позволит прогнозировать и оптимизировать работу пожарно-спасательных подразделений, а также разработать систему тренировочных нормативов с учетом различного типа спасательных устройств используемых в пожарно-спасательных гарнизонах пожарной охраны.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Владимиров В.А. Природные опасности и общество. / Воробьев Ю.Л., Осипов В.И, Шойгу С.К. М.: Крук-Престиж, 2002. - С. 33-45, 56- 67.
2. Терехнев В.В., Подгрушный А.В. Пожарная тактика. – Екатеринбург.: «Издательство «Калан», 2007. – 538с.
3. Повзик, Я.С. и др. Пожарная тактика// Повзик, Я.С., Ключ П.П., Матвейкин А.М. - М.: Стройиздат – 1990.-334 с.
4. Терехнёв, В.В. Обоснование параметров для разработки нормативов по боевому развёртыванию пожарных подразделений на автоцистернах и автонасосах// Терехнёв В.В. Дис. канд. техн. наук / ВИПТШ МВД СССР-М.: –1989.-201с.



5. Терещнев В.В., Терещнев А.В. Управление силами и средствами на пожаре. Учебное пособие – М., 2003 г. – 261 с.

УДК 658.588

*А. С. Бурнашов, А. А. Покровский*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РАЗРАБОТКА УПРАВЛЕНЧЕСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ**

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, ремонт, пожарная техника.

**Аннотация:** рассмотрены вопросы в области организации технического обслуживания и ремонта пожарной техники. Предложена управленческо-технологическая схема технического обслуживания и ремонта пожарной техники в системе МЧС России.

*A. S. Burnashov, A. A. Pokrovskiy*

## **DEVELOPMENT OF MANAGEMENT-TECHNOLOGICAL SCHEME OF MAINTENANCE AND REPAIR OF FIRE TECHNOLOGY**

**Keywords:** maintenance, repair, fire equipment.

**Abstracts:** issues in the field of organization of maintenance and repair of fire equipment were considered. A management-technological scheme of maintenance and repair of fire fighting equipment in the system of the Ministry of Emergency Situations of Russia is proposed.

Современные условия социально-экономического развития характеризуются структурными изменениями как в производстве, так и при эксплуатации пожарной техники. В структурных изменениях особенно следует выделить развитие рыночной экономики, новых структур по обеспечению материально-технического производства и услуг, реализации готовой продукции, снижение объема традиционно выпускаемой продукции и увеличение ее номенклатуры, обновление основных средств и обеспечение работоспособности наиболее активной их части – пожарных автомобилей.

В настоящее время при решении вопросов технической эксплуатации пожарных автомобилей важно отойти от практикуемого направления организации технического обслуживания и ремонтов на основе использования статических методов. Внедрение диагностики и компьютерных технологий при оценке и прогнозировании работоспособности пожарных автомобилей позволит обеспечить необходимое качество управления за счет оценки технического состояния конкретного объекта по текущим значениям контролируемых параметров и в конечном итоге оптимизировать наработку до капитального ремонта и его последующего списания.

Для повышения качества восстановления работоспособности пожарных автомобилей в целом целесообразно идти двумя путями в зависимости от расположения предприятия их изготовления.

Для пожарных автомобилей, выпускаемых в нашей стране и в пределах ближнего зарубежья, необходимы контроль работоспособности и организация капитального ремонта их изготовителями, что повысит качество и ремонтпригодность объекта за счет устойчивой обратной связи в процессе его производства и эксплуатации. Импортная техника может обслуживаться квалифицированными бригадами на базах эксплуатирующих организаций или на специализированных предприятиях. Данные предприятия должны иметь необходимую материальную базу и кадровый потенциал.

Однако, в действующих нормативно-правовых документах изложен иной порядок организации технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей, который предусматривает тендерную систему определения исполнителя для заключения контракта в целях обеспечения государственных нужд по техническому обслуживанию и ремонту пожарных автомобилей, что не всегда позволяет должным образом осуществлять качественный ремонт пожарных автомобилей. При такой организации технического обслуживания и ремонта решается вопрос о месте и времени их проведения. Время проведения мероприятий по поддержанию и восстановлению работоспособности отдельного узла или изделия в целом часто определяется с учетом предельного значения параметра технического состояния и технико-экономического обоснования.

Зарубежный опыт преимущественно европейских стран основан на том, что изготовители пожарной техники закладывают основу по периодичности и трудоемкости проведения технического обслуживания и ремонтов без учета процесса их изменения в зависимости от наработки с начала эксплуатации или капитального ремонта. При таком подходе планирование технического обслуживания и ремонта предусматривает периодичность предлагаемых мероприятий изготовителями пожарной техники, которые являются обязательными. Трудоемкость всех операций по поддержанию и восстановлению работоспособности пожарных автомобилей определяется при диагностировании ее с периодичностью, установленной изготовителем. Безотказная работа пожарных автомобилей и трудоемкость технического обслуживания и ремонтов зависят от точности определения изменений контролируемых параметров при диагностировании сборочных единиц, систем и объекта в целом. В тоже время для обслуживания и ремонта современных конструктивно сложных узлов и агрегатов необходимы эксплуатационные базы и передвижные мастерские, укомплектованные необходимым технологическим оборудованием.

В сложившихся условиях перспективно производить капитальные ремонты пожарной техники в целом, выпускаемой за рубежом на региональной основе, со специализацией ремонтных предприятий по выпуску и ремонту сборочных единиц. Это позволит в перспективе перейти к ремонту агрегатным методом, который соответственно должен включать замену отдельных неисправных узлов, механизмов, а также приборов в том случае, если их исправление требует большего простоя пожарного автомобиля, чем их замена. В этих условиях на базах механизации будут выполняться, в основном, только монтажно-демонтажные работы по замене отдельных сборочных единиц, то есть так называемый агрегатный метод.

Организация технического обслуживания и ремонта в высокоразвитых странах, так их как Германия, Канада, США, Япония, как правило, осуществляется специализированными фирмами-дилерами. В производственном отношении они тесно связаны с фирмами, выпускающими технику, но имеют и собственные производственные

мощности, со стационарными постами по ремонту и обслуживанию, а также передвижными станциями по проведению ремонтно-профилактических работ.

Специалисты фирм-дилеров проходят в фирмах-изготовителях учебу на семинарах, которые проводятся 3 раза в год.

Оперативная связь между специалистами этих предприятий обеспечивается прямыми телефонными консультациями при сложных поломках техники.

Дилеры имеют определенный комплект запасных частей, которые продаются в среднем в 2 раза дороже по сравнению со стоимостью, заложенной в новую технику. После снятия машины с производства дилер снабжается запасными частями на протяжении семи лет.

Посредством применения данного способа технического обслуживания и ремонта техники зарубежные фирмы обеспечивают высокий уровень обеспечения работоспособности выпускаемых машин. Несоблюдение данного критерия связано с чрезвычайно высокими финансовыми потерями и снижением уровня престижа на рынке. Поэтому порядка 83% фирм обеспечивают запасными частями потребителей в течение суток, остальные – в течение 48 часов. Как например среднее время обеспечения потребителя запасными частями к пожарной технике составляет от трех до четырех суток. Многие фирмы имеют локальные склады запасных частей в различных районах потребления техники. Эти склады обеспечиваются на 67% запасными частями, изготавливаемыми на фирмах изготовителях техники.

Многие фирмы работу по расширению рынков сбыта своей техники проводят через подготовку кадров по ее технической эксплуатации, строительство баз по обслуживанию и ремонту и через разветвленную сеть по хранению и доставке запасных частей и сборочных единиц, а также поддержание необходимого уровня научно-конструкторских разработок.

При данной системе организации технического обслуживания и ремонта отсутствует какая либо тендерная система закупок для обеспечения нужд подразделений пожарной охраны, отсутствуют какие либо нормативные документы регулирующие данный порядок. Данная организация работы носит название «Система пожизненного цикла». В соответствии с этим завод-производитель не только производит, но и обслуживает пожарную технику, а по окончании эксплуатации еще и заниматься вопросами ее утилизации. Поэтому первым этапом для строительства эффективной «Системы пожизненного цикла» в нашей стране можно предложить создание центров подготовки специалистов по обслуживанию и ремонту пожарной техники. Данная система планирует начать работу в 2020 году лишь в Министерстве вооруженных сил Российской Федерации.

В Российской Федерации широко распространена следующая управленческо-технологическая структурная схема: предэксплуатационное обслуживание (производитель); эксплуатация (пожарно-спасательная часть); техническое обслуживание (ремонтное предприятие); диагностирование (ремонтное предприятие); текущий ремонт (ремонтное предприятие); капитальный ремонт (ремонтное предприятие, дилер).

Одна из главных проблем на сегодняшний день заключается в недостаточном кадровом и технологическом потенциале, не соответствующем требованиям времени. Из-за недостаточных возможностей ремонтных предприятий, МЧС России приходится сотрудничать с непрофильными организациями и ведомствами. В связи с чем, Главными управлениям по субъектам Российской Федерации или пожарно-спасательным отрядам, являющихся заказчиками, приходится проводить конкурсные

процедуры путем проведения открытых электронных аукционов на право заключения государственных контрактов на ремонт и техническое обслуживание пожарной техники. При проведении данных процедур заказчики несут определенные риски, такие как недобросовестность исполнителя, уклонение от заключения контракта, непрофессионализм в сфере ремонта и технического обслуживания пожарной техники, в том числе специального оборудования. Поэтому одной из дальнейших наших задач является разработка управленческо-технологической схемы «Системы пожизненного цикла» с целью предложения ее для реализации в системе МЧС России. Внедрение данной схемы позволит уйти от тендерной системы в рамках Федерального закона № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд». Это позволит повысить качество выполняемых работ по техническому обслуживанию и ремонту пожарной техники и специального оборудования, а также приведет к увеличению количества рабочих мест.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 5 апреля 2013 г. № 44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».
2. Приказ МЧС России от 18.09.2012 года № 555 «Об организации материально-технического обеспечения системы МЧС России».
3. Эксплуатация пожарной техники: Справочник/ Ю.Ф. Яковенко, А.И. Зайцев, Л.М. Кузнецов и др. – М.: Стройиздат, 1991. - 415 с.

УДК 621.398: 681.51

*А. М. Винограденко, А. П. Веселовский, О. А. Губская*

Военная академия связи им. С.М. Буденного МО РФ

### **АДАПТАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В УСЛОВИЯХ ОТКАЗОВ ОБЪЕКТОВ КОНТРОЛЯ**

**Ключевые слова:** техническое состояние, объект контроля, параметры, датчики, система массового обслуживания, аварийные сигналы.

**Аннотация:** Проведенный анализ функционирования систем контроля технического состояния сложных технологических объектов показал необходимость обеспечения своевременного сбора и обобщения измерительной информации об отказах контролируемых систем с учетом скорости изменения контролируемых параметров. Для решения задачи перераспределения измерительной информации (аварийных сигналов) предложен способ адаптации информационного потока от датчиков, фиксирующих отказы, на основе уменьшения избыточности информации и перераспределения пакетов информации.

*A. M. Vinogradenko, A. P. Veselovsky, O. A. Gubskaya*

## **ADAPTATION OF INFORMATION FLOWS OF MEASURING INFORMATION IN THE CONDITIONS OF REFUSALS OF SUBJECTS TO CONTROL**

**Keywords:** technical condition, subject to control, parameters, sensors, system of mass service, emergency signals.

**Abstracts:** The carried-out analysis of functioning of control systems of technical condition of difficult technological objects showed need of ensuring timely collecting and synthesis of measuring information on refusals of controlled systems taking into account the speed of change of controlled parameters. For the solution of a problem of redistribution of measuring information (emergency signals) the way of adaptation of the information flow from the sensors fixing refusals on the basis of reduction of redundancy of information and redistribution of packages of information is offered.

При эксплуатации различных видов сложных технологических объектов (СЛО) и систем важное место отводится вопросам мониторинга их технического состояния (ТС), работы установленной на них аппаратуры, а также для оперативного контроля производственных процессов, автоматизации эксперимента, обнаружения отклонения контролируемых величин, измерений отклонившихся параметров и их регистрации. Особую роль приобретают системы оперативного контроля, телеметрии, используемые для предупреждения о возможных аварийных ситуациях на территориально-распределенных технологических объектах, оборудованных большим числом датчиков, удаленных на значительные расстояния от центров обработки данных (ЦОД) [1]. При этом предъявляются жесткие требования к оперативности и достоверности доставки информации по каналам беспроводных сетей передачи данных для своевременного предотвращения угрозы аварий.

Анализ существующих телеметрических систем (ТМС), используемых в различных отраслях промышленности и в военных целях для проведения измерений технических параметров, обработки и обмена измерительной информацией (ИИ) с ЦОД, показал отсутствие учета предаварийных состояний, а также низкую оперативность тестирования [2].

Для своевременного определения (выявления) и передачи с объекта контроля (ОК) аварийного сигнала необходимы системы опроса датчиков о наличии актуальной для передачи ИИ, роль которых выполняют подсистемы получения данных и формирования сигналов о предаварийном состоянии контролируемых объектов (сенсорные подсистемы).

В случае выхода контролируемых параметров ОК за допустимые пределы, в датчике, расположенном непосредственно на самих элементах объектов, формируется сигнал об их аварийном состоянии. В существующих системах телеметрии каждый параметр объекта контролируется с периодом  $T_0$ , независимо от его скорости изменения. Однако при возрастании скорости изменения отдельных параметров они могут достичь допустимых значений за время меньшее фиксированного периода  $T_0$ . В этом случае система контроля не сможет своевременно отреагировать на недопустимые изменения параметра, что приведет к отказу контролируемого объекта. Для оперативности кон-

троля состояния объекта измерение и последующая оценка параметра осуществляется с частотой пропорциональной скорости изменения параметра [3].

В зависимости от скорости выхода контролируемого параметра  $U$  за допустимые пределы определяется частота  $f$  опроса датчиков.

В отдельных СЛО, например, электросиловых установках датчики электрических машин обычно опрашиваются с частотой 50 Гц и 100 Гц, однако, для того, чтобы получить информацию о поведении электродвигателя в аварийной ситуации, частота опроса соответствующих датчиков должна быть увеличена до 200...400 Гц.

С целью повышения частоты опроса некоторых датчиков можно использовать параллельное подключение одного выхода с датчика к нескольким входам сенсорной подсистемы ТМС. При этом может возникнуть неравномерность выборок измерений для датчика, так как цикл опроса локального коммутатора (ЛК) составляет 5 мс, а кадровый цикл – 10...20 мс, что необходимо учитывать при формировании выходной пакет измерительной информации на выходе сенсорной подсистемы ТМС.

Проводимые исследования [4] показали, что частоту опроса в ЛК аналоговых датчиков (ЛКА) можно увеличить в 2-4 раза путем подбора элементов в буферном каскаде для уменьшения времени переходного процесса коммутации каналов. Таким образом, возможно увеличение максимальной частоты опроса для аналоговых датчиков до 400 Гц или 800 Гц.

Максимальная частота опроса ЛКА составляет 200 Гц. Типовой ЛКА рассчитан на  $m = 64$  датчиковых входов, число  $n$  ЛКА в системе может быть –  $n = 3, 4, \dots, N$ . В пределах одного ЛКА частота опроса одинакова для всех датчиковых входов и может быть увеличена только за счет подключения одного датчика на несколько датчиковых входов ЛКА, однако, в этом случае значительно увеличивается избыточность ИИ. Совокупная информативность всех ЛК значительно выше, чем информативность канальной подсистемы ТМС. Следовательно, требуется коррекция задачи: при min числе датчиковых входов на один ЛКА необходима максимальная информативность, то есть вероятность обслуживания аварийных сигналов.

В настоящее время для согласования информативности сенсорной подсистемы ТМС, то есть совокупности всех ЛК и информативности канала связи используется ограниченное число программ опроса, которые для каждого датчика определяют положение и частоту его повторения в пакете. В случае нештатного функционирования (аварийной ситуации) ОК может потребоваться более высокая частота опроса датчика, не предусмотренная программой, с одновременным выделением из массива датчиков одного или нескольких с отклоняющимися от допусков (пороговых значений) параметров [4].

Таким образом, для уменьшения избыточности ИИ при сохранении полноты контроля ОК по сенсорным (датчиковым) каналам передаются не все результаты измерения параметров, а только сообщения о выходе параметров ОК за пределы установленных допусков, то есть аварийные сигналы.

Специфика построения и функционирования сенсорной подсистемы ТМС позволяет рассматривать ее как многоканальную систему массового обслуживания (СМО), где роль обслуживающих элементов играют ЛКА, обеспечивающие обслуживание заявки в течение некоторого времени  $\bar{t}_{\text{обс}}$ , пропорционально длительности передачи пакета ИИ по ЛКА. Обслуживающими элементами в рассматриваемой СМО

являются ЛКА с параллельным обслуживанием информации, поступающей от датчиковых выходов [5].

Поток заявок (аварийных сигналов), поступающих в СМО, имеет интенсивность  $\lambda$ , а поток обслуживаний – интенсивность  $\mu$ . Тогда  $\mu = 1/t_{\text{обс}}$ , где  $t_{\text{обс}}$  – время обслуживания одной заявки. Среднее время обслуживания заявки соответствует длительности передачи пакета с измерительной информацией:  $t_{\text{обс}} = N \cdot T_c$ , где  $N$  – количество информационных символов в заявке;  $T_c$  – длительность информационного символа.

Динамика изменения значений параметров ОК описывается с помощью моделей случайных процессов [6]. Следовательно, временные моменты превышения результатами измерения  $U_{xi}$  пороговых уровней  $U_{\text{пi}}$  являются случайными величинами, образующими случайный поток заявок на обслуживание с интенсивностью  $\lambda(t)$ . Время обслуживания аварийного сигнала в ЛКА является случайной величиной, которая, предположительно, подчинена показательному закону распределения с интенсивностью обслуживания  $\mu = 1/\bar{t}_{\text{обс}}$ , где  $\bar{t}_{\text{обс}}$  – время обслуживания одной заявки. Таким образом,  $n$  ЛКА представляют собой элементы обслуживания заявок. Так как число входов ЛКА ограничено значением  $n \times m$  ( $m$  – число входов (датчиковых) ЛКА), то сенсорная подсистема ТМС представляет собой  $n$ -канальную СМО с ограниченной длиной очереди. Вероятность нахождения системы в состоянии, когда на выходе датчиков отсутствуют аварийные сигналы [7, 8]:

$$p_0^{(nm)} = \left( \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} + \frac{n^k}{n!} \sum_{k=n+1}^{nm} \frac{\lambda^k}{\mu^k n^k} \right)^{-1}. \quad (1)$$

В случае, если все  $n \times m$  ЛКА заняты, информация о превышении результатом измерения  $i$ -го параметра  $U_{xi}$  установленного порогового уровня  $U_{\text{пi}}$  будет утеряна, что в терминологии ТМО означает отказ в обслуживании заявки. Вероятность отказа заявки в обслуживании определяется выражением

$$p_{\text{отк}}^{(nm)} = p_{nm} = p_0 \lambda^{nm} / n^m n! \mu^{nm}. \quad (2)$$

Оценим пропускную способность (через вероятность отказа  $p_{\text{отк}}$ ) сенсорной подсистемы ТМС при различных соотношениях количества ЛКА и их датчиковых входах. При численном равенстве ЛКА и их датчиковых входов (на один ЛКА – один сенсор) сенсорная подсистема ТМС представляет собой  $n$ -канальную СМО с отказами. В этом случае вероятности состояний системы:

$$p_0^{(n)} = \left( \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} \right)^{-1}; \quad (3)$$

$$p_{\text{отк}}^{(n)} = p_n = \frac{\lambda^n}{\mu^n n!} / \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{\mu^k k!}. \quad (4)$$

При использовании  $m$  дополнительных датчиковых входов ЛКА, выполняющих роль мест ожидания в очереди в случае занятости всех ЛКА, вероятность отказов в обслуживании заявок уменьшится в  $z$  раз:

$$z = \frac{p_{\text{отк}}^{(n)}}{p_{\text{отк}}^{(n+m)}} = \frac{n^m \mu^m}{\lambda^m} \left\{ 1 + \frac{1}{n!n} \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^m \times \right. \\ \left. \times \left[ 1 - \left( \frac{\lambda}{n\mu} \right)^m \right] / \left( 1 - \frac{\lambda}{n\mu} \right) \sum_{k=0}^n \frac{\lambda^k}{\mu^k k!} \right\}. \quad (5)$$

Как следует из выражений (5) и (6), а также данных таблицы, с увеличением числа  $m$  входов ЛКА уменьшается вероятность отказа в обслуживании заявки, следовательно возрастает пропускная способность системы вследствие роста числа мест ожидания в очереди. Однако при фиксированном числе  $n$  ЛКА увеличение числа  $m$  мест в очереди приводит к росту среднего времени  $\bar{t}_{\text{ожс}}$  ожидания заявки.

Среднее число заявок  $N_{\text{оч}}$ , находящихся в очереди со средним временем пребывания заявки в очереди  $\bar{t}_{\text{оч}} = \bar{t}_{\text{ожс}}$ , связаны соотношением Литтла:

$$N_{\text{оч}} = \lambda \cdot t_{\text{оч}}. \quad (6)$$

Аналитически, усредненное время пребывания заявки в  $n$ -канальной СМО рассчитывается по следующему выражению:

$$\bar{t}_{\text{оч}}^{nm} = \frac{N_{\text{оч}}}{\lambda} = \frac{\rho^n \left\{ 1 - (\rho/n)^m [m + 1 - m(\rho/n)] \right\}}{n \cdot n! (1 - \rho/n)^2} p_0^{nm}, \quad (7)$$

где  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$  – приведенная интенсивность потока заявок (среднее число заявок, поступающее в СМО за время обслуживания одной заявки).

Зная время пребывания заявки в СМО, легко рассчитать частоту опроса, зная число заявок на обслуживание, находящихся в очереди и, тем самым обеспечив адаптацию сенсорной подсистемы ТМС к динамике изменений контролируемых параметров СЛО.

Таким образом, рассмотрение сенсорной подсистемы ТМС, реализующей обработку аварийных сигналов, позволяет представить моменты появления входных сигналов в виде потока случайных событий, исследовать ее с позиции ТМО и оптимизировать структуру системы, обеспечивающей максимальную пропускную способность при заданном числе ЛКА, а также их входов.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Винограденко А.М., Веселовский А.П., Бурьянов О.Н. Оперативный контроль технического состояния подвижных электротехнических объектов // «Современные проблемы создания и эксплуатации вооружения, военной и специальной техники». – Труды III Всероссийской НПК. ВКА им. А.Ф. Можайского. Санкт-Петербург. – 2016. – С. 178-184.
2. Винограденко А.М., Будко П.А., Юров А.С., Литвинов А.И. Способ мониторинга предаварийного состояния контролируемых объектов // «Датчики и системы». – 2014. – № 9 (184). – С. 8-14.
3. Будко П.А., Винограденко А.М., Кузнецов С.В., Гойденко В.К. Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – № 4. – С. 71-101.
4. Орешко В.В., Благодырев В.А., Хромов О.Е. Методика формирования адаптивного информационного потока от аналоговых датчиков медленно меняющихся параметров в бортовых радиотелеметрических системах космических аппаратов и ракет-носителей // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2018. – № 8. – С. 9-18.
5. Винограденко А.М., Федоренко И.В., Гальвас А.В. Многофазная организация обслуживания в информационно-телеметрических системах // «Информационные системы и технологии». – 2010. – № 3 (59). – С. 121-125.
6. Федоренко И.В. Двухэтапный алгоритм обработки сигналов тревоги в многоканальной измерительной системе // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2011. – № 5. – С. 20-23.
7. Винограденко А.М., Федоренко И.В., Семененко А.В. Система для контроля технического состояния радиоэлектронных объектов. – Патент на полезную модель RUS 90916. – 05.08.2009.
8. Винограденко А.М., Федоренко И.В., Будко П.А., Листова Н.В. Модель обслуживания заявок. – Патент на полезную модель RUS 87277. – 17.02.2009.

УДК 623

**Н. И. Вишняков, А. А. Самохвалов**

Военная академия связи им. С. М. Буденного, (г. Санкт-Петербург)

## ОБЩАЯ МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ ТРЕБОВАНИЙ К ВОЕННОЙ ТЕХНИКЕ СВЯЗИ

**Ключевые слова:** военная техника связи, методика, показатель эффективности, критерии для количественной оценки эффективности.

**Аннотация:** в настоящей статье представлена последовательность действий для решения задачи разработки требований к комплексному объекту.

*N. I. Vishniakov, A. A. Samohvalov*

## GENERAL METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT OF REQUIREMENTS FOR MILITARY COMMUNICATIONS TECHNOLOGY

**Keywords:** military communications technology, methodology, performance indicator, criteria for quantitative evaluation of the effectiveness.

**Abstracts:** this article presents a sequence of actions to solve the problem of developing requirements for a complex object.

Военная техника связи (ВТС) в настоящее время, как правило, является комплексным объектом, состоящим из нескольких отдельных средств связи. Например, комплексная аппаратная связи объединяет в своем составе несколько приемопередатчиков (приемников), коммутационную аппаратуру, специальную аппаратуру и другие элементы техники связи. Кроме того, каждый приемопередатчик в своем составе имеет ряд независимых узлов (блоков), например, приемник, передатчик, согласующее антенное устройство, усилитель мощности и т. д. То же самое можно сказать и о других элементах комплексного объекта связи. Требования к элементам, входящим в состав комплексного объекта ВТС, как правило, должны разрабатываться совместно с требованиями к объекту в целом. Однако, в отдельных случаях имеется возможность обоснования требований к элементам объекта связи после того, как разработаны основные требования к самому объекту связи.

Общая методика решения задачи разработки требований к комплексному объекту связи и к его элементам может быть представлена в следующем виде:

1. Система разбивается на некоторое количество устройств  $n$  таким образом, чтобы технические и эксплуатационно-технические характеристики каждого из них были независимы [1]. То есть, разбиение должно быть произведено так, чтобы изменение какой-либо характеристики  $i$ -го устройства не влекло за собой изменение характеристик всех прочих устройств. Например, характеристики радиорелейной станции прямо не оказывают влияние на характеристики специальной аппаратуры, или изменение мощности передающего устройства не вызывает непосредственно изменения характеристик мультиплексора.

2. Выбирается основной показатель  $R_0$  и критерий для количественной оценки эффективности системы

$$R_0 > (=, <) R_{TP}, \quad (1)$$

показатели  $W_i$  и критерии для количественной оценки эффективности устройств, входящих в систему:

$$W_i > (=, <) W_{iTP}, \quad (2)$$

В качестве таких показателей можно использовать технические показатели (например, скорость передачи) или экономические показатели (например, стоимость выполнения задачи).



требуют применения ЭВМ.

Величины каждого из показателей  $S_{ji}$ , обеспечивающие выполнение заданного критерия эффективности, записываются в тактико-техническое задание на разработку.

9. Тактические, технические и эксплуатационно-технические характеристики системы в целом могут быть найдены из выражения

$$R_0 = \phi_2(Y_1, Y_2, \dots, Y_m), \quad (6)$$

связывающего показатель эффективности с величиной основных характеристик системы  $Y_m$ , где  $m$  – число характеристик системы, с учетом дополнительных связей. Другой путь отыскания указанных характеристик – использование уравнений, устанавливающих связь между определенным показателем системы в целом и аналогичными показателями отдельных устройств. Последним приемом пользуются наиболее часто [1].

Таким образом, указанная методика сводится к комплексному анализу эффективности системы и определению на основе этого анализа показателей всех входящих в эту систему устройств, обеспечивающих требуемую величину эффективности.

Данная методика применима не только для военной техники связи, но и для любых комплексных систем.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Африкантов Н. Н., Ануфриев А. А., Баринов М. А., Барышников Н. В., Зиганшин Р. Г., Журавель П. Н., Захаров А. А., Морозов А. В., Москальонов А. В., Чихачев А. В. Основы надежности средств связи и автоматизации / Под. ред. Р. Г. Зиганшина. – СПб.: ВАС, 2009. – 356 с.

2. Надежность и эффективность в технике: Справочник. В 10 томах // Том 8: Эксплуатация и ремонт / Под ред. В. И. Кузнецова и Е. Ю. Барзиловича. – М.: Машиностроение, 1990. – 320 с.: ил.

3. Чихачев А. В., Заяц С. В., Дорошенко Г. П., Бурлаков А. А., Шашкина Н. Е. Система вооружения и военной техники. – СПб.: ВАС, 2015. – 316 с.

УДК 621.787

*М. Ю. Волкова, Е. В. Егорычева, Т. Д. Торопов*

ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»

#### ЗАВИСИМОСТЬ УДОБСТВА РАБОЧЕЙ СРЕДЫ ОТ ФОРМЫ ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ АЭС

**Ключевые слова:** Безопасность персонала, удобства рабочей среды, эргономика, вредные факторы, антропометрия.

**Аннотация:** Статья посвящена актуальным проблемам расчета и конструирования рабочих мест в атомной промышленности. Охватывает вопросы, связанные с осмыслением и

решением проблем производства психофизиологического характера, рациональной и антропометрически обоснованной организацией рабочего места оператора.

*M. Yu. Volkova, E. V. Egorycheva, E. D. Toropov*

## **ADDICTION FACILITIES THE WORKING ENVIRONMENT OF EQUIPMENT FORM FOR EXAMPLE, THE CONTROLS OF NUCLEAR POWER PLANTS**

**Keywords:** Personnel safety, working environment convenience, ergonomics, harmful factors, anthropometry.

**Abstracts:** The article is devoted to actual problems of calculating and constructing jobs in the nuclear industry. Covers issues related to understanding and solving production problems of a psychophysiological nature, rational and anthropometric-based organization of the operator's workplace.

В атомной сфере безопасность персонала и удобство эксплуатации АЭС главные показатели, которые не только способствуют развитию этой отрасли, но и оказывают влияние на мировую безопасность. К отрицательным показателям безопасности на производстве можно отнести: повышенную утомляемость, потерю производительности, нежелание работать в некомфортной среде и, как следствие – угроза здоровью сотрудников и общей безопасности.

Среди вредных и опасных факторов, возникающих на производстве в структуре АЭС выделяют:

- физические и психофизиологические перегрузки;
- отсутствие или недостаток естественного света;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенная яркость света;
- расположение рабочего места на значительной высоте относительно поверхности земли (пола);

Для понимания этих проблем необходимо рассмотреть зависимость удобства рабочей среды на примере пульта управления АЭС. Необходимость обусловлена важностью этой части производства, как центра, откуда контролируется весь процесс выработки энергии в ядерных реакторах. Персонал, который обслуживает пульт управления, несет ответственность за происходящее на АЭС. Его работоспособность должна держаться на высоком уровне и не снижаться с течением времени, она напрямую зависит от ряда эргономических показателей: комфорта, удобства, т. е. от расположения, досягаемости и формы пульта управления и прочих вспомогательных элементов напрямую связанных с изучением антропометрических особенностей человека.

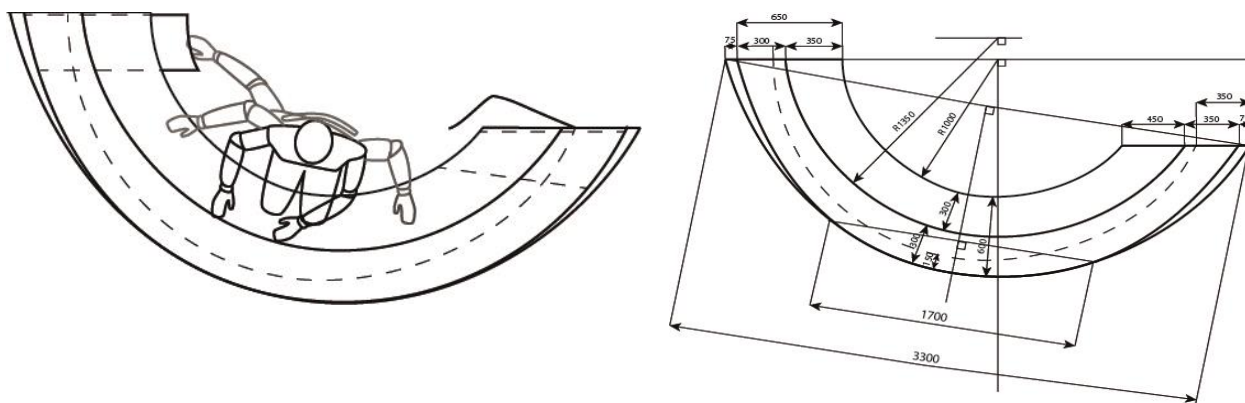
Как известно, эргономика – научная дисциплина, комплексно изучающая человека в процессе его деятельности в определённой искусственной среде. Рассматривать данный вопрос нужно с точки зрения профессионально-специализированных эргономических данных. С этим связаны проблемы надежности, точности и стабильности работы персонала.

Для установления зависимости удобства пульта управления о формы, нужно проанализировать влияние формы геометрических тел на состояние человека, определить доступность элементов управления для каждой формы, учесть антропологиче-

ские данные. На основе полученных результатов, полученной зависимости, предложить возможные наилучшие решения по расположению главного пульта управления в пространстве помещения, сделать наглядную модель рабочего места (рисунок).

Ощущение удобства рабочего места передается через зрительное восприятие и выделение основных структурных особенностей объекта. Сначала воспринимается отношение предметов и пространства.

Затем осваиваются отношения между предметами, затем между деталями предметов. И создается четкое представление о целом. Эта особенность зрительного восприятия используется в проектно-конструкторской деятельности с целью обеспечения целостного восприятия сооружаемых объектов.



**Рисунок.** Пример расположения главного пульта управления в пространстве помещения

Таким образом, сделан вывод:

Любое производство, тем более атомная промышленность, в первую очередь, должны быть безопасными и безвредными для человека. Поэтому требования безопасности необходимо соблюдать на всех стадиях создания и функционирования любых объектов и процессов: при научных исследованиях, технико-экономических обоснованиях, при конструировании, проектировании, производстве и эксплуатации.

Обеспечение производственной безопасности человека в значительной степени зависит от правильной оценки опасных, вредных производственных факторов. Одинаковые по тяжести изменения в организме человека могут быть вызваны различными причинами или совокупностью факторов.

Рациональной и антропометрически обоснованной организацией рабочего места оператора возможно решить ряд вопросов, связанных с нервно-психическими перегрузками к которым относятся: умственное перенапряжение; монотонность труда; эмоциональные перегрузки. А также решить проблемы, относящиеся к психофизиологическим опасным и вредным производственным факторам: физические перегрузки; нервно-психические перегрузки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова М.Ю. Использование информационных систем для повышения образовательного процесса // Материалы международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XIII Бенардосовские чтения) 27-29 мая, 2015 г.: материалы конференции. — Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет. — 2015.— Т.3. — С.381 – 384
2. Волкова М.Ю., Егорычева Е.В., Торопов Т.Д. Использование системы получения и передачи зрительной информации в конструировании машин и механизмов // Надежность и долговечность машин и механизмов: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 г. — Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России».— 2018. – С.48 – 50
3. Волкова М.Ю. Моделирование вычислительного и аналитического проектирования механических систем // Надежность и долговечность машин и механизмов: материалы IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 г. — Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России».— 2018. – С.51 – 53

УДК 621.787

*М. Ю. Волкова*

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## ИНСТРУМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО И АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

**Ключевые слова:** Параметрическое моделирование, геометрические соотношения, программное обеспечение, визуализация, схемы построения.

**Аннотация:** Статья посвящена методикам вычислительного проектирования таким как параметрическое моделирование, параметрика, параметризм. Выполнение таких визуализации может быть использовано в различных областях жизнедеятельности человека, в том числе для прогнозирования чрезвычайных ситуаций.

*M. Yu. Volkova*

## MODELING OF COMPUTATIONAL AND ANALYTICAL DESIGN OF MECHANICAL SYSTEMS

**Keywords:** Parametric modeling, geometric relationships, software, visualization, construction schemes.

**Abstracts:** The article is devoted to the methods of computational design such as parametric modeling, parametrics, parametrism. The implementation of such visualization can be used in various areas of human activity, including for forecasting emergencies.

Одна из актуальных проблем расчета и конструирования машин и механизмов связана с необходимостью анализа больших пространств с целью определения возможных точек заторов при скоплении людей.

В проектировании это отличный способ анализа пространств в методике вычислительного проектирования или же, как его называют, параметрического моделирования.

Инструменты вычислительного моделирования в проектировании становятся одними из элементов комплексного подхода при решении ряда задач, в которых используются габариты отдельных моделей и соотношения между ними. Параметризация позволяет с помощью инструментов вычислительного и аналитического моделирования в проектировании объектов и последовательного изменения размеров или геометрических соотношений в процессе исследований выбрать оптимальное решение. Использование вычислительного и аналитического моделирования дает возможность закладывать в процесс проектирования большой объем данных и ограничений. В результате получается проект, максимально учитывающий факторы, которые сложно проанализировать традиционными методами. Параметрические методы позволяют разрабатывать различные ситуации в реальном времени с самыми актуальными данными, с использованием изменяющихся параметров.

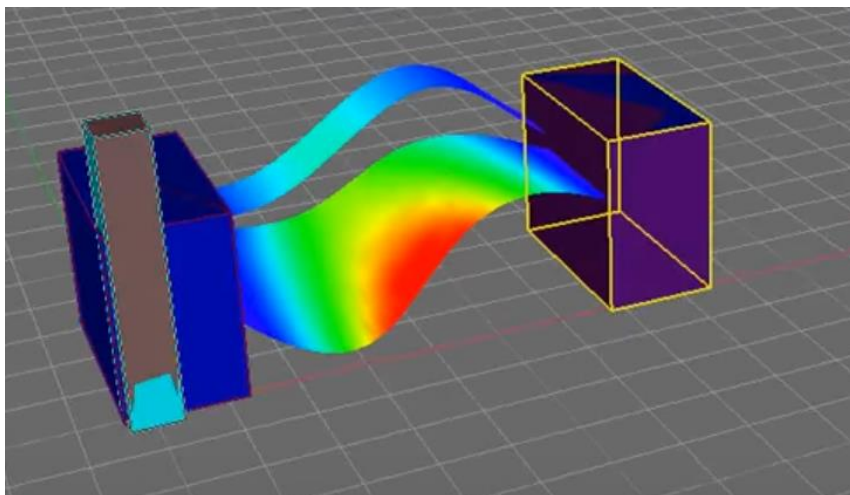
Безусловно, многие задачи проектирования в настоящее время можно решить с программой 3d-графики и 3d-анимации. В результате проведенного исследования выявлено, что такое моделирование позволяет решить множество задач, которые либо очень трудоемки при использовании традиционного проектирования, либо не решаемы. С расширением задач безопасности, поставленных обществом, аналитическое моделирование становится уникальным и незаменимым как в проектировании, так и в вычислительном моделировании.

Одним из востребованных стал Millipede – это плагин, который позволяет рассчитывать нагрузки в сложных конструктивных формах. Он помогает выполнять тепловые визуализации внутреннего напряжения поверхности при проектировании (рис. 1). С помощью этого инструмента можно выявить самые слабые места в конструкции, которые требуют усиления и избежать опасных ситуаций. С учетом того, что поведение человека в критических ситуациях не может быть абсолютно предсказуемо по эмоциональным причинам, плагин SMART Move Viz помогает при моделировании толпы. Он позволяет визуализировать поток людей в местах, охватывающих большие городские пространства, а также смоделировать траекторию движения и определить возможные точки заторов при скоплении людей (рис. 2).

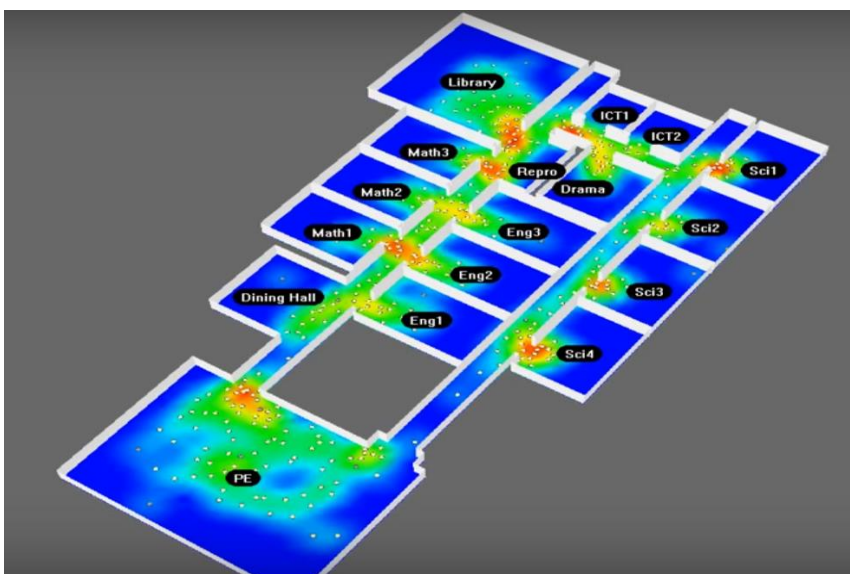
Исходя из полученных данных как способа анализа пространств, можно влиять на планировочные структуры и получать наиболее удобные и рациональные варианты.

В результате исследований выявлено, что инструменты вычислительного и аналитического моделирования для проектирования современных объектов позволяют, при необходимости, правильно и с большой степенью визуализации провести оценку опасных, вредных факторов. Следовательно, принять верное решение на стадии разработки.





**Рис. 1.** Тепловая визуализация внутреннего напряжения поверхности



**Рис. 2.** Тепловой анализ траектории движения толпы

Развитие современных методов параметрического анализа становится фундаментальным условием для решения проектных задач. Такой способ благодаря программному обеспечению, например Rhinoceros, а также плагинов SMART Move и Viz Millipede позволяет решать большой спектр вопросов, связанных с обеспечением безопасности людей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волкова М.Ю. Исследование современных технологий для улучшения качества образовательного процесса // Состояние и перспективы развития электротехнологии (XVII Бенардосовские чтения). – Иваново, 2013 г., том 3, (С.282-285).
2. Волкова М.Ю. Использование информационных систем для повышения образовательного процесса // Материалы международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XIII Бенардосовские чтения) 27-29 мая, 2015 г.: материалы конференции. – Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет. – 2015.– Т.3. – С.381 – 384.
3. Волкова М.Ю. Информационные технологии в образовательном процессе // Информационная среда вуза. Материалы XXII Международной научно-технической конференции: материалы конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет». Издательский центр ДИВТ ИПК «Пресс Сто». – 2015. – С.41 –43

УДК 658.512.26

***С. В. Воронин***

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ КОНСТРУКТИВНОЙ ОРГАНИЗОВАННОСТИ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Ключевые слова:** образец, сложность, показатель, информация, организованность, конструктивность.

**Аннотация:** Рассматривается один из способов вычисления показателя конструктивной организованности через количество составных частей в изделии и связи между ними. Предложенный способ может использоваться для определения технического уровня разрабатываемых образцов техники.

*S. V. Voronin*

## **DETERMINATION OF THE VALUE OF THE STRUCTURAL ORGANIZATION OF THE DEVELOPED PRODUCTS**

**Keywords:** sample, complexity, indicator, information, organization, constructiveness.

**Abstracts:** we Consider one of the ways of calculating the index of constructive organization through the number of components in the product and the relationship between them. The proposed method can be used to determine the technical level of the developed samples of equipment.

При определении этапов подготовки производства необходимо оперативно производить оценку конструктивной сложности проектируемого образца. Она нужна для расчета стоимости разработки [1], учета трудовых и материальных затрат проектировщиков (разработчиков), выявления уровня технологичности изделия.

Существуют различные варианты разукрупнения изделий. Некоторые подходы предлагают оценивать их сложность по количеству и составу уровней разукрупнения. Структурное дробление конструкции изделия охранно-пожарной сигнализации, имеющего достаточное число соединительных линий от них до охранных и пожарных извещателей, по горизонтали и вертикали, зависит от принятого разработчиком способа разделения составных частей на каждом иерархическом уровне, предполагающем, что базовые (несущие) уровни (0 и 1) самые универсальные, а их составные части, мало зависят от выполнения изделием своих функций по назначению [2]. Следующие уровни – более специализированные. Число уровней разукрупнения определит его конструктивную сложность.

Показатель конструктивной сложности в этом случае должен удовлетворять следующим требованиям:

- универсальности, т.е. возможности использовать предложенный метод оценки к различным видам объектов, входящим в них элементов, независимо от способа их изготовления;

- объективности – численные значения характеристик должны определяться через их элементы;

- достоверности, т.е. он в реальности должен отражать сложность и основные свойства образца.

В некоторых работах количественную оценку данного показателя определяют на основе статистической информации путем построения корреляционных соотношений, в других - способом анализа трехмерной модели изделия без ее привлечения.

С учетом этого предлагается коэффициент конструктивной сложности представлять в виде количества информации об объекте:

$$K_{\text{сл}} = \frac{k \cdot \ln(N)!}{N}, \quad (1)$$

где  $k$  - постоянный коэффициент ( $k = 1,44$ );

$N$  - число составных частей в устройстве.

Так же при анализе сложного объекта необходимо рассматривать его структуру - количество составных частей и связи между ними.

Поэтому необходимо дополнительно ввести еще один коэффициент  $K_c$ , определяемый как:

$$K_c = \frac{M}{N}, \quad (2)$$

где  $M$  - количество связей в образце, характеризующие потоки информации, энергии, управления и взаимодействия (в случае составления диагностической программы также потоки при коротком замыкании и обрыве цепи).

Тогда показатель конструктивной организованности может быть выражен следующим соотношением:

$$K_{\text{орг}} = K_{\text{сл}} \cdot K_c. \quad (3)$$

Для проверки работоспособности проведён расчёт абстрактного прибора охранно-пожарной сигнализации. Проведенный анализ структурной, принципиальной схем, принципа действия, технических решений показал, что  $N = 30$ , а  $M = 54$ .

Тогда согласно выражений (1) и (2)  $K_{\text{сл}} = \frac{1,44 \cdot \ln(30)!}{30} = 0,487$ , а  $K_c = \frac{54}{30} = 1,80$ . В итоге окончательное значение будет равно  $K_{\text{орг}} = 0,487 \cdot 1,80 = 0,876$ .

Таким образом, применение методологического аппарата сложных технических систем к приборам охранно-пожарной сигнализации позволил ввести понятие конструктивной организованности [3].

Предложенный способ определения показателя конструктивной организованности является достаточно простым и универсальным. Вместе с другими характеристиками он может быть использован для определения технического уровня разрабатываемых образцов техники.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронин С.В., Скрипник И.Л., Каверзнева Т.Т. Подходы к определению новой стоимости образца пожарной техники // Научно-аналитический журнал. «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». № 2 (2018) – 2018, с. 128-134.
2. О.А. Рыбин, И.Л. Скрипник, С.В. Воронин. Подходы к методологии создания современных образцов пожарной техники // Научно-аналитический журнал. «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». № 4 (2017) – 2017, с. 133-137.
3. Бардулин Е.Н., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Подходы к созданию современных приборов приемно-контрольных пожарных // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере, № 2 (46)-2018, с. 105-110.

УДК 519.816

***С. В. Воронин***

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

### **ПРЕДСТАВЛЕНИЕ НОВЫХ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ ЧЕРЕЗ ТЕОРИЮ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Ключевые слова:** система, свойство, признак, теория, сложность, уровень, изделие.

**Аннотация:** Рассмотрены понятие, свойства, признаки сложных технических систем (СТС). Показано, что разработка нового изделия, представленная различными уровнями разукрупнения, может быть описана положениями СТС.

***S. V. Voronin***

### **PRESENTATION OF NEW PRODUCTS UNDER DEVELOPMENT THROUGH THE THEORY OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS**

**Keywords:** system, property, feature, theory, complexity, level, product.

**Abstract:** the concept, properties, features of complex technical systems (STS) are Considered. It is shown that the development of a new product, represented by different levels of disaggregation, can be described by the provisions of the its.

В настоящее время существует много определений сложных технических систем (СТС). Например, СТС называют такие системы, состоящие из большого количества элементов, функционирование которых трудно описать из-за множественных взаимосвязей между ними и взаимодействия данной системы с окружающей средой. Они характеризуются следующими специальными свойствами: нелинейность, гетерогенность, неопределенность, адаптивность (элементы СТС находятся в состояниях, определяемое суммой их энтропий), самоорганизованность (способность изменять свои свойства и возвращаться в устойчивое состояние в результате внешних воздействий), интеллект, целостность (способность сохранять свои системные свойства), многомерность, многосвязность, многокритериальность, иерархичность и др.

Сложность технического объекта описывается следующими признаками:

- наличием большого числа элементов, имеющих древовидную структуру; целенаправленного воздействия как по горизонтали, так и по вертикали; связи с окружающей средой при воздействии случайных факторов;
- выполнением количества числа разных функций, описываемых в явной и неявной формах, часто не поддающиеся формализации, когда изменение одних переменных влечет за собой изменение других;
- возможностью деления вышестоящей системы на ее составляющие, подчинённые единой задачи функционирования; стремлением к главной цели по выработке оптимальных решений на основе критериев эффективности;
- присутствием элементов автоматизации, базирующихся на различных математических методах и языках программирования.

СТС используют во многих предметных областях, поэтому для них выделяют общие и специальные характеристики. В изучение СТС одну из главных ролей играет структурный анализ и моделирование. Эта теория рассматривает факторы, влияющие и создающие сложность системы и приводящие к понятию распределенная система, которая связана с понятием сети или сетевой системы.

Сложность как отношение между системой и внешней средой некоторыми учеными трактуется как неограниченное количество возможностей, которые угрожают системе. СТС структурно описывают один объект. Она более устойчивая и предсказуемая по сравнению с сетью.

Отражение внутренних свойств СТС может представляться в виде иерархичной структуры и разукрупнения элементов, которые затем объединяются в классы, называемые уровнями разукрупнения [1]. Вопрос разукрупнения разрабатываемого образца обычно заказчиком не обсуждается, а рассматривается со стороны разработчика, в следствие того, что в процессе решения практической задачи ему необходимо решать вопросы о числе уровней будущего изделия. Однако, возникают ситуации, при которых заинтересованность заказчика становится очевидной. Это происходит в следующих случаях:

- сложные технические изделия, эксплуатируемые человеком, требуют разделения его на составные части, в зависимости от возможностей и способностей обслуживающего персонала, так называемая эргономическая составляющая;
- разукрупнение способствует проведению работы в сжатые сроки, используя параллельный метод, что существенно при вводе в эксплуатацию новых образцов техники [2];
- детальное, формализованное представление основных, вспомогательных, главных, второстепенных функций изделия позволяет определить излишние, требующие больших денежных средств на их реализацию (например, используя давно апробированный аппарат различных морфологических методов проектирования: функций, дерева целей, функционально-стоимостного анализа и др.) [3].

Таким образом, в вопросах разработки изделий нового поколения, основанных на передовых физических принципах действия [4], технических решениях необходимо руководствоваться основными положениями теории СТС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т. Особенности модификации процедур морфологического анализа технических систем // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере, № 1 (45)-2018, с. 112-121.
2. О.А. Рыбин, И.Л. Скрипник, С.В. Воронин. Подходы к методологии создания современных образцов пожарной техники // Научно-аналитический журнал. «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». № 4 (2017) – 2017, с. 133-137.
3. Бардулин Е.Н., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Подходы к созданию современных приборов приемно-контрольных пожарных // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере, № 2 (46)-2018, с. 105-110.
4. О.А. Рыбин, И.Л. Скрипник, С.В. Воронин. Подходы к методологии создания современных образцов пожарной техники // Научно-аналитический журнал. «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». № 4 (2017) – 2017, с. 133-137.

УДК 624.26

*С. А. Гарелина, М. Г. Данилов, К. П. Латышенко*  
ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России»

### ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТММ 3 С ОПИРАНИЕМ НА ОБРУШЕННЫЙ ПРОЛЕТ МОСТА

**Ключевые слова:** обрушение моста, пролет, мост, ТММ 3, тяжелый механизированный мост, ликвидация ЧС.

**Аннотация.** В работе проведен проверочный расчет на возможность использования тяжелого механизированного моста ТММ 3 с его опиранием на обрушенный пролет моста. Проведенный расчет позволяет сделать вывод об эффективности предложенного решения, позволяющего расширить возможности применения ТММ 3 для устройства мостовых переходов через преграды глубиной более 3 м.

*S. A. Garelina, M. G. Danilov, K. P. Latyshenko*

### TO ASSESS THE POSSIBILITY OF USING TMM 3 RESTING ON COLLAPSED BRIDGE SPAN

**Keywords:** the collapse of the bridge, span, bridge, TMM 3, heavy mechanized bridge, emergency response.

**Annotation.** In the work, a verification calculation was carried out for the possibility of using a mechanized bridge TMM 3 with its support on the circumferential span of the bridge. The calculation allows us to conclude about the effectiveness of the proposed solution, which allows to expand the possibility of using TMM 3 for the device of bridge crossings over obstacles with a depth of more than 3 m.

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы, посвященной расширению возможностей использования тяжелого механизированного моста ТММ 3, перед авторами была поставлена задача по оценке изгибной прочности обрушенного пролета моста в случае опирания на него ТММ 3.

ТММ 3 – тяжелый механизированный мост (рис. 1, 2), предназначенный для устройства мостовых переходов через преграды глубиной до 3 м [1]. Длина одного мостового блока составляет 10,5 м.

На рис. 3 представлен ТММ 3, выполненный из двух мостовых блоков и опирающийся на обрушенный пролет моста. Если принять длину  $l$ , равную 20 м, то максимальная глубина препятствия  $h = l \sin(\arctg 0,3)$ , позволяющая использовать ТММ 3, вместо возможных 3 м составляет около 6 м.

На рис. 3 показаны силы, действующие на обрушенное полотно 2. На рис. 4 приведена расчетная схема несущей балки обрушенного полотна моста, где  $\vec{N}_1$  и  $\vec{N}_2$  – реакции опор;  $\vec{P}$  – вес ТММ 3 и машины, передвигающейся по нему.



Рис. 1. ТММ 3



Рис. 2. Отремонтированный ТММ 3 мост

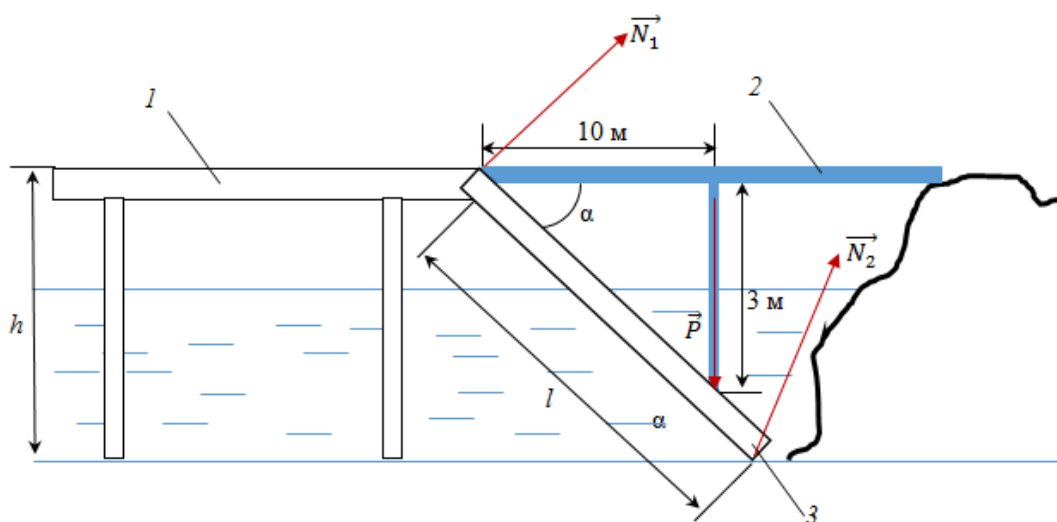


Рис. 3. Предложения по использованию ТММ 3: 1 – мост; 2 – ТММ3; 3 – обрушенный пролет

На рис. 5 приведена эпюра изгибающих моментов для расчетной схемы рис. 4. С учетом того, что для определенности  $l_1 = l_2 = 10$  м, получим, максимальный изгибающий момент  $5P$ . С учетом того, что масса одного пролета ТММ 3 составляет 10 т, а масса машины 15 т,  $P = 9,8(2 \cdot 10 + 15) = 343$  кН. При этом максимальный момент будет равен 1720 кНм.

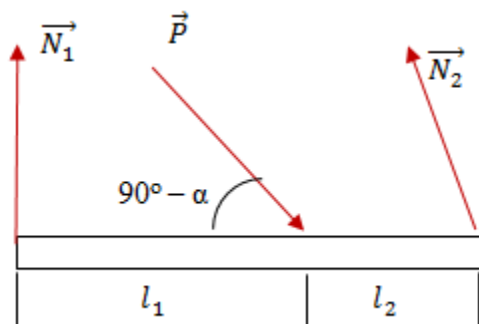


Рис. 4. Расчетная схема несущей балки обрушенного пролета моста

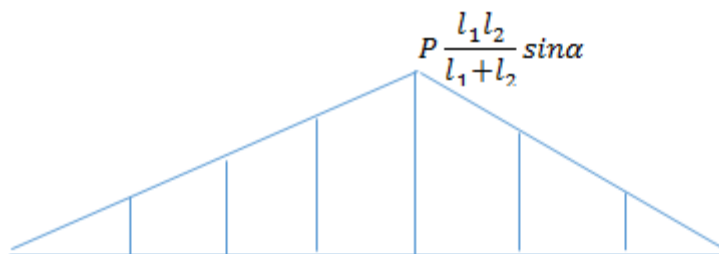


Рис. 5. Эпюра изгибающих моментов для расчетной схемы рис. 4

Определим максимальный момент, который действует на несущую балку пролета моста из бетона длиной 20 м (рис. 6). Вес такого пролета моста с учетом того, что его ширина равна 3 м, высота – 0,3 м и плотность бетона – 2,5 т/м<sup>3</sup>, составит 45 т. Для определенности примем, что на пролете располагаются одновременно две машины массой по 15 т. Таким образом,  $q = 37,5$  кН/м.

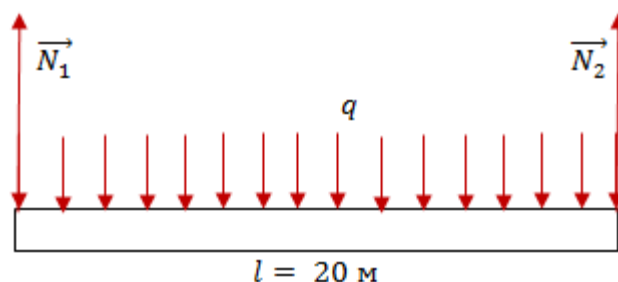


Рис. 6. Схема нагружения пролета моста

Для такой схемы нагружения максимальный изгибающий момент составит  $ql^2/8 = 1880$  кН·м.

Таким образом, расчеты показывают, что данное решение, заключающееся в опирании механизированного моста ТММ 3 на обрушенный пролет моста, обеспечивает работоспособное состояние моста при расчете на изгибную прочность. Это позволяет сделать вывод о возможности предложенного применения ТММ 3, позволяющего устраивать мостовые переходы для преград с глубиной, превышающей 3 м.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническое описание «Тяжелый механизированный мост ТММ 3».



УДК 347.777

*М. В. Гомонай*

ФГБВОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России

## **ПАТЕНТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ОЦЕНКИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ НОВЫХ РАЗРАБОТОК В ОБЛАСТИ СОЗДАНИЯ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ**

**Ключевые слова:** аварийно-спасательная техника, оценка научно-технического уровня, разработка, патентные исследования, новая техника, этапы создания.

**Аннотация:** в статье приводятся основные положения по проведению патентных исследований, указываются этапы и сроки разработки новой аварийно-спасательной техники

*M. V. Gomonay*

## **PATENT RESEARCH AS A TOOL FOR THE ASSESSMENT OF SCIENTIFIC AND TECHNICAL LEVEL OF NEW DEVELOPMENTS IN THE FIELD OF CREATION OF EMERGENCY RESCUE EQUIPMENT**

**Keywords:** rescue equipment, assessment of scientific and technical level, development, patent research, new equipment, stages of creation.

**Abstract:** the article presents the main provisions for patent research, the stages and terms of development of new rescue equipment.

Современное развития производства и новых технологий невозможно без использования результатов интеллектуальной деятельности (РИД) как основного источника развития науки и техники, обеспечения конкурентных преимуществ компаний и повышение их капитализации. Формирование портфеля интеллектуальной собственности одна из важнейших стратегических задач, требующая проведения предварительного патентного исследования на предмет выявить наиболее перспективные направление коммерциализации разработок. При этом недостаточно использовать только конъюнктурную, рыночную информацию. Патентная информация в последнее время становится мощным орудием маркетинговых исследований и позволяет компаниям получить упреждающую информацию, определяющую развитие данной области техники на перспективу.

Патентная информация это специфический вид научно-технической информации, содержащий сведения технического, правового и экономического характера. Основные преимущества патентной информации – четкая структура, зафиксированная в международных и национальных стандартах в области интеллектуальной деятельности.

Патентные исследования проводятся в соответствии с требованиям [1-2,4] на основе анализа источников патентной информации с привлечением и других видов информации, содержащих сведения о последних научно-технических достижениях.

Вид и объем источников научно-технической информации зависит от объекта и задачи исследований.

Цель патентного исследования это разработка стратегии для определения наиболее перспективных направлений деятельности; минимизация риска связанного с возможностью дублирования уже существующих разработок; определение патентоспособности разрабатываемого объекта, получение информации о возможности приобретения уже запатентованного решения; выявление нарушений прав патентообладателей.

В настоящее время большинство компаний начинают рассматривать развитие интеллектуальной деятельности и защита ее результатов со стратегической точки зрения как возможность развития, завоевания новых сегментов рынка на долгосрочной основе. На развитие интеллектуальной деятельности оказывает и влияние отсутствие достаточного количества специалистов в этой области. Государство должно быть заинтересовано в подготовке и повышении квалификации кадров в сфере интеллектуальной деятельности.

Патентные исследования согласно стандарта [4] относятся к прикладным НИР и необходимы для принятия обоснованных технических решений, связанных с созданием или совершенствованием аварийно-спасательной техники ее изготовлением и реализацией. Патентные исследования могут проводиться как в виде самостоятельных НИР, так и в составе других научно-конструкторских работ. Патентные исследования проводятся на всех этапах НИР.

В соответствии с [4,6] исследование патентной чистоты является одним из основных видов патентных исследований. Патентная чистота- юридическое свойство объекта, заключающееся в том, что он не нарушает действующих в данной стране исключительных прав на интеллектуальную (в том числе промышленную) собственность, принадлежащую третьим лицам, и может быть свободно реализован в этой стране.

Обеспечение и проверка патентной чистоты объектов производится в таких случаях: выполнение прикладных НИР, результатом которых является конкретное техническое решение, для использования в дальнейших разработках; выполнение конструкторских, технологических и других видов разработок объектов; поставка продукции на экспорт, продажа лицензий, передача технической документации; оказание услуг; экспонирование продукции и технологий на выставках и ярмарках всех видов в России и за рубежом; проведение работ, связанных с экологической безопасностью и охраной окружающей среды; разработка новых и пересмотр существующих технических регламентов, стандартов.

Экспертизе на патентную чистоту должны подвергаться НИР [3], если их результатом является конкретное техническое решение, на основе которого предполагается разработать какое-либо устройство, способ, технологию и пр.

Патентные исследования могут проводить: исполнитель НИР, разработчик (проектировщик), изготовитель (поставщик), и другие хозяйствующие субъекты. Патентные исследования проводятся на всех стадиях жизненного цикла объекта техники, что характеризует системный подход к управлению созданием конкурентоспособной продукции. Этапы разработки новой техники: должна быть задача, для чего нужна техника; разрабатываются технические решения (варианты) задачи и выбирается оптимальное решение с технико-экономическим обоснованием выбранных параметров и функций объекта, с определением уровня унификации и стандартизации.

Далее производится разработка конструкторской документации на объект, его изготовление и испытание с последующей корректировкой документации. Разработка документации сопровождается расчетно-пояснительными материалами, кроме этого может изготавливаться макетный или экспериментальный образец. Для выполнения указанных этапов требуется в области создания аварийно-спасательной техники в среднем 4-5 лет.

Практика выявления изобретений в проектно-конструкторских технологических разработках показывает, что наибольшее число изобретений создается на стадии технического проекта - 40% от общего числа, на стадии рабочего проектирования может быть выявлено до 25% новых технических решений.

В общем случае патентные исследования могут включать (содержать) следующее:

- исследование технического уровня объектов хозяйственной деятельности, выявление тенденций, обоснование прогноза их развития;
- исследование состояния рынков данной продукции, сложившейся патентной ситуации, характера национального производства в странах исследования;
- исследование требований потребителей к продукции и услугам;
- исследование направлений научно-исследовательской и производственной деятельности организаций и фирм, которые действуют или могут действовать на рынке исследуемой продукции;
- анализ коммерческой деятельности, включая лицензионную деятельность разработчиков, производителей (поставщиков) продукции и фирм, предоставляющих услуги, их патентной политики для выявления конкурентов, потенциальных контрагентов, лицензиаров и лицензиатов, партнеров по сотрудничеству;
- выявление торговых марок (товарных знаков), используемых фирмой-конкурентом;
- анализ деятельности хозяйствующего субъекта, выбор оптимальных направлений развития его научно-технической, производственной и коммерческой деятельности, патентной и технической политики и обоснование мероприятий по их реализации;
- обоснование конкретных требований по совершенствованию существующей и созданию новой продукции и технологии, а также организации выполнения услуг;
- обоснование конкретных требований по обеспечению эффективности применения и конкурентоспособности продукции и услуг; обоснование проведения необходимых для этого работ и требований к их результатам;
- технико-экономический анализ и обоснование выбора технических, художественно-конструкторских решений (из числа известных объектов промышленной собственности), отвечающих требованиям создания новых и совершенствования существующих объектов техники и услуг;
- выявление технических, художественно-конструкторских, программных и других решений, созданных в процессе выполнения НИР и ОКР с целью отнесения их к охраноспособным объектам интеллектуальной собственности, в том числе промышленной;
- обоснование целесообразности правовой охраны объектов интеллектуальной собственности (в том числе промышленной) в стране и за рубежом
- исследование патентной чистоты объектов техники (экспертиза объектов техники на патентную чистоту, обоснование мер по обеспечению их патентной чи-

стоты и беспрепятственному производству и реализации объектов техники в стране и за рубежом);

- анализ конкурентоспособности объектов хозяйственной деятельности, эффективности их использования по назначению, соответствия тенденциям и прогнозу развития;

- выявление и отбор объектов лицензий и услуг типа инжиниринг;

- исследование условий реализации объектов хозяйственной деятельности, обоснование мер по их оптимизации;

- обоснование целесообразности и форм проведения в стране и за рубежом коммерческих мероприятий по реализации объектов хозяйственной деятельности, по закупке и продаже лицензий, оборудования, сырья, комплектующих изделий и т.д.;

- разработка рекомендаций по использованию товарных знаков при осуществлении коммерческой деятельности;

- проведение других работ, отвечающих интересам хозяйствующих субъектов.

Конкретное содержание патентных исследований определяют в зависимости от характера проводимой работы, стадий жизненного цикла и этапов работ.

На основании материалов отчета о патентных исследованиях разрабатывается патентный формуляр на объект по ГОСТ 15.012. Патентный формуляр является документом определяющим состояние объекта в отношении охраны промышленной собственности (изобретения, полезные модели, промышленные образцы, товарные знаки и др.) и входит в состав технической документации на разработанный объект. Отчет о патентных исследованиях оформляется согласно требованиям стандарта [5].

Использование результатов отчетов патентных исследований при принятии стратегических решений в сфере научных исследований и разработок на всех стадиях жизненного цикла инновации позволяет минимизировать как производственные так и судебные издержки, избежать неэффективных затрат на НИОКР, разработать прорывную технологию и успешно ее коммерциализировать, завоевать рынки сбыта и повысить свою конкурентоспособность. Беспрепятственная реализация продукции обеспечивается ее патентной чистотой, новизной и безопасностью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гражданский кодекс РФ, часть 4, редакция от 03.08.2018г.
2. Патентный закон РФ №3517-1 в редакции от 07.02.2018г.
3. ГОСТ 15.101-98 с изменениями от 12.09.2018г. «Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ».
4. ГОСТ Р 15.011-96 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения».
5. ГОСТ 7.32-2017 «Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления» с изменениями от 12.09.2018г.
6. Шведова В.В. Исследование патентной чистоты объекта. Изд-во «Патент», М.:2015-214с.

УДК 699.058

*А. Р. Горев, В. А. Смирнов*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ

**Ключевые слова:** система обеспечения пожарной безопасности, угроза жизни, новые конструкции, научно-технический прогресс, компрессионная пена, компактная часть струи, тушение, экономический эффект.

**Аннотация:** в текущее время в стране активно ведется работа по созданию многофункциональных моделей пожарных автомобилей, пожарно-технических автомобилей с модульно-контейнерной компоновкой, высотно-спасательных машин с компонентами пожаротушения. Особое внимание в статье уделено использованию компрессионной пены.

*A. R. Gorev, V. A. Smirnov*

## THE ECONOMIC EFFECT OF THE USE OF A COMPRESSION FOAM

**Keywords:** fire safety system, threat to life, new designs, scientific and technical progress, compression foam, compact part of the jet, extinguishing, economic effect.

**Abstracts:** currently, the country is actively working on the creation of multi-functional models of fire trucks, fire-technical vehicles with modular container layout, high-altitude rescue vehicles with fire extinguishing components. Particular attention is paid to the use of compression foam.

Защищенность личности, материальных и культурных ценностей нашего общества от пожаров согласно действующему законодательству Российской Федерации рассматривается как элемент национальной безопасности и одна из важнейших функций государства.

Общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в РФ определяет Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности», регулирующий отношения между органами государственной власти, органами местного самоуправления, юридическими лицами независимо от организационно-правовых форм и видов собственности, а также между общественными объединениями, должностными лицами, гражданами РФ, иностранными гражданами, лицами без гражданства [0].

Обеспечение пожарной безопасности является одной из важнейших функций государства. Основным видом пожарной охраны в стране является Государственная противопожарная служба (ГПС), наделенная полномочиями федерального надзора и являющаяся центральным звеном системы обеспечения пожарной безопасности в РФ.

Система обеспечения пожарной безопасности – это совокупность сил и средств, а также мер правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на борьбу с пожарами.

Развитие современного общества влечёт за собой появление новых угроз жизни и здоровью человека. Ежедневно по различным причинам в мире происходят десятки тысяч пожаров, которые причиняют большой вред природе и обществу, так как при

пожарах гибнут и травмируются люди, уничтожаются материальные и духовные ценности, ухудшается качество среды обитания и окружающей среды.

При поддержке МЧС России, в текущее время в стране активно ведется работа по созданию многофункциональных моделей пожарных автомобилей, пожарно-технических автомобилей с модульно-контейнерной компоновкой, высотно-спасательных машин с компонентами пожаротушения. Разрабатываются изделия, предназначенные для защиты и спасения людей на пожарах.

Разработка новых конструкций и совершенствование существующих пожарных автомобилей ведется на основе единого, научно обоснованного типажа, которым охватывается основной перечень машин, необходимых пожарной охране на данном этапе научно-технического прогресса.

На данный момент еще не пропала проблема по снижению среднего времени оперативного реагирования подразделений на тушения пожара и следования в труднодоступных проездных местах.

МЧС России получило в свое распоряжение новое оружие в борьбе с бытовыми, техногенными и лесными пожарами, такое как компрессионная пена. Новая технология обеспечивает формирование однородной мелкоструктурной пены низкой кратности с гарантированным отсутствием в ней остаточной жидкой фазы водного раствора пенообразователя. Благодаря этой особенности пена обладает повышенной адгезией и уникальными механическими свойствами, что позволяет в процессе тушения формировать плотный барьер, препятствуя доступу кислорода к очагу пожара и обеспечивая экранирование тепловой энергии. При этом высокая эффективность тушения достигается при низкой интенсивности орошения.

Немаловажно, что данная технология позволяет построить полностью энерго-независимую установку, обеспечивающую тушение пожара в течение расчетного времени без подвода к ней какой-либо энергии. Благодаря отсутствию остаточной жидкой фракции раствора пенообразователя пена обладает низкой электрической проводимостью, что снижает опасность поражения током персонала и пожарных расчетов и не приводит при тушении к дополнительным авариям не отключенного электрооборудования.

Современная технология устраняет большинство недостатков традиционной пены, позволяя эффективнее и быстрее производить тушение пожара.

Научная новизна заключается в разработке рекомендаций по определению оптимального расположения ствольщика при выполнении им задач по тушению пожара с использованием автомобилей, оснащенных установками подачи компрессионной пены. Однако тактические возможности подразделений пожарной охраны очень ограничены ввиду отсутствия в гарнизонах в необходимом количестве современных образцов техники, и как следствие невозможностью на практике регулярно отрабатывать и совершенствовать тактико-технические действия при работе с автомобилями, способными подавать компрессионную пену. Данные обстоятельства крайне затрудняют возможность определения ключевого аспекта при осуществлении подразделениями задач по прямому назначению, такого как занимаемая ствольщиком позиция и расстояние до границы площади пожара.

Объектом исследования является компрессионная пена.

Предметом исследования выступает компактная часть струи.

Актуальность моей выпускной квалификационной работы заключается в том, что для эффективной борьбы с пожарами необходимо разрабатывать и создавать

принципиально новую пожарную технику, основным критерием которой является многофункциональность и эффективность, но при этом должны учитываться как требования к эргономике и дизайну, так и возможности для «маневра» лицами, осуществляющими непосредственно действия по тушению пожаров, например ствольщика, выполняющего задание на позиции при пожаре, при этом лишь преумножая возможности такого технологически ёмкого комплекса, как пожарный автомобиль, предназначенного для решения целого ряда самых сложных функциональных задач.

Целью работы является проведение анализа применения автомобилей пенного тушения и разработка предложений по улучшению как их тактико-технических характеристик за счет расширения функциональности пожарного автомобиля, расширения тактических возможностей отделения при работе на специальном автомобиле, так и нахождения оптимального расстояния позиции ствольщика до фронта распространения пламени (границы площади пожара).

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить свойства и принцип действия компрессионной пены, провести сравнение компрессионной пены с воздушно-механической пеной и водой;
- проанализировать применение автомобилей пенного тушения подразделениями пожарной охраны;
- разработать алгоритм расчета оценки динамики распространения теплового потока и коэффициента облученности в зависимости от расстояния ствольщика до границы площади пожара.

Тушение компрессионной пеной NATISK – не является высокочувствительным, т.к. дозирование пенообразователя осуществляется в очень небольшом объеме: от 0,2 до 1 %. Например, если пожарное подразделение при обычном тушении затратило в 2018 году 150000 литров воды, то затраты на пенообразователь при полном переходе на NATISK в 2019 году составят не более 35000 рублей, что несравнимо со стоимостью пожарного автомобиля.

Водопотери при этом уменьшатся до 30000 литров в год, при тушении аналогичного к 2018 году объема возгораний.

А 5-7-кратное уменьшение воды минимизирует ущерб зданиям от проливов, который зачастую многократно превышает ущерб, нанесенный самим пожаром.

1. Быстрый сбив пламени и снижение температуры. Сокращение времени тушения пожара в 5-7 раз (на 500-700%).

2. Снижение расхода воды в 5-15 раз (на 500-1500%) за счет сокращения времени работы ствола.

Обосновывая экономическую эффективность применения компрессионной пены взят пример расчета потребности сил и средств при тушении условного пожара с розливом горючей жидкости. Результаты проведенных расчетов отражены в таблице 2. Стоимость пенообразователя общего назначения ПО-6ТС широко используемого подразделениями пожарной охраны составляет 57200 руб/тонна, стоимость пенообразователя для получения компрессионной пены 109000 руб/тонна. При сравнении двух пенообразователей можем заметить разницу в цене, однако при проведении расчетов с учетом расхода и интенсивности подачи огнетушащих веществ, имеем ощутимый экономический эффект при применении компрессионной пены.

*Таблица. Результаты расчетов потребности сил и средств при тушении условного пожара (розлива ГЖ)*

Показатели	Тушение пожара с применением пены средней кратности	Тушение пожара с применением компрессионной пены
Площадь пожара	300	300
Интенсивность подачи огнетушащих веществ	0,05	0,028
Требуемый расход на тушение пожара л/с	15	8,4
Фактический расход на тушение пожара л/с		
- по раствору	18	9
- по пенообразователю	1,08	0,27
- по воде (при расчетном тушении 10 мин)	16,92 (10152)	8,73 (5238)
Объем пенообразователя, л	648	162
Экономические затраты по пенообразователю	37065,6	17658,0

Соответственно годовой экономический эффект можно выразить следующей формулой [4]:

$$\mathcal{E}=(\Delta Y+\Delta C)\times E_H \quad (1)$$

$$\Delta Y=(Y_1-Y_2)\times K \quad (2)$$

$$\Delta C=(C_1-C_2)\times K\times C \quad (3)$$

где  $\Delta Y$  – экономическая выгода по пенообразователю;  $\Delta C$  – экономическая выгода по воде;  $K$  – коэффициент прогнозируемого использования в год

$C$  – стоимость воды;  $E_H$  – нормативный коэффициент экономической эффективности

$$\Delta Y=(37065,6-17658)\times 60=1164456 \text{ руб}$$

$$\Delta C=(10152-5238)\times 60\times 0,028=8255 \text{ руб}$$

$$\mathcal{E}=(1164456+8255)\times 1,12=1313436,32 \text{ руб}$$

Проведенные расчеты показали что экономический эффект от принятых решений по оборудованию автомобилей пенного тушения установками получения компрессионной пены составит более 1 миллиона рублей в год только по огнетушащим веществам.

В рамках расчета экономического эффекта также необходимо учесть затраты на техническое обслуживание и ремонт техники, которые в связи с сокращением времени тушения также будут сокращены пропорционально.



Сокращение ущерба от пожара как первичный так и вторичный также будет значителен о чем говорилось ранее в моей работе.

Таким образом, общая сумма экономического эффекта будет составлять более 13-15 миллионов в год.

Экономический эффект от предложенных мероприятий по включению в конструкцию автомобиля пенного тушения установки получения компрессионной пены которая может быть выполнена как в отсеке автомобиля или отдельным модулем на шасси прицепа будет сопоставим со стоимостью самой установки. Соответственно окупаемость мероприятия по включению установки получения компрессионной пены будет достигнута уже на следующий год.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон Российской Федерации от 21 декабря 1994 г. N 69–ФЗ «О пожарной безопасности».
2. Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 № 123–ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
3. Анализ современного состояния пенного пожаротушения углеводородных жидкостей и выбор направлений исследований по повышению эффективности применения пен при тушении пожаров: Отчёт о научно–исследовательской работе / ВНИИПО; науч. рук. темы И.Ф. Безродный – М., 2005.
4. Аболенцев Ю.А. Экономика противопожарной защиты. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1986.
5. Симонов А. Пожарная безопасность, 1994.

УДК 691.2:621.926.08:625.7/.8

*Д. А. Гринь, М. А. Романович*

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

### АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ КУБОВИДНОГО ЩЕБНЯ

**Ключевые слова:** кубовидный щебень, дорожное строительство, дробление.

**Аннотация:** В статье рассмотрена важность качественных характеристик щебня для дорожного строительства. Преимущества асфальтобетонной смеси с применением кубовидного щебня. Проблема производства кубовидного щебня в нашей стране и пути ее решения.

*D. A. Grin, M. A. Romanovich*

### CURRENT ASPECTS OF OBTAINING CUBOID CRUSHED STONE

**Keywords:** cuboid crushed stone, road construction, crushing.

**Abstract:** The article discusses the importance of quality characteristics of rubble for road construction. The advantages of asphalt mix with the use of cubical crushed stone. The problem of the production of cubical rubble in our country and ways to solve it.

При строительстве автомобильных дорог важное значение имеют качественные характеристики щебня такие, как фракционный состав, износостойкость, прочность, морозостойкость и др. Важной характеристикой является лещадность щебня. Кубовидным принято называть щебень с содержанием лещадных зерен не более 10%. На рис. 1 представлены лещадные зерна щебня. Щебень, кубовидной формы представлен на рис. 2.



**Рис. 1.** Лещадные зерна щебня



**Рис. 2.** Щебень, имеющий кубовидную форму

Использование кубовидного щебня особенно важно при формировании верхнего слоя дорожного покрытия, который принимает высокие нагрузки и воздействие природных факторов. Так, еще при укладке, лещадные зерна разрушаются и создают пустоты, в которые в последствии попадает вода, что способствует разрушению и снижению качества дорожного полотна. Кубовидный щебень позволяет производить более плотную укладку, что способствует большему содержанию зерен щебня в асфальтобетонной смеси, а также меньшему расходу связующих материалов. Такая смесь характеризуется большей плотностью, прочностью и сдвигоустойчивостью [1].

Проблема получения кубовидного щебня в нашей стране до сих пор является актуальной. Это связано с использованием устаревшего дробильно-сортировочного оборудования и несовершенства технологических линий производства.

Форма зерен дробленого материала определяется текстурно-структурными особенностями исходной горной породы, используемым оборудованием и технологией переработки. Таким образом, одним из способов решения задачи производства кубовидного щебня является использование современного дробильного-сортировочного оборудования. Следует обратить внимание, что основные финансовые расходы приходятся на начальные этапы производства щебня (первые стадии дробления, транспортные операции и рассев), а качество продукции всей линии определяется оборудованием, установленным на последней стадии дробления.

Исходя из этого, в ходе модернизации или создания новых линий производства следует обратить внимание на дробильный агрегат последней стадии и оценить его влияние на качественные и экономические показатели всей линии.

Также следует уделять внимание другим процессам, упрощающим работу линии производства. Например, вместо направления горной массы непосредственно на первичную стадию дробления, целесообразно отобрать мелкую и среднюю фракцию,

которые направляются на вторичную стадию дробления. Такая схема позволяет использовать дробилки первой стадии более эффективно.

Использование кубовидного щебня в дорожном строительстве позволяет увеличить срок службы дорожного полотна. Таким образом вопрос производства кубовидного щебня остается весьма актуальным. В статье рассмотрены пути его решения, позволяющие улучшить качество автомобильных дорог. Один из них – модернизация старого оборудования и технологии производства. Другой – внедрение современного оборудования.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юшков Б.С., Сергеев А.С., Бажуков Н.М. Причины возникновения дефектов на дорогах и пути их решения // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 8–3 (19–3). С. 97–104.
2. Федотенко Ю.А., Анисович А.С. Технология получения кубовидного щебня с использованием усовершенствованного оборудования // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. № 4 (26). С. 30–37.
3. Шуляков А.Д. О производстве высококачественного кубовидного щебня // Строительные материалы. 2017. №7. С. 56–59.
4. Чеховской Е.И., Романович М.А., Апухтина И.В. Анализ технологии получения кубовидного щебня в конусных инерционных дробилках // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова 2017. С. 2817-2820.
5. Romanovich, A.A. Romanovich, M.A. Chekhovskoy E.I. 2018 Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // A.A. Romanovich, // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - Т. 194 (032025).
6. Romanovich A.A., Romanovich L.G. Chekhovskoy, E.I. Determination of rational parameters for process of grinding materials pre-crushed by pressure in ball mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2018. - Т. 327 (042091).
7. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Belov A.I. Chekhovskoy, E.I. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series. - 2018 - Т. 1118 (012035).

УДК 614.84

***А. С. Демечкин, В. П. Зарубин***

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ОБЗОР ХАРАКТЕРНЫХ ПОЖАРОВ НА АВОЗАПРАВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ

**Ключевые слова:** пожарная безопасность, причины пожара, автозаправочная станция.

**Аннотация:** В статье проведен обзор характерных пожаров возникших на автозаправочных станциях. Проведен анализ причин возникновения чрезвычайных ситуаций.

*A. S. Demochkin, V. P. Zarubin*

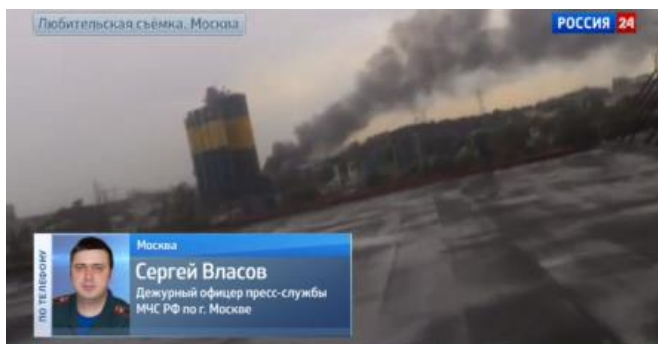
## A REVIEW OF TYPICAL FIRES AT GAS STATIONS

**Keywords:** fire safety, causes of fire, gas station.

**Abstracts:** The article provides an overview of the characteristic fires that occurred at gas stations. The analysis of the causes of emergency situations.

Возрастающее с каждым годом число автомобилей в городах России приводит к увеличению потребления топлива, а следовательно и к увеличению количества автозаправочных станций. Вследствие этого возникновение пожаров, загораний и пожароопасных ситуаций на АЗС становится наиболее вероятным событием. Подтверждением такого факта являются распространенные угрозы террористических актов, несовершенство нормативных документов и недостаточный уровень профессиональной подготовки по обучению пожарной безопасности работников, обслуживающих АЗС. Наиболее подробные примеры пожаров на территории АЗС, находящиеся в России, за последние 5 лет представлены ниже.

На западе Москвы 22 мая 2015 года разгерметизация газовых баллонов стала причиной взрыва и пожара. Разгерметизация произошла во время перевозки баллонов на прицепе. В результате этого возник пожар на расположенном рядом складе с макулатурой на Рябиновой улице, дом 26. очевидцы рассказывали о том, что сразу после взрыва в воздух взлетели куски фанеры и картона, а затем над местом происшествия поднялся столб черного густого дыма. Взрыв произошел в разгар грозы. Взрыв хорошо был слышен в радиусе трех километров от места происшествия. Площадь пожара составила 150 квадратных метров, сообщает ТАСС. Взрыв прозвучал после 17 часов 15 минут. В 17 часов 39 минут в Центр управления в кризисных ситуациях столичного главка МЧС поступило сообщение о пожаре по адресу Рябиновая улица, дом 26. Пожарные оперативно прибыли на место происшествия – через 8 минут. А уже в 18 часов 13 минут спасатели и пожарные отчитались о локализации возгорания. Еще через 20 минут пожар был потушен.



**Рис. 1.** Пожар на АЗС города Москва



**Рис. 2.** Пожар на АЗС города Грозный

Возгорание емкости на автозаправочной станции у поселка Ташкала в Старо-промысловском районе Грозного произошло около 21:00 в воскресенье, 14 февраля 2016 года. В ходе тушения произошел мощный взрыв. К тушению пожара были при-

влечены 74 человека и 23 единицы техники. По предварительным данным, возгорание возникло из-за утечки газа. При тушении пожара пострадали трое сотрудников регионального МЧС. Они доставлены в республиканскую клиническую больницу. Среди гражданского населения пострадавших нет.

18 марта 2016 года в Кизляре на улице Туманяна произошел пожар при перекачке газа из автоцистерны в подземное хранилище, за ним последовал взрыв. Площадь пожара достигла 400 квадратных метров. На месте происшествия были задействованы 15 человек и четыре единицы техники. По данным республиканского МВД, после взрыва и пожара были госпитализированы десять человек.

25 апреля 2016 года в городе Воронеж на улице Лебедева сотрудники МЧС тушили цистерну со сжиженным газом в течение двух часов. Жилые дома в полукилометре от заправки, но рядом – оживленная дорога и промышленные предприятия. Людей из близлежащих помещений эвакуировали, движение – перекрыли. Для того, чтобы предотвратить мощный взрыв, задействовали почти сто сотрудников МЧС. Полностью ликвидировать возгорание удалось только через два часа. В результате этого пожара пострадали два человека – оператор и владелец АЗС. Мужчин с ожогами отправили в областную больницу – сейчас они находятся в стабильно тяжелом состоянии.

28 января 2017 в городе Махачкала произошел взрыв на автозаправке в поселке Степной, один человек госпитализирован. После взрыва пострадали сама заправка и один жилой дом, который находится рядом с заправкой.



**Рис. 3.** Пожар на АЗС города Кизляр



**Рис. 4.** Пожар на АЗС города Воронеж



**Рис. 5.** Пожар на АЗС города Махачкала



**Рис. 6.** Пожар на АЗС в Камне-на-Оби



**Рис. 7.** Пожар на АЗС города Хабаровск



**Рис. 8.** Пожар на АЗС города Новоросийск село Владимировка

В Камне-на-Оби 22 марта 2017 года на АЗС, расположенной на ул. Терешковой, в 12-45 при сливе бензина из автоцистерны в резервуар произошло возгорание топлива с последующим взрывом легковоспламеняющейся жидкости. Пострадал один человек. Ранее, 11 августа 2012 года, на данной АЗС бензовоз также производил слив топлива-мазута. Произошло возгорание паров. Тогда пострадали три человека: водитель бензовоза и два работника АЗС. Двое из них сначала были госпитализированы в реанимационное отделение Каменской ЦРБ, а затем переведены в ожоговый центр Барнаула. Третий проходил лечение в отделении травматологии ЦРБ.

В городе Хабаровск ликвидировали пожар, вспыхнувший на автозаправочной станции на улице Халтурина. 28 марта 2017 года в 10:27 поступило сообщение о возгорании на телефон пожарной службы. Через пять минут на место прибыл первый расчёт. Всего с огнём боролись 28 человек. Три цистерны, две из которых были с топливом, охлаждали водой, а затем тушили пеной. Также пожарные защищали рядом стоящие здания и сооружения от распространения огня. Пострадавший получил сильные ожоги, к числу огнеборцев не относился.

13 апреля 2018 Возгорание на автозаправочной станции в Новоросийске, которое спровоцировал грузовик, въехавший цистерну с газом, полностью ликвидирован.

«В 12.50 ч. от оперативного дежурного ЕДДС МО г. Новоросийск поступило сообщение о том, что в с. Владимировка водитель грузового автомобиля совершил наезд на цистерну с газом на автозаправочной станции. В результате чего произошло возгорание газа», — говорится в сообщении на сайте МЧС по Краснодарскому краю в пятницу.

Площадь пожара составила 200 кв. м, в тушении было задействовано 43 человека пожарной бригады и 15 единиц техники. По состоянию на 14:28 пожар полностью ликвидирован. Пострадавших и погибших нет.

Анализ имеющихся данных о пожарах и авариях на АЗС позволяет сделать заключение о том, что наиболее вероятными причинами пожаров являются [3]:

- перелив топлива при заполнении резервуаров;
- возникновение взрывоопасной среды в технологической системе АЗС при ее эксплуатации и ремонте;
- появление источника зажигания в местах образования горючих паровоздушных смесей (заправка транспортных средств с включенным двигателем; использова-

ние заглушек на патрубках резервуаров, выполненных из искрящих материалов и т.п.);

- разгерметизация резервуаров, стенок трубопроводов (прокладок), технологического оборудования АЗС, напорно-всасывающих рукавов АЦ, шлангов ТРК и т.п. вследствие износа технологического оборудования, вызванного механическим воздействием (влиянием повышенного или пониженного давления, эрозионного износа), температурным воздействием (влиянием повышенных или пониженных температур), химическим воздействием (влиянием кислородной, серной, электрохимической и биохимической коррозии);

- механическое повреждение технологического оборудования АЗС, вызванного воздействием транспортных средств или проведением обслуживающим персоналом некачественных регламентных и ремонтных работ, что приводит к разгерметизации или выходу из строя элементов защиты оборудования АЗС;

- разгерметизации топливной системы транспортного средства в результате его повреждения при дорожно-транспортном происшествии;

- противоправные действия людей, приводящие к умышленному созданию аварийной ситуации.

Причины возникновения пожаров на АЗС представлены в таблице.

Таблица. Причины возникновения пожаров на АЗС

№ п/п	Причины возникновения пожаров и загораний	Количество, ед	%
1	2	3	4
1	От автомобилей, в том числе:	17	25,1
	- искры из выхлопной трубы	6	8,8
	- нагретые части автомобиля	5	7,4
	- электрооборудование	4	5,9
	- заправка с работающим двигателем	2	3,0
2	Электрооборудование операторной, освещение территории	15	22,0
3	Нарушение правил ремонтных работ и техники безопасности	12	17,6
4	Переливы	9	13,2
5	Неисправности электрооборудования топливораздаточных колонок	7	10,3
6	Статическое электричество	4	5,9
7	Поджоги	3	4,4
8	Курение	1	1,5
	Всего	68	100

Обработка статистических данных и проведенный анализ причин возникновения пожаров на АЗС дает возможность разработать мероприятия и инженерно-технические решения, направленные на улучшение обеспечения пожарной безопасности технологического процесса АЗС.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
2. Приказ МЧС России от 10.07.2009 №404 «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».
3. Анализ обстановки с пожарами на территории Российской Федерации. Департамент надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России. [www.mchs.gov.ru](http://www.mchs.gov.ru)

УДК 681.1

*Г. А. Долотин, П. В. Пучков*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ СТАНКА ДЛЯ НАВЯЗКИ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ НА СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ГОЛОВКИ

**Ключевые слова:** напорный рукав, соединительная рукавная головка, техническое обслуживание.

**Аннотация:** известно, что напорные пожарные рукава используются значительно чаще, чем другие виды пожарного оборудования. При этом до 85% отказов пожарной техники приходится на долю пожарных рукавов. Поэтому обеспеченность пожарных частей напорными рукавами и их техническое состояние в значительной степени определяют боевую готовность и оперативность подразделений при тушении пожаров.

*G. A. Dolotin, P. V. Puchkov*

### DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTION MACHINE FOR STREAMING FIRE HOSES ON CONNECTING HEADS

**Keywords:** pressure hose, hose coupling, maintenance.

**Abstracts:** it is known that pressure head fire hoses are used much more often than other types of fire equipment. At the same time, up to 85% of fire equipment failures are accounted for by fire hoses. Therefore, the provision of fire brigades with pressure hoses and their technical condition largely determine the combat readiness and efficiency of subunits in extinguishing fires.

Пожарный напорный рукав незаменимое оборудование для борьбы с огнем. Установлено, что напорные пожарные рукава используются значительно чаще, чем другие виды пожарного оборудования. При этом до 85% отказов пожарной техники приходится на долю пожарных рукавов. Поэтому обеспеченность пожарных частей напорными рукавами и их техническое состояние в значительной степени определяют боевую готовность и оперативность подразделений при тушении пожаров.



Вопросы быстрого, качественного и недорогого обслуживания напорных пожарных рукавов на сегодняшний день являются актуальными. Одним из устройств для обслуживания пожарных рукавов является станок для навязки пожарных рукавов.

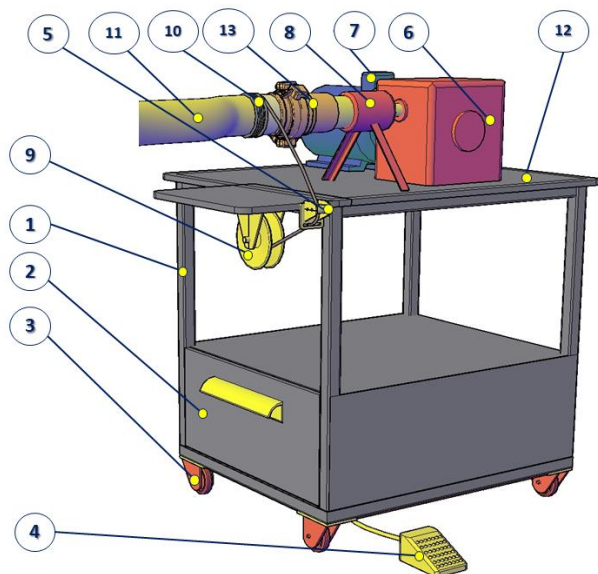
Станок для навязки пожарных рукавов предназначен для навязки пожарных рукавов на соединительные рукавные головки методом намотки вязальной проволоки вокруг одного конца рукава, насаженного на втулку рукавной головки. Станков для навязки пожарных рукавов разработано и производится немало, среди них есть как механические, так и ручные устройства. Но такие устройства, к сожалению, есть не во всех пожарно-спасательных частях из-за их высокой стоимости.

Чтобы решить проблему оснащённости пожарно-спасательных частей устройствами для обслуживания пожарных рукавов, предлагается изготовить станок следующей конструкции, представленной на рис. 1. Данный станок имеет небольшие габариты, прост в использовании и имеет не сложную конструкцию.

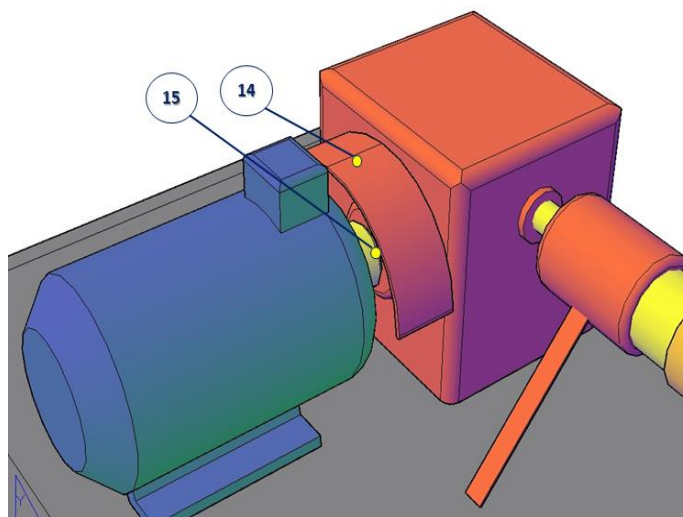
Предлагаемая конструкция станка для навязки пожарных рукавов на соединительные рукавные головки состоит из сварной рамы (1), изготовленной из стального уголка РП 50x50x5 мм. Данное устройство оснащено двумя металлическими выдвижными ящиками (2) для хранения инструмента и материалов. На столешнице станка (12) закреплён привод, состоящий из электрического двигателя (7), червячного редуктора (6) и опоры тихоходного вала редуктора (8). На выходном конце тихоходного вала редуктора закреплена соединительная рукавная головка - приспособление (13). Вал электродвигателя и быстроходный вал редуктора (6) соединены между собой с помощью муфты (15) (см. Рис. 2).

Доступ к вращающимся частям привода ограничен защитным кожухом (14) (см. Рис. 2). На нижней стороне столешницы (12) закреплён кронштейн с катушкой (9). На катушке (9) намотана вязальная проволока (10). С торцевой стороны столешницы закреплён ролик направляющий (5) для натяжения и подачи вязальной проволоки. Вращение и остановка привода приводится в действие за счёт выключателя ножного (педали) (4). На основании корпуса (1) установлены колеса-ролики (3), для возможности перемещения станка с места на место внутри помещения. Принцип работы станка следующий представлен ниже.

Станок приводится в действие электродвигателем (7) при нажатии выключателя ножного (4). На конце тихоходного вала редуктора (6) закреплена соединительная рукавная головка - приспособление (13), предназначенная для фиксации на ней рукавной головки пожарного рукава. Для рукавов различного диаметра устанавливается соединительная рукавная головка – приспособление для определенного типа рукава и фиксируется на валу редуктора стопором (на рисунке не показано). Для намотки пожарного рукава на соединительную головку необходимо присоединить втулку рукавной головки к соединительной рукавной головке – приспособлению. На втулку рукавной головки одеть рукав, предварительно выровняв торец рукава так, чтобы он по всей окружности плотно прилегал к соединительной головке. Вязальная проволока (10) для закрепления рукава на втулке соединительной головки подается с катушки (9). Для закрепления рукава, необходимо сделать один оборот вязальной проволокой вокруг рукава надетого на втулку по крайнему левому ручью соединительной рукавной головки и свободный конец проволоки зафиксировать в прорези болта, установленного на соединительной рукавной головке – приспособлении (на рисунке не показано).



**Рис. 1.** Станок для навязки пожарных рукавов на соединительные головки:  
 1 – рама; 2 – ящик металлический выдвижной; 3 – колесо-ролик; 4 – выключатель ножной (педаля); 5 - ролик направляющий; 6 – редуктор червячный; 7 – электродвигатель; 8 – опора тихоходного вала редуктора; 9 – кронштейн с катушкой; 10 – проволока вязальная; 11 – рукав пожарный; 12 – столешница; 13 - соединительная рукавная головка-приспособление



**Рис. 2.** Привод станка для навязки пожарных рукавов на соединительные головки:  
 14 - кожух защитный; 15 – муфта соединительная

При подаче проволоки необходимо отрегулировать усилие её натяжения. Натяжение проволоки производить путем затяжки болтов, закрепляющих катушку с проволокой на кронштейне (9). При навязке рукава необходимо включить выключателем ножным привод станка и дать возможность сделать соединительной рукавной головке - приспособлению два оборота (при этом на первом обороте необходимо проволоку перехлестнуть, т.е. прижать свободный конец). После отключения станка следует освободить с болта свободный конец проволоки, придержать последний виток от распускания, подтянуть проволоку и сделать двойную скрутку (косичку). Скрутку необходимо подбить молотком под соединительную гайку. При работе на станке необходимо помнить, что при навязке пожарного рукава на соединительную рукавную головку следует периодически перекладывать скатанный рукав на столе для того, чтобы он не скручивался относительно своей оси.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киселев В.В. Развитие технических средств для поведения обслуживания и ремонта пожарной техники. / NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 3. – № 57. – С. 151-156.

2. Киселев В.В. Использование современных методов при проведении ремонта и восстановления гидроцилиндров пожарных автомобилей. / NovaInfo.Ru. – 2016. – Т. 1. – № 52. – С. 3-6.

3. Пучков П.В., Топоров А.В., Киселев В.В. Разработка конструкции трибологически безопасного резьбового соединения. / Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2012. – № 1. – С. 28-31.

4. Пучков П.В., Киселев В.В., Топоров А.В. Разрушение строительных металлоконструкций в условиях пожара. / Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. – № 3. – С. 29-32.

УДК 614.841:004.4

*Н. Е. Егорова*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОГРАММНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ И ОЦЕНКЕ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ**

**Ключевые слова:** очаг пожара, опасные факторы пожара, горючая нагрузка, программное обеспечение, среда Lazarus.

**Аннотация:** В данной статье подробно излагаются особенности разработки программного приложения, позволяющего смоделировать процесс течения пожара в здании и оценить динамику опасных факторов пожара. Обосновывается выбор среды программирования и приводятся основные программные коды.

*N. E. Egorova*

## **THE DEVELOPMENT OF SOFTWARE APPLICATIONS FOR THE CALCULATION AND FIRE RISK ASSESSMENT**

**Keywords:** fire source, fire hazards, combustible load, software, Lazarus environment.

**Abstracts:** This article describes in detail the features of the development of a software application that allows you to simulate the process of a fire in a building and to assess the dynamics of fire hazards. The choice of programming environment is substantiated and the main program codes are given.

Современные реалии требуют для проведения противопожарных мероприятий системного подхода, обеспечивающего их максимальную эффективность при незначительных экономических затратах. Такой подход возможен только при условии того, что прогнозирование динамики опасных факторов пожара будет проводиться на высоком научном уровне.

Разработанные на сегодняшний день методы позволяют не только оценить особенности протекания гипотетического пожара, но и провести анализ фактического пожара, построив модель его протекания.

Для прогнозирования опасных факторов пожара в настоящий момент разработано три вида математических моделей: интегральная, зонная и полевая. Существуют компьютерные программы, реализующие данные алгоритмы для прогнозирования опасных факторов пожара. Примерами таких программных продуктов могут служить такие программные средства как «Z-Model», «CFAST», «Ситис: Блок», «Fire Dynamics Simulator». Каждая из данных программ требует от пользователя введение большого числа различных физических параметров, правильно задать которые может только высоко грамотный специалист [1].

На базе Ивановской пожарно-спасательной академии разрабатывается программа, позволяющая не только проследить в динамике изменение опасных факторов пожара, но и учесть процесс тушения либо водой, либо специальным газом [2-6]. Перед началом разработки данного приложения следовало первым делом выбрать среду программирования. Было принято решение, что процесс моделирования поставленной задачи может быть реализован в свободно распространяемой программной среде Lazarus [7]. Данная среда разработки оснащена компилятором Free Pascal, который соответствует образцу императивного структурированного объектно-ориентированного языка программирования Delphi.

Перед тем, как реализовывать математическую модель по определению опасных факторов пожара следовало предварительно разработать графический редактор, с помощью которого пользователь может нарисовать схему исследуемого здания, указав имеющиеся помещения, оконные и дверные проёмы. При макетировании интерфейса разрабатываемого приложения было принято решение, чтобы рабочее окно было оснащено не только командной строкой меню, но и наглядными удобными кнопками, дублирующими основные часто используемые команды. При этом зону кнопок расположили в нижней части экрана, что оказалось очень удобным, хотя на первый взгляд такое размещение выглядит нестандартно (см. рис. 1).

Основная рабочая зона формы представлена масштабной сеткой. По умолчанию размер ячеек задан  $1 \times 1$  метр. Указанный масштаб можно изменить, выбрав из имеющегося списка один из вариантов  $1 : 2$  м,  $1 : 5$  м либо  $1 : 10$  м. Данный механизм позволяет рисовать помещения с геометрическими параметрами от 50 сантиметров до 100 метров. Программное приложение позволяет пользователю добавить любое количество помещений, задать им нужные геометрические параметры, указать сведения об используемых материалах и противоподымной защите (см. рис. 2).

Для хранения всех этих данных организуется два динамических массива:

```
type
  pom_param = array[1..40] of double;
var
  p : array of TPanel; // массив помещений
  ps : array of pom_param; // массив свойств помещения
```

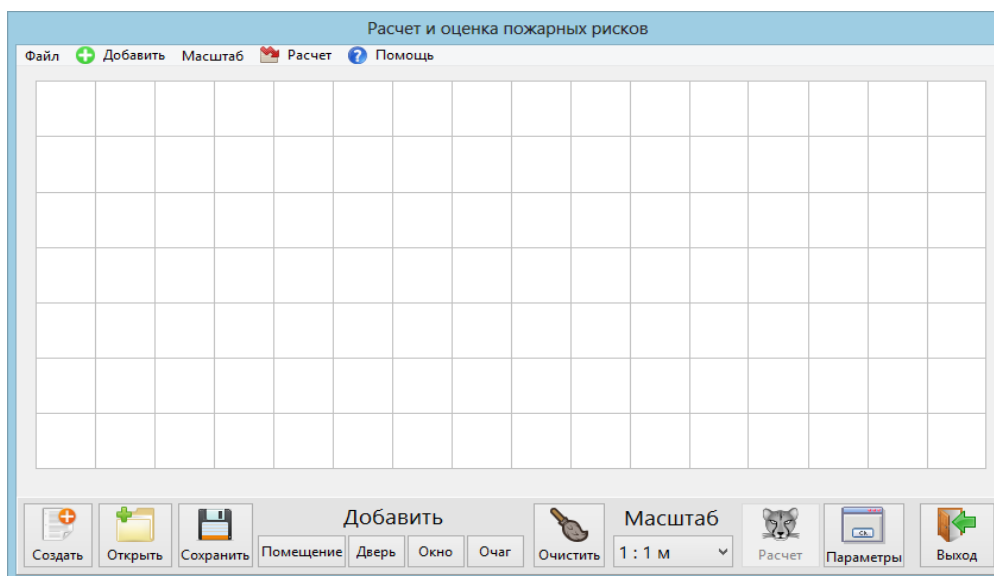


Рис. 1. Интерфейс приложения

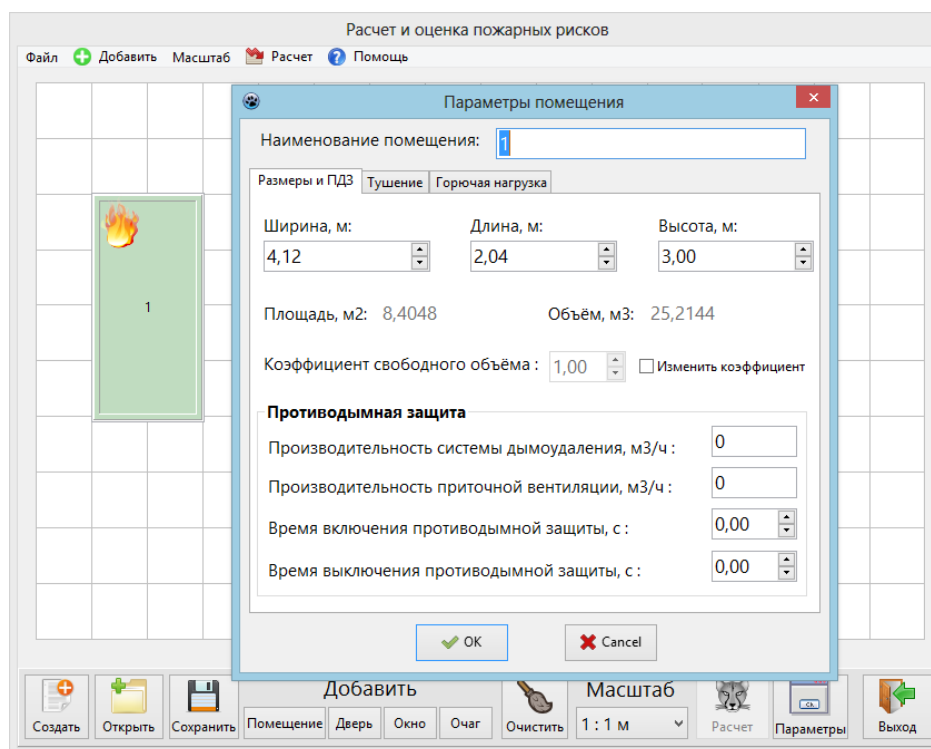


Рис. 2. Изменение параметров помещения

Каждое нарисованное помещение представляет собой компонент TPanel, который позволяет создавать отдельные независимые области, на которых в свою очередь могут размещаться другие компоненты. Все числовые характеристики помещения – размеры, параметры тушения, параметры горючей нагрузки, параметры противодымной защиты и др. (см. рис. 3) – хранятся в массиве свойств.

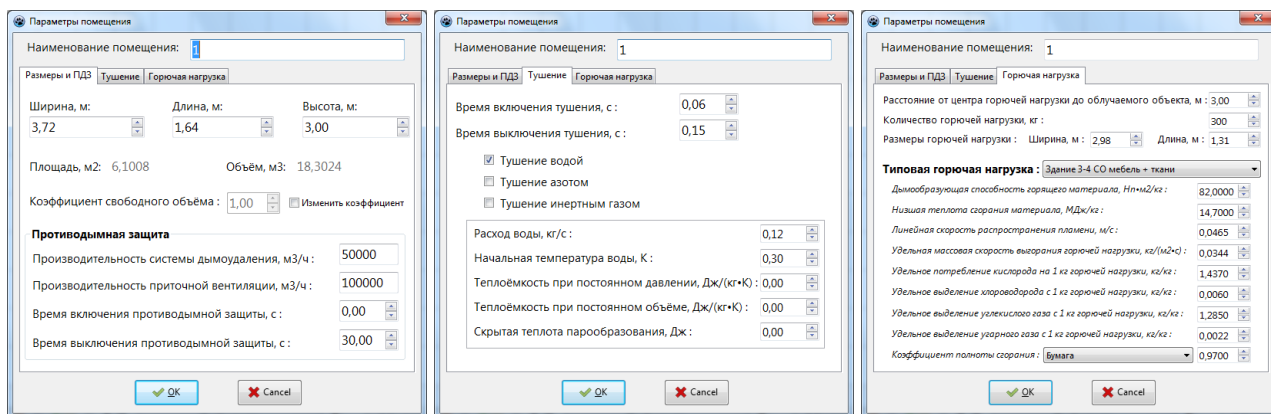


Рис. 3. Изменяемые параметры помещения

Аналогично организуются динамические массивы для хранения оконных и дверных проёмов. Массив свойств этих объектов ограничивается семью элементами, тогда как у помещений их по сорок.

При построении схемы здания программа автоматически проверяет все имеющиеся проёмы на адекватность (см. рис. 4).

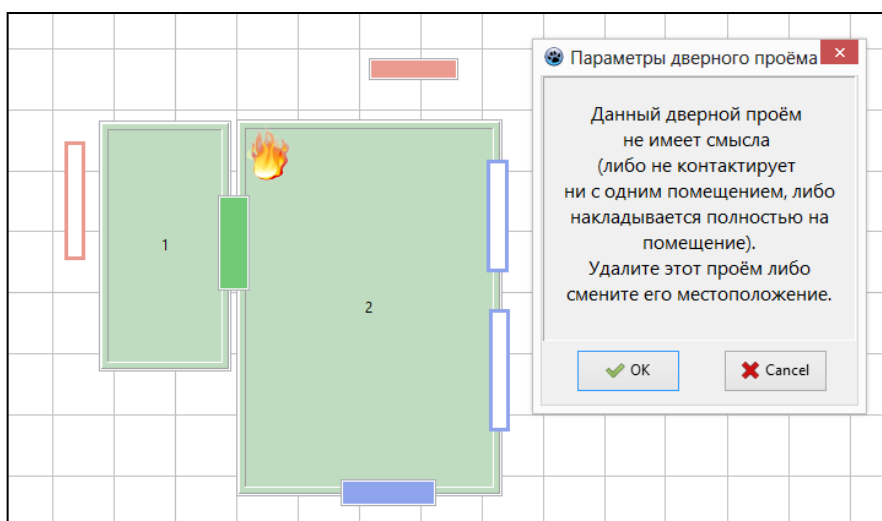


Рис. 4. Результат построения схемы здания

Межкомнатные проемы окрашиваются в зелёный цвет, а внешние – в синий. Если оконный или дверной проём полностью наложен на помещение либо не имеет с ним ни одной общей точки, то программа окрашивает их в красный цвет. Изменить параметры этих проёмов невозможно, разрешается только либо переместить их, либо полностью удалить.

Как только схема здания будет полностью построена и заданы все требуемые параметры, становится доступной кнопка «Расчет», которая демонстрирует изменение опасных факторов пожара во времени [8]. Вычислительный модуль основан на интегральной модели, поскольку используемый в ней алгоритм требует незначитель-

ных вычислительных мощностей и достаточен для моделирования пожара во время учебных занятий [9].

В заключении стоит добавить, что описанная программа разрабатывается с целью применения, что позволит отказаться от дорогостоящих аналогов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашова А.Е., Егорова Н.Е. Обзор отечественных и зарубежных информационных разработок по предупреждению чрезвычайных ситуаций // Надежность и долговечность машин и механизмов: сб. материалов IX Всероссийской научно-практической конференции (12 апреля 2018) / «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – Иваново. – 2018 г. – С. 396 – 399.
2. Егорова Н.Е., Арбузова А.А. Оригинальная разработка учебного программного средства прогнозирования опасных факторов пожара // ДАЛЬНЕВОСТОЧНАЯ ВЕСНА – 2018: сб. материалов международной научно-практической конференции по проблемам экологии и безопасности (27 апреля 2018). – Комсомольск-на-Амуре. – 2018 г. – С. 14-16.
3. Егорова Н.Е., Арбузова А.А. Разработка учебного программного модуля по прогнозированию опасных факторов пожара // Моделирование сложных процессов и систем. приоритетные направления развития инфокоммуникационных технологий, систем связи и оповещения РСЧС и ГО: объединенный сборник трудов секций №12 и №14 XXVIII Международной научно-практической конференции «Предотвращение. Спасение. Помощь» / Академия гражданской защиты МЧС России. – 2018. – С. 23-28.
4. Егорова Н.Е., Арбузова А.А., Сафронов Н.А. Программная реализация математической модели по расчету времени блокирования путей эвакуации с учетом тушения водой // Актуальные вопросы проектирования и разработки программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем в сфере РСЧС и ГО: сб. материалов научно-практической конференции (23 мая 2018 г.) / Академия гражданской защиты МЧС России. – 2018 г. – С. 61-66.
5. Шувье Е.С., Егорова Н.Е. Разработка программы по расчету нормативных технологических потерь при передаче тепловой энергии Актуальные вопросы естествознания: сб. материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (5 апреля 2018) / «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – Иваново. – 2018 г. – С. 285 – 288.
6. Арбузова А.А., Егорова Н.Е., Калинова А.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении с применением программного приложения // Сб. материалов региональной научно-практической конференции «Техносферная безопасность. Современные реалии» (21.11.18). – Дагестанский государственный технический университет. – Махачкала. – 2018 г. – С. 10-13.
7. Арбузова А.А., Егорова Н.Е. Применение программной среды Lazarus для разработки приложений курсантами специализированных вузов // Актуальные проблемы прикладной информатики в образовании, экономике, государственном и муниципальном управлении: сб. материалов международной научно-практической конференции (30 апреля 2018 г.) / ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет». – Барнаул. – 2018 г. – С. 12-17.
8. Егорова Н.Е., Арбузова А.А. Математическое моделирование расчета распределения температур в ограждениях помещений в процессе пожара // Предотвращение. Спасение. Помощь: сборник материалов XXVIII Международной научно-практической конференции (22 марта 2018 года) / Академия гражданской защиты МЧС России. – 2018 г. – С. 9-12.
9. Шварев Е.А., Лапшин С.С., Егорова Н.Е., Арбузова А.А. Обоснование выбора метода численного решения системы дифференциальных уравнений первого порядка для расчетного модуля программы для ЭВМ по расчету времени блокирования путей эвакуации с

учетом тушения водой Актуальные вопросы естествознания: сб. материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (5 апреля 2018) / «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – Иваново. – 2018 г. – С. 254 – 257.

УДК 614.841:004.4

*Н. Е. Егорова*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## АЛГОРИТМЫ ОБНАРУЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Ключевые слова:** алгоритм, видеокадр, помехи, фон, камера, динамический объект.

**Аннотация:** Крупные предприятия, торговые центры и развлекательные комплексы обязательно оснащаются охранными видеосистемами. Оптимальная работа подобных видеосистем может быть достигнута при полной автоматизации. В статье рассматриваются разнообразные алгоритмы, позволяющие обнаружить динамические объекты на последовательности кадров.

*N. E. Egorova*

## DETECTION ALGORITHMS OF DYNAMIC OBJECTS

**Keywords:** algorithm, video frame, noise, background, camera, dynamic object.

**Abstracts:** Large enterprises, shopping centers and entertainment complexes are necessarily equipped with security video systems. Optimal operation of such video systems can be achieved with full automation. The article discusses a variety of algorithms to detect dynamic objects on a sequence of frames.

При проектировании охранных систем, систем слежения за дорогой и т.п. устанавливаются специализированные системы видеонаблюдения. Системы видеонаблюдения, в соответствии с современными требованиями, должны быть автоматизированными. В ходе работы система обязана выделить из всех имеющихся данных наиболее востребованную для аналитика информацию и предоставить её в удобной форме для дальнейшего анализа. Для решения проблемы автоматического выделения динамических объектов в режиме реального времени и оптимизации систем видеонаблюдения разрабатываются различные методы, помогающие аналитику упростить его задачи. Современные системы видеонаблюдения должны иметь интеллектуальные функции анализа изображения, обнаружения динамических объектов.

К началу XXI века достигнутая техническим прогрессом производительность ЭВМ позволила значительно увеличить применение интеллектуальной обработки видеоинформации компьютерными системами. Наибольший вклад в область обработки информации и распознавания видеосигналов внесли известные ученые, живущие в России и за рубежом: Бохан К.А., Журавлев Ю.А., Вапник В.Н., Малистов А.С., Галушкин А.И., Ярославский Л.П., Коллинс Р., Лукас Б.Д. и многие другие [1].



Наиболее актуальными в наши дни являются вопросы по решению проблем, связанных с выделением динамических объектов в режиме реального времени на последовательности видеок кадров, получаемых камерой видеонаблюдения. Наиболее часто требуется выделять такие объекты, как: человек, любой вид транспорта, животное или какие-либо другие динамические объекты.

Большое разнообразие существующих математических методов обнаружения объясняется тем, что все они характеризуются многообразными параметрами, имеют различную точность исследуемых событий, требуют разных вычислительных мощностей и потому нацелены на использование в различных сферах [2, 3].

ЭВМ дает возможность математикам проводить экспериментальные исследования. Для начала осваивается реальная задача обнаружения, выставляется гипотеза и потом делается эксперимент, который подтверждает или опровергает гипотезу. Серьезные математические доказательства часто не проводятся. Это позволило использовать большое число эвристических (экспериментальных) алгоритмов обнаружения, среди которых мало доказанных, но, тем не менее, достаточно эффективных. Теоретические исследования данных алгоритмов позволяют их улучшить, что в свою очередь даёт значительно лучшие результаты обнаружения динамических объектов.

Умение выделять и распознавать объекты – одно из основных свойств систем искусственного интеллекта. В идеале нахождение объекта должно осуществляться подвижной камерой, при изменяющемся фоне и помехах (дым, дождь, пыль, сумерки) и осуществляться в реальном времени. Как уже было отмечено, существует несколько подходов к обнаружению движущихся объектов на основе анализа последовательности кадров:

- относительно простые эвристические алгоритмы;
- вычисление «оптических потоковых полей» (optical flow fields);
- выделение на изображении характерных областей-кластеров.

При упрощении задачи – вводе условия неподвижности камеры – можно добиться вполне приемлемых результатов, работающих в реальном времени с использованием персонального компьютера с современной периферией. Рассмотрим базовые эвристические алгоритмы нахождения объектов.

Алгоритм 1 – Сравнение точка с точкой : сравнивается каждая точка текущего кадра с соответствующей точкой опорного кадра (кадра-фона). При таком алгоритме больше всего шансов на допущение ошибки.

Алгоритм 2 – Поточечное сравнение группы точек : сравнивается цвет группы точек и при равенстве цвета хотя бы одной из точек признается принадлежность к фону всей группы точек. Если точка не была признана точкой фона, то она точка объекта, но при таком алгоритме многие точки объекта могут быть ошибочно приняты за фон.

Алгоритм 3 – Сравнение среднего цвета группы точек, для этого вычисляются средние значения составляющих цветов группы точек, и сравниваются как одна точка. Если такая точка признается точкой фона, то признается принадлежность к фону всей группы точек. Этот алгоритм можно использовать при построении векторов перемещения.

Алгоритм 4 – Сглаживание переходов цвета: цвет точки рассчитывается как среднее между цветом точки и цветами соседних точек (среднее квадрата из 9-ти точек (3×3) с центром в точке, для которой считается цвет). Такой алгоритм сглаживает

помехи аппаратуры и создает эффект «несфокусировки» изображения, что позволяет получить более гладкие границы контура и использовать более малые значения дельты цвета.

На практике выяснилось, что для достижения лучшего результата необходимо использовать несколько методов в разной комбинации.

Базовая комбинация: алгоритм 2 для определения границ области нахождения объектов + алгоритм 1 (сравнение точка с точкой) для окончательного результата. Данная комбинация является наиболее быстрой, но даёт не самые лучшие результаты.

Метод с интерполяцией: алгоритм 2 (поточечное сравнение группы точек) для определения границ области нахождения объектов + алгоритм 4 (сглаживание переходов цвета) для окончательного результата. Более медленный алгоритм, чем предыдущий, но даёт значительно лучшие результаты, особенно при «посредственном» оборудовании.

Метод «кластеризации»: сначала при помощи алгоритма 2 (поточечное сравнение группы точек) находятся точки, точно принадлежащие объекту. Затем уменьшаем размер квадрата и дельту цвета. Повторяем алгоритм 2, но рассматриваем только «прилежащие» точки к ранее найденным точкам. Повторяем алгоритм 2 до тех пор, пока не перестанут появляться новые точки. Далее применяем алгоритм 1 или 4, но только к точкам, «прилежащим» к ранее найденным. Повторяем до тех пор, пока не перестанут появляться новые точки. Происходит «наращение» объекта. Данный алгоритм является наиболее медленным, но практически не нуждается в «отчистке» [4].

Дополнительные алгоритмы, улучшающие качество:

– определение тени от объекта (алгоритм «отчистки»), то есть удаление помех (точек, не являющихся объектом);

– восстановление объекта (удаление эффекта «дырок от бублика»).

Таким образом, для решения конкретной задачи можно выбрать отдельный самостоятельный алгоритм, позволяющий в режиме реального времени определить наличие динамического объекта на последовательности статичных кадров, либо воспользоваться комбинацией из нескольких алгоритмов, позволяющей оптимизировать процесс поиска.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Максимцов А.В., Егорова Н.Е. Реализация алгоритма обнаружения динамических объектов на последовательности кадров, снятых неподвижной камерой Молодые ученые – развитию текстильно-промышленного кластера (ПОИСК-2015): В 2-х ч. Ч. 2: Сборник материалов межвуз. науч.-техн. конф. аспирантов и студентов с международным участием / Иванов. гос. политехн. универс. – Иваново, 2015. – С. 188 – 189.

2. Карпычева В.В., Балашова А.Е., Егорова Н.Е. Математические основы идентификации отпечатков пальцев // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности, 29-30 ноября 2018 г. Часть II. – Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – 486 с. – С. 53-55.

3. Ермакова К.Н., Егорова Н.Е. Знаково-математическое моделирование в почерковедческой экспертизе Актуальные вопросы инженерно-технических экспертиз: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции (29.06.18) Восточно-Сибирский институт МВД России. – 2018 г. С. 41-46.

4. Гостев И.М., Попенко И.В. Метод статистической сегментации // сборник материалов V Международной конференции «Цифровая обработка сигналов и её применение». – Российский университет дружбы народов. – Москва. – 2003. С. 18-23.

УДК 621

***В. Е. Иванов***

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **СНИЖЕНИЕ МЕТАЛЛОЕМКОСТИ КОНСТРУКЦИИ СРЕДСТВАМИ AUTODESK INVENTOR**

**Ключевые слова:** деталь, надежность, прочность, металлоконструкции.

**Аннотация:** в работе приведен пример использования программного обеспечения Autodesk Inventor для снижения металлоемкости конструкций, сохраняя при этом показатели надежности и долговечности.

***V. E. Ivanov***

## **THE REDUCTION OF METAL STRUCTURES BY THE MEANS OF AUTODESK INVENTOR**

**Keywords:** detail, reliability, strength, metal structures.

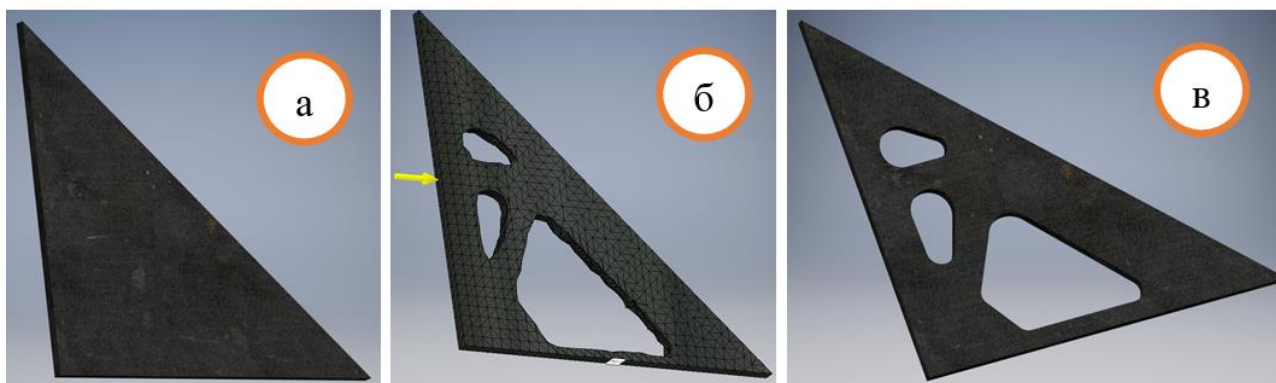
**Abstracts:** the paper presents an example of using Autodesk Inventor software to reduce the metal content of structures, while maintaining the indicators of reliability and durability.

В настоящее время в условиях современных экономических отношений, предприятия отраслей машиностроения и строительства ориентированы, главным образом, на снижение трудовых затрат. Поэтому конструктивные и технологические решения и приемы, которые направлены на снижение металлоемкости конструкций позволяют не только повысить их работоспособность, надежность, долговечность, но и снизить затраты на производство. Снижение металлоемкости машин и оборудования достигается разными методами, например, изменение принципиальных и конструктивных схем, рациональных сечений деталей, рациональный выбора материала и др.

Если рассматривать метод рациональных сечений, то при условии сохранения равнопрочности деталей, их можно облегчить следующими способами: удалением металла из явно малонагруженных участков; у деталей типа шестерен и других вращающихся изделий, имеющих форму дисков, – выборками (выемками) или снятием металла больше к периферии и меньше к центру; у деталей типа фланцев – изменением круглых форм на многоугольные или фигурные с выкружками. у всех деталей, имеющих прямоугольные выступы, галтели, скосы, конусы и острые углы, – округлением углов, плавными переходами; в стержневых и ферменных системах – заменой деформации изгиба растяжением-сжатием; уменьшением пролетов между опорами, что снижает изгибающий момент; обеспечением компактности конструкций, при

этом уменьшать диаметры колес и компенсировать повышение окружных усилий удлинением зуба, переходом на косой или шевронный зуб, выбором более твердых и прочных материалов.

Для способа удаления металла из малонагруженных участков детали можно применить программный продукт Autodesk Inventor. Данная программа оснащена таким инструментом как генератор форм, который является интеллектуальным средством для обеспечения максимальной жесткости детали с учетом заданных зависимостей. Данная технология интегрирована в Inventor, что позволяет с легкостью использовать ее непосредственно в процессе проектирования. Генератор форм создает 3D-сеть, которую можно использовать в качестве ориентира при оптимизации проекта. На рисунке представлен пример использования данного инструмента. В качестве детали используется ребро жесткости. На трехмерной модели были отмечены контактные поверхности, заданы зависимости и силы, которые воздействуют на деталь. Следующим этапом является расчет объема изделия, далее указываются области (зоны), которые не должны изменяться в процессе создания ссылочной формы. После задания критериев проекта выполняется исследование в генераторе форм, в результате чего получается сеть, соответствующая заданным критериям. По результатам расчетов создается окончательная трехмерная модель детали.



**Рисунок.** Пример применения программы Autodesk Inventor для облегчения деталей:  
а- трехмерная модель детали, б – результат расчета,  
в – трехмерная модель с учетом внесенных изменений

Такой подход позволит значительно снизить затраты на производство разрабатываемых деталей, сохраняя при этом показатели надежности, долговечности и работоспособности будущих изделий.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.Е. Выбор платформы для работа на радиуправлении // NovaInfo.Ru. 2016. Т. 2. № 53. С. 36-39.
2. Иванов В.Е. Внедрение 3D технологий в учебный процесс / В.Е. Иванов, И.А. Легкова, А.А. Покровский, В.П. Зарубин, Н.А. Кропотова // Современное научное знание: теория, методология, практика. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции в 3-х частях. ООО «НОВАЛЕНСО». Смоленск. 2016. С. 37-39.

3. Легкова И.А. Использование трехмерной графики при изучении устройства узлов механизмов // И.А. Легкова, В.П. Зарубин, В.Е. Иванов / Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России. Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 85-летию Ивановской государственной сельскохозяйственной академии имени Д.К. Беляева. Иваново. 2015. С. 140-143.

4. Легкова И.А. Визуализация учебного материала средствами системы КОМПАС-3D // И.А. Легкова, С.А. Никитина, В.П. Зарубин, В.Е. Иванов / Современные проблемы высшего образования: материалы VII Международной научно-методической конференции. С.Г. Емельянов (отв. редактор). Курск. 2015. С. 34-38.

5. Покровский А.А. Реализация информационных технологий в курсовом проектировании // А.А. Покровский, В.Е. Иванов / Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. Воронеж. 2015. Т. 2. № 1 (6). С. 258-260.

6. Иванов В.Е. Инженерно-проектировочные решения для разработки типового класса подготовки пожарных-спасателей // В.Е. Иванов, В.В. Киселев, П.В. Пучков, И.А. Роммель / Фундаментальные и прикладные вопросы науки и образования: Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции: в 2-х частях. Смоленск. 2016. С. 27-29.

УДК 614.88

*С. Г. Казанцев, Р. М. Шипилов, Ю. А. Ведяскин, А. В. Кулагин, Г. В. Решетов*  
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **ПРОЕКТ ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА МНОГОСКАТНОЙ КРЫШИ**

**Ключевые слова:** аварийно-спасательные работы, специальные работы на пожаре, вскрытие конструкций, учебно-тренировочный комплекс.

**Аннотация:** в статье рассматривается вопрос по разработке тренажёрного комплекса по подготовке пожарно-спасательных подразделений при проведении специальных работ на пожаре на крышах зданий с разным углом ската. Определены требования к конструктивным особенностям и техническим характеристикам тренажерного комплекса.

*S. G. Kazantsev, R. M. Shipilov, Yu. A. Vedyaskin, A. V. Kulagin, G. V. Reshetov*

## **DRAFT TRAINING COMPLEX OF A MULTIPLE ROOF**

**Keywords:** emergency rescue work, special work on a fire, dissection of structures, training complex.

**Abstracts:** the article addresses the issue of developing a training complex for preparing fire and rescue units during special work on a fire on the roofs of buildings with different angles of a ramp. The requirements for the design features and technical characteristics of the training complex are determined.

К аварийно-спасательным работам (далее - АСР), связанным с тушением пожара, и другим специальным работам относятся вскрытие и разборка конструкций, в том числе кровли на крышах зданий. Вскрытие кровли на крышах проводится в целях создания необходимых условий для спасения людей, имущества, ограничения распространения пожара, подачи огнетушащих веществ в зону горения (рис. 1).



**Рис. 1.** Пример работы на крышах зданий

На сегодняшний день для подготовки пожарных по работе на крышах зданий недостаточно разработана учебно-тренировочная база и соответствующие методики проведения аварийно-спасательных работ [1]. Знания и навыки проведения АСР на крышах, по существу обретаются пожарными в боевых условиях. При этом, существуют риски, связанные с возможным падением пожарного с высоты. Одной из основных причин гибели и травмирования пожарных на пожаре является падение с высоты, в том числе и с крыш зданий. В качестве примера можно привести ряд таких случаев

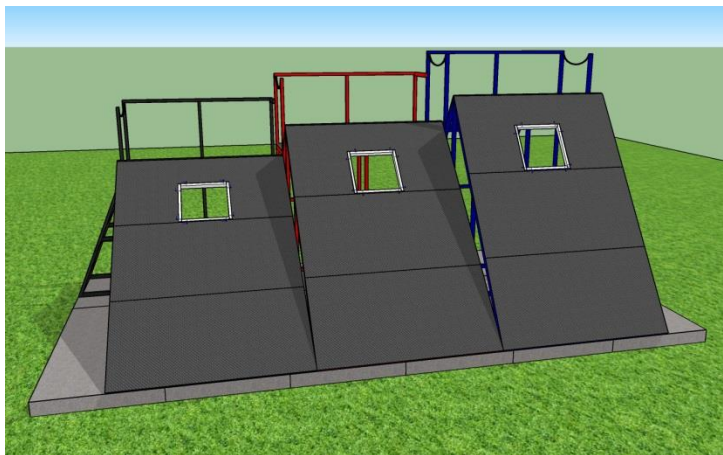
Из-за этого нередко случаи гибели и травмирования пожарных при проведении АСР на крышах, а также при падении с высоты:

- в 2013 г. в г. Омск с крыши горящего дома упал пожарный и получил тяжелые травмы [2];
- в один день того же года были два случая травмирования пожарных в г. Москва [3] и в г. Брянск [4];
- в 2014 г. в Р. Карелия пожарный упал с крыши дома и получил тяжелую травму [5];
- в 2015 г. в г. Великий Устюг пожарный упал с крыши и сломал позвоночник [6];
- в 2016 г. резонансный случай произошел в г. Москва. При обрушении кровли погибли 8 пожарных [7];
- в том же году в г. Алмазное при проведении работ по вскрытию кровли погиб пожарный. Поскользнулся на обледенелой поверхности [8];
- в 2017 г. в Моршанске погиб пожарный при тушении сауны. Пожарный находился на крыше, в тот момент, когда произошло частичное обрушение кровли [9];

– в 2018 г. в Ямало-Ненецком автономном округе погиб пожарный и еще один пострадал. Когда они находились в чердачном помещении, произошло обрушение строительных конструкций чердачного перекрытия [10].

В связи с этим обеспечение безопасности проведения АСР на высоте является актуальной задачей. Поэтому существует необходимость разработки специализированных технических средств обучения работы на крышах с целью повышения качества подготовки обучающихся к решению оперативно-тактических задач по ведению АСР [11]. Они позволят сформировать необходимые профессиональные компетенции и подготовить обучающихся к боевой работе.

На базе ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (далее – академия) на кафедре пожарно-строевой, физической подготовки и ГДЗС (в составе УНК «Пожаротушение») разработан проект тренажерного комплекса многоскатной крыши (рис. 2).



**Рис. 2.** Тренажерный комплекс многоскатной крыши

Тренажерный комплекс многоскатной крыши предназначен для формирования и совершенствования у обучаемых профессиональных умений и навыков при проведении АСР на скатах крыш зданий с разным углом ската, с применением пожарного оборудования и пожарного инструмента.

Целью работы является формирование у обучающихся академии профессиональных компетенций:

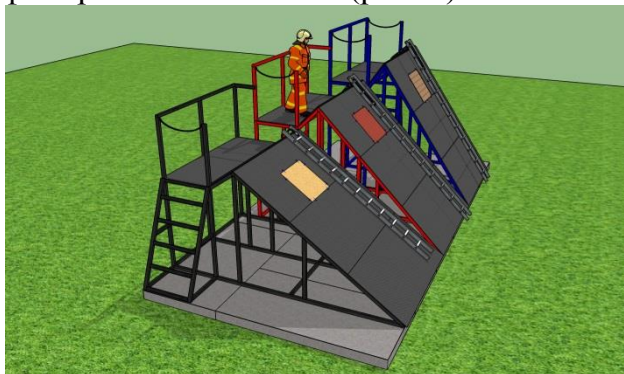
- знаний конструктивных особенностей крыш;
- знаний требований безопасного нахождения на крышах и проведения работ при возможности их обрушения или образовании прогара;
- умений осуществлять руководство действиями при организации проведения АСР на крышах;
- умений организаций страховки и самостраховки при работе на крышах с помощью средств самоспасания пожарных;
- умений технически правильно выполнять действия по вскрытию разных видов кровель;
- навыков работы со штурмовой лестницей на скатах крыш с разным уклоном;
- навыков работы звеньев ГДЗС в стесненных условиях чердачных помещений, а также мансардных этажах.

Размер площадки на которой размещается тренажерный комплекс составляет 9×4,5 м. Тренажерный комплекс представляет собой легкоразборную конструкцию, состоящую из 3-х отдельных независимых секций.

Каждая секция имеет отличный от другой, угол ската (35, 45 и 55 градусов). Высота самой высокой секции – 3,6 м.

На каждой секции предусмотрена «Безопасная зона наблюдения» для размещения преподавателя и обучающихся (рис. 3).

Для проведения работ по вскрытию кровли с помощью инструмента используются легкозаменяемые закладные элементы. В качестве закладного элемента можно использовать основные материалы, применяемые при строительстве крыш зданий: дощатый деревянный настил, листы ориентированно-стружечной плиты, листы профилированного железа (рис. 4).



**Рис. 3.** Безопасная зона наблюдения



**Рис. 4.** Пример работы с инструментом

Пространство под крышей имитирует чердачное помещение или мансардный этаж и может использоваться для подготовки газодымозащитников для проведения разведки, а также прокладки рукавных линий в стесненных условиях.

Таким образом, разработка и использование тренажёрного комплекса многоскатной крыши могут решить не только задачи технической, тактической подготовки, но и психологической в комплексе. Выполнение на учебных занятиях специальных упражнений в усложнённых условиях, будет способствовать формированию профессиональных умений и навыков, что в свою очередь обеспечит высокий уровень подготовленности обучающихся академии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шипилов Р.М., Казанцев С.Г., Шарабанова И.Ю., Ишухина Е.В., Орлов Е.А. Разработка технических средств для обучения и контроля адаптационной мобильности курсантов вузов ГПС МЧС России // EUROPEAN SOCIAL SCIENCE JOURNAL. – 2016. – № 1. – С. 332-335.
2. Шипилов Р.М., Казанцев С.Г., Шарабанова И.Ю., Ведякин Ю.А. Формирование адаптационной мобильности спасателей к проведению эвакуации (спасению) пострадавших с применением новых методов обучения // В мире научных открытий. – 2015. – № 3-2 (63). – С. 1156-1174.



УДК 614.842

*А. А. Клычков, М. А. Романович*

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

## **АНАЛИЗ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Ключевые слова:** оборудование, измельчение, мельница, энергоемкость.

**Аннотация:** Рассмотрены основные виды мельниц, которые используются для измельчения материалов в различных отраслях промышленности, а также требования, предъявляемые к такому виду оборудования и способы повышения эффективности их работы.

*A. A. Klychkov, M. A. Romanovich*

## **ANALYSIS OF EQUIPMENT FOR CRUSHING THE MATERIALS USED IN ROAD CONSTRUCTION**

**Keywords:** equipment, grinding, mill, energy intensity.

**Abstract:** The main types of mills that are used for grinding materials in various industries, as well as the requirements for this type of equipment and ways to improve the efficiency of their work are considered.

Качество готовой продукции, применяемой в различных отраслях промышленности зависит от размеров частиц материала, из которой она сделана. Тонкоизмельченный материал широко применяется в различных отраслях промышленности. Например, в производстве лакокрасочных материалов, в виде различных добавок в химической отрасли, при изготовлении лекарственных препаратов, а также в пищевой промышленности. Измельчение является одним из основных процессов в технологии производства строительных материалов, таких как цемент (для получения различных видов бетона), сухих смесей, извести, гипса, а также других вяжущих материалов и различных добавок. Производство современных строительных материалов невозможно без использования оборудования для измельчения.

Измельчение, особенно тонкое, является весьма энергоемким процессом, поэтому правильный выбор оборудования позволяет получить необходимые результаты в производстве тех или иных материалов. Наибольшее распространение получили вращающиеся шаровые мельницы. Они широко используются как для производства строительных материалов, так и в химической, горно-обогатительной и других видов промышленности на протяжении многих лет. Известно, что при производстве тонкодисперсных материалов в больших объемах в условиях производства они остаются практически незаменимы, благодаря достаточно высоким показателям надежности оборудования и простоте его обслуживания несмотря на то, что КПД таких мельниц довольно невысок. Для получения высокодисперсных продуктов используют вибрационные мельницы, которые обладают малой продолжительностью помола и достаточно компактны. Недостатки вращающихся и вибрационных мельниц [1]: большая

масса мелющих тел, загрязнение измельчаемого материала продуктами износа, высокий уровень шума. Для помола некоторых материалов применяют мельницы без мелющих тел, например струйные мельницы. Они не допускают загрязнения материала металлическими частицами мелющих тел, а также позволяют уменьшить расход энергии и износ рабочих органов [2]. Вместе с тем использование струйных мельниц приводит к высокой стоимости оборудования и поэтому применяется в основном для хрупких материалов. Тонкое измельчение является одним из наиболее энергоемких процессов. При уменьшении размеров частиц увеличивается их относительная прочность. По достижении предельной дисперсности частиц дальнейшее измельчение сопровождается повышенным расходом энергии [3]. Несмотря на большой опыт применения различного вида оборудования для измельчения во многих отраслях промышленности, все чаще возникает необходимость в поиске новых способов и подходов для решения проблем, связанных с измельчением различных по прочности материалов.

Целью статьи является обоснование направления по повышению эффективности работы оборудования для измельчения материалов. Задачей исследования – является анализ литературных источников по измельчению материалов, применяемых в дорожном строительстве.

Повышение эффективности работы оборудования можно достичь следующими способами:

- используя новые технологии, совершенствуя существующие схемы производства за счет применения автоматизированных установок;
- применение новых разработок, которые способствуют усовершенствованию конструкций мелющего оборудования.

Так, например, применение мелющих тел эллипсоидной формы, позволяет повысить производительность мельниц, т.к. от формы, материала, способа изготовления и размеров мелющих тел зависят параметры работы мельницы. Повышение долговечности футеровки вращающихся мельниц влияет на технико-экономические показатели их работы. Таких примеров много, однако они не находят широкого применения и причиной этому главным образом является экономический фактор. Как известно, ввиду конструктивных особенностей мельниц для измельчения, они эффективно работают только при ограниченных степенях измельчения, а поэтому рационально измельчать материал от исходной крупности до заданного размера в несколько последовательных стадий [4]. Диапазон применяемого оборудования для измельчения материалов, доступный в настоящее время на рынке, довольно широк. Производители оборудования предлагают мельницы одного типа для различных отраслей промышленности, расширяя сферу применения своей продукции. Такое наличие широкого ряда оборудования для измельчения материала расширяет возможности производства. Потребители отдают предпочтение многофункциональному оборудованию, которое характеризуется простотой конструкции, а значит высокой ремонтпригодностью, при получении продукта относительно высокого качества.

Проведя анализ оборудования для измельчения материалов, применяемых в дорожном строительстве, можно сделать вывод, что самая распространенная проблема нашей промышленности – это устаревшее оборудование, которое нуждается в замене и модернизации. Однако это не единственное препятствие для улучшения качества производства. Для получения тонкоизмельченных материалов необходима целая технологическая линия, которая включает в себя целый ряд различного оборудования (несколько типов мельниц, классификаторов), что приводит к высокой себестоимости

производства. Возможно, для получения максимальных результатов необходимо проводить комплекс мероприятий, учитывая особенности конкретного производства, благодаря которым затраты энергии были бы сопоставимы с полученными результатами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев С.Е., Перов В.А., Зверевич В.В. Дробление, измельчение и грохочение полезных ископаемых. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1980. – 415 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. Т.1. - 5-е изд., перераб. и дополн. - // М.: Машиностроение, 2003.
3. Баловнев В.И. Определение сопротивлений и энергии при измельчении материала // Строительные и дорожные машины. – 1988. – №1. – С. 24–25.
4. Дешко Ю.И., Креймер М.Б., Крыхтин Г.С. Измельчение материалов в цементной промышленности. – М.: Издательство литературы по строительству, 1966. – 270 с.
5. Ходаков Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. – М.: Изд-во литературы по строительству, 1972. – 233 с.
6. Romanovich A.A., Kolesnikov R.S., Romanovich M.A. Study of device for precompaction and uniform supply of materials to working bodies of aggregate / В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering electronic resource. 2018 С. 42052
7. Romanovich A.A., Bogdanov V.S., Romanovich L.G., Romanischin D.V. Determination of power mill spent on the creation of the longitudinal motion of the grinding load / Journal of Applied Engineering Science. 2015 T. 13 № 3 С. 155-160.
8. Romanovich, A.A. Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // A.A. Romanovich, M.A. Romanovich, E.I. Chekhovskoy // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. – 2018. - Vol. 194 (032025). - doi. pp: 1-6.
9. Romanovich A.A., Romanovich L.G. and E.I. Chekhovskoy, 2018. Determination of rational parameters for process of grinding materials pre-crushed by pressure in ball mill // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. Vol. 327 (042091). doi. pp: 1-6.
10. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Belov A.I. and E.I. Chekhovskoy, 2018. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. Vol. 1118 (012035). doi. pp: 1-6.

УДК 542.63:621.929

**С. О. Кожевников, В. Б. Кузнецов, М. С. Малов**  
ФГБОУ ВО Ивановский политехнический университет

### ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ ЖИДКОСТИ В РОТОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ

**Ключевые слова:** роторные устройства, мешалка, рабочий орган, конфузор, компьютерное моделирование, SolidWorks.

**Аннотация:** в работе выполнено исследование влияния конфигурации рабочих органов устройства для механоактивации коллоидных дисперсных систем. Показано, что форма рабочего органа влияет на характер течения жидкости, оказывая влияние на линии тока жидкости, скорость и возникновение турбулентных вихрей.

*S. O. Kozhevnikov, V. B. Kuznetsov, M. S. Malov*

## THE STUDY OF FLUID DYNAMICS IN ROTARY DEVICES

**Keywords:** rotary device, mixing the working body, the confuser, computer modeling, SolidWorks

**Abstracts:** the study of the influence of the configuration of the working bodies of the device for mechanical activation of colloidal disperse systems. It is shown that the shape of the working body affects the nature of the fluid flow, affecting the fluid flow line, the velocity and the occurrence of turbulent vortices.

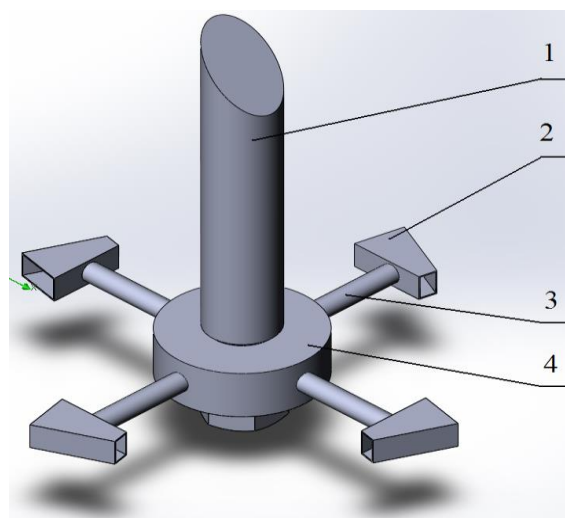
Процессы перемешивания жидкостных, газовых и других одно- и многофазных сред, а также смешения пасто- и порошкообразных материалов широко применяются в химической и родственной отраслях. Во многих периодических и непрерывных биотехнологических процессах, при получении композиционных материалов и т.д. эффективное перемешивание является одной из важнейших стадий производства и определяет успех технологического процесса в целом [1,2].

Авторами разработано принципиально новое устройство для механоактивации коллоидных дисперсных систем, представляющее собой роторное устройство, оснащенное рабочими органами в виде усеченных призм [3]. Общий вид устройства для механоактивации коллоидных дисперсных систем приведен на рис. 1.

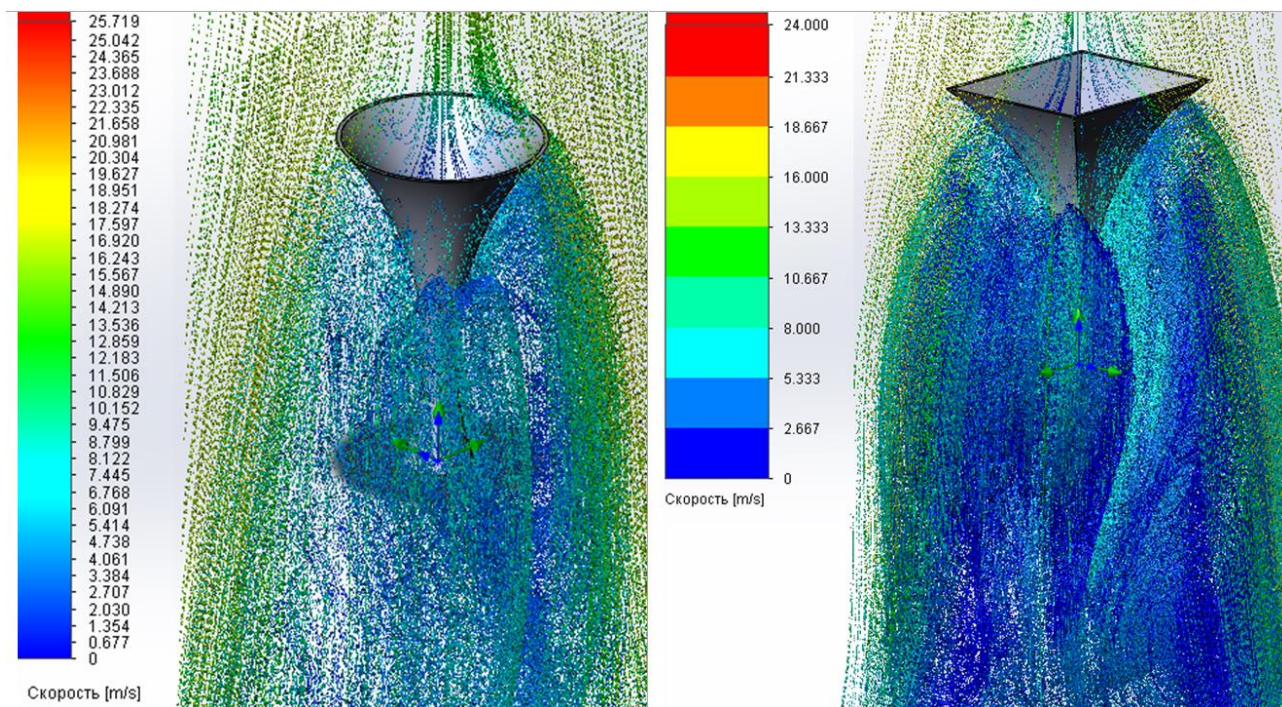
Отличительной особенностью предложенного устройства является наличие рабочих органов в виде усеченных призм, позволяющие в процессе работы снизить потребляемую мощность и повысить эффективность перемешивания [2,3].

Гидродинамика жидкости в аппарате является основой для оценки работы перемешивающего устройства. Исследованию распределения скорости жидкости в аппаратах с мешалками посвящено много теоретических и экспериментальных работ [1-4].

В данной работе выполнено исследование гидродинамики жидкости в различных рабочих органах с целью определения наилучшей их конфигурации. Для исследования движения жидкости были созданы твердотельные модели рабочих органов круглого и прямоугольного профиля в среде SolidWorks. С помощью приложения Floworks выполнено исследование движение жидкой среды через рабочие органы роторного устройства. Исходными данными для исследования являлись: жидкая среда – вода, скорость жидкости на входе  $v=15$  м/с; размеры рабочих органов: прямоугольного сечения  $a=20$  мм,  $b=10$  мм,  $c=10$  мм,  $l=60$  мм, круглого сечения  $d_1=20$  мм,  $d_2=10$  мм,  $l=60$  мм. Результаты расчетов приведены на рис. 2.



**Рис. 1.** Устройство для механоактивации коллоидных дисперсных систем: 1 – вал; 2 – призма; 3 – спица; 4 – ступица



**Рис. 2.** Результат исследования движения жидкой среды через рабочие органы устройства:  
а) круглого сечения; б) прямоугольного сечения

Из рисунков видно, что в обоих случаях образуются турбулентные кольцеобразные фрактальные потоки в жидкой системе и вихри Ренкина. Вышеуказанные явления за счет возникающих градиентов скоростей потоков жидкости внутри рабочего органа, потока жидкости на выходе и на наружной поверхности способствуют интенсивному перемешиванию жидкой среды. Причем интенсивность образующихся вихрей выше у рабочих органов прямоугольного поперечного сечения. Данное обстоятельство связано с наличием углов на поверхности конфузоров. Однако, скорость на выходе из рабочего органа круглого поперечного сечения выше и составляет 25,719 м/с против 24 м/с прямоугольного.

Таким образом, выполненные исследования показали, что использование рабочих органов прямоугольного сечения позволяет получать более сложные закрученные потоки жидкости, а круглого сечения позволяет увеличить скорость потока, но интенсивность турбулентности ниже. Результаты исследований будут использованы в дальнейшем при синтезе оптимальной конфигурации рабочих органов роторных устройств.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кожевников, С.О. Разработка смесителя для перемешивания жидких и гетерогенных сред [Текст]: дис. ... канд. тех. наук: 05.02.13: защищена 07.07.05: утв. 21.06.14 / Кожевников Сергей Олегович. - Иваново, 2005. - 138 с.
2. Кожевников, С.О. Исследование влияния рабочих органов перемешивающего устройства на время осаждения извести/С.О. Кожевников, Н.М. Ладаев, Е.В. Жбанова// Информационная среда вуза: Материалы XXIV Междунар. науч.-техн. конф./ Иван. гос. политехн.ун.-т. – Иваново, 2017. С. 383-389.

3. Устройство для механоактивации коллоидных дисперсных систем. Патент на полезную модель РФ №184449. / Кожевников С.О., Кузнецов В.Б., Калинин Е.Н. Опубл. 25.10.2018.

4. Ершов С.В., Калинин Е.Н. Компьютерный анализ ячеечной модели процесса механического обезвоживания волокнистого материала в валковой паре // Изв. Вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. №1. С. 137 – 141.

УДК 621

*И. А. Кононов, Н. А. Сафронов, В. Е. Иванов*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДРАЙВЕРА ДВИГАТЕЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА**

**Ключевые слова:** робот, электродвигатель, устройство, робототехника.

**Аннотация:** целью работы является разработка принципиальной схемы драйвера по управлению электроприводом робототехнического устройства.

*I. A. Kononov, N. A. Safronov, V. E. Ivanov*

## **DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF A MOTOR DRIVER OF A ROBOTIC DEVICE**

**Keywords:** robot, electric motor, device, robotics

**Abstracts:** the aim of the work is to develop a schematic diagram of the driver for controlling the electric drive of a robotic device.

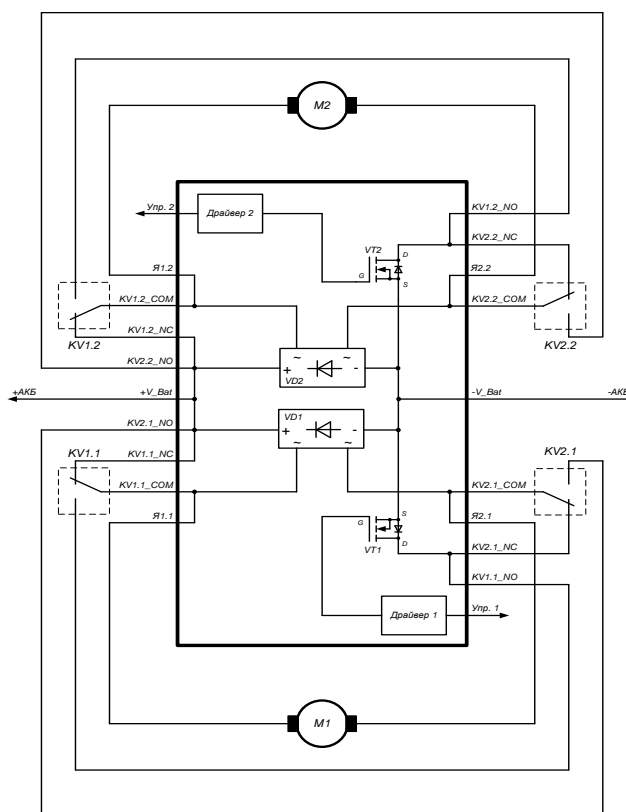
В настоящее время малогабаритные робототехнические устройства применяют во многих сферах деятельности человека. Робототехника хорошо зарекомендовала себя при использовании в военных целях или при проведении пожарно-спасательных и аварийно-восстановительных работ в зонах повышенного риска, обусловленных наличием радиации, химической и биологической зараженности местности, взрывоопасностью, где непосредственное нахождение людей опасно для жизни. Разработка современных образцов малогабаритных мобильных робототехнических устройств является актуальной задачей.

При разработке гусеничного шасси робототехнического устройства необходимо учитывать множество факторов, одним из важных является обеспечение плавного хода и регулировка скорости движения при использовании мотор-редукторов. Данные требования может обеспечивать драйвер двигателя, который управляется от главного контроллера. На рынке множество драйверов двигателей, но не все поддерживают электродвигатели с потреблением тока больше 30 А. Таким образом необходимо разработать драйвер двигателя с поддержкой электродвигателей с высоким потреблением тока.

Также необходимо учесть, что регулирование скорости движения и плавного пуска обеспечивается при использовании ШИМ-сигнала управления, а реверсивный ход движения возможно организовать с помощью реле. В работе разработана электрическая принципиальная схема драйвера двигателя (рисунок), распаяна плата и проведены испытания базового шасси, управляемого главным контроллером Arduino Uno на базе процессора ATmega 328.

Драйвер двигателя выполнен на основе силовых полевых транзисторов и обеспечивает необходимые ходовые характеристики при использовании в базовом гусеничном шасси мотор-редукторов с высоким потреблением тока.

Проведенные испытания позволили выявить достоинства и недостатки данной схемы, которые будут учтены при совершенствовании драйвера двигателя.



**Рисунок.** Схема электрическая принципиальная драйвера двигателей

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов В.Е. Выбор платформы для робота на радиоуправлении // NovaInfo.Ru. 2016. Т. 2. № 53. С. 36-39.
2. Иванов В.Е., Кропотова Н.А., Серебряков А.А., Архангельский К.Н. Мобильный разведывательно-поисковый робот // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново 12 апреля 2018 г. Россия, 2018. С 8-10.
3. Зарубин В.П., Иванов В.Е., Дадаев Р.Т. Перспективы применения шнековых движителей в робототехнике. В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, посвященной Году пожарной охраны. 2016. С. 240-242.
4. Иванов В.Е., Роммель И.А., Вокуев Д.Н. Перспективные разработки беспилотных летательных аппаратов. В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, посвященной Году пожарной охраны. 2016. С. 244-245.
5. Иванов В.Е. Применение 3D-принтера для создания прототипа робота // NovaInfo.Ru. 2016. Т. 3. № 53. С. 30-33.
6. Бык Н.О., Иванов В.Е., Легкова И.А. Перспективы применения квадрокоптеров. В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции. 2017. С. 32-33.
7. Зарубин В.П., Иванов В.Е., Сычев С.А. Перспективы применения шнековых движителей в технике специального назначения. В сборнике: Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России. Сборник материалов Всероссийской научно-

методической конференции с международным участием, посвященной 100-летию академика Д.К. Беляева. 2017. С. 58-61.

8. Никитина С.А. Применение инновационных технологий для развития познавательной способности обучающихся / С.А. Никитина, А.А. Покровский, В.Е. Иванов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. Воронеж. 2015. Т. 1. № 1 (6). С. 161-164.

9. Киселев В.В. Применение интерактивных форм обучения для развития профессионально-деловых качеств курсантов / В.В. Киселев, В.Е. Иванов, И.А. Легкова // Новейшие достижения в науке и образовании: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Смоленск. 2016. С. 133-135.

УДК 699.058

*В. И. Кочуров, А. В. Наумов*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **СИСТЕМЫ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПРЕССИОННОЙ ПЕНЫ У ЗАРУБЕЖНЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

**Ключевые слова:** пожарный автомобиль, тактико-технические характеристики, принцип действия, пневматическая пена, работоспособность, производительность, пропускная способность, компрессионная пена.

**Аннотация:** рассмотрены системы подачи компрессионной пены используемые в зарубежных странах. Проведен анализ и сделаны выводы о тактико-технических характеристиках установок.

*V. I. Kochurov, A. V. Naumov*

## **THE SYSTEM RECEIVING THE COMPRESSION FOAM MANUFACTURERS**

**Keywords:** fire engine, performance characteristics, principle of operation, pneumatic foam, performance, performance, throughput, compression foam.

**Abstracts:** the systems of compression foam supply used in foreign countries are considered. The analysis and conclusions about the tactical and technical characteristics of the installations.

Рассматривая вопрос повышения тактико-технических характеристик пожарного автомобиля пенного тушения в первую очередь необходимо отметить, что это в первую очередь должно достигаться в настоящее время за счет обеспечения многофункциональности данного автомобиля. Как было сказано ранее, конструкция автомобиля пенного тушения не менялась на протяжении десятилетий, при этом оставаясь не отличимой от обычной автоцистерны. Но при этом создаются системы водопенных коммуникаций которые высоко зарекомендовали себя на обычных автоцистернах, создаются новые системы пенного тушения с использованием компрессионной пены, пены на основе структурированных частиц золь-геля и многое другое



Компрессионная пена представляет собой однородную структуру (без остаточной жидкой фазы водного раствора пенообразователя), произведённую в смесительной камере способом принудительного вспенивания сжатым воздухом водного раствора пенообразователя и транспортируемую к месту подачи по трубопроводу и пожарным рукавам, что позволяет более эффективно использовать водный раствор пенообразователя.

Системы подачи компрессионной пены показали высокую эффективность тушения при минимальном расходе огнетушащих средств, а при нормальном давлении возможность осуществлять подачу огнетушащей пены на высоту более 100м. Физические параметры пены и, соответственно её тушащие свойства изменяются посредством регулирования соотношения ингредиентов. Установки позволяют получать так называемую «мокрую» пену кратностью 3...10 и «сухую» пену кратностью 10...20.

В настоящее время в Америке, Европе и других зарубежных странах распространены системы подачи компрессионной пены CAFS (Compressed Air Foam System) и One Seven.

На базе системы дозирования Foam Logix американская компания «Hale» создала систему тушения CAFS.

Основные элементы системы CAFS включают в себя ранее рассмотренную систему дозирования и впрыска пенообразователя Foam Logix (или другую), смеситель и компрессор (рис. 1).

В соответствии с расходом воды на выходе из пожарного насоса, насос подаёт пенообразователь в смеситель системы CAFS, в который от компрессора производится подача сжатого воздуха 1,4 – 2,5 м<sup>3</sup>/мин под давлением 0,7–1,0 МПа. В результате на выходе из смесителя получается воздушно-механическая (пневматическая) пена, которая далее транспортируется по пожарным рукавам. Получение так называемой «высотной» пены (подача пены на высоту более 200 м) производится за счёт увеличения давления сжатого воздуха до 1,2 МПа. Значения моделей системы CAFS соответствуют значениям моделей системы Foam Logix и различаются по производительности: CAFS 2,1А; CAFS 3,3; CAFS 5,0.

Аналогичное устройство и принцип действия имеют установки для тушения пожара пневматической пеной «One Seven», разработанные и производимые немецкими фирмами «Schmitz» и «Meinicke». Данные установки состоят из трёх основных компонентов: насоса, электронного дозатора и компрессора. Принцип их работы: вода подаётся от насоса под напором 80 м; к воде от электронного дозатора подаётся пенообразователь в очень малых концентрациях 0,2...1,0 %; в смесь воды и пенообразователя подаётся сжатый воздух от компрессора установки. Таким образом, пена

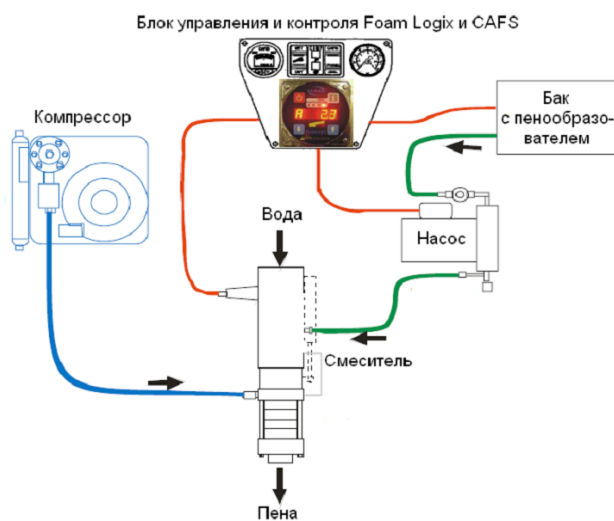


Рис. 1. Схема работы системы подачи пены CAFS с устройством дозирования и впрыска пенообразователя Foam Logix

образуется уже в установке и под давлением подаётся по обычным напорным рукавам. В зависимости от соотношения воды и воздуха установка позволяет получать «сухую» (1:20) и «мокрую» (1:7) пену.

Тушение производится обычными ручными водяными стволами, дальность подачи до 25 м. Установки «One Seven» имеют модульную конструкцию и легко монтируются на пожарные автомобили (рис. 8). Производимые модели установки: OS 300, OS 1200 и OS 3100 различаются габаритными размерами и производительностью; цифровое значение в обозначении модели означает производительность воздушного компрессора в л/мин.

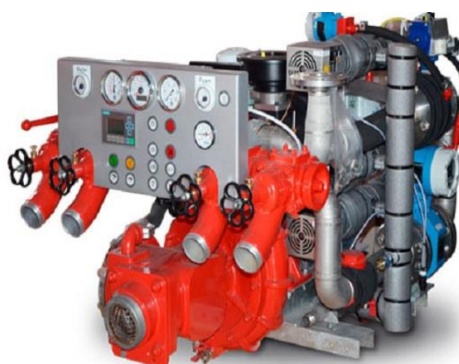
Технические данные OS 1200NE:

- производительность по пене – 1,4 м<sup>3</sup>/мин;
- производительность воздушного компрессора – 1200 л/мин;
- концентрации раствора пенообразователя – от 0,2 % до 2 %;
- пропускная способность дозатора – от 0,2 л/мин до 2,4 л/мин;
- максимальная пропускная способность по воде – 170 л/мин при 8 бар;
- габаритные размеры (мм) – 850x500x700.

Сегодня ООО ТПП «Пеленг» (г.Нижний Новгород), УСПТК (г.Челябинск), ОАО «Уралпожтехника» (г.Миасс, Челябинской области) и другие по желанию заказчика оборудуют пожарные автомобили системами дозирования и впрыска пенообразователя. ПО «Спецтехника пожаротушения» (Москва), ООО «Приоритет» (г.Миасс, Челябинской области) и другие оборудуют пожарные автомобили системами подачи компрессионной пены CAFS, интегрированными в пожарный насос.



**Рис. 2.** Установка пенного тушения OS 1200NE в отсеке кузова пожарной автоцистерны АЦ-3,0-40(4308) ООО «Приоритет»



**Рис. 3.** Внешний вид насосной установки JOHNSHAW NP-3000 (НЦПН-50/100), оборудованной системой CAFS

Гарантия работоспособности данных систем основана на строгом соблюдении инструкций по сборке, монтажу, настройке и эксплуатации. В итоге производителям необходимо подбирать шасси и кузов под систему, так чтобы обеспечивался доступ к элементам системы для возможности выполнения операций техобслуживания и ремонта, обеспечивался гидравлический или электрический привод к насосам, подающим пенообразователь и т.п.

Отсутствие практики работы с такими системами при сборке, монтаже, настройке и дальнейшей эксплуатации на отечественных пожарных автомобилях приводит в некоторых случаях к её отказам. Для повышения надёжности насосной

установки пожарного автомобиля производители зачастую устанавливают дополнительно и «старую» инжекторную систему получения водопенного раствора.

Проблемным также остаётся вопрос подготовки персонала эксплуатирующего данные системы. На практике из-за слабой подготовки водителей пожарных автомобилей наблюдались случаи неправильной эксплуатации (например, не промывки системы после применения) и как результат выход из строя дорогостоящего оборудования.

Тем не менее, в перспективе ожидается более широкое применение, систем дозирования и впрыска пенообразователя в насосных агрегатах отечественных пожарных автомобилей, о чём свидетельствуют требования Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ, в редакции Федерального закона от 10 июля 2012 г. № 117 «...пожарные насосы в зависимости от их конструктивных особенностей и основных параметров должны обеспечивать одновременную подачу воды и огнетушащих растворов при нормальном и высоком давлении», а также развитие отечественных технологий получения компрессионной пены по аналогу зарубежных «CAFS» и «One Seven».

Повышение тактико-технических характеристик пожарного автомобиля пенного тушения обеспечивается за счет совершенствования различных систем и влияет на эффективность тушения различных пожаров.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Концепция совершенствования пожарных автомобилей и их технической эксплуатации в системе Государственной противопожарной службы МЧС России: прил. 2 к приказу МЧС России от 31.12.2002 № 624 // Пожарные автомобили: сб. нормат. док. М.: ВНИИПО, 2007. Вып. 18. 227 с.
2. Анализ современного состояния пенного пожаротушения углеводородных жидкостей и выбор направлений исследований по повышению эффективности применения пен при тушении пожаров: Отчёт о научно-исследовательской работе / ВНИИПО; науч. рук. темы И.Ф. Безродный – М., 2005.
3. Официальный сайт ООО НПО «СОПОТ» <http://www.sopot.ru>.
4. Пожарная техника: Учебник / Под ред. М.Д. Безбородько.- М.: Академия ГПС МЧС России, 2004.-550 с.

УДК 654.026

**С. П. Кривцов, В. Ю. Позняк, В. А. Сафронов, А. С. Заманов**  
ФГКВОУ ВО Военная академия связи

#### **ИНТЕРАКТИВНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ТЕЛЕФОННОЙ СТАНЦИИ**

**Ключевые слова:** Служебная связь, система обучения, локальная сеть, автоматизированное рабочее место, программное обеспечение, электронная почта, короткие текстовые сообщения.

**Аннотация:** В работе рассмотрены подход к моделированию сети автоматической телефонной станции. Статья описывает возможность принципиально иного подхода с использованием системы интерактивного обучения, развёрнутой на основе локальной сети служебной связи и с применением автоматизированных рабочих мест.

*S. P. Krivtsov, V. Yu., Poznyak, V. A. Safronov, A. S. Zamanov*

## INTERACTIVE MODELING OF PABX NETWORK

**Keywords:** Business communication, training, LAN, workstation, software, email, short text messages.

**Abstracts:** The article describes the possibility of a fundamentally different approach in the training and development of educational material using an interactive learning system, deployed on the basis of a local network of service communication and with the use of automated workplaces.

Рассмотрим этапы создания интерактивного тренажёра сети АТС: для реализации интерактивного тренажёра, а именно комплекса имитации КАС, автоматизированные рабочие места КУТС должны быть соединены между собой локальной сетью, а на РМ обучающихся установлено программное обеспечение (реализованных с помощью виртуальных машин на базе VMware).

На РМ обучающихся устанавливаем VMware, соединяем в одну локальную сеть. При помощи созданных заранее виртуальных машин, формируем на РМ в программе VMware КАС П-260-О (У, Т), состоящую из виртуальных машин основного оборудования. В состав основного оборудования включаем следующие виртуальные машины: КУ-1-711 это 1 коммутатор; Н-4-711 это специальная аппаратура; SPD-711 это сервер передачи данных; ARM-711 это компьютер – АРМ ОТУ; КУ-2-711 это 2 коммутатор.

Для имитации кабельных вводов и без ошибочной работы комплекса имитации КАС на физическом уровне, на РМ обучающихся отключаем все незадействованные адаптеры реальной машины.

Если в комплексе имитации КАС в качестве имитатора будет использоваться МТУ, то для его реализации потребуется 4 виртуальных машины: КУ-1-711 это 1 коммутатор; Н-4-711 это специальная аппаратура; SPD-711 это сервер передачи данных; ARM-711 это компьютер – АРМ ОТУ.

Все запущенные файлы с расширением \*.vmtx из папок с виртуальными машинами должны появиться в VMware. Итого в зависимости от выбора комплектации КАС П-260-О (У, Т) в программе VMware будут отображаться четыре (или пять) виртуальных машины.

Для каждой виртуальной машины желательно установить значение ОЗУ по 512 Мб, а для имитатора виртуальной машины Н-4-711 (специальной аппаратуры) достаточно 128 Мб. Данная установка значения ОЗУ поможет устранить «подвисания» при работе имитатора, и проблемы запуска имитатора при нехватке памяти. Затем проверяем настройку «Сетевой адаптер», должно состояние устройства и подключение к сети, а также необходимо сгенерировать для каждого из виртуальных образов и для каждого сетевого адаптера случайное новое значение MAC-адреса. Для этого заходим во вкладку «Дополнительно» и нажимаем генерировать. Далее запускаем имитатор. Все виртуальные машины по очереди запускаются. Этот процесс длится до 5 минут.

Процесс окончания загрузки виртуальных машин отобразиться на экране приглашением на ввод login.

Теперь выбираем КУ-1, щелкаем в центре экрана, нажимаем ввод, появляется приглашение login, вводим root и затем mqs. Выбираем файл /etc/config/netmap. Открываем файл для правки клавишей <F4>.

Выходим из виртуальной машины, переключаемся на реальную. Смотрим значение MAC-адреса на интерфейсе КУ-1 или КУ-2 (если КУ-2 есть, то это имитатор ИКУ). Записываем это значение в файл netmap. Далее выбираем виртуальную машину для АРМ, и вводим логин root и пароль 13245678. Выбираем какой-нибудь терминал, например, пуск-программы-утилиты-elk терминал. Запускаем его и проверяем доступность всех устройств в сети: сначала проверяем IP на интерфейсе командой «ifconfig –a». Например, IP-адрес АРМ 192.170.101.21, с него проверяем доступность к устройствам, при помощи команды «ping IP-адрес устройства». Итак, команда для проверки доступности устройств будет выглядеть следующим образом:

«ping 192.170.101.198» для СПД; «ping 192.170.101.199» для КУ-1; «ping 192.170.101.197» для КУ-2 (если используется ИКУ); «ping 192.170.101.200» для специальной аппаратуры (может не откликнуться на «технологический», но откликнется на «боевой» IP-адрес); «ping 192.170.101.21» для АРМ (сам себя). Закрываем окно терминала. На рабочем столе находится ярлык на командный файл «ИКУ-711», запускаем его, на приглашение войти, вводим login: «xwin». Далее выбираем АРМ оперативно-технологического управления. После того, как загрузиться программа оперативно-технологического управления, загорится кнопка ЛВС зеленым, нажимаем кнопку СЕТЬ, далее выбираем свой коммутатор, затем «действия» - изменить параметры своего коммутатора - изменить код своего коммутатора. Изменяем код коммутатора в соответствии с их порядковым номером, который совпадает с последним разрядом IP-адреса РМ обучающегося, 401-499 для МТУ, и 501-599 для ИКУ.

Затем изменяем IP-адреса коммутаторов, для этого необходимо нажать на вкладку «действия» - изменить параметры своего коммутатора - изменить ip адреса. В данном окне вводим новые IP-адреса коммутаторов согласно с заданием. Также необходимо учесть, что боевой IP-адрес для СПД должен оканчиваться на 198. Для всех ИКУ и МТУ адреса пишем, например МТУ 401. Видим: адрес vlan0 СПД: 192.168.101.198; для КУ1 192.168.101.199; для КУ2 192.168.101.197; для АРМ 192.168.101.199; vlan1 СПД 192.168.11.198.

Запоминаем или записываем, созданную сеть для своей станции. Далее нажимаем кнопку «Выполнить», закрываем окна и ждем перезагрузки устройств. Закрываем окно оперативно-технологического управления. Выходим на рабочий стол.

Действия по подготовке к работе имитаторов специальной аппаратуры:

Выбираем имитатор специальной аппаратуры, нажимаем по центру экрана, затем вводим логин «root», нажимаем кнопку «Enter». После ввода пароля приглашительная строка изменится на строку, в которой вначале будет стоять знак «#» (решетка), что означает, что устройство готово воспринимать и выполнять команды. Затем запускаем командер, при помощи команды «mqs» и нажатием кнопки «Enter». На экране отобразиться окно, командер, в котором необходимо пройти по пути /etc/vlanimit, выбираем этот файл, открываем для редактирования клавишей «F4». Если файл «vlanimit» не открывается для редактирования, то необходимо его скопировать в папку /tmp, там копируем «vlanimit» и переносим обратно по пути «/etc/vlanimit». Обратите внимание, что в строке <ifconfig wm0> отображается адрес

закрытого сегмента сети, который оканчивается всегда на 200, изменяем его согласно с заданием. Второй строкой идет псевдоним адреса в закрытом сегменте, который также заканчивается на 200. В строке `<ifconfig wml>` отображается адрес открытого сегмента сети, согласно с заданием.

Затем сохраняем результаты правки нажатием клавиши «F2», внизу высветится запись «file saved», после чего при помощи клавиши «F10» выходим из режима редактирования. Далее идем по пути `</usr/local/etc/zebra.conf>` и редактируем («F4») его согласно с заданием. Записываем в этот файл статические маршруты ко всем сетям других имитаторов. Затем сохраняем («F2») результаты правки, после выходим из режима редактирования («F10»). В завершении настройки в командной строке пишем команду `<shutdown now>` и перезагружаем виртуальную машину. Снова выбираем АРМ, выбираем пуск-настройка-настройка сети, выбираем интерфейс, нажимаем кнопку «остановить» правка - изменить или просто дважды щелкнуть по нему. Изменяем IP-адрес интерфейса на тот, который должен быть в новой сети. Сохраняем файл и активируем интерфейс. При помощи терминала проверяем доступность всех устройств в сети согласно новым IP-адресам. Закрываем окно терминала, открываем «свойства» ярлыка командного файла «ИКУ-711», изменяем название, согласно указаниям, например, ИКУ-505 или МТУ-402. Открываем на рабочем столе ярлык «Домашний каталог», проходим по пути `</home/batmo/rmo.txt>`, для смены кодировки на KOI-8R и вводим IP-адреса сети в соответствии с заданием. Сохраняем изменения, запускаем «ИКУ-711» в режиме оперативно-технологического управления. Исключаем абонента с последними цифрами 118 из системного блока №1 слота №13 блока №1. Затем в окне справки о состоянии абонентов нажать ip-телефон «F3», директивы «F4», для включения IP-телефона. Вводим номер IP-телефона с окончанием на 118, IP-адрес телефона - на 100, а пароль 118. Нажать «Выполнить». Закрываем все окна. Выходим в реальную машину. Все лишние адаптеры необходимо отключить, оставить только проводные. Нажимаем ОК. Закрываем все эти окна.

Запускаем программу «Lifesize Softphone», в меню выбираем «Настройки». Заполняем данные: во вкладке кодеки выбираем все необходимые аудио- и видеокодеки, формат видео, при необходимости кодек H.239 и управление дальней камерой; во вкладке сеть и протоколы настраиваем: IP-сеть и телефонные протоколы; во вкладке SIP заполняем: пользователь SIP, местный порт, отображаемое имя, местный SIP URI, а также сервер регистрации и исходящий прокси-сервер. Также имеется возможность произвести общие настройки аудио и видео подключенных устройств: веб-камеры и гарнитуры. Сохраняем установленные настройки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев И.Г., Иванов В.Г., Домбровский Я.А. Применение средств автоматизации при организации связи. СПб.: ВАС, 2012. – С. 95.
2. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – С. 400.

УДК 654.026

*С. П. Кривцов, В. Ю. Позняк, В. А. Сафронов, А. С. Заманов*

ФГКВООУ ВО Военная академия связи

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ ДОКУМЕНТАЛЬНОЙ СВЯЗИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБРАБОТКИ СООБЩЕНИЙ**

**Ключевые слова:** Программа оператора документального обмена, код должностного лица, программа контроля доведения сообщений, автоматизированное рабочее место.

**Аннотация:** В работе рассмотрены перспективы развития системы документального обмена с применением перспективной сети служебной связи. Статья описывает предназначение и возможности сети документального обмена на основе локальной сети служебной связи.

*S. P. Krivtsov, V. Yu., Poznyak, V. A. Safronov, A. S. Zamanov*

## **MODELING A NETWORK OF DOCUMENTARY COMMUNICATION BASED ON A COMPLEX OF TECHNICAL MEANS OF PROCESSING MESSAGES**

**Keywords:** Program operator of the documentary exchange, code officials, and control program of communicating messages, computer workstation.

**Abstracts:** The paper deals with the prospects of development of the system of documentary exchange on the field communication node with the use of a promising service communication network. The article describes the purpose and capabilities of the documentary exchange network based on the local service network.

Программа оператора документального обмена (ПОДО) предназначена для эксплуатации в составе комплекса программ «Центр коммутации каналов и сообщений, абонентский пункт» АУВЮ.10060-04 и обеспечивает работу оператора документального обмена в части подготовки и отправки телеграфных сообщений.

ПОДО обеспечивает:

формирование телеграфного сообщения;

отправку сформированного сообщения адресатам;

прием сообщений, адресованных на рабочее место оператора документального обмена.

При запуске ПОДО на экран выводится форма входа в программу.

Форма содержит учетные данные оператора: логин и имя, а также позывной объекта.

Программа анализирует таблицы доступа, определяя список код должностного лица, под которыми оператор может работать с ПОДО. Для продолжения работы оператор должен выбрать нужный КДЛ из списка и нажать кнопку «Продолжить».

Если оператору не доступен ни один КДЛ для работы с ПОДО, форма выводится со следующим сообщением: «Вам недоступен ни один КДЛ для работы с АРМ».

Главное меню программы включает в себя следующие пункты: отправка, прием, выбор, восстановление, программа контроля доведения сообщений (ПКДС), окна, помощь.

Пункт главного меню «Отправка» включает в себя следующие подпункты, связанные с подготовкой сообщения и постановкой его в очередь на отправку: подготовить сообщение, отправить сообщение, очистить сообщение, выбрать список адресатов, сообщение для экватора, выход.

При выборе подпункта «Подготовить сообщение» или нажатии соответствующей кнопки на панели инструментов на экран выводится форма для ввода сообщения. Форма состоит из трех частей (закладок): Заголовок и адреса; Текст; Подписная часть.

Закладка «Заголовок и адреса» содержит поле «Тип сообщения», а также четыре группы полей: Заголовок; Служебный заголовок; Дополнительно; Адреса.

В поле «Тип сообщения» оператор может задать одно из следующих значений, выбираемых из выпадающего списка: телеграмма; кодограмма; криптограмма.

Группа «Заголовок» включает следующие поля:

Гриф секретности – выбирается из выпадающего списка;

Категория срочности - выбирается из выпадающего списка категорий из классификатора;

Служебные отметки – поле содержит таблицу служебных отметок, определенных нормативными документами. В списке служебных отметок нужно отметить те, которые должны быть включены в телеграмму.

Группа «Служебный заголовок» включает следующие поля:

Пункт подачи ТЛГ – два текстовых поля для ввода позывного и кода должности, определяющих пункт подачи сообщения;

Телеграфный номер – поле для ввода номера сообщения;

Количество слов – количество слов в сообщении вводится с клавиатуры или автоматически перед отправкой;

Дата подачи – дата подачи сообщения в формате ДД. Изменяется вводом с клавиатуры;

Время подачи – время подачи сообщения в формате ЧЧММ.

Закладка «Текст» содержит поле для ввода текста сообщения. Текст заполняется простым вводом с клавиатуры. Существует два режима ввода текста: вставка или замена. Кроме того, можно использовать возможности ввода текста с перфоленты или магнитного носителя.

Если исполнитель подготовит текст сообщения на внешнем носителе (дискете или съемном диске), его можно ввести в форму отправки. Исполнитель должен сообщить имя файла, где он сохранил текст, и кодировку текста.

Программа работает со следующими типами кодировок:

CP866 (DOS);

CP1251 (Windows);

KOI8-R;

UTF-8;

ISO8859-1;

МТК-2.

После ввода текста его можно сохранить для возможного использования при вводе следующего сообщения.

Во вкладке «Подписная часть» содержит две группы полей:



Подписная часть;

Для экспедиции.

Группа «Подписная часть» включает следующие поля:

Подписной номер - вводится с клавиатуры;

Дата подписи – выбирается из выпадающего списка;

Номер в/ч – номер в/ч отправителя сообщения. Выбирается из классификатора воинских частей, приписанных к узлу связи. При отсутствии в классификаторе может быть введено вручную;

Должность – должность лица, подписавшего сообщение. Выбирается из классификатора должностных лиц;

Фамилия - фамилия должностного лица, подписавшего сообщение.

Группа «Для экспедиции» включает следующие поля:

Откуда поступила – наименование подразделения – подателя сообщения. Вводится с клавиатуры;

Исполнитель – звание и фамилия исполнителя. Вводится с клавиатуры;

Тел. номер – номер телефона исполнителя. Вводится с клавиатуры;

Подлежит возврату – флажок для указания того, что текст телеграммы должен быть возвращен подателю.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев И.Г., Иванов В.Г., Домбровский Я.А. Применение средств автоматизации при организации связи. СПб.: ВАС, 2012. – С. 95.
2. Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи: Учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – С. 400.

УДК 654.026

***С. П. Кривцов, М. В. Пылинский, А. С. Васин, О. И. Кривошей***

ФГКВОУ ВО Военная академия связи

### МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ СВЯЗИ

**Ключевые слова:** мультисервисная сеть, сеть связи общего пользования, модель сети связи.

**Аннотация:** Целью данной статьи является анализ особенностей построения и функционирования мультисервисных сетей и выявление особенностей, не используемых при моделировании, а также тех, которые нужно непременно учитывать при построении адекватных предсказательных имитационных моделей систем (сетей).

*S. P. Krivcov, M. V. Pylinskij, A. S. Vasin, O. I. Krivoshey*

## **FEATURES OF MODELING NETWORK COMMUNICATION NETWORKS FOR SPECIAL PURPOSE**

**Keywords:** special purpose communication network, public communications network, model of a communication network.

**Abstracts:** The purpose of this article is to analyze the features of the construction and functioning of communication networks of special purpose and identification of features, not used in modeling, as well as those that need to be sure take into account when constructing adequate predictive simulation models system (networks).

В процессе развития и совершенствования мультисервисных сетей связи (МСС) необходимо принимать различные организационные и технические решения относительно состава и структуры, выработки способов и алгоритмов функционирования. С учетом сложности, динамичности масштабности МСС, обоснование решений по ее построению осуществляется, как правило, с применением различных методов моделирования, что позволяет исследовать линию поведения и разных вариантов построения в предсказуемых условиях функционирования с учетом факторов вооруженного противоборства. Особенно важной и сложной задачей при моделировании МСС является исследование характеристик структуры и поведения, поскольку в целом в значительной мере именно они определяют эффективность функционирования данного рода систем.

Выбор метода исследования неразрывно связан с выбором или разработкой соответствующей модели. Для проведения исследования систем и МСС в настоящее время используются различные их модели [2]. Общими требованиями к моделям являются:

- 1) адекватность – достаточно точное отображение свойств объекта;
- 2) полнота – предоставление получателю всей необходимой информации об объекте и его поведении в различных условиях обстановки;
- 3) гибкость – возможность воспроизведения различных ситуаций во всем диапазоне изменения условий и параметров;
- 4) трудоемкость разработки должна быть приемлемой для имеющегося времени и программных средств [3].

Основное требование к модели – отражение существенных свойств структуры системы и воспроизведение процессов ее функционирования (адекватность). В силу сложности и многоаспектности МСС, некоторые аналитические методы не позволяют решать даже хорошо формализованные частные задачи математического моделирования. Использование для этих целей известных математических моделей позволяют получить лишь качественные выводы о протекающих в сети процессах. В настоящее время наиболее эффективно применение имитационного моделирования (ИМ).

При разработке и исследовании МСС приходится иметь дело с системой моделей. Так на этапе макропроектирования требуется макро модель, отражающая систему связи в целом. На стадии микропроектирования необходимы модели различных подсистем и элементов системы связи. Создание многоуровневой комплексной и динамичной модели системы связи, включающей множество моделей, объединенных единством цели, исходных данных и общей идеологией решения задач ее построения

и функционирования является одной из проблем теории и практики построения систем связи.

При создании модели СС СН и проведении вычислительных экспериментов с созданной моделью необходимо определить следующие общие параметры модели: структуру моделируемой системы связи; структуру информационных потоков системы связи; базовые алгоритмы и протоколы, реализованные в модели; перечень варьируемых параметров в модели системы связи.

В СС СН часть абонентов, УС ПУ зачастую подключаются одновременно к нескольким опорным УС транспортной сети связи (ТрСС), что связано с необходимостью обеспечения своевременной доставки сообщений через созданные, образованные сети за заданное время, с целью обеспечения требуемой устойчивости всей системы связи. Прежде всего, алгоритмы маршрутизации пакетов (сообщений) на опорных УС ТрСС должны учитывать «многопривязанность» абонентов. Поэтому, моделирование такой системы не может сводиться к моделированию только ТрСС, и модель должна описывать сеть графом, в который входят не только опорные УС, но и сами абоненты.

Для обеспечения надежного информационного взаимодействия, в тракты передачи данных входят обычно каналы связи различной физической природы. Это приводит к необходимости моделировать отдельные линии (каналы) связи, используя либо ИМ для различных линий (каналов) связи, либо метамодели [2], построенные по результатам предварительно проведенных вычислительных экспериментов с ИМ. Эти факты отражают одно из принципиальных различий между моделированием общедоступных СЭОП и рассматриваемых СС СН, так как циркулирует информация разного типа, имеющая разные приоритеты и к доставке которой предъявляются различные требования по своевременности. Тем самым, при моделировании СС СН необходимо иметь совокупность моделей, описывающих входные потоки информации, имеющей разные приоритеты.

Характер низкоприоритетных потоков близок к характеру информационных потоков в СЭОП, поэтому такие потоки могут описываться пуассоновскими моделями с переменной интенсивностью. Однако высокоприоритетные информационные потоки с критически важной информацией определяются сценариями развития ситуации в СУВ и не могут описываться простыми математическими моделями. Каждое произошедшее событие порождает конкретный поток сообщений, отправляемый от одних конкретных должностных лиц (органов управления) к другим. Подобный характер информационных потоков, циркулирующих в СС СН, в виде суперпозиции низкоприоритетных потоков, описываемых пуассоновскими моделями, и высокоприоритетных информационных потоков, определяемых содержательными сценариями функционирования СУВ и реализуемых в виде внешних сценарных моделей, является вторым принципиальным различием между существующими моделями СЭОП и моделированием рассматриваемых СС СН.

В отличие от СЭОП, «многопривязанность» абонентов в СС СН требует моделирования доставки сообщения не только до одного из конечных УС, к которому привязан абонент-получатель, но и моделирование передачи по соответствующему абонентскому тракту. Это накладывает следующие требования к моделям СС СН: маршрутизация должна учитывать «многопривязанность» абонентов, и матрицы маршрутизации для доведения информации до УС ПУ не определяют полностью маршруты дальнейшей передачи. Потоки информации в СУВ разделяются по важно-

сти и категориям срочности, как и направления связи различаются по группам важности, к которым предъявляются разные требования к их вероятностно-временным характеристикам. Поэтому информационные потоки между органами управления имеют разно приоритетный характер, определяющий приоритетность их обслуживания в элементах сети. В силу жестких требований к своевременности доставки сообщений, алгоритмы маршрутизации (коммутации) в МСС должны «мгновенно» реагировать как на изменение своей структуры, связанной с отказами и восстановлениями элементов, так и на меняющуюся загрузку этих элементов, и оперативно перестраивать свою маршрутизацию. Это особенно важно, так как, в отличие от СЭОП, в которых отказы элементов сетей связаны, как правило, с техническими причинами, в МСС отказы могут носить коррелированный характер в результате внешних воздействий и в первую очередь связанных со стремлением противоборствующей стороны повлиять на функционирование СУВ и ее технической основы системы связи. В случае «централизованной» маршрутизации существенно снижается степень адаптации маршрутизации к реальной обстановке на сети, а при отказе центра управления сетью, на котором происходит маршрутизация, сеть просто не будет реагировать на состояние, что может привести к большой задержке доведения или к не доведению даже критически важной высокоприоритетной информации.

При проведении вычислительных экспериментов варьируются только матрицы входных потоков, а в большинстве случаев только суммарная интенсивность, входящая скалярным множителем в фиксированные матрицы входных потоков. Если предметом исследования не является выбор «оптимальной» топологии сети, включая вопросы наращивания сети, то различные топологии не являются варьируемыми параметрами модели, а задаются пользователем как исходные данные. Однако в процессе имитации функционирования МСС должна изменяться текущая топология сети, связанная с коррелированными отказами и в результате внешних воздействий. Необходимость наличия генератора внешних воздействий на МСС в соответствии с заданным сценарием определяет четвертое принципиальное различие между моделями СЭОП и МСС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О связи. Федеральный закон РФ от 07.07.2003 № 126-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации от 14 июля 2003 г. № 28 ст. 2895.
2. Пирогов Ю.А. Методология исследования систем и сетей военной связи: Учебн. пособие.– СПб.: ВАС, 2016 – 164 с.
3. Боев В.Д. Моделирование проектирование систем / В.Д. Боев, Ю.В. Кондрашев. / Учебник. – СПб.: ВАС, 2016.– 246с.

УДК 62-1/-9

**В. Е. Иванов**

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РАЗРАБОТКА ГРУЗОВОЙ ТЕЛЕЖКИ ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ РЕМОНТА КРУПНОГАБАРИТНЫХ АГРЕГАТОВ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ**

**Ключевые слова:** грузовая тележка, ремонт техники, крупногабаритные агрегаты и узлы техники.

**Аннотация:** в статье рассматривается спроектированная и смоделированная грузовая тележка, которая послужит незаменимым помощником при выполнении ремонтных работ пожарной техники.

## **THE DEVELOPMENT OF A CARGO TRUCK TO FACILITATE THE REPAIR OF LARGE UNITS OF FIRE EQUIPMENT**

**Keywords:** cargo truck, repair of equipment, large-size units and units of equipment.

**Abstracts:** the article deals with the designed and modeled cargo truck, which will serve as an indispensable assistant in the performance of repair work of fire equipment.

Грузоподъемные механизмы во многом облегчают работу на складе. Таким вспомогательным видом механизма являются **грузовые тележки**. Они в значительной мере облегчают транспортировку груза, различного по габаритам и массе. Такое оборудование необходимо использовать для оснащения ремонтного поста пожарных автомобилей. Тележки платформенные используют для работы с большими грузами. Они также представлены в большом ассортименте. Они могут отличаться по габаритам, грузоподъемностью, видом колес и др.

Техническая эксплуатация – это совокупность технических и экономических мероприятий, целью которых является поддержание пожарной техники в работоспособном состоянии. Техническая эксплуатация пожарных машин определяет способы обеспечения эффективного выполнения задач по тушению пожаров при полной реализации технических возможностей машин и обеспечению заданного уровня надежности. Оптимизирование различных видов затрат, основными из которых являются материальные и трудовые, снижение негативного влияния технического состояния пожарных автомобилей на окружающую среду, население, эксплуатирующий их персонал так же являются актуальной задачей.

Основной метод предотвращения неисправности пожарного автомобиля - это его техническое обслуживание (ТО). ТО - это совокупность организационно-технических мероприятий, направленных на предупреждение возникновения неисправности, уменьшение износа деталей, при эксплуатации автомобиля, что повышает его надежность и долговечность и работоспособность. Чтобы снизить трудовые и денежные затраты на поддержание пожарной техники в работоспособном состоянии необходимо значительно улучшить техническое обслуживание и использование парка автомобилей, улучшать ремонтную базу и организацию ремонтного производства.

ния является разработка технологического приспособления для замены крупногабаритных агрегатов и узлов пожарных автомобилей. Ремонт двигателя пожарного автомобиля является трудоемким процессом. Для снижения энергозатрат при проведении операций по подъему и передвижению по ремонтному посту технического обслуживания пожарных автомобилей необходимо приспособление, позволяющее проводить работы одним рабочим, см. рисунок.



**Рисунок.** 3-D модель технического устройства для подъемных работ крупногабаритных агрегатов пожарных автомобилей

На уровне структурно-параметрического проектирования были решены задачи, связанные с выбором принципиальных технических решений, которые определили общую структуру разрабатываемого приспособления для ремонта и замены крупногабаритных агрегатов и узлов пожарных автомобилей и основные параметры, отражающие связи с другими техническими устройствами и системами, а также условия функционирования в окружающей среде. Для сопоставления со стандартным процессом проектирования все задачи структурно-параметрического проектирования охватывали этапы технического задания, технического предложения и частично эскизного проектирования.

Учитывая прикладную специфику решаемой задачи структурно-параметрического проектирования, был выбран наиболее рациональный вариант проектируемой конструкции для более детального рассмотрения на следующих уровнях проектирования.

Конструкция устройства должна обеспечивать возможность обслуживания крупногабаритных агрегатов пожарных автомобилей, например, двигателя.

Разрабатываемое устройство должно состоять из следующих составных частей:

- специальной платформы на колесном ходу;
- телескопической стрелы;
- горизонтальных роликов для перемещения крупногабаритных агрегатов;
- лебедки для подъема (опускания) агрегатов и узлов пожарного автомобиля;
- электродвигателя;
- гидравлического цилиндра.

Устройство должно быть создано на базе специальной платформы на колесном ходу.

На платформу должны быть установлены:

- электродвигатель;
- механизм управления гидравлическим цилиндром;
- система управления лебедкой;
- система управления гидравлическим цилиндром;
- система управления электродвигателем.

Материалы и комплектующие изделия, применяемые при проектировании устройства, должны соответствовать требованиям стандартов или технических усло-

вий. Соответствие материалов и комплектующих изделий требованиям стандартов или технических условий должно подтверждаться сертификатами, а при их отсутствии, данными химических анализов, механических и других испытаний, производимых в соответствии с требованиями соответствующих стандартов и технических условий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарубин В.П., Кропотова Н.А. Перспективы применения передвижной мастерской для проведения технического обслуживания и ремонта пожарной техники. // Сборник научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции «Ключевые проблемы и передовые разработки в современной науке» (31 октября 2017 г.) / Международный научно-информационный центр «Наукофера». Смоленск: ООО «Новаленсо», 2017. - С. 129-130.

УДК 378.12

*Н. А. Кропотова*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ОСОБЕННОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ СПЕЦИАЛИСТОВ ТЕХНОСФЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

**Ключевые слова:** логистизация, образовательный процесс, управление подготовкой кадров, подготовка специалистов, специалист техносферной безопасности.

**Аннотация:** Стремительное внедрение в жизнь инновационных технологий предъявляет высокие требования к уровню подготовки будущих специалистов самых разных областей, в том числе и выпускников образовательных организаций МЧС России. Поэтому данное исследование посвящено решению проблемы управления процессом подготовки кадров.

*N. A. Kropotova*

### FEATURES OF MANAGEMENT OF TECHNICAL TRAINING SPECIALISTS IN TECHNOSPHERE SAFETY

**Keywords:** logistics, educational process, training management, training, technosphere safety specialist.

**Abstracts:** the rapid introduction of innovative technologies in life places high demands on the level of training of future specialists in various fields, including graduates of educational organizations of the Ministry of emergency situations of Russia. Therefore, this study is devoted to solving the problem of management of the training process.

В настоящее время процесс подготовки будущих специалистов в организациях высшего профессионального образования пытается выйти на новый уровень с использованием новых инновационных образовательных технологий, например, модульное обучение. Однако применение модульного обучения в сфере профессиональ-

ного образования ориентирована на формирование отдельных профессиональных умений и их совокупностей в определенных условиях, что и определяется потребностью обществ. В более конструктивном, практическом подходе формирование профессиональных качеств обучающихся, ориентировано на научно-технические достижения XXI века, на конструктивизм в профессиональной подготовке. В связи с этим качество и уровень профессиональной подготовки специалистов техносферной безопасности, возложенные в основном на вузы МЧС России, повышается и требует постоянной корректировки образовательной среды, инновационных подходов и инструментов образования.

Повышение адаптивности управляемого образовательного процесса, на примере подготовки специалистов техносферной безопасности. Основное решение этой проблемы заключается в формировании модели адаптивного управления образовательным процессом. В качестве примера нами выбрана подготовка специалистов ТБ. В основу процесса подготовки заложены необходимые условия:

- инновационная образовательная среда;
- компетентностный подход;
- уровневое освоение знаний, балансовый метод проектирования образовательного процесса;
- логистизация образовательного процесса.

Исходя из этого, предлагается использовать логистику для образовательного процесса. Благодаря чему появляется возможность синхронизации педагогической системы, в свою очередь, это позволит снизить риск неэффективного использования средств на развитие и образование. Принципиальная новизна логистического подхода в системе вузовского образования – это взаимная связь, соединение всех областей, всех направлений деятельности, с целью создания материала проводящих систем, гармонично организованных, легко управляемых и высокоэффективных.

Как известно в образовательной среде происходят взаимосвязанные процессы, объединяющие в себя и цели обучения и результаты обучения, через его содержание и исполнение деятельности преподавателя и обучающихся. Управление этими процессами требует соблюдения следующих обязательных условий: повышение гибкости процесса, увеличение скорости процесса оптимизации, повышение устойчивости выбранных траекторий, расширение информационной координации, непрерывное улучшение взаимодействий компонентов, оперативное управление и поддержка принятия управленческих решений. Перечисленное является примером адаптивности процесса подготовки кадров, реализующего логистический принцип управления. Предполагаем, что, основываясь на данном утверждении, возможно реализовать не только адаптивную среду для обучающихся, но и адаптивное управление процессом подготовки специалистов (рис. 1).

Функционирование адаптивной системы обучения подразумевает конструирование множества вариантов создания индивидуальной программы обучения для достижения максимально возможной обученности каждым обучающимся, что является конструктивной идеей обучения в ведомственной профильной образовательной организации высшего образования на начальном этапе. Для решения вопроса связанного с повышением адаптивности управления процессом подготовки высококвалифицированных специалистов в области пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ предлагается рассмотреть поэтапное формирование компетенций с учетом профессиональной направленности (рис. 2).



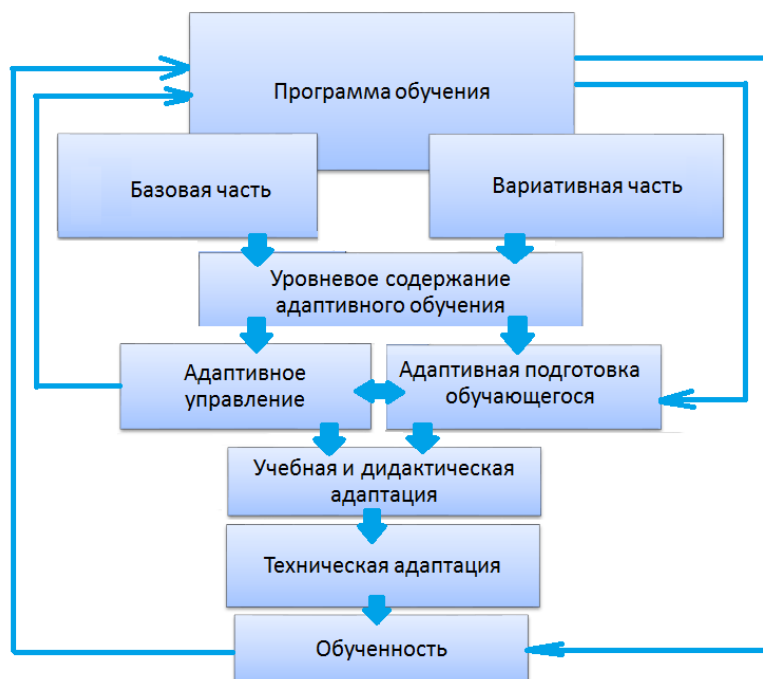


Рис. 1. Обеспечение адаптивности образовательного процесса



Рис. 2. Этапы блочно-модульного управления образовательного процесса

Блочно-модульная система предполагает разбиение учебного процесса на ориентированные этапы (общенаучная, общепрофессиональная, профильная подготовка бакалавров и специализированная магистратура), соответствующие структуре. При этом каждый этап является законченным и подразумевает итоговый интегральный контроль его выполнения, который уже осуществляется на базе программного обеспечения FireTest.

Первый этап блочно-модульного образовательного процесса предусматривает формирование фундаментальных основ профессиональной подготовки, оценку способностей и склонностей каждого обучаемого и соответствующую корректировку целевых функций. Для организации контроля и управления подготовкой целесообразен прогрессивно возрастающий период проведения мероприятий балльно-рейтинговой системы. Контрольное тестирование в конце первого этапа дает дополнительную информацию о качестве подготовки обучающихся по выделенным учебным курсам, модулям и позволяет произвести соответствующую группировку и перегруппировку обучающихся по направлениям и профилям.

Выделение второго этапа позволяет адаптировать систему управления к разнообразию интересов субъектов профессионального обучения, способностям и уровню подготовки каждого обучающегося. На данном этапе конкретизируется сфера, место, специфика будущей профессиональной деятельности обучающегося, формируется соответствующий профиль подготовки, предусматриваются механизмы адаптации на будущем служебном (рабочем) месте. Для обеспечения более тесного взаимодействия с работодателями в рамках блочно-модульной системы организации учебного процесса предусматривается синхронная работа «студент - работодатель» и «вуз - работодатель». После завершения второго этапа по результатам тестирования предусматривается разделение существующих учебных групп на три основные группы: первая - обучающиеся, которые рекомендованные к отчислению, вторая - обучающиеся специализированного бакалавриата, с профилями подготовки, определенными работодателями; и третья - обучающиеся, рекомендованные для обучения в магистратуре. Выделение третьего этапа подготовки позволяет разделить организацию обучения различных групп обучающихся и границы применения различных методов управления подготовкой этих групп.

На четвертом этапе подготовки по направлениям магистратуры эффективными механизмами обучения являются проектный подход и образование через науку. В связи с этим в рамках тесного взаимодействия с работодателями предусматривается создание совместных малых научных групп. Формирование научных групп как временных трудовых коллективов, с привлечением преподавателей и обучающихся, закрепленных за конкретным работодателем, позволяет объединить, прежде всего, интеллектуальные, а также материальные ресурсы вуза и работодателя для решения конкретных проблем реального предприятия, производства, особо охраняемого объекта повышенной опасности, т.д. Создаются условия сближения академической среды профессионального образования и производства для интеграции в образовательной, прикладной научно-производственной и технической деятельности. Таким образом, выделение четвертого этапа позволяет не только адаптировать систему управления к различным направлениям взаимодействия вузов, обучающихся и работодателей, но и эффективно решать научно-технические проблемы предприятий, имеющие прикладной характер.

Поэтому для реализации адаптивного управления перечисленных этапов предлагается применить логистическую концепцию. Для этого при организации системы управления после завершения второго этапа необходимо также предусматривать группировку и перегруппировку обучающихся. После определения траектории строится временной ряд процессов изучения заложенных дисциплин, поскольку каждая дисциплина учебного плана имеет свои зачетные единицы и предписывает обучение в

определенном семестре, что ориентировано на эффективное качество обучения, а значит и уровень приобретаемых компетенций (рис. 3).

Поскольку специалист техносферной безопасности должен обладать целым набором ключевых и профессиональных компетенций, поэтому процесс подготовки специалиста данной области должен подразумевать результат обучения, который представляется в высококвалифицированном выпускнике обладающим рядом компетенций, овладев которыми будет способен проводить основные работы по пожаротушению и проведению аварийно-спасательных работ на воде, под водой, в горах, на потенциально-опасных объектах в экстремальных ситуациях, обладать навыками профессионального руководителя и организатора, навыками эксперта и многие другие качества и способности, которые описаны в Федеральных образовательных стандартах на различных уровнях подготовки.

Для реализации вышеизложенного адаптивного управления процесса подготовки специалистов техносферной безопасности может послужить электронная образовательная среда (ЭИОС). Рассматривая ЭИОС в качестве среды, реализующей адаптивное управление образовательным процессом, замечаем множество механизмов и взаимосвязей, которые затрагивают разные виды деятельности, обеспечивая эффективность самого обучения и достигая максимальный результат. При грамотном введении и освоении ЭИОС в систему управления образовательной организацией высшего образования позволит перевести в автоматический режим многие контрольные функции, не исключая управление. ЭИОС позволит:

- работать с личными документами, формируя необходимый пакет данных (портфолио обучающегося профессиональная карта обучающегося, психологическая карта обучающегося, документы об образовании, т.д. и портфолио преподавателя);
- работать с документами, организующими учебным процессом (рабочие учебные программы, рабочие программы дисциплин, расписание занятий и государственной итоговой аттестации, электронный журнал – успеваемость, др.) и адаптировать их под меняющиеся условия современного общества, создавая конкуренцию на рынке труда, требования образовательных стандартов, требования работодателя – моделировать учебный процесс, гармония, взаимосвязь и совмещение всех структур;
- определять траекторию минимизации затрат и достигая максимального результата, доказывая тем самым эффективность работы учебного отдела при формировании последовательности освоения учебных модулей, дисциплин и видов практик,

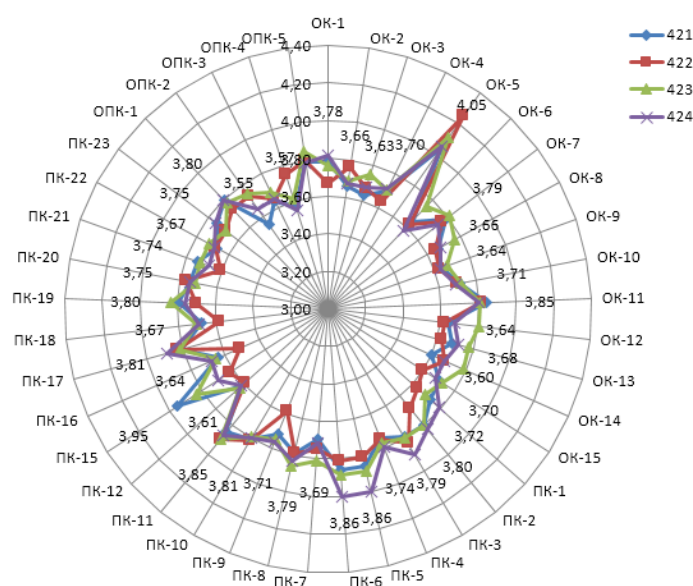


Рис. 3. Вывод диаграммы освоения компетенций обучающимися 2018 года выпуска

подстраивая формируемые у обучающегося необходимые компетенции под требования работодателя;

- проводить самообследование, которое является необходимой процедурой для достижения эффекта развития образовательного учреждения и выбора (коррекции) политики его управления;

- работать профессорско-преподавательскому составу академии в личном кабинете и быть на связи с обучающимися (как непосредственно ведущим занятия, так и выпускникам) осуществляя синхронное и асинхронное взаимодействие преподавателя с обучающимися.

Предложенная система адаптивного управления процессом подготовки кадров создать в образовательной организации условия для рационального внешнего и внутреннего распределения ответственности за образовательный процесс, в том числе экономической ответственности. Применение системы организации и управления учебным процессом обеспечивает оперативность подготовки кадров, экономическую эффективность вложений работодателей в образование, вариативность и мобильность, эффективность взаимодействия с представителями Главных управлений МЧС России в качестве основного контингента работодателей, социальную защищенность и профессиональную адаптацию обучающихся, качество подготовки специалистов и т.д.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кропотова, Н.А., Легкова, И.А. Принципы адаптивности инженерно-технической подготовки кадров профессионального образования. // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. - С. 503-504.

2. Кропотова Н.А. Концепция адаптивного обучения для подготовки обучающихся высшей школы МЧС России для работы в сложных условиях. // Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции с международным участием «Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России», посвященной 100-летию академика Д.К. Беляева, Иваново: ИГСХА, 2017. – С. 205-209.

3. Кропотова Н.А. Концепция адаптивного обучения для подготовки обучающихся высшей школы МЧС России для работы в сложных условиях. // Всероссийская научно-методическая конференция с международным участием «Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России», посвященная 100-летию академика Д.К. Беляева. – Иваново, ИГСХА, 2017. - Т. 4. - С. 205-209.

4. Кропотова, Н.А., Легкова, И.А. Принципы адаптивности инженерно-технической подготовки кадров профессионального образования. // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 12 апреля 2018 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. - С. 503-504.

5. Кропотова, Н.А., Горинова, С.В., Малый, И.А. Анализ адаптационной составляющей в подготовке специалистов РСЧС для работы в сложных климатических условиях. / Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XII Международной научно-практической конференции, посвященной Году гражданской обороны, Иваново, 29–30 ноября 2017 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. - С. 815-818.

УДК 539.373

*М. А. Ноздрин, П. В. Лебедев*

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ ОРТЕЗА СУСТАВА РУКИ

**Ключевые слова:** ортез, сустав руки, моделирование, напряжения и деформации.

**Аннотация:** исследуются прочностные характеристики пластика для заполнения объема ортеза с различными формами сеток.

*M. A. Nozdrin, P. V. Lebedev*

## CALCULATION OF STRESSES AND DEFORMATIONS OF THE ORTHOSIS JOINT OF THE HAND

**Keywords:** orthosis, arm joint, modeling, stresses and strains.

**Abstract:** investigated the strength characteristics of the plastic to fill the volume of the orthosis with different shapes of grids.

В работе поставлена задача исследования прочностных характеристик пластика, из которого с помощью 3D печати при заполнении объема различными видами сеток, создается ортез. Ортез – внешнее медицинское приспособление, предназначенное для изменения структурных и функциональных характеристик нервно-мышечной и скелетной системы [1,2].

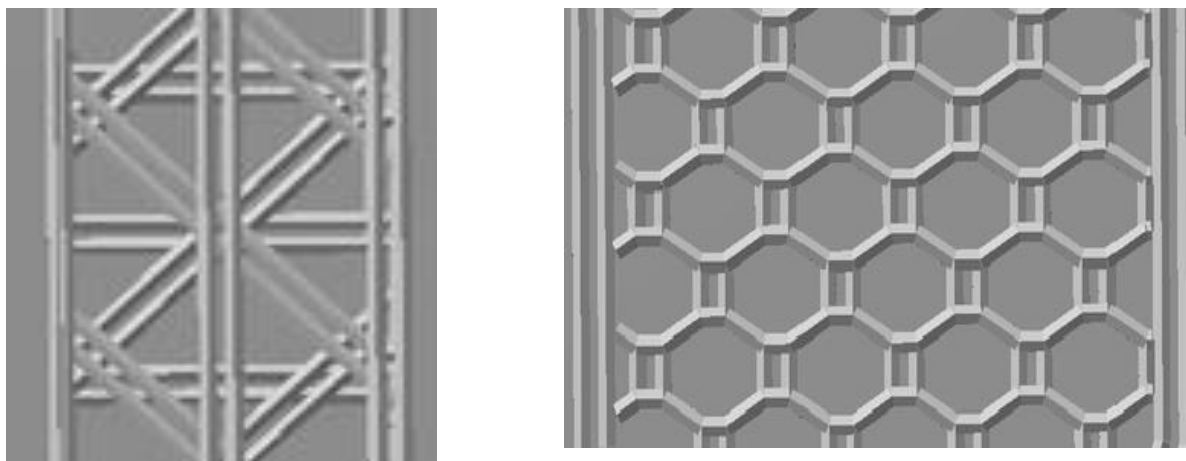
Необходимая форма ортеза печатается на 3D принтере по созданным моделям с предварительным выбором вида сетки и процента заполнения (рис. 1). Далее полученный плоский ортез нагревается до 80 °С и становится пластичным, что позволяет очень точно наложить его на нужный участок. После остывания ортез снова восстанавливает свои первоначальные свойства и используется по назначению.

В лаборатории кафедры теоретической и прикладной механики ИГЭУ на стенде УТС101-10 (универсальная испытательная разрывная машина) проведены лабораторные испытания образцов с разными видами сеток.

Для установления достоверности результата взяли по три образца каждого вида сетки. Все образцы изготовлены с помощью 3D печати из материала, удовлетворяющего следующим требованиям: качество печати с помощью данного пластика, сохранение его свойств после нагрева и остывания.



Рис. 1. Способ применения ортеза



**Рис. 2.** Виды сеток пластика

Образцы имеют сетки двух видов – ромбовидная, представленная слева, и сотообразная, представленная справа (рис. 2).

По результатам испытаний трех образцов с ромбовидной сеткой установлено, что максимальная нагрузка составляла  $655\text{H} \pm 2\%$ , а максимальное удлинение составило  $2,58\text{ мм} \pm 11\%$ ; с сотообразной сеткой – максимальная нагрузка  $1025\text{ Н} \pm 5\%$ , а максимальное удлинение  $3,7\text{мм} \pm 9\%$ .

Результаты испытаний образцов и некоторые их характеристики представлены в табл. 1.

*Таблица 1. Результаты испытаний образцов сетчатого поперечного сечения*

Вид сетки	Образец №	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Заполнение, %	Максимальное напряжение, МПа	Максимальное удлинение, мм
Ромбовидная	1	650	55	16	2,25
	2			15,625	2,9
	3			15,5	2,7
Сотообразная	1	925	65	24,375	4,1
	2			26,25	4,15
	3			26,875	3,3

Сопоставляя полученные результаты испытаний, можно сделать вывод, что образцы с сотообразным видом сетки выдерживают заметно большую нагрузку, чем образцы с ромбовидной сеткой. В ходе печати выявлено, что при одинаковых настройках сотообразный вид сетки печатается быстрее ромбовидного.

Для расчета в программе ABAQUS рассмотрен ортез лучезапястного сустава руки. Ортез этого сустава имеет вид пластины, которая крепится при помощи эластичных бинтов либо при помощи специальных липучек. Ортез выполнен технологией 3D печати из PLA пластика фирмы ENUS, который после печати с заполнением объема сотообразным видом сетки имеет следующие механические характеристики:

плотность  $\rho = 925 \text{ кг/м}^3$ ; модуль упругости  $E = 700 \text{ МПа}$ ; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,37$ .

В программном комплексе решена задача в балочной постановке с прямоугольным поперечным сечением  $0,004 \text{ м} \times 0,01 \text{ м}$ . Построена модель образца сплошного поперечного сечения и характеристиками сетчатого с сотобразным видом сетки. После этого модель разбивается на конечные элементы и задаются условия закрепления и нагружения, аналогичные лабораторным испытаниям: левый конец модели жестко закреплен, а к правому приложена нагрузка в  $975 \text{ Н}$ , что соответствует максимальной нагрузке при одном из испытаний.

Расчет в программном комплексе дает распределение значений напряжений, а также перемещений (рис. 3).

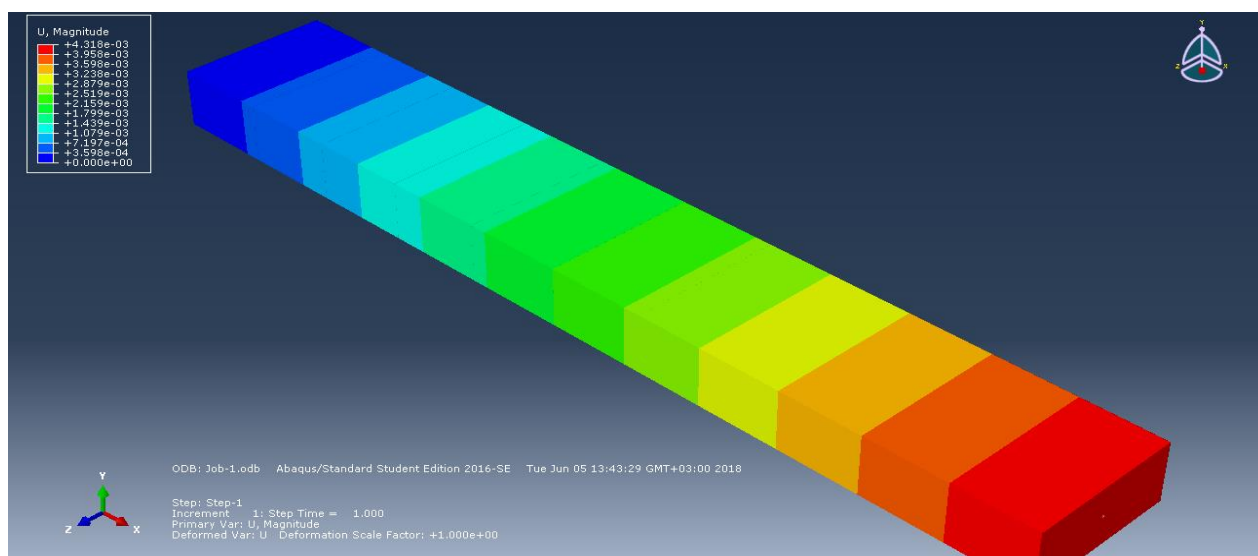


Рис. 3. Расчетные перемещения ортеза

Полученные в ходе расчета результаты можно сравнить с результатами лабораторных испытаний (табл. 2).

Таблица 2. Результаты расчета и лабораторных испытаний

Вид сетки	Образец №	Максимальное напряжение, МПа.	Максимальное удлинение, мм.	Максимальное напряжение в ABAQUS, МПа	Максимальное удлинение в ABAQUS, мм.
Сотообразная	1	24,375	4,1	24,37	4,3
	2	26,25	4,15		
	3	26,875	3,3		

Результаты расчетов максимальных напряжений и перемещений в программном комплексе ABAQUS соответствуют полученным при лабораторных испытаниях, что позволяет использовать разработанную модель для проведения оптимизационных расчетов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 51632-2000 Технические средства реабилитации людей с ограничениями жизнедеятельности. Общие технические требования и методы испытаний ГОСТ Р 51632-2000 Группа Р20 Дата введения 2001-07-01
2. Реконструктивная пластика передней крестообразной связки коленного сустава с помощью эндоскопической техники: Медицинская технология / Сост.: В.М. Прохоренко, С.М. Фоменко, В.С. Байтов, В.А. Постников. Новосибирск, 2011.

УДК 378

*И. А. Легкова*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### **ОСОБЕННОСТИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ**

**Ключевые слова:** инженерная графика, самостоятельная познавательная деятельность, конструкторская документация, графические работы.

**Аннотация:** В статье рассмотрены особенности самостоятельной познавательной деятельности в области графических дисциплин, показана ее роль для успешного выполнения графических работ и оформления конструкторской документации.

*I. A. Legkova*

### **PECULIARITIES OF INDEPENDENT COGNITIVE ACTIVITY OF TEACHERS IN THE IMPLEMENTATION OF DESIGN DOCUMENTATION**

**Keywords:** engineering graphics, independent cognitive activity, design documentation, graphic works.

**Abstracts:** The article discusses the features of self-cognitive activity in the field of graphic disciplines, shows its role for the successful implementation of graphic works and design documentation design.

Самостоятельной деятельности обучающихся в настоящее время уделяется все больше внимания. При изучении графических дисциплин самостоятельная познавательная деятельность имеет свои особенности.

Самостоятельная познавательная деятельность в области графических дисциплин – это целенаправленный и самоорганизованный процесс познания в области чтения чертежей, выполнения, анализа и контроля конструкторской документации, направленный на овладение проектно-конструкторскими компетенциями и развитие способностей личности будущего специалиста.



Под самостоятельной познавательной деятельностью студентов при изучении дисциплины «Инженерная графика» мы понимаем деятельность, проектируемую и выполняемую самим обучающимся, как в соответствии с заданием, так и по собственному желанию, направленную на формирование графических компетенций, а также на усвоение нового материала без посторонней помощи с целью понимания его практической значимости в будущей деятельности специалистов пожарной безопасности.

Графические компетентности – это компетентности, представляющие собой содержательные обобщения теоретических и эмпирических знаний правил выполнения чертежа, которые представлены в форме понятий о пространственных и плоских изображениях, принципов их построения, основных положений графических стандартов [1]. Под графическими компетенциями следует понимать компетенции, направленные на освоение обобщенных способов действий, которые основаны на знаниях, умениях и навыках применения стандартов и правил выполнения чертежей, способности свободного владения конструкторской документацией, позволяющие оперативно в ней ориентироваться и применять в профессиональной деятельности будущего инженера.

Особенность самостоятельной познавательной деятельности обучающихся при изучении дисциплины «Инженерная графика» состоит в том, что происходит восприятие разных видов информации: вербальной – в виде текста или речи преподавателя и наглядной – в виде рисунка, чертежа, натурального образца детали или макета. При построении чертежа геометрического объекта обучающийся самостоятельно с помощью правил проецирования материализует образ предмета в средство наглядности, то есть преобразует мысленный образ в графическое решение задачи с помощью чертежа [2, 3]. Самостоятельная проектно-конструкторская деятельность обучающихся заключается в выполнении графических заданий и графических работ, в поиске ответов на вопросы и тесты, предназначенных для самоподготовки, работой над рефератами. Содержание графического задания должно направлять обучающихся на использование материала, полученного на занятиях или из учебника, пособия, дополнительной и справочной литературы [4]. При этом для эффективного использования учебно-методической и справочной литературы рекомендуются ее электронные версии.

Для успешного выполнения графических работ рекомендуется:

- повторить материал, рассмотренный на занятии, в тот же день, когда оно состоялось;
- самостоятельно изучить материал пропущенных занятий, т.к. без усвоения предыдущей информации в дальнейшем могут возникнуть трудности;
- прочитать в учебно-методической литературе материал, относящийся к данной графической работе, разобрать приведенный пример, где поэтапно дается ход выполнения графической работы;
- проанализировать содержание полученного графического задания, т.е. обдумать его цель, самостоятельно составить план действий, выбрать рациональные приемы и методы выполнения графической работы;
- по завершении осуществить самопроверку своей графической работы.

Например, при выполнении чертежа детали нужно понять ее назначение, иметь представление и технологии ее изготовления, выбрать оптимальное количество изображений (видов, разрезов, сечений), выявляющих внутреннюю и наружную конструкцию детали, продумать компоновку чертежа, обдумать необходимые размеры и

вспомнить правила их нанесения. Наконец выполнить рабочий чертеж детали, по окончании осуществить его самопроверку.

Значимость самостоятельной познавательной деятельности определяется следующим. Во-первых, она позволяет студентам проникнуть в сущность изучаемых вопросов, основательно разобраться в них.

Во-вторых, в ходе самостоятельной познавательной деятельности обучающиеся формируют такие ценные качества, как трудолюбие, организованность, инициатива, сила воли, дисциплинированность, активность, целеустремленность, творческий подход к делу, самостоятельность мышления.

В-третьих, систематическая самостоятельная познавательная деятельность, в частности, выполнение графических работ по дисциплине «Инженерная графика», повышает культуру умственного труда, развивает у них умение самостоятельного приобретения и углубления знаний, что особенно важно в настоящее время, когда специалисту после окончания учебного заведения приходится заниматься самообразованием.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com>.

2. Легкова И.А., Никитина С.А. О применении современных компьютерных технологий при обучении графическим дисциплинам. – НоваИнфо, №54. – 2016. – Том 2. – С.230-232.

3. Легкова И.А., Никитина С.А. Влияние использования информационных технологий на графическую подготовку обучающихся / Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире: материалы XI международной научно-практической конференции – С.-Петербург, 2015. – №12-3. – С. 109-112.

4. Легкова И.А., Никитина С.А., Киселев В.В. Особенности использования электронных учебников при изучении графических дисциплин / Современные концепции научных исследований: материалы XVI Международной научно-практической конференции. – Москва, 2015. – №7-4(16). – С.71-72.

УДК 630.847

*А. А. Лесной, А. А. Покровский*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### СУШКА МАТЕРИАЛА БОЕВОЙ ОДЕЖДЫ ПОЖАРНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЧЕСКИХ АКТИВАТОРОВ

**Ключевые слова:** горячий воздух, материал, конвективная сушка, механическое воздействие.

**Аннотация:** Проведены исследования по сушке материала боевой одежды пожарных. С целью интенсификации процесса переноса влаги из внутренних слоев материала в газовую среду применялось механическое воздействие на высушиваемый материал.

*A. A. Lesnoy, A. A. Pokrovskiy*

## **DRYING MATERIAL OF COMBAT FIRE CLOTHES USING MECHANICAL ACTIVATORS**

**Keywords:** hot air, material, convective drying, mechanical impact.

**Abstracts:** Studies have been carried out on the drying of material for fire fighting equipment. In order to intensify the process of moisture transfer from the inner layers of the material to the gaseous medium, a mechanical effect was applied to the material being dried.

Боевая одежда пожарного предназначена для защиты тела человека от опасных и вредных факторов окружающей среды, возникающих при тушении пожаров и проведении связанных с ними первоочередных аварийно-спасательных работ, а также от неблагоприятных климатических воздействий. Боевая одежда является основным и самым массовым по применяемости средством индивидуальной защиты пожарных.

До конца 80-х годов боевая одежда пожарного изготавливалась только из брезента или материала с полимерным плёночным покрытием (винилискожа-Т трудновоспламеняющаяся). Она представляла собой куртку и брюки прямого покроя плоской конструкции или плащ для начальствующего состава.

В процессе эксплуатации промокшая специальная защитная одежда не может полностью выполнять защитные, а хранение ее в таком виде сокращает срок службы.

Особенности процесса сушки материала боевой одежды пожарных определяются механизмом перемещения влаги внутри материала, т.е. характером влагопереноса. При неравномерном распределении влаги внутри материала происходит ее движение в направлении пониженной влажности. Влага перемещается внутри материала под воздействием перепада влажности (градиента влагосодержания) по объему материала. Движение влаги также будет происходить, если существует перепад температуры (градиент температуры) по объему материала. Это движение будет происходить в сторону пониженной температуры. Чем сильнее прогрет материал, тем выше его теплопроводность за счет снижения вязкости влаги в капиллярах. Особенности процесса сушки определяются механизмом перемещения влаги внутри материала, то есть характером влагопереноса. При неравномерном распределении влаги внутри ткани происходит её движение в направлении пониженной влажности.

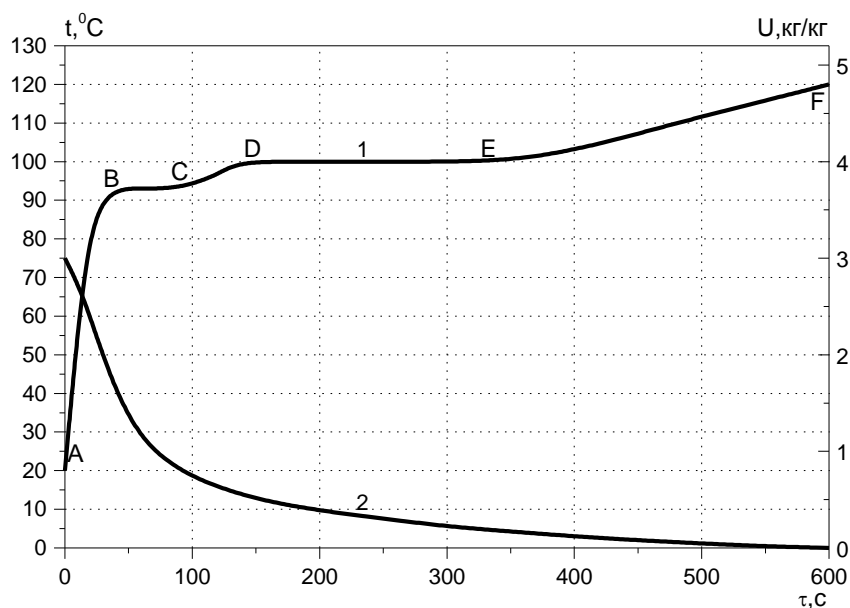
Влага перемещается внутри материала под воздействием перепада влажности (градиента влагосодержания) по объему материала. Движение влаги также будет происходить, если существует перепад температуры (градиент температуры) по объему материала. Это движение будет происходить в сторону пониженной температуры. Чем сильнее прогрет материал, тем выше теплопроводность за счет снижения вязкости влаги в капиллярах.

В практике сушки материалов под воздействием перепада температур возникает интенсивный поток влаги от более горячих зон к более холодным, даже в тех случаях, когда холодная зона оказывается более влажной. Если во внутренних слоях одежды имеется избыточное по сравнению с внешней средой давление, то под его воздействием влага в виде направленного потока пара движется в сторону более низкого давления, такое движение называется молярным влагопереносом.

При описании процесса сушки необходимо рассматривать два сопряженных процесса: перемещение влаги внутри материала, обмен влагой поверхности боевой одежды с воздухом в сушильной камере.

Физические явления процесса конвективной сушки боевой одежды пожарных:

1. Передача тепла от газового потока к поверхности высушиваемого материала посредством конвекции.
2. Перемещение тепла от поверхности материала во внутренние слои вследствие теплопроводности.
3. Перемещение влаги из внутренних слоёв материала к его поверхности, т.е. массоперенос.
4. Испарение воды с поверхности высушиваемого материала.



**Рисунок.** Кинетические кривые изменения температуры (1) и массы (2) материала боевой одежды пожарных в процессе её сушки горячим воздухом

При помещении материала боевой одежды пожарного, пропитанного влагой, в воздушную среду происходит её быстрый прогрев до температуры испарения воды. Данная температура составляет 100°C. В период прогрева происходит интенсивное испарение влаги с поверхности материала.

Далее начинается период постоянной скорости сушки, характеризующийся постоянством температуры материала. В данном периоде влага под действием перепада избыточного давления и перепада влажности перемещается из внутренних слоёв материала на поверхность. В этом случае перепад температуры, направленный в противоположную сторону, препятствует действию этих движущих сил. Тепло, передаваемое материалу вследствие теплопроводности, затрачивается на парообразование. Испарение воды происходит с поверхности материала. Недостаток влаги на поверхности мгновенно пополняется из внутренних слоёв. В этом случае температура сушильного агента у поверхности материала равна температуре мокрого термометра, а его относительное влагосодержание равно единице. В ядре потока паровой фазы температура выше температуры мокрого термометра, а относительное влагосодержание меньше единицы.

При достижении в материале критического содержания влаги, начинается период падающей скорости сушки. В периоде падающей скорости сушки основной движущей силой процесса является влагопроводность. Экспериментально установлено, что для интенсификации процесса сушки целесообразно использование механического воздействия на материал, причем как обжимающего, так и пульсирующего. Механическое воздействие позволяет значительно увеличить скорость переноса влаги из макрокапилляров на её поверхность и в воздушную среду. Лимитирующей стадией процесса в данном случае является внутренняя диффузия, которая существенно интенсифицируется при импульсно-механическом воздействии. Исследования показали, что увеличение степени отжима способствует значительному повышению эффективности процесса удаления жидкости, и уже за три цикла удаляется максимальное количество влаги.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Пожарная техника: Учебник / Под ред. М.Д. Безбородько - М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. - 550 с.
2. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 470 с.
3. Рудобашта С.П. Массоперенос в системах с твёрдой фазой. М.: Химия, 1980. 248 с.
4. Сажин Б.С. Основы техники сушки. – М.: Химия, 1984. – 320 с.

УДК 625.084

***С. С. Лычев, М. Д. Герасимов***

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

#### **АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ УПЛОТНЕНИЯ ГРУНТОВ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ**

**Ключевые слова:** валец, вибровозбудитель, катки, вибратор, уплотнение.

**Аннотация:** Статья содержит анализ конструкций и методов и режимов обработки уплотняемых сред для достижения требуемого коэффициента уплотнения. Появились различные способы уплотнения, эффективность каждого из которых непосредственно зависит от свойств и состояния уплотняемого грунта.

*S. S. Lychev, M. D. Gerasimov*

## ANALYSIS OF SOIL COMPACTION PROCESSES IN VARIOUS WAYS

**Keywords:** roller, vibration exciter, rollers, vibrator, compaction.

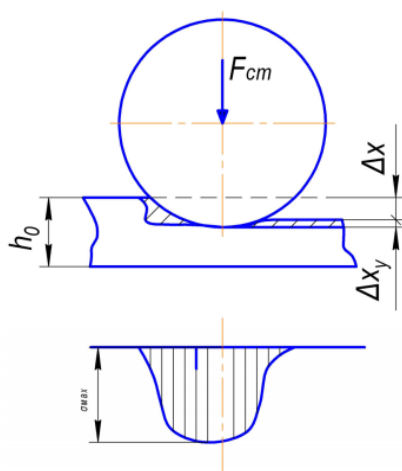
**Abstracts:** The article contains an analysis of the structures and methods and processing modes of sealed media to achieve the required compression ratio. Various methods of compaction have appeared, the effectiveness of each of which directly depends on the properties and condition of the soil being compacted.

Цель данной статьи является проведение анализа в области вибрационного уплотнения грунтов в строительстве, сформулировать проблемы и определить направления развития исследований.

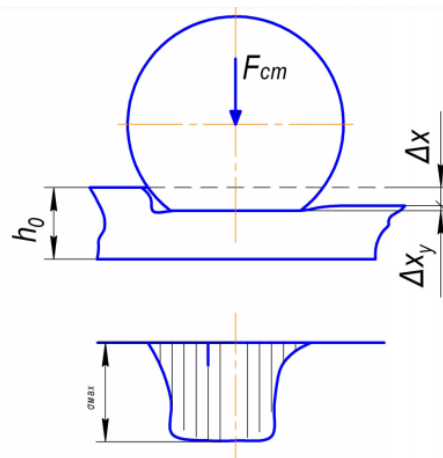
Необходимость исследования напряженно-деформированного состояния различных сред при их уплотнении является важной и актуальной задачей для многих областей науки. Изучение закономерностей изменения напряженно-деформируемого состояния среды, при внешнем силовом воздействии, позволит определять правильные значения параметров взаимодействия среды и уплотняющего средства для достижения необходимых показателей плотности и прочности, которые принято оценивать коэффициентом уплотнения с минимальными затратами энергии и времени. Основная задача исследований по уплотнению дорожно-строительных материалов, и в частности грунтов земляных насыпей, заключается в обосновании оптимальных методов и режимов обработки уплотняемых сред для достижения требуемого коэффициента уплотнения. Многообразие типов грунтов и их свойств требует использования различных рабочих органов уплотняющих средств, оптимизации параметров и режимов уплотнения. Появились различные способы уплотнения, эффективность каждого из которых непосредственно зависит от свойств и состояния уплотняемого грунта. Сложность и многообразие механических свойств контактирующих тел (рабочего органа уплотнителя, с одной стороны, и деформируемого грунта, с другой) привели к появлению разнообразных конструкций уплотняющих машин, процесс взаимодействия которых с уплотняемой средой протекает с разной степенью интенсивности[2].

Рабочие органы уплотняющих машин выполняются в виде: плиты плоского и криволинейного профиля; гладких, кулачковых, ребристых, пластинчатых, решетчатых вальцов; пневматических колес. Уплотнение материала различными совмещенными способами называют комбинированным. Создание в уплотняемой среде напряженно-деформируемого состояния (далее НДС), приводящего к необратимой деформации, определяется контактными напряжениями, скоростью приложения внешней силы, структурой, состоянием самого материала и т.д. Для каждого материала необходимо использовать наиболее эффективные параметры процесса уплотнения, которые определяют способ укатки. Практически все способы уплотнения обеспечиваются с помощью рабочих органов катков: статический, вибрационный, трамбующий.

Статическим уплотнением считается укатка материалов катками на относительно небольших скоростях движения 3-5 км/ч. Напряжения в обрабатываемом материале возникают в результате действия силы тяжести от рабочих органов машины. Уплотняющее действие катков зависит от максимальных контактных напряжений, распределения напряжений по площади контакта, размеров поверхности контакта, скорости укатки и числа проходов. Основное влияние на прочность материала оказывают значения контактных напряжений. По мере движения катка в каждой точке контакта возникает напряженно-деформируемое состояние (НДС), вследствие чего происходят перегруппировка и упаковка частиц обрабатываемой среды [1]. Гладковальцовые катки. В настоящее время гладковальцовые катки в большей степени используются при уплотнении асфальтобетонных покрытий и в меньшей степени – для уплотнения грунтов.



**Рис. 1.** Схема взаимодействия гладкого вальца:  $h_0$  – толщина уплотняемого слоя;  $\Delta x$  – необратимая (пластическая) деформация;  $\Delta x_y$  – обратимая (упругая) деформация;  $\zeta_{\max}$  – максимальные контактные напряжения грунта



**Рис. 2.** Схема взаимодействия пневмошинного вальца с грунтом и эпюра напряжений в грунте:  $h_0$  – толщина уплотняемого слоя;  $\Delta x$  – необратимая (пластическая) деформация;  $\Delta x_y$  – обратимая (упругая) деформация;  $\zeta_{\max}$  – максимальные контактные напряжения в грунте

Эффект уплотнения зависит от параметров катка: размеров рабочих органов, веса, линейного давления на грунт и режима уплотнения (числа проходов, скорости движения катка). Основная причина заключается в том, что они обладают невысокой производительностью и для достижения нормативной плотности, согласно СНиПу, необходимо применять как минимум два типоразмера таких катков (средние, тяжелые)[3]. Статические катки не могут создать необходимые напряжения для уплотнения материала в диапазоне от первоначального состояния до значений нормативной плотности. В начале укатки прочность материала невысока, и контактные напряжения не должны превышать предел его прочности. Необходимо использовать более легкие катки. По мере того, как в процессе уплотнения прочность материала повышается, каток перестает создавать соответствующее напряжения, и возникает необходимость применять более тяжелые модели катков. Это увеличивает энергоемкость строительства, усложняет состав специализированного комплекта машин (СКМ) и, в конечном

итоге, применение только статических катков значительно снижает эффективность технологического процесса и увеличивает себестоимость работ

Для полноценной оценки НДС среды при уплотнении пневмокатками необходимо знать не только свойства среды, но и свойства шин.

Экспериментальные исследования ряда авторов показали, что радиальная деформация шины растет несколько медленнее нагрузки и закон деформирования может быть представлен в виде .Радиальная деформация пневматической шины существенно зависит от жесткости опорной поверхности, однако в настоящее время формул, учитывающих это обстоятельство, не имеется, за исключением приближенной зависимости, предложенной А. К. Бирулей и О. Т. Батраковым [4].

Анализ состояния исследований в данной области показал, что деформирование грунтов является сложным физическим процессом, зависящим от многих факторов, как со стороны грунтового массива, так и со стороны уплотняющего средства. Недостаток – такие катки не способны адаптироваться по контактным напряжениям в процессе уплотнения и требуют применения других типоразмеров (по массе) катков, обладают невысокой производительностью. Несколько более эффективными являются кулачковые статические катки, которые эффективно прорабатывают «тяжелые» глинистые грунты, способны частично адаптировать контактные напряжения за счет изменяемой, в процессе уплотнения, глубины погружения кулачков. Несмотря на это, диапазон контактных напряжений у них недостаточен для уплотнения грунтов от первоначального состояния до нормативной плотности одним катком, поэтому кулачковые катки также используются совместно с катками других типоразмеров. Еще одним недостатком кулачковых катков является недостаточная, в некоторых случаях, ровность уплотненной поверхности насыпи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абраменков Э. А. Абраменков Э. А., Абраменков Д. Э., Грузин А. В. Совершенствование технологий уплотнения на базе аналитических исследований напряжений в грунтовых средах // Известия высших учебных заведений. – Новосибирск, 2008. № 4. – С. 73-76.
2. Баркан, Д.Д. Шехтер О.Я. Вынужденные колебания вибратора при подвижном ограничителе // Журнал технической физики. -Т. XXV, вып. 13.-С. 2309-2312
3. Rinehart, R.V. Measurement depth of vibratory roller-measured soil stiffness Текст. / R.V. Rinehart, M.A. Mooney // Geotechnique. 2009. - 59(7). - P. 609-619. - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://adventureengineering.org>.
4. Алексеева Т. В. , Артемьев К. А., Бромберг А. А Дорожные машины: учебник: В 2 ч. Ч. 1. Машины для земляных работ и др. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1972. – 504 с.
5. Анфимов В. А. Исследование комплексного уплотнения грунтов машинами на пневматических шинах: дис... канд. техн. наук/ В.А. Анфимов; ХАДИ. – Харьков, 1970. – 189 с.



УДК 614.8 : 004.94

*М. С. Малов<sup>1</sup>, О. В. Блинов<sup>1</sup>, В. А. Годлевский<sup>2</sup>, Ю. Н. Моисеев<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОДНОСТУПЕНЧАТОГО ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОЖАРНОГО НАСОСА**

**Ключевые слова:** центробежный пожарный насос, компьютерное моделирование, гидравлические характеристики.

**Аннотация:** Построена пространственная численная модель пожарного центробежного насоса семейства ПН-40, включающая ротор, вакуумную часть и два напорных патрубка. Были выполнены расчеты, описывающие поле скоростей жидкости в условиях разной степени открытия выходных магистралей. Вычисления показали возможности компьютерного моделирования для оптимизации работы этой гидравлической машины.

*M. S. Malov, O. V. Blinov, V. A. Godlevskiy, Yu. N. Moiseev*

## **RESULTS OF NUMERICAL MODELING OF HYDRAULIC PARAMETERS OF SINGLE-ACCESSIBLE CENTRIFUGAL FIRE PUMP**

**Keywords:** centrifugal fire pump, computer simulation, hydraulic characteristics.

**Abstracts:** The spatial numerical model of fire centrifugal pump of PN-40 family, including a rotor, vacuum part and two pressure pipes was built. Calculations describing the velocity field of the fluid inside the pump under conditions varying degrees of opening of the output highways were performed. The calculations showed the possibilities of computer simulation to optimize the operation of this hydraulic machine.

В настоящее время в России актуальной является оснащение пожарно-спасательных частей техникой нового поколения. Старые, советского производства, пожарные машины в основном достигли предельного эксплуатационного состояния и должны замещаться техникой нового поколения. Следствием этого является необходимостью в оптимальном конструировании и постоянной модернизации средств тушения с тем, чтобы повысить эффективность тушения, улучшить энергетические и функциональные характеристики пожарных машин [1].

Большинство отечественных центробежных пожарных насосов производятся на основе проектов, выполненных еще в советское время. Их конструкции выпускаются без существенных изменений большими сериями. Эти модели были созданы на основе эмпирических методов, что влечет за собой несовершенство конструкции и возможность оптимизации при внедрении новых методов компьютерных расчетов и трехмерного моделирования [2] В то же время зарубежные производители, используя возможности современной вычислительной техники, совершенствуют практически все узлы (рабочее колесо, нагнетательные и всасывающие камеры, трубопроводы и т.д.) гидравлических машин. Это, в конечном счете, позволяет повысить эффектив-

ность работы насосов, снизить их энергопотребление, уменьшить массовые характеристики.

Для оптимизации и выявления резервов конструкции пожарного насоса нами предлагается метод твердотельного моделирования на основе пакета SolidWorks, с последующей симуляцией течения в нем жидкости. Аргументацией в пользу выбранного подхода служит мировой опыт как гидродинамических, так и аэродинамических симуляций. Так, например, в области конструирования аэродинамических машин эти возможности были реализованы при определении формы лопаток гидравлических и газовых турбин. Лопатки турбин приобрели сложную оптимизированную конфигурацию, что существенно снизило гидродинамические потери [3].

Коллектив авторов настоящей статьи уже предпринимал попытки моделировать работу центробежного насоса на простой модели бытового центробежного насоса с линейными лопастями. В частности, была решена задача оптимизации количества лопастей рабочего колеса [4]. В данной работе была использована более сложная пространственная модель, описывающая реальную конструкцию одноступенчатого пожарного насоса модели ПН-40, установленного на большинстве автоцистерн пожарной охраны, находящихся в реальной эксплуатации.

Для реализации поставленной задачи было необходимо построение трехмерной модели типичного пожарного центробежного насоса, за основу был взят пожарный насос ПН-40, характеристики которого представлены в табл. 1.

Таблица 1. Основные конструктивные характеристики насоса ПН-40

Наименование	ПН-40
Частота вращения рабочего колеса, об/мин	2700
Внутренний диаметр всасывающего патрубка, мм	125
Внутренний диаметр напорного патрубка, мм	70
Диаметр рабочего колеса, мм	320
Габаритные размеры, мм	700 × 900 × 700

Одной из поставленных задач, решаемых в данной работе, является демонстрация возможности расчета гидравлических машин с использованием традиционных методов расчета и CAD/CAE-программ. Инструментом компьютерного моделирования являлись пакеты SolidWorks и FloWorks [5]. Традиционно эффективность работы модели центробежного насоса определялась следующим образом [1]:

$$\eta = \frac{N}{N_{\text{мех}}} = \frac{(P_{\text{наг}} - P_{\text{вс}})Q_{\text{нас}}}{\omega M}, \quad (1)$$

где  $N$  – полезная мощность работы центробежного насоса, Вт;  $N_{\text{мех}}$  — мощность на валу двигателя, Вт;  $P_{\text{наг}}$  и  $P_{\text{вс}}$  — манометрические давления во входной и выходной линиях насоса, Па;  $Q_{\text{нас}}$  — создаваемый насосом расход, м<sup>3</sup>/с;  $\omega$  — угловая скорость рабочего колеса, рад/с;  $M$  – крутящий момент всех внешних сил относительно оси вращения рабочего колеса, Н·м.

Производительность насоса  $Q$  (расход жидкости),  $\text{м}^3/\text{с}$ , определяется из выражения:

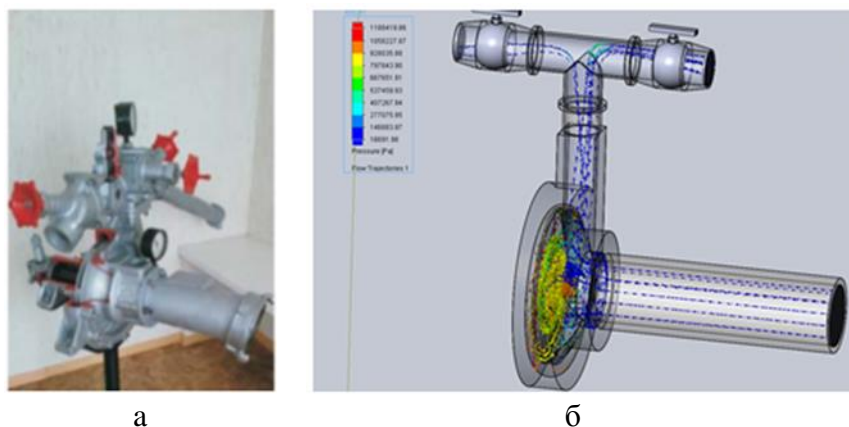
$$Q = V \cdot S, \quad (2)$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения трубопровода,  $\text{м}^2$ .

В процессе исследования была создана модель (рис. 1, а), в несколько упрощенном виде использованы основные параметры избранной конструкции насоса.

При этом в модель введен дополнительный узел – шаровой кран, позволяющий задать необходимый расход (подачу) воды. Таких вентилей в конструкции имеется 2 штуки.

Проводимое исследование было направлено на приближении модели к оригинальной конструкции, путем добавления второго выходного патрубка и выявления зависимости положения шаровых кранов и характеристик насоса.

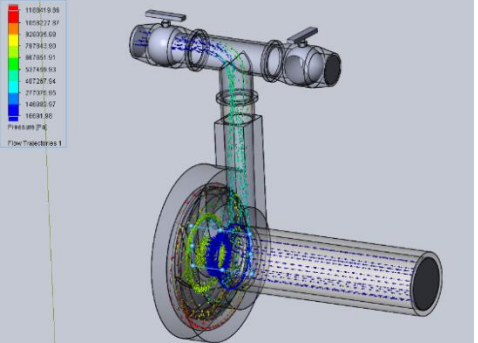
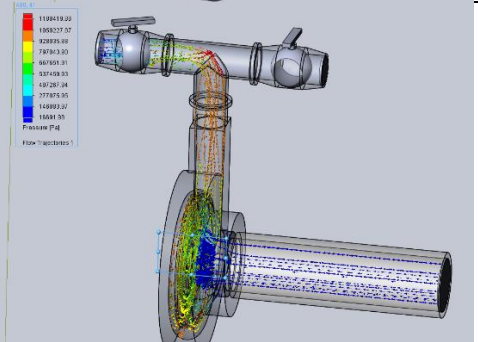
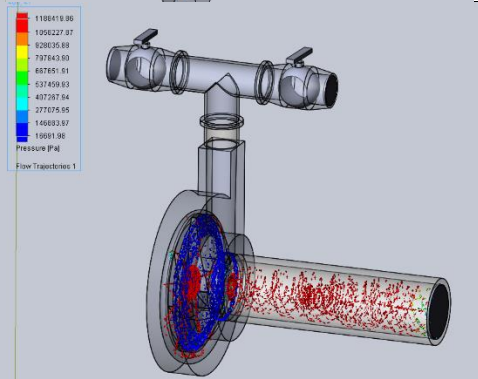


**Рис. 1.** Пожарный насос ПН-40 и его модельное представление: а — внешний вид пожарного насоса ПН-40; б — модель насоса, построенная в пакете COSMOS FloWorks

Результаты моделирования потока в зависимости от положения шарового крана представлены в табл. 2.

**Таблица 2. Результаты расчетов гидродинамических параметров при разной степени открытия напорных вентилей**

№	Изображение потока	Положение левого крана	Положение правого крана	Подача, $Q$ , л/с	Максимальное давление на выходе из насоса, $\text{кгс}/\text{см}^2$
1		Открыт	Открыт на 50%	39,3 л/с	1,85

№	Изображение потока	Положение левого крана	Положение правого крана	Подача, Q, л/с	Максимальное давление на выходе из насоса, кгс/см <sup>2</sup>
2		Открыт	Закрыт	36,3	4,9
3		Закрыт на 30%	Закрыт	21,3	8,96
4		Закрыт	Закрыт	0	21

Данные расчетов показали существенные резервы в улучшении эксплуатационных характеристик рассматриваемой гидравлической машины. Таким образом, расчет показывает, что при использовании современных CAD/CAE-программ можно с помощью расчетных методов оптимизировать конструктивные параметры центробежных насосов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Блинов О.В. Моделирование устройства и рабочих параметров гидравлической части пожарного центробежного насоса с использованием CAD/CAE-программ / О.В. Блинов, В.А. Годлевский, Ю.Н. Моисеев, Р.И. Харламов // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов Мат-лы IV Всеросс. Науч.-практ. конф., посвященной Году гражданской обороны. 2017. С. 10-13.
2. Блинов. О. В. Компьютерное моделирование конструкции и работы пожарного насоса ПН-40/ О.В. Блинов, В.А. Годлевский, В.В. Кичайкин., Д. Миньковский // Актуальные

проблемы пожарной безопасности. Мат-лы XXVII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 25-летию МЧС России: В 3 частях. 2015. С. 78-82.

3. Блинов О.В. Численное моделирование конструктивных и гидродинамических параметров пожарных центробежных насосов / О.В. Блинов, В.А. Годлевский // Пожарная и аварийная безопасность. Мат-лы VIII Междунар. науч.-практич. конф. Иваново, 26-27 ноября 2013. ИВИГПС МЧС. С. 121-123.

4. Блинов О.В., Годлевский В.А., Худолей, А.С., Петрухин, В.А. Анализ конструктивных параметров рабочего колеса центробежного насоса методом компьютерного моделирования // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сб. мат-лов III межвуз. Науч.-практ. семинара Ивановский ин-т гос. противопож. службы. Иваново. 2013. С. 26–31.

5. Алямовский А.А., Собачкин А.А., Одинцов Е.В. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике, 2005 СПб.: БВХ-Петербург. 800 с.: ил.

УДК 621.311

*Е. П. Милосердов, К. Ю. Кузнецов*

Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина

## **СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОПИСАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ**

**Ключевые слова:** геометрическое моделирование. Твёрдотельные модели. Октарные деревья.

**Аннотация:** В статье рассмотрена методика описания трехмерной твердотельной модели на основе октарного дерева и описания такого дерева в виде рекурсивной линейной структуры. Рассмотрен также случай представления модели в виде кубиков со сторонами, кратными трем.

*Е. P. Miloserdov, K. Yu. Kuznecov*

## **STRUCTURE TO DESCRIBE THREE-DIMENSIONAL SOLID MODELS**

**Keywords:** Geometric modeling. Solid model. Octary trees.

**Abstracts:** In the article the technique of the description of three-dimensional solid-state model on the basis of an octary tree and the description of such tree in the form of recursive linear structure is considered. The case of representation of the model in the form of cubes with sides divisible by three is also considered.

Одной из важнейших задач компьютерной графики является разработка трехмерных твердотельных моделей, которые в настоящее время могут рассматриваться как итоговый результат процесса проектирования, позволяющий непосредственно создавать различные виды изделий. Существуют различные методы геометрического моделирования, но для каждого из них возникает проблема представления результатов в форме, доступной для автоматизированных устройств, способных по какой-либо технологии воспроизвести полученную модель в виде законченного изделия. Основными требованиями такого представления являются точность и однозначность:

только при выполнении этих требований представление геометрической модели даст возможность создания изделий надлежащего качества. Если представление твердотельной модели основано на элементарных объёмах в виде кубиков- вокселях, то описание конкретного объекта потребует большого объема информации. Однако известен способ существенно уменьшить этот объем используя рекурсивное описание в виде октарного дерева, он позволяет однозначно представить массивы вокселей тела указанием их расположения в пространстве. Для описания модели используем линейную структуру октарного дерева,[1] считая, что пространство ограничено кубом со сторонами равными наибольшим линейным размером модели – куб нулевого порядка. Три взаимно-перпендикулярные плоскости, проведенные через середину куба, разделят пространство модели на 8 отсеков: в начертательной геометрии такие отсеки называют октантами.

Для описания модели обычно кубы первого порядка или отсеки нумеруют числами от 1 до 8, причем порядок нумерации отсеков различный в разных странах. Поскольку деление отсеков будет продолжаться в ходе рекурсивных процедур вплоть до элементов минимального размера предлагается начало координат совместить с левой нижней вершиной куба нулевого порядка, а кубы первого порядка нумеровать индексами, отсчитываемые от начала трехмерной декартовой системы координат, т.е. первый куб 1,1,1 второй куб 2,1,1 третий 1, 2,1, четвертый 2, 2,1, пятый 1,1,2, шестой 2, 1, 2 седьмой 1,2,2 и восьмой 2,2,2. Если соответствующий куб полностью представлен в структуре модели, то его координаты записываются в скобках после буквы В, если в модели представлена только часть куба, то его координаты записываются в скобках после буквы Р. В случае отсутствия куба в структуре модели, то можно записать информацию об этом как координаты куба в скобках после буквы W.

Однако, запись координат куба первого порядка в скобках после буквы Р предполагает рекурсивное деление данного куба еще на 8 частей с аналогичными значениями координат и открытие еще дополнительных скобок с соответствующими значениями букв, определяемых представлением кубов в составе модели. Рекурсивное деление отсеков продолжается до тех пор, пока кубики станут равны минимальным элементам модели. Для представленной на рис.1 модели линейная запись структуры будет выглядеть так:

W(1,1,1) P(2,1,1 В(2,2,1)) P(1,2,1 В(1,1,1) В(2,1,1) В(1,2,1) В(2,2,1) В(1,2,2) В(2,2,2)) P(2,2,1 В(1,1,1) В(2,1,1) В(1,2,1) В(2,2,1)) P(2,2,1 W(1,1,2) В(1,1,1) В(2,1,1) В(1,2,1) В(2,1,1) В(2,1,2) В(1,2,2) В(2,2,2))

Все пустые элементы записи, т.е. записи типа W(n,m,r) можно исключить из записи, это не повлияет на правильность описание модели, однако для некоторых алгоритмов построения модели может оказаться существенным для унификации компьютерных программ. Октарное дерево далеко не всегда позволяет получить наиболее эффективное описание структуры модели.

В качестве элементов рекурсивных структур описания графической твердотельной модели можно использовать кубы с разделением сторон на n частей, т.е по аналогичной методике делить пространство на n в кубе отсеков.

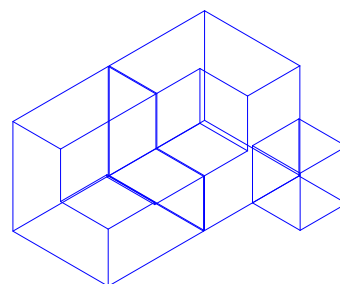


Рис. 1. Структура модели

Для разделения куба нулевого порядка на три стороны будет 27 отсеков первого порядка 81 отсек второго порядка и 243 отсека третьего порядка. При этом приемлемая точность представления модели достигается гораздо быстрее, хотя объем работы по описанию графического объекта возрастает. На рис.2 представлены результаты моделирования трехмерного фрактала (губка Менгера) [2] который используется для очистки жидкостей и отходящих газов. В этом случае описание структуры было осуществлено на основе разделения отсеков на кубы со сторонами, разделенными на три части.

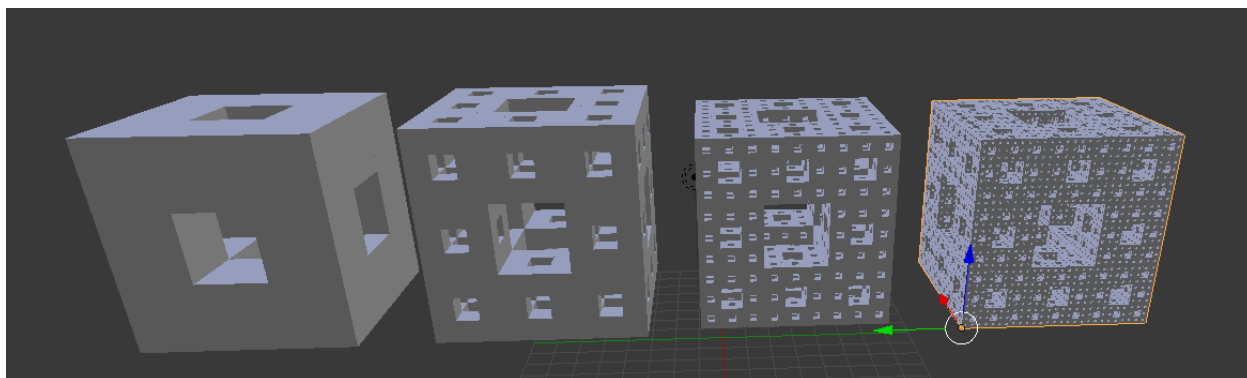


Рис. 2. Губка Менгера, Фрактал 1,2,3,4 порядка

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитрий Чеканов. Рендеринг с помощью вокселей: новый уровень графики в играх.
2. Майкл Барнсли, Луиза Барнсли. Фрактальные трансформации / Пер. в англ., фр. Е. В. Николаевой. – СПб.: Спарта, 2015. – С. 35. – 224 с.

УДК 66.021.3

**С. В. Натарева<sup>1</sup>, Д. Е. Захаров<sup>1</sup>, В. В. Калинин<sup>1</sup>, С. В. Беляев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОЦЕССА ИОННОГО ОБМЕНА В АППАРАТЕ С ПЛОТНЫМ СЛОЕМ ИОНИТА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

**Ключевые слова:** ионный обмен, аппарат с плотным слоем ионита, математическая модель.

**Аннотация:** предложено математическое описание процесса ионного обмена в аппарате с плотным движущимся слоем ионита. С помощью математической модели изучены процессы очистки растворов от ионов цинка и меди на катионите КУ–2–8.

*S. V. Natareev, D. E. Zakharov, A. S. Kalinin, S. V. Belyaev*

**METHOD OF CALCULATION OF THE ION-EXCHANGE IN DENSE-BED DEVICE OF IONITE OF CONTINUOUSLY WORKING**

**Keywords:** ion exchange, dense-bed device of ionite; mathematical model.

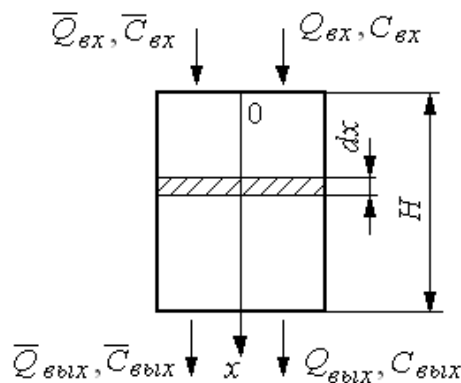
**Abstracts:** the mathematical description of the ion-exchange in dense-bed device of ionite of continuously working was developed. The developed mathematical model is used to study the process of cleaning solutions from zinc and copper ions on the KU-2-8 cationite.

Проблема дефицита чистой воды достаточно часто возникает в чрезвычайных ситуациях. Для обеспечения населения питьевой водой по техническому заданию МЧС разработаны мобильные, передвижные и модульные водоподготовительные установки различной производительности, в которых используются аппараты с неподвижным слоем ионита. Согласно известным данным [1] наиболее эффективными по сравнению с ионитовыми фильтрами являются аппараты с движущимся слоем ионита, неоспоримыми преимуществами которых являются высокая их удельная производительность по очищаемой воде, меньшая единовременная загрузка ионита в аппарат, хорошие массообменные характеристики и др. Повышение эффективности работы ионообменных аппаратов возможно путем создания надежных методик расчета, основанных на методе математического моделирования.

Данная работа посвящена разработке методики расчета процесса ионного обмена в непрерывно действующем аппарате с потным движущимся слоем ионита (рис. 1).

Ионообменный процесс протекает в аппарате колонного типа диаметром  $D_a$  и высотой движущегося слоя ионита  $H$ . В аппарат подаются исходный раствор с объемным расходом  $Q$  и концентраций  $C_{вх}$ , а также отрегенированный ионит с объемным расходом  $\bar{Q}$  и начальным содержанием сорбируемого вещества  $\bar{C}_{вх}$ . Жидкая и твердая фазы в аппарате движутся в одном направлении. Одновременно из аппарата выводится очищенный раствор с объемным расходом  $Q$  и концентраций  $C_{вых}$ , а также отработанный ионит с объемным расходом  $\bar{Q}$  и содержанием сорбируемого вещества  $\bar{C}_{вых}$ . Требуется найти распределение концентрации сорбируемого вещества в твердой и жидкой фазах по высоте аппарата.

Сформулируем основные допущения, которые будем использовать при построении математической модели: равновесие ионного обмена описывается уравнением изотермы адсорбции Фрейндлиха; скорость процесса определяется смешанной диффузией; структура двухфазного потока описывается моделью идеального вытеснения.



**Рис. 1.** Схема движения фаз в прямоточном аппарате



Предположим, что движение раствора и ионита совпадает с направлением аксиальной координаты  $0x$ . Тогда с учетом сделанных допущений математическое описание процесса может быть записано следующей системой уравнений.

Уравнения материального баланса по жидкой и твердой фазам:

$$-v \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\partial \bar{C}_{\text{cp}}}{\partial \tau} = 0; \quad (1)$$

$$-w \frac{\partial \bar{C}_{\text{cp}}}{\partial x} - \frac{\partial \bar{C}_{\text{cp}}}{\partial \tau} = 0. \quad (2)$$

Уравнение кинетики:

$$\frac{\partial \bar{C}(r, \tau)}{\partial \tau} = \bar{D}_{\text{эф}} \left[ \frac{\partial^2 \bar{C}(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial \bar{C}(r, \tau)}{\partial r} \right] \quad (\tau > 0; 0 \leq r \leq R); \quad (3)$$

Уравнение изотермы ионного обмена:

$$\bar{C}_p = kC^\alpha. \quad (4)$$

Начальные и граничные условия:

$$\bar{C}_{\text{cp}}|_{x=0} = \bar{C}|_{\tau=0} = \bar{C}_{\text{вх}}; \quad C|_{x=0} = C|_{\tau=0} = C_{\text{вх}}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial \bar{C}(0, \tau)}{\partial r} = 0; \quad \bar{C}(0, \tau) \neq \infty; \quad (6)$$

$$\bar{D}_{\text{эф}} \frac{\partial \bar{C}(r_0, \tau)}{\partial r} = \beta [C(\tau) - C_{\text{гр}}(\tau)]; \quad (7)$$

$$Q \frac{\partial C}{\partial \tau} = -nS\bar{D}_{\text{эф}} \frac{\partial \bar{C}}{\partial r} \Big|_{r=r_0}. \quad (8)$$

Уравнение связи между  $\bar{C}_{\text{cp}}$  и  $\bar{C}|_{r=r_0}$ :

$$\frac{d\bar{C}_{\text{cp}}}{d\tau} = -nS\bar{D}_{\text{эф}} \frac{\partial \bar{C}}{\partial r} \Big|_{r=r_0}. \quad (9)$$

Здесь  $C$  – концентрация вещества в растворе, кг-экв/м<sup>3</sup>;  $\bar{C}$  – концентрация вещества в ионите, кг-экв/м<sup>3</sup>;  $\bar{D}_{\text{эф}}$  – коэффициент диффузии в ионите, м<sup>2</sup>/с;  $n$  – количество частиц ионита, поступающих в аппарат;  $r$  – радиальная координата частицы, м;

$r_0$  – радиус частицы, м;  $S$  – площадь поверхности одной частицы, м<sup>2</sup>;  $Q$  – расход раствора, м<sup>3</sup>/с;  $\bar{Q}$  – расход ионита, м<sup>3</sup>/с;  $k, \alpha$  – константы уравнения изотермы адсорбции Фрейндлиха;  $\tau$  – время, с; индексы: *вх* – входящий; *вых* – выходящий; *гр* – граничный; *ср* – средний; *эф* – эффективный.

Система уравнений (1)–(9) является нелинейной и аналитически неразрешима. Для решения данной краевой задачи используем метод кусочно-итерационного анализа [2]. В пределах небольшой высоты *i*-го слоя ионита принимаем постоянными кинетические параметры процесса и нелинейную равновесную зависимость (4) заменяем уравнением касательной:

$$\bar{C}_{p,i} = mC_i + b, \quad (10)$$

где  $m = \alpha k C_{\text{вх},i}^{\alpha-1}$  и  $b = k C_{\text{вх},i}^{\alpha} (1 - \alpha)$ .

Аналитические решения задачи для *i*-го слоя ионита небольшой толщины с учетом замены переменной  $x = \tau/v$  имеют вид:

$$\frac{C_i(x)}{C_{\text{вх},i}} = 1 - \gamma \frac{\bar{C}_{p,i}}{\bar{C}_{\text{вх},i}} \left( 1 - \frac{\bar{C}_{\text{вх},i}}{\bar{C}_{p,i}} \right) \left[ \frac{1}{1 + M/3} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp \left( -\mu_n^2 \frac{\bar{D}_{\text{эф}} x}{r_0^2 w} \right) \right]; \quad (11)$$

$$\frac{\bar{C}_{\text{ср},i}(x) - \bar{C}_{\text{вх},i}}{\bar{C}_{p,i} - \bar{C}_{\text{вх},i}} = \frac{1}{1 + M/3} - \sum_{n=1}^{\infty} A_n \exp \left( -\frac{\mu_n^2 \bar{D}_{\text{эф}} x}{r_0^2 w} \right), \quad (12)$$

$$\text{где } A_n = \frac{6 Bi_m (\sin \mu_n - \mu_n \cos \mu_n)}{\mu_n^3 \left[ \left( \mu_n - \frac{Bi_m M}{\mu_n} + \frac{2 Bi_m M}{\mu_n^3} \right) \sin \mu_n - \left( \frac{2 Bi_m M}{\mu_n^2} + Bi_m \right) \cos \mu_n \right]},$$

$M = 3m\bar{Q}/Q$ ,  $\gamma = w/v$ ,  $Bi_m = \beta r_0 / (m\bar{D}_{\text{эф}})$ ,  $\mu_n$  – корни характеристического уравнения:

$$tg \mu = \frac{Bi_m M - \mu^2}{\frac{Bi_m M}{\mu} + \mu(Bi_m - 1)}. \quad (13)$$

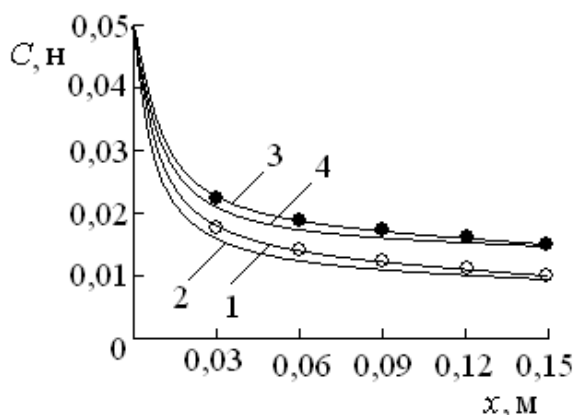
Уравнения (11) и (12) позволяют рассчитать распределение сорбируемого вещества соответственно в жидкой и твердой фазах по высоте *i*-го слоя ионита. Осуществляя итерирование всех аналитических решений, находят общую картину процесса ионного обмена в аппарате в целом.

Проведены экспериментальные исследования обмена  $\text{Cu}^{2+} - \text{H}^+$  и  $\text{Zn}^{2+} - \text{H}^+$  на катионите КУ–2–8(Н) в прямоточном аппарате. Ниже приведены основные характеристики работы аппарата и значения расчетных параметров:  $D_a = 0,035$  м;  $H = 0,15$  м;  $Q = 5,6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup>/с;  $\bar{Q} = 1,5 \cdot 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/с;  $C_{\text{вх}} = 0,05$  н;  $\bar{C}_{\text{вх}} = 0$ ;  $r_0 = 2,6 \cdot 10^{-4}$  м; для обмена  $\text{Cu}^{2+}$ -

$H^+ \bar{D}_{эф} = 5,5 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\alpha = 0,105$ ;  $k = 2,45$ ; для обмена  $Zn^{2+}-H^+ \bar{D}_{эф} = 2 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $\alpha = 0,14$ ;  $k = 2,43$ .

На рис. 2 изображены кривые распределения концентрации ионов меди и цинка в жидкой фазе по высоте аппарата.

Из сравнения экспериментальных и расчетных данных можно сделать вывод об их удовлетворительной сходимости (отклонение не более 10 %) и рекомендовать разработанное математическое описание для практического применения.



**Рис. 2.** Распределение концентрации ионов  $Cu^{2+}$  (1, 2) и  $Zn^{2+}$  (3, 4) в жидкой фазе по высоте аппарата: 1, 3 – экспериментальные данные; 2, 4 – расчетные кривые

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреюк С.В., Волкова Г.А., Сторожук Н.Ю. Технологические схемы и аппаратурное оформление процессов ионообменной очистки подземных вод от азотистых соединений // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2013. – № 2. – С. 40-42.
2. Массообменные процессы химической технологии (системы с дисперсной твердой фазой) / П.Г. Романков, В.Ф. Фролов. – Л.: Химия. 1990. – 384 с.

УДК 614.849

**С. Н. Никишов, А. А. Максимова**

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### РАЗРАБОТКА ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ НОРМАТИВОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ

**Ключевые слова:** газодымозащитник, норматив, тренировка, средство индивидуальной защиты органов дыхания и зрения.

**Аннотация:** в статье представлены результаты проведенного эксперимента по определению времени выполнения норматива одевание и включение в дыхательный аппарат. На основании полученных данных было рассчитано нормативное время выполнения данного упражнения.

*S. N. Nikishov, A. A. Maximov*

## DEVELOPMENT OF ADDITIONAL STANDARDS FOR THE PREPARATION OF GAS SMOKE SUPPORTERS

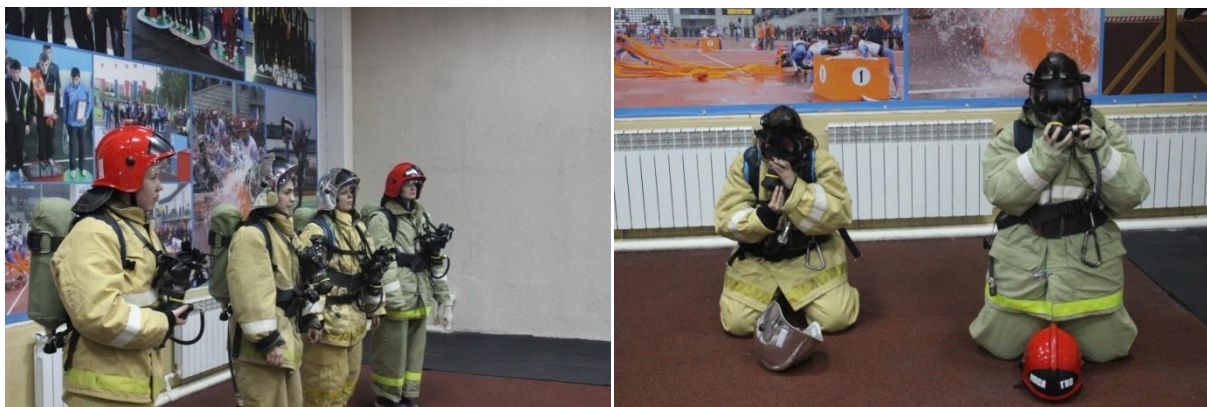
**Keywords:** gas and smoke protector, standard, training, means of individual protection of respiratory organs and eyesight.

**Abstract:** The article presents the results of the experiment to determine the time of performance of the standard dressing and inclusion in the breathing apparatus. On the basis of the data obtained, the normative time for performing this exercise was calculated.

Одной из форм подготовки и поддержание квалификации газодымозащитников, является отработка и выполнение (сдача) нормативов с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения [1, 2]. Перечень обязательных нормативов и критерии их оценки, отражены в методических рекомендациях по организации и проведению занятий с личным составом газодымозащитной службы Федеральной противопожарной службы МЧС России [3]. Выполнение данных нормативов предусматривается, как в повседневной служебной деятельности сотрудников (работников) ФПС МЧС России являющихся газодымозащитниками, так и в процессе их обучения [4, 5].

Практика отработки нормативов на учебных занятиях с обучающимися ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России показала, что применение критериев оценки изложенных в методических рекомендациях, не подходит для курсанток и студенток, в связи с чем были проведены экспериментальные исследования по определению временных параметров выполнения различных нормативов с учетом гендерного признака.

В данной работе представлены результаты по выполнению норматива: «Одевание и включение в дыхательный аппарат» (Рис. 1).



**Рис. 1.** Выполнение норматива курсантками

Полученные экспериментальные данные представлены в табл. 1.

Таблица 1. Временные показатели включения девушек в СИЗОД

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\tau$ , сек.	71,0	67,7	63,2	60,0	59,8	58,7	58,2	57,5	56,3	55,1
N	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$\tau$ , сек.	54,3	53,6	52,4	51,9	51,5	50,7	50,2	49,3	48,7	47,4

Для определения нормативного времени выполнения упражнения использовалась методика представленная в работе В.В. Терехова и В.А. Грачева [6].

В начале определяем уровень освоения элемента:

$$K_i = \frac{|\tau_i - \tau_{i+10}|}{\tau_i} \leq 0,1 \quad (1)$$

где:  $\tau_i, \tau_{i+10}$  - затраты времени на выполнение элемента упражнения, порядковые номера, которые различаются на десять единиц. То есть, как только  $K_i < 0,1$  с этого момента можно начинать учитывать количество наблюдений.

$$K_1 = \frac{|71,0 - 54,3|}{71,0} = 0,2 \geq 0,1$$

$$K_2 = \frac{|67,7 - 53,6|}{67,7} = 0,2 \geq 0,1$$

$$K_3 = \frac{|63,2 - 52,4|}{63,2} = 0,2 \geq 0,1$$

$$K_4 = \frac{|60,0 - 51,9|}{60,0} = 0,1 \leq 0,1$$

$$K_5 = \frac{|59,8 - 51,5|}{59,8} = 0,1 \leq 0,1$$

$$K_6 = \frac{|58,7 - 50,7|}{58,7} = 0,1 \leq 0,1$$

$$K_7 = \frac{|58,2 - 50,2|}{58,2} = 0,1 \leq 0,1$$

$$K_8 = \frac{|57,5 - 49,3|}{57,5} = 0,1 \leq 0,1$$

$$K_9 = \frac{|56,3 - 48,2|}{56,3} = 0,1 \leq 0,1$$

$$K_{10} = \frac{|55,1 - 47,4|}{55,1} = 0,1 \leq 0,1$$

Из условия  $K_1 < 0,1$ , отсчет результатов будет начинаться с 4-го значения, так как 1, 2, 3 результат не удовлетворяет требованиям. В связи с этим значения 11, 12, 13 не попали в область проверяемых данных по формуле 1. Произведем расчет значений 11, 12, 13 с целью выявления и исключения грубых ошибок измерений.

Проверяем значение:

$$\tau_i^* = 54,3 \text{ сек.}$$

Вычисляем среднее значение времени и среднеквадратического отклонения по формулам 2 и 3 соответственно:

$$\bar{\tau}_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum \tau_i \quad (2)$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n (\bar{\tau}_1 - \tau_i)^2} \quad (3)$$

$$\bar{\tau}_1 = \frac{60,0 + 59,8 + 58,7 + 58,2 + 57,5 + 56,3 + 55,1 + 54,3 + 51,9 + 51,5 + 50,7 + 50,2 + 49,4 + 48,7 + 47,4}{15} = 53,97 \text{ сек.}$$

Вычисление значения среднеквадратического отклонения:

$$S = \sqrt{\frac{1}{15-1} [(53,97 - 60,0)^2 + (53,97 - 59,8)^2 + (53,97 - 58,7)^2 + (53,97 - 58,2)^2 + (53,97 - 57,5)^2 + (53,97 - 56,3)^2 + (53,97 - 55,1)^2 + (53,97 - 54,3)^2 + (53,97 - 51,9)^2 + (53,97 - 51,5)^2 + (53,97 - 50,7)^2 + (53,97 - 50,2)^2 + (53,97 - 49,4)^2 + (53,97 - 48,7)^2 + (53,97 - 47,4)^2]} = 4,30 \text{ сек.}$$

Вычисляем соотношение приемлемых результатов по формуле:

$$t_p = \frac{|\tau_i^* - \bar{\tau}_1|}{S} \quad (4)$$

$$t_p = \frac{|54,3 - 53,97|}{4,30} = 0,08$$

Значение коэффициента  $t_T$  при  $P = 0,95$  определяется по табличным данным (табл. 2).

Таблица 2. Значения  $t_T$  в зависимости от количества проведенных экспериментов, при  $P=0,95$

N	5	7	10	12	16	20	40	$\infty$
$t_T$	3,0	2,7	2,4	2,3	2,2	2,1	2,0	1,96

В нашем случае  $n = 15$ , следовательно промежуточное значение  $t_T$  находим с помощью интерполяции:

$$N_1 = 12 - t_{T1} = 2,3$$

$$N_2 = 15 - t_{T2} = x$$

$$N_3 = 16 - t_{T3} = 2,2$$

$$x = 2,3 + \frac{2,2 - 2,3}{16 + 12} \cdot (15 - 12) = 2,22$$

Расчетное значение  $t_p$  равно 0,08 меньше требуемого 2,22, следовательно 54,3 признается достоверным.

Проверка оставшихся двух значений  $\tau_i^* = 53,6$  сек и  $\tau_i^* = 52,4$  сек, аналогичным образом, показала возможность их включения в общее количество экспериментальных данных на основании которых будет проводиться расчет нормативного времени выполнения упражнения.

После проверки результатов на наличие грубых ошибок измерений, проводим расчет среднего значения времени и среднеквадратического отклонения по формулам 2 и 3 для 17 значений:

$$\bar{\tau}_i = \frac{60,0 + 59,8 + 58,7 + 58,2 + 57,5 + 56,3 + 55,1 + 54,3 + 53,6 + 52,4 + 51,9 + 51,5 + 50,7 + 50,2 + 49,3 + 48,7 + 47,4}{17} = 53,9 \text{ сек.}$$

Вычисление значения среднеквадратического отклонения:

$$S = \sqrt{\frac{1}{17 - 1} [(53,9 - 60,0)^2 + (53,9 - 59,8)^2 + (53,9 - 58,7)^2 + (53,9 - 58,2)^2 + (53,9 - 57,5)^2 + (53,9 - 56,3)^2 + (53,9 - 55,1)^2 + (53,9 - 54,3)^2 + (53,9 - 53,6)^2 + (53,9 - 52,4)^2 + (53,9 - 51,9)^2 + (53,9 - 51,5)^2 + (53,9 - 50,7)^2 + (53,9 - 50,2)^2 + (53,9 - 49,3)^2 + (53,9 - 48,7)^2 + (53,9 - 47,4)^2]} = 4,03 \text{ сек.}$$

Общее количество  $n = 17$ , промежуточное значение  $t_p$  находим с помощью интерполяции:

$$\begin{aligned} N_1 &= 16 - t_{T_1} = 2,2 \\ N_2 &= 17 - t_{T_2} = x \\ N_3 &= 20 - t_{T_3} = 2,1 \\ x &= 2,2 + \frac{2,1 - 2,2}{20 + 16} \cdot (17 - 16) = 2,18 \end{aligned}$$

Определяем необходимое количества измерений:

$$n_{\text{тр}} = \frac{t^2 \cdot S^2}{\varepsilon^2} \quad (5)$$

где:  $t$  - коэффициент Стьюдента, равный 2,18 с вероятностью 0,95;  
 $S$  - среднеквадратичное отклонение для достоверных измерений;  
 $\bar{\tau}_i$  - среднее время достоверных измерений;

$\varepsilon$  - степень ошибки эксперимента.

$$n_{\text{тр}} = \frac{2,18^2 \cdot 4,03^2}{5,39^2} = 3$$

Степень ошибки эксперимента рассчитываем по формуле 6:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,1 \cdot \bar{\tau}_1 \\ \varepsilon &= 0,1 \cdot 53,9 = 5,39 \end{aligned} \quad (6)$$

После проведенных расчет сравниваем общее количество измерений с требуемым:

$$n_{\phi} = 17 > n_{\text{тр}} = 3$$

В дальнейших математических расчетах используется  $n_{\phi}=17$  - количество измерений времени выполнения элемента, за исключением выскакивающих значений и результатов, используемых на основе элемента.

Определение нормативного значения времени выполнения упражнения в целом:

$$\tau_{\text{н}} = \bar{\tau}_1 \pm \Delta\bar{\tau}_1 \quad (7)$$

где  $\Delta\bar{\tau}_1$  - доверительный интервал, который вычисляется по формуле:

$$\Delta\bar{\tau}_1 = \frac{t_{\text{р}} \cdot S}{\sqrt{n_{\phi}}} \quad (8)$$

где  $\Delta\bar{\tau}_1$  - доверительный интервал, который вычисляется по формуле:

$$\Delta\bar{\tau}_1 = \frac{2,18 \cdot 4,0}{\sqrt{17}} = 2,11 \text{ сек.}$$

Нормативное время выполнения упражнения для девушек следующее:

$$\begin{aligned} \bar{\tau}_1 - \text{хорошо; «4»} &= 53,9 \text{ сек.} \\ \bar{\tau}_1 - \Delta\bar{\tau}_1 - \text{отлично; «5»} &= 51,8 \text{ сек.} \\ \bar{\tau}_1 + \Delta\bar{\tau}_1 - \text{удовлетворительно. «3»} &= 56,1 \text{ сек.} \end{aligned}$$

Применение полученных результатов при проведение учебных занятий позволит объективно оценивать степень подготовленности курсанток и студентов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Легошин М.Ю., Чистяков И.М., Шипилов Р.М., Никишов С.Н. Совершенствование профессионального уровня подготовки газодымозащитников в ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции, посвященной



Году пожарной охраны, Иваново, 24–25 ноября 2016 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. – 768 с. – С. 267-269.

2. Легошин М.Ю., Чистяков И.М., Никишов С.Н., Зарубина Е.В. К вопросу профессиональной подготовки газодымозащитников в ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VIII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 13 апреля 2017 г. - Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 550-553.

3. Методические рекомендации по организации и проведению занятий с личным составом газодымозащитной службы Федеральной противопожарной службы МЧС России. Утверждены главным военным экспертом МЧС России генерал-полковником П.В. Плат 30.06.2008, г. Москва.

4. Никишов С.Н., Баканов М.О. Разработка нормативов для оценки обучающихся при проведении тренировок в задымляемом модуле МФТК подготовки газодымозащитников // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 19 апреля 2018 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 326-333.

5. Никишов С.Н., Чистяков И.М., Шипилов Р.М. Практическая подготовка пожарных и спасателей в учебно-тренировочных комплексах // Молодые ученые - развитию Национальной технологической инициативы (ПОИСК). 2018. № 1. – С. 183-185.

6. Терехнев В.В., Грачев В.А. Основы научных исследований оперативно-тактических действий. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. – 288 с.

УДК 621.867.21

*М. А. Ноздрин, Д. О. Соловьев*

Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина

## **ЭСКИЗНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АГРЕГАТА ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Ключевые слова:** проектирование производственных линий, теория упругости и пластичности, прочностной анализ, метод конечных элементов.

**Аннотация:** Проведено эскизное проектирование машины пищевой промышленности, рассчитаны параметры производственной линии, а также произведено моделирование и расчет узла системы очистки. Выявлены недостатки аналитического способа решения задачи и установлена необходимость в использовании численного метода прочностного расчета.

*М. А. Nozdrin, D. O. Solovev*

## **SCHEMATIC DESIGN OF FOOD INDUSTRY MACHINE**

**Keywords:** design of production lines, theory of elasticity, theory of plasticity, strength analysis, finite element method.

**Abstracts:** The schematic design of the food industry machine was carried out, the parameters of the production line were calculated, and the modeling and calculation of the cleaning system

unit were made. The drawbacks of analytical method are revealed. The necessity of using the numerical method of strength calculation is established.

Пищевая промышленность России - это тысячи больших, средних и малых предприятий разной формы собственности, которые производят почти 20% от общего объема промышленной продукции. Отечественная пищевая отрасль включает в себя сотни производственных циклов, отличающихся высокой сложностью. В работе рассматривается одна из практических задач по совершенствованию производственной линии.

Согласно проектного задания целью является разработка предложений для проектирования агрегата по разделению потока макарон в две зоны выгрузки. Для этого необходимо: разработать транспортную систему для подачи макарон с точки выгрузки из линии изготовления в приемные бункеры дозаторов; разработать систему распределения потоков; предложить систему отвода макарон в случае остановки дозаторов; предложить систему сбора и удаления крошки и обломков.

Задача поставлена в рамках творческого конкурса Всероссийской студенческой олимпиады по прикладной механике (ВСОПМ) 2018 года в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики для машиностроительного завода «Таурас-Феникс».

Исходные данные для конкурса: транспортируемое изделие – макароны серпантин диаметром 10 мм, длиной 15-35 мм; производительность линии макарон 1600 кг/ч; макароны подаются с линии изготовления напрямую на ленту транспортера; линия изготовления расположена на высоте 800 мм, приемные бункеры дозаторов – на высоте 3000 мм. Диаметр дозатора 1200 мм, диаметр приемной воронки 500 мм.

Для этой задачи разработана общая схема транспортной системы (рис. 1).

С линии изготовления макароны подаются на ленту транспортера 1. Затем по участку 2, представляющему собой конвейерную лестницу с поперечными перегородками и гофробортами, они поднимаются и попадают на систему очистки 3, где с помощью колеблющегося сита проходят очистку. После стадии удаления крошек и обломков макароны разделяются на два потока на горизонтальном участке 4 и попадают в дозаторы.

Система очистки (рис. 2) представляет собой пластину с двумя бортами и множеством отверстий диаметром 4 мм, закрепленную по бокам с помощью четырех пружин. Пластина совершает горизонтальные колебания с помощью площадочного вибродвигателя.

На четвертом участке (рис. 3) макароны движутся по транспортной ленте и с помощью клина разделяются на два потока, затем попадают в дозаторы.

Система оснащена двумя элементами, сделанными по типу «дворников», которые могут принимать два положения: вдоль ленты и положение под углом поперек ленты. В зависимости от режима работы «дворники» принимают соответствующие положения. При неисправности одного из дозаторов поток направляется в рабочий дозатор. Когда оба дозатора останавливаются, разделяющий клин убирается с ленты, «дворники» принимают горизонтальное положение вдоль ленты, и весь поток идет в аварийный бункер.

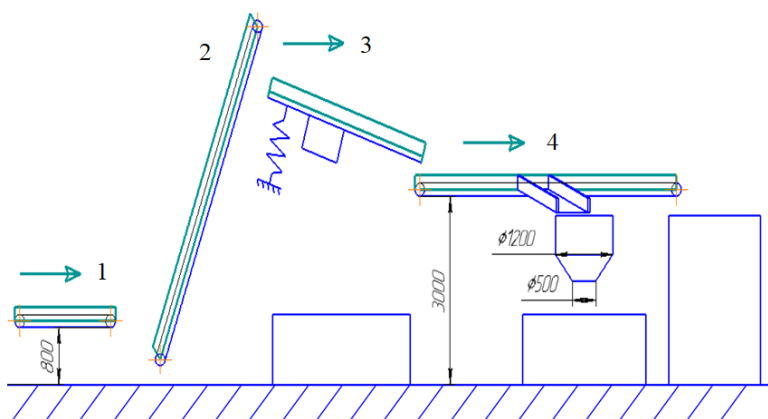


Рис. 1. Общая схема транспортной системы

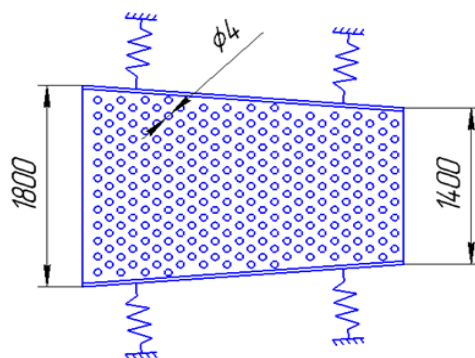


Рис. 2. Схема системы очистки

Рассмотрим более подробно один из элементов системы очистки потока макарон (участок 3), а именно – сито, представляющее собой пластину с двумя бортами и множеством отверстий. В случае статического расчета пружины заменены сферическими шарнирами. Поток макарон, падающих на пластину с участка 2, считается постоянной нагрузкой. Для случая статического расчета узла воспользуемся теорией изгиба прямоугольной пластины из теории упругости и пластичности [2]. Для этого упростим геометрию пластины, перейдя к прямоугольной форме и исключив отверстия (рис. 4).

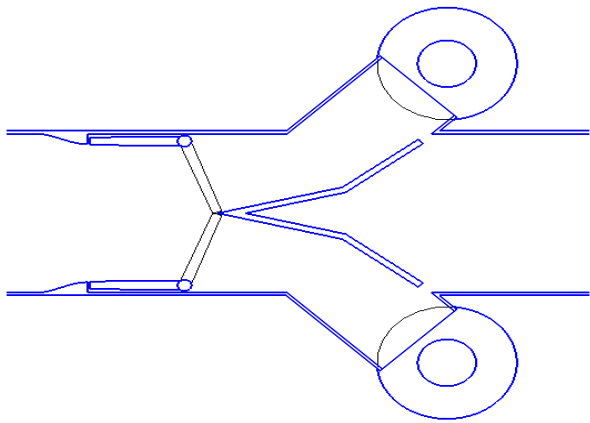


Рис. 3. Схема потокораспределителя

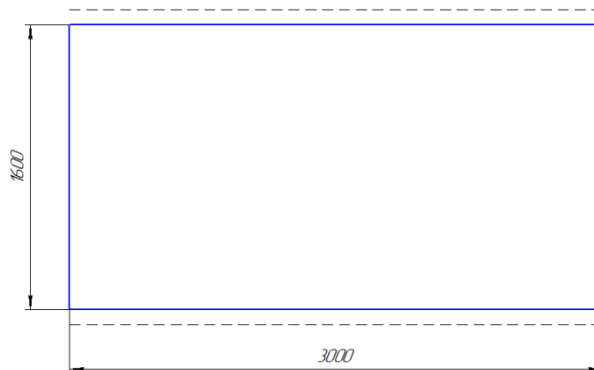


Рис. 4. Упрощенная модель пластины (вид сверху)

Аналитическое решение проведено по теории изгиба плоской пластины. Получаем эпюру прогиба (рис. 5). Максимальные перемещения равны 0.8 мм.

Аналитического расчета недостаточно для решения поставленной задачи, так как используются существенные допущения, влияющие на точность. Поэтому возникает необходимость использования программного обеспечения.

При создании полноразмерной геометрической модели численный расчет занимает чрезмерное количество времени вследствие больших размеров и множества отверстий. Поэтому созданы три модели: полноразмерная без отверстий, уменьшенная без отверстий и уменьшенная с отверстиями. В программе Ansys [3] с помощью

метода конечных элементов получены максимальные значения перемещений и напряжений (рис. 6).

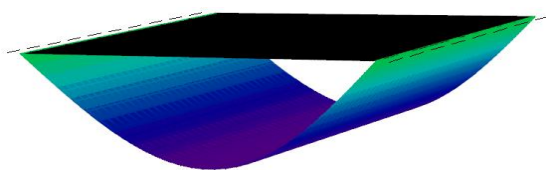


Рис. 5. Эпюра прогиба пластины

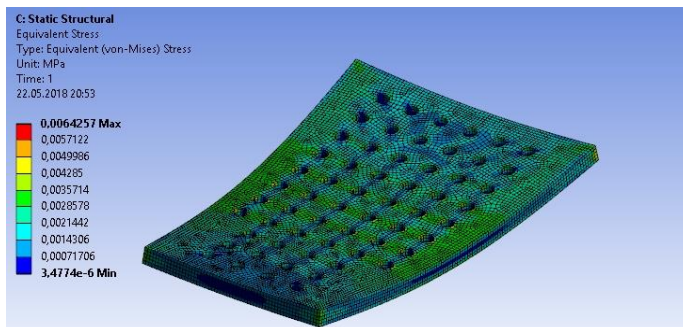


Рис. 6. Значения напряжений после приложения нагрузки

Аналогичным образом рассчитываются две оставшиеся модели (таблица).

Таблица. Результаты прочностного статического анализа

	Полноразмерная модель без отверстий	Уменьшенная модель без отверстий	Уменьшенная модель с отверстиями
Макс. перемещения, мм	3,06	$9,26 \cdot 10^{-6}$	$10,45 \cdot 10^{-6}$
Макс. напряжения, МПа	1,59	0,003	0,0064

Отношение максимальных перемещений в моделях с отверстиями и без составило 1,13. Данный коэффициент показывает влияние отверстий в пластине на возникающие перемещения. Полученные значения позволяют оценить прогиб реальной пластины как  $w = 3,46$  мм.

Аналитический расчет показал меньшие перемещения, чем результат численного (0,8 мм против 3,46 мм), а расположение максимальных перемещений несколько отличается. Это объясняется разными условиями закрепления и отсутствием учета отверстий в аналитическом расчете. Численный расчет показал, что пластина испытывает небольшие перемещения, а возникающие напряжения в ней значительно ниже допустимых. Наличие отверстий в уменьшенной модели увеличивает максимальные напряжения более чем в два раза (с 0,003 МПа до 0,0064 МПа). Подобный эффект ожидается и в полноразмерной пластине.

Полученные в работе результаты используются для составления проектно-конструкторской документации агрегата.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 20-85. Ленты конвейерные резиноканевые. Технические условия. – Взамен ГОСТ 20-76; Введ. 01.01.87 – М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 34 с.
- Самуль В.И. Основы теории упругости и пластичности: Учебное пособие для студентов вузов. – 2 изд., перераб. – М. : Высш. школа, 1982. - 264 с.
- Электронный каталог ANSYS КАДФЕМ «Механика деформируемого твердого тела» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.cadfecis.ru/fileadmin/data/file/content\\_prod/ansys/cadfec\\_mehantica-deform-tela.pdf](https://www.cadfecis.ru/fileadmin/data/file/content_prod/ansys/cadfec_mehantica-deform-tela.pdf)

УДК 531/534

*С. О. Огнев, А. А. Покровский*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## СТАНОВЛЕНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ В КАЧЕСТВЕ ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОТРАСЛЕЙ ТЕХНИКИ

**Ключевые слова:** теоретическая механика, техника, статика, кинематика, реакция, пожарный автомобиль.

**Аннотация:** рассмотрены источники роста теоретической механики как фундаментальной науки. Сосредоточено главное внимание на взаимодействиях механики с техническими потребностями общества, обусловленными развитием современной техники.

*S. O. Ognev, A. A. Pokrovskiy*

## FORMATION OF THEORETICAL MECHANICS AS A BASIS FOR THE DEVELOPMENT OF MODERN BRANCHES OF TECHNOLOGY

**Keywords:** theoretical mechanics, technology, statics, kinematics, reaction, fire engine.

**Abstracts:** considered the sources of growth of theoretical mechanics as a fundamental science. The main focus is on the interactions of mechanics with the technical needs of society, due to the development of modern technology.

В настоящее время механика, являясь в большей степени фундаментальной дисциплиной, в свою очередь есть научная основа развития современных отраслей техники. Развитие машиностроения вызвало развитие как теоретической механики, так непосредственно связанных с ней дисциплин: теория механизмов и машин, сопротивление материалов, детали машин.

Несмотря на то, что впервые термин «механика» был введен древним философом Аристотелем, в тоже время его учение о движении тел и равновесии сил имели как правильные суждения, так и ошибочные. Поэтому правильнее было бы считать родоначальником механики Архимеда, труды которого сочетали в себе гениальные открытия и изобретения. В свою очередь бурное развитие теоретической механики как науки можно считать в эпоху Возрождения. На ее развитие как науки повлияли два главных фактора, а именно – это потребности развивающегося человеческого общества, которые в последствие будут обусловлены преимущественно развитием техники и технологий. Вторым фактором развития теоретической механики как фундаментальной науки является абстрактное мышление человека, то есть потребность и способность человеческого разума к созданию и открытию нового в своей жизни.

Теоретическая механика является научным фундаментом в наиболее передовых отраслях, таких как авиастроение и ракетостроение. Под воздействием запросов авиационной и ракетной техники существенно развивались следующие разделы: механика тел переменной массы, теория гироскопических явлений, специальная теория относительности.

Первые теоретические исследования в задачах связанных с движением тел переменной массы принадлежат Д. Бернулли и Л. Эйлеру. Эйлер вывел уравнение поступательного движения объекта переменной массы и уравнение вращательного движения тела переменного состава около неподвижной оси.

Главным в работах Эйлера явилось получение выражения реактивной силы установившегося поступательного движения тела переменной массы и момента реактивных сил относительно данной оси. В работах К.Э. Циолковского главное внимание уделялось проблеме космического полета ракеты. Он разработал основные принципы создания летательного реактивного аппарата и проанализировал условия межпланетного полета. Исследования движения небесных тел, масса которых меняется из-за падения метеоритов на их поверхность принадлежит И.В. Мещерскому. Автор решил задачу построения общей теории, на основе которой можно было бы исследовать частные случаи движения тел переменной массы. Важнейшими работами И.В. Мещерского в построении общей теории движения тел переменной массы было рассмотрение одновременного присоединения и исключения частиц от основной движущейся материальной точки и исследование вращения твердого тела переменной массы вокруг неподвижной оси.

Для понимания гироскопических явлений Л. Эйлером были выведены кинематические и динамические уравнения, описывающие вращение твердого тела около центра масс и неподвижной точки. Ж. Лагранж нашел общее решение уравнения Эйлера для твердого тела, у которого моменты относительно двух главных осей равны, центр масс смещен относительно точки опоры вдоль третьей главной оси. Позднее в конце девятнадцатого века произошло зарождение гироскопической техники: гироскопа направления, гироскопического компаса. В наши дни уже более совершенные гироскопические приборы нашли свое применение в авиационной технике, в частности в самолете амфибии Бе-200ЧС, находящийся на вооружении в подразделениях МЧС России. Самолет оснащен комплексом пилотажно-навигационного оборудования и средств связи, которые обеспечивают навигацию и управление в любых метеоусловиях. Самолет предназначен для доставки в район бедствия спасателей и средств пожаротушения, сдерживание распространения средних и крупных пожаров.

В настоящее время на законах теоретической механики, а именно статики и кинематики строится теория движения пожарного автомобиля, где проводится анализ ряда эксплуатационных свойств: тягово-скоростных, тормозных, устойчивости движения, маневренности, управляемости, плавности хода.

Тяговые силы ведущих колес определяют тягово-скоростные свойства пожарного автомобиля. Тягово-скоростные свойства оцениваются величиной удельной мощности, которая выражается отношением мощности двигателя к полной массе автомобиля.

Сопротивление качению колеса с пневматической шиной по недеформируемой дороге возникает за счет затрат энергии на деформацию шины, напротив сопротивление качению колеса по деформируемой дороге возникает за счет затрат энергии на деформацию грунта и на преодоление сил трения между колесом и грунтом. Сила сопротивления качению колес пожарного автомобиля является суммой сил сопротивления качению всех колес и прямо пропорциональна коэффициенту сопротивления качению и нормальной реакции поверхности каждого колеса.

Практически для определения тех или иных эксплуатационных свойств автомобиля одним из основных параметров являются нормальные реакции опорной по-

верхности колес. Следует отметить, что величины нормальных реакций определяются правилами статики путем составления уравнений равновесия произвольной плоской системы сил.

Таким образом, законы и методы теоретической механики являются руководством к грамотному решению практических задач в технических вопросах, где взаимодействие науки механики с рядом областей современной техники базируется на основе колоссального опыта всего человечества. Новые научные открытия и достижения должны находить свое отражение и в преподавании курса теоретической механики, обновляя и пополняя содержание этой дисциплины.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Покровский А.А. Этапы построения курса теоретической механики // NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2018 г. – № 78; URL: <https://novainfo.ru/article/?nid=14710>.
2. Покровский А.А. Тестовые технологии в преподавании технических дисциплин // NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2018 г. – № 78; URL: <https://novainfo.ru/article/?nid=14703>.

УДК 621.762.2

*Н. Л. Павлюкова, Д. В. Круглов*

Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина

### ПРОЕКТ УЧЕБНОЙ ЛАБОРАТОРИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**Ключевые слова:** аддитивные технологии, учебная лаборатория, 3D-принтер, 3D-модель.

**Аннотация:** в статье рассмотрена актуальность аддитивных технологий, необходимость создания учебной лаборатории аддитивных технологий для подготовки студентов и проведения научных исследований в этой области на кафедре технологии машиностроения Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина.

*N. L. Pavlyukova, D. V. Kruglov*

### PROJECT OF EDUCATIONAL LABORATORY OF ADDITIVE TECHNOLOGIES

**Keywords:** additive technologies, training laboratory, 3D-printer, 3D-model.

**Abstracts:** the article deals with the relevance of additive technologies, the need to create an educational laboratory of additive technologies for training students in this field and research at the Department of engineering technology of Ivanovo State Power University.

Развитие промышленности в современных условиях требует решить задачи цифровизации предприятий и повышение их конкурентоспособности. Один из способов добиться этого – внедрение на предприятиях аддитивных технологий. В настоя-

щее время они нашли свое применение в машиностроении, авиапромышленности, энергетике, электротехнике и медицине.

АМ-технологии (от Additive Manufacturing – аддитивное производство) позволяют изготавливать любое изделие послойно на основе компьютерной 3D-модели. В отличие от традиционных технологий изготовления деталей резанием, когда удаляется заранее рассчитанный припуск, при использовании АМ-технологий материал добавляется слой за слоем до получения готового изделия, при этом потери материала практически равны нулю. Технологические возможности АМ-технологий расширились, когда стало возможным изготовление изделий не только из полимерных материалов, но и из композиционных порошков, песка, гипса, воска, металлов.

Одним из перспективных направлений применения АМ-технологий является изготовление технологической оснастки, прототипов изделий и самих изделий сложной формы. Например, для традиционного литейного производства с помощью АМ-технологии может быть «выращена» пресс-форма вместе с литниковой системой сложной конфигурации, что невозможно сделать при обычных методах механообработки. Важно отметить, что внедрение аддитивных технологий невозможно без подготовки кадров для этого направления развития производства, создания нового оборудования, расходных материалов, разработки конструкторской и технологической документации, финишных методов обработки, методов контроля и проведения научных исследований в этой области. Во многих вузах для этих целей уже созданы инжиниринговые центры и лаборатории аддитивных технологий, которые оснащены новейшим оборудованием. Развитием аддитивных технологий в России занимаются: Московский государственный технологический университет «Станкин» (МГТУ «Станкин»), Московский авиационный институт (МАИ), Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ) [4] и др.

Например, в структуре МГТУ «Станкин» в 2011 году была создана первая лаборатория инновационных аддитивных технологий, в рамках которой была начата разработка технологических основ и оборудования для послойного производства сложнопрофильных изделий методом селективного лазерного плавления порошковых материалов и их внедрение в отечественную промышленность, кроме этого, лаборатория видит своей задачей подготовку кадров в области аддитивного производства, возрождение интереса молодых специалистов к науке; получение новых знаний в области АМ-производства [1]. В МАИ открыта школа 3D-печати, в которой слушатели могут получить навыки работы на российском принтере Picaso 3D, немецкой установке EOSint и американской 3D Systems [3]. Кафедра инженерной графики МАИ разрабатывает программное обеспечение для подготовки 3D-моделей. В УрФУ создан инжиниринговый центр лазерных и АМ-технологий, что позволило разработать отечественную промышленную установку для аддитивных технологий и опытный образец машины для производства металлических порошков [4].

Обеспечить высокий уровень подготовки по направлениям 15.03.05 и 15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств возможно при наличии на кафедре технологии машиностроения (ТМС) Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина (ИГЭУ) учебной лаборатории аддитивных технологий.

Можно сформулировать основные цели создания лаборатории:

- подготовка высококвалифицированных специалистов в области аддитивных технологий;



- стимулирование интереса к выбранной специальности и научно-исследовательской деятельности в области технологии машиностроения;
- создание конкурентоспособных образцов продукции машиностроения;
- организация научно-исследовательской деятельности студентов и сотрудников кафедры ТМС ИГЭУ;
- развитие и модернизация технической базы кафедры ТМС ИГЭУ.

В лаборатории аддитивных технологий возможно проектирование и изготовление сложнопрофильных деталей машиностроения; оптимизация традиционных машиностроительных деталей для аддитивного производства; реверс-инжиниринг изделий; исследование свойств и возможностей применения новых перспективных материалов и др.

В учебном процессе это можно реализовать на лабораторных работах дисциплин, предусмотренных учебным планом бакалавров («Основы компьютерной инженерии», 2 курс, 4 семестр) и магистров («Специальные технологические процессы в машиностроении», 1 курс, 1 семестр).

Начать оснащение учебной лаборатории аддитивных технологий предлагается 3D-принтером осуществляющим печать методом послойного наплавления (FDM) [2], например, испанским 3D-принтером WitBox или 3D-принтером российского производства PrintBox 3D. Также потребуется стационарный ПК, куда будет установлено программное обеспечение для управления 3D-принтером и расходные материалы (пластики), 3D-сканер, а в перспективе и 3D-принтер для печати металлическими порошками. Таким образом, учебная лаборатория аддитивных технологий, имеет большой потенциал при подготовке конкурентоспособных специалистов и открывает дополнительные возможности в научно-исследовательской работе студентов, аспирантов и преподавателей кафедры технологии машиностроения ИГЭУ.

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Григорьев С.Н. Инновационные исследования «МГТУ» СТАНКИН» для нужд машиностроения под руководством ученых мирового уровня в рамках Постановления Правительства № 220 // Инновации. 2016. №8 (214). С. 3-8.
2. Игонина Е.В., Дружинина О.В. Особенности разработки и применения FDM-технологии при создании и прототипировании 3D-объектов. // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2017. Т.13. № 2. С. 185-193.
3. Маёвская школа 3D-печати: в тренде высоких технологий: [Электронный ресурс]. - <https://mai.ru/press/news/detail.php?ID=87595> (Дата обращения 26.02.2019).
4. Степанова, Е.Ю. Аддитивные технологии как прорывные инновации ресурсосбережения 21 века / Е.Ю. Степанова // Энерго- и ресурсосбережение-XXI век: XIII междунар. науч.-практ. Интернет-конф. (15 марта-30 июня 2015 г., г. Орел). Орел: Госуниверситет-УНПК, 2015. С. 124-128.

УДК 62-784.433

*В. С. Прокопенко, М. С. Сафонов*

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА С ПОМОЩЬЮ МОКРОГО СПОСОБА**

**Ключевые слова:** разделение, осаждение, готовый продукт

**Аннотация:** В основе способа мокрой очистки газа лежит контакт запыленного потока с жидкостью. При этом в большинстве случаев, когда температура газа и жидкости различна, пылеулавливание сопутствуют тепло и массообменные процессы.

*V. S. Prokopenko, M. S. Safonov*

## **ANALYSIS OF AIR CLEANING CONSTRUCTIONS USING A WET WAY**

**Keywords:** separation, precipitation, finished product

**Abstracts:** The basis of the method of wet gas cleaning is the contact of the dusty stream with the liquid. In most cases, when the temperature of the gas and the liquid is different, dust and heat are associated with heat and mass transfer processes.

В настоящее время аппараты мокрой очистки широко применяются в различных отраслях производства, благодаря простоте конструкции и обслуживанию. Применение мокрого способа в промышленности, в частности, в металлургии широко применяются аппараты, где осаждение частиц происходит на каплях. Мокрые аппараты устанавливаются также в случае отсутствия места для размещения электрофильтров или тканевых фильтров. Рентабельность мокрой очистки газов значительно повышается в случае возможности присоединения ее к существующему водному хозяйству.

Контакт газа с жидкостью способствует и процессу абсорбции газовых компонентов. Таким образом, с помощью аппаратов мокрого типа часто решают комплексную задачу: охлаждение, пылеулавливание и в некоторой степени очистку от вредных газообразных примесей.

Поверхность контакта потока газа с жидкостью в аппарате может быть трех видов: поверхность пленки жидкости, поверхность пузырьков газа, барботирующего через жидкость и поверхность капель диспергированной жидкости. Наиболее развитой является поверхность капель. В аппаратах мокрой очистки создается одна или несколько видов поверхностей контакта.

Осаждение частиц на пленку жидкости происходит в скрубберах с орошаемой насадкой и в масляных кассетных самоочищающихся фильтрах типа КДМ. Необходимый запас кинетической энергии частицы для осаждения ее на пленку зависит от массы (размера) частицы и угла смачивания. Аппараты такого типа эффективны только для улавливания крупных частиц пыли.

Осаждение частиц в барботажных или пенных аппаратах происходит в образующихся пузырьках диаметром 0,2 – 1,0 см при скорости их подъема примерно 0,3 м/с.

Высокая эффективность улавливания достигается лишь с ростом размера частиц и с уменьшением размера пузырьков. Пенные аппараты не получили распро-

странения в металлургии. Чаще применяются аппараты скрубберного типа. Осаждение частиц пыли в них происходит на каплях. Инерционный захват частичек пыли каплей при ее обтекании лежит в основе процесса кинематической коагуляции. Эффективность кинематической коагуляции зависит от относительной скорости частиц и капель и отношения их размеров. Диапазон размеров улавливаемых частиц увеличивается с увеличением скорости.

Наиболее благоприятные условия для кинематической коагуляции протекают в таких аппаратах, где относительная скорость частиц достигает 100 м/с и более.

В промышленности, в частности, в металлургии широко применяются аппараты, где осаждение частиц происходит на каплях. Распыл жидкости в них чаще всего производят с помощью форсунок (форсуночные скрубберы) или за счет энергии турбулентного газового потока (скрубберы Вентури).

В форсуночных оросительных без насадочных скрубберах (рис. 1) происходит охлаждение потока и очистка его от крупной пыли размером более 10—15 мкм, т. е. подготовка газа к последующей тонкой очистке. В верхней части скруббера размещается несколько поясов орошения с большим числом форсунок, распыляющих воду равномерно по сечению. Газ подводится снизу аппарата со скоростью 0,7 – 1,5 м/с и отводится вверху. Расход воды (обычно 8 – 10 л/м<sup>3</sup>), распределение форсунок и скорость газов выбирается с учетом охлаждения газов до 40 – 50°С при увлажнении его до состояния насыщения при условии предотвращения капельного уноса. Форсунки грубого распыла обеспечивают оптимальный для такого процесса диаметр капель  $d_k = 0,6, 1,0$  мм. Шлам непрерывно удаляется из аппарата через гидрозатвор в канал — шламопровод. Гидравлическое сопротивление скрубберов не более 150 – 200 Па. Разновидностью форсуночных скрубберов являются центробежные.

При тангенциальном подводе газа можно повысить эффект очистки. Такие скрубберы в некоторых случаях применяются не только как аппараты для подготовки газа перед тонкой очисткой, но и в качестве основного пылеуловителя. Фракционный коэффициент очистки в них составляет для частиц 5, 10 и 20 мкм соответственно 80, 90, 95%. Тангенциальный вход газа расположен в нижней части скруббера. Орошение производится не только форсункой во входном патрубке, но и подачей воды на стенку в виде пленки. Укрупненные частицы отбрасываются центробежной силой на стенку и улавливаются стекающей вниз пленкой воды.

Условная скорость газа на сечение аппарата принимается 4,5 м/с, скорость во входном патрубке 11 – 12 м/с, максимальный диаметр 3,3 м, высота  $H \gg (3 - 4)D$ . Гидравлическое сопротивление центробежного скруббера ВТИ выше и составляет 400 – 500 Па, при установке дополнительной мокропрутковой решетки во входном патрубке до 800 Па. Удельный расход воды 0,1 л/м<sup>3</sup> газа.

Скрубберы Вентури — наиболее эффективные из всех типов мокрых пылеуловителей и наиболее распространенные в схемах газоочистки промышленных пред-

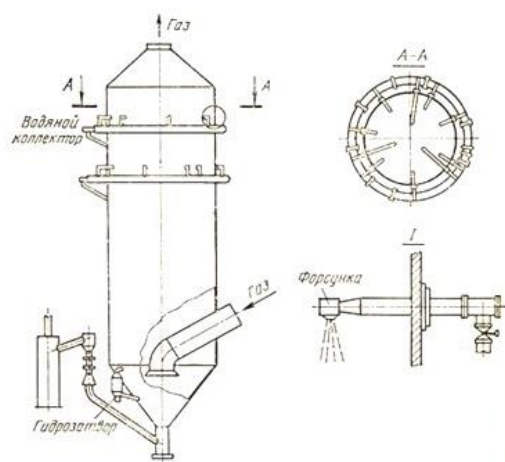
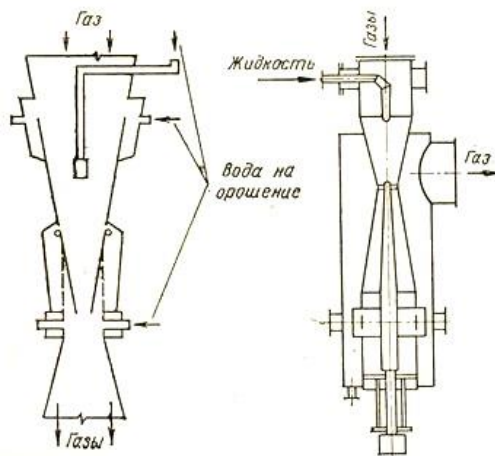


Рис. 1. Полный форсуночный скруббер

приятый. Скруббер Вентури состоит из трубы-коагулятора Вентури, в которую вводится орошающая жидкость и каплеуловителя — специального устройства для улавливания капель и вывода шлама. При высокой скорости газа в горловине (100 – 150 м/с) трубы происходит дробление капель жидкости и осаждение на них частиц пыли. Коагуляции подвергаются практически все и даже частицы размером менее 1 мкм.

Существует много конструкций скрубберов Вентури, отличающихся формой сечения горловины, способом ввода жидкостей, устройством регулирования сечения горловины, конструкцией каплеуловителя (рис. 2).

Широкое распространение получают конструкции унифицированного ряда скрубберов с кольцевым сечением горловины, разработанные институтами НИИюгаз и Гипрогазоочистка. Две модификации этого ряда охватывают производительность по газу от 2 тыс. до 500 тыс. м<sup>3</sup>/ч. Для всех типоразмеров труб расход орошающей жидкости постоянен для всего диапазона расходов газа и равен 0,8 л/м<sup>3</sup>.



**Рис. 2.** Трубы Вентури с регулируемой горловиной

Центробежные каплеуловители при работе в оптимальном режиме обеспечивают содержание капель в газах на выходе ниже 75 – 100 мг/м<sup>3</sup>.

На стороне мокрого способа очистки газов лежит высокая эффективность, но нужно принимать во внимания некоторые минусы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппараты очистки газов от пыли: метод. указания / сост. О.А. Федяева. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2003. 40 с.
2. Пирумов А.И. Обеспыление воздуха / А.И. Пирумов. М.: Стройиздат, 1981. 296 с.
3. Штокман Е.А. Очистка воздуха от пыли: учеб. пособие / Е.А. Штокман. – Ростов н/Д.: РИСТИ, 1977. 108 с.
4. Исследование эффективности пылеулавливания в инерционном концентраторе с регулируемыми параметрами / Шарапов Р.Р., Агарков А.М., Прокопенко В.С. // Интерстроймех-2016 (international building technics-2016) материалы международной научно-технической конференции. национальный исследовательский московский государственный строительный университет. 2016. с. 62-68.
5. Анализ пылеочистных аппаратов / Прокопенко В.С., Белов А.В. // Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2015. С. 843-845.
6. Технология получения минеральных добавок / Романович А.А., Орехова Т.Н., Мещеряков С.А., Прокопенко В.С. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 5. С. 188-192.

УДК 654.026

*М. В. Пылинский, В. И. Чеботарев, А. В. Мякотин, Н. М. Терёшкин*  
ФГКВОУ ВО Военная академия связи

## ПОСТРОЕНИЕ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ВЗАИМОУВЯЗАННОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

**Ключевые слова:** система управления, взаимоувязанная система связи, транспортная сеть, пакетные технологии.

**Аннотация:** Одним из условий обеспечения высокой организации совместных действий общевойсковых объединений, других войск и воинских формирований, силовых министерств и ведомств, является создание взаимоувязанной системы связи специального назначения. В данной статье определены особенности и проблемные вопросы подлежащие учету при создании транспортной сети взаимоувязанной системы связи.

*M. V. Pilinskiai, V. I. Chebotarev, A. V. Maykotin, N. M. Teryuoshkin*

## CONSTRUCTION OF A TRANSPORT NETWORK OF THE INTERRELATED COMMUNICATION SYSTEM

**Keywords:** control system, interconnected communication system, transport network, batch technologies.

**Abstracts:** The main directions of creation of such a system is the introduction of a transport network based on a hybrid approach, when separate segments of communication networks of other troops and military formations, segments of a single telecommunication network of national and regional operators, as well as segments of global networks are used as connecting and backbone elements of such a network. This article defines the features and problematic issues to be taken into account when creating a transport network interconnected communication system for special purposes.

В ближайшей перспективе боевые действия будут проходить в условиях, характеризующимися все возрастающей непредсказуемостью и динамизмом. Использование дистанционных видов оружия придаст дополнительные сложности на функционирование системы управления войсками (оружием) [2, 3]. В будущем ведение боевых действий потребует не только повышения степени взаимодействия сил и средств вооруженных сил (ВС), но и большего участия в них других войск и воинских формирований, в том числе союзных государств. Чтобы добиться успеха в новых условиях, необходимо обладать способностью динамически интегрировать самые разнообразные множества сил и средств для реализации новых возможностей, которые можно потенциально получить за счет использования внутреннего ресурса самих ВС и других взаимодействующих министерств и ведомств военного и государственного управления. При этом повышение уровня интеграции сил и средств должно быть распространено до самого низкого уровня управления [2, 3].

С целью повышения эффективности системы управления происходит совершенствование и развитие системы связи специального назначения (СС СН) как технической основы. Данные изменения должны обеспечить ДЛ ОУ войсками широким

спектром услуг связи: передачей всех видов связи, используя единые системы связи; решением задач в режиме реального времени по определению местоположения объектов управления, их навигацию в заданном районе; опознавание и др [5].

На функционирование СС СН оказывает влияние применение противником высокоточного оружия, радиоэлектронного подавления и т.д. Выход их из строя вызывает структурно-топологические изменения СС СН, приводящие к прекращению функционирования отдельных информационных направлений. В процессе своего функционирования структура и параметры (характеристики) СС СН могут изменяться, причем эти изменения, принадлежат заданному множеству  $\Psi$  возможных изменений. Оно может состоять из следующих изменений:

$$\Psi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_r), \quad (1)$$

где  $\xi_1$  – объединение двух случайно выбранных узлов связи в один;

$\xi_2$  – введение нового узла связи со случайными связями;

$\xi_3$  – устранение случайно выбранного узла связи вместе с  $i$ -ми связями;

$\xi_4$  – введение новой связи двух случайно выбранных узлов связи;

$\xi_5$  – устранение случайно выбранного направления связи;

$\xi_6$  – случайно переключение случайно выбранного НС, и т.д.

Следует отметить, что в настоящее время множество, в том числе конфликтующих, систем управления пользуются единым связным ресурсом – общемировым информационно-телекоммуникационным пространством.

Теперь СС создается и развивается как подсистема Единой сети электросвязи, являясь технической инфраструктурой обеспечения функционирования систем управления, и должна строиться единой, объединенной и взаимоувязанной системой государственного и военного управления.

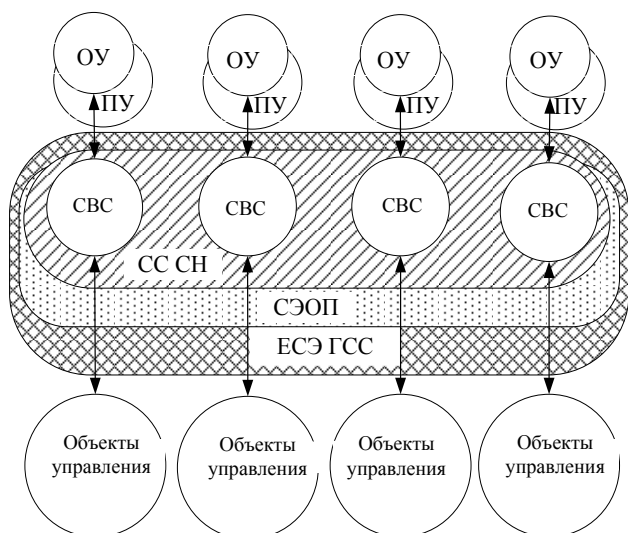
Основу взаимоувязанной СС должна составить транспортная сеть связи, которая должна быть распределённой и равнодоступной для всех органов управления, привлекаемых к выполнению различных задач. Создание транспортной сети взаимоувязанной СС, построенной с использованием технологии коммутации пакетов позволит обеспечить следующее [1]:

- повысить устойчивость транспортной сети, за счет возможного использования ресурсов систем связи других войск и воинских формирований, в условиях выхода из строя большинства узлов связи, за счет оперативной организации обходных маршрутов в статическом и динамическом режимах;

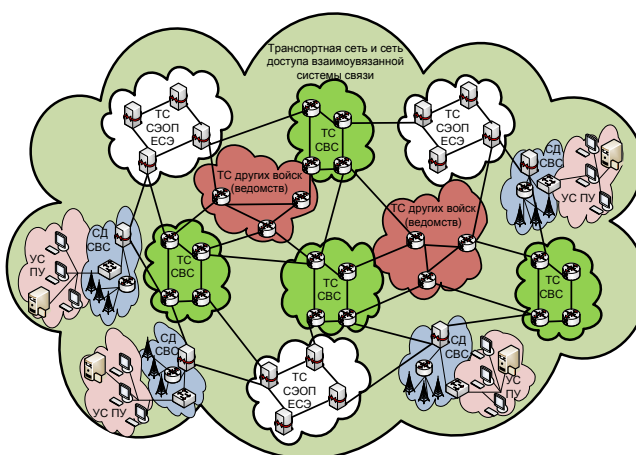
- возможность использования свободного ресурса одной системы в интересах создания или обеспечения другой системы связи общевойскового объединения ВС или других войск, силовых министерств и ведомств, выполняющих общую задачу;

- организацию общего или взаимосогласованного управления системами (сетями), а также общей технической эксплуатации.

Взаимоувязанная СС должна базироваться на принципе организационно-технического единства, заключающемся в проведении единой технической политики, применении единого комплекса максимально унифицированных технических средств, единой номенклатуры типовых каналов и сетевых трактов, построении единой для первичных и вторичных сетей системы управления связью [3].



**Рис. 1.** Графическая интерпретация соотношения систем управления и систем связи в современных условиях



**Рис. 2.** Обобщенная структурная схема транспортной сети и сети доступа взаимовязанной системы связи

Создание многоуровневой комплексной и динамичной модели взаимосвязанной СС, включающей множество моделей, объединенных единством цели, исходных данных и общей идеологией решения задач ее построения и функционирования является одной из проблем теории и практики построения систем связи. Уровни моделей определяются как иерархичностью построения системы связи, так и требуемой степенью детализации разработки ее элементов. Верхним уровнем такой модели должна быть макромодель системы связи, представляющая систему связи в целом как составную часть надсистемы – системы управления войсками. Промежуточными уровнями должны стать модели составных частей системы связи (подсистем, сетей, узлов, линий и т. д.).

В СС на каждом узле связи предполагается поддерживать статический набор альтернативных маршрутов, учитывающих большинство наиболее вероятных отказов. Однако, более гибким является адаптивный метод динамической маршрутизации, который в случае нарушения работоспособности какой-либо линии передачи, или узла связи, корректирует таблицу маршрутизации узла. Для этого, узел связи должен располагать информацией о топологии сети (для вычисления маршрута) и регулярно получать информацию о ее состоянии. Эти задачи решаются специализированными алгоритмами маршрутизации [4].

СС относится к классу сложных, иерархических, организационно-технических и динамичных систем [3]. Ее сложность определяется большим числом взаимосвязанных частей (сетей связи, подсистем сигнализации, синхронизации и т. д.) и элементов, многообразием связей между ними, значительной разветвленностью и неоднородностью, а главное высокой динамикой изменения этих характеристик, которая зависит от количества органов и объектов управления.

Разработка модели и методик синтеза транспортной сети взаимосвязанной с СС обеспечит предоставление современных инфокоммуникационных услуг по доступу к информации и взаимодействию, должностным лицам, размещаемым на пунктах управления в регионе вне зависимости от их видовой принадлежности, а также их до-

ступ к данным и взаимодействие с другими органами государственного и военного управления, а также вооруженными формированиями других силовых министерств и ведомств.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бегаев А.Н. Методика оценки управляемости фрагмента сети связи общего пользования с учетом влияния множественности центров управления и деструктивных программных воздействий / Бегаев А.Н., Стародубцев Ю.И., Фёдоров В.Г. // Вопросы кибербезопасности №4(22) – 2017. С. 32–39
2. Боговик А. В., Игнатов В. В. Теория управления в системах военного назначения. СПб. : ВАС, 2008. - 460 с.

УДК 654.026

*М. В. Пылинский, В. И. Чеботарёв, О. И. Кривошей, П. В. Чекалкина*  
ФГКВОУ ВО Военная академия связи

### МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТИ СВЯЗИ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

**Ключевые слова:** сеть связи специального назначения, сеть связи общего пользования, модель сети связи.

**Аннотация:** Целью данной статьи является анализ особенностей построения и функционирования сетей связи специального назначения и выявление тех особенностей, которые не используются при моделировании в рамках стандартных технологий моделирования сетей электросвязи общего пользования и которые нужно непременно учитывать при построении адекватных предсказательных моделей систем (сетей) и имитаторов на их основе.

*M. V. Pilinski, V. I. Chebotarev, O. I. Krivoshey, P. V. Chekalkina*

### MODELING OF TRANSPORT NETWORK COMMUNICATION

**Keywords:** Stability, primary communication networks, digital transmission systems, telecommunication security, digital integrated service networks, digital technologies.

**Abstracts:** The paper presents the possible directions of improvement and long-term development of military primary networks with the use of built on modern industrial technologies and software analog transmission systems with frequency division of channels.

С учетом сложности, динамичности масштабности сетей связи специального назначения (СС СН), обоснование решений по ее построению осуществляется с применением различных методов моделирования. Особенно важной и сложной задачей при моделировании СС СН является исследование характеристик структуры и поведения.



Из всех доступных источников, а также из нормативно-правовых документов определение понятия «сеть связи специального назначения» наиболее четкое представлено в Законе о связи [1]. СС СН является сетью электросвязи, предназначенной для обеспечения нужд государственного управления, национальной безопасности, обороны, охраны правопорядка, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и является составным элементом единой сети электросвязи (ЕСЭ) [1].

Согласно [1] ЕСЭ – совокупность сетей электросвязи общего пользования, выделенных, технологических и специального назначения, обеспечивающая связь между абонентами внутри страны и выход на международную сеть.

В свою очередь, сеть электросвязи общего пользования (СЭОП) – это комплекс взаимодействующих сетей электросвязи, предназначенный для оказания услуг электросвязи всем пользователям услуг электросвязи, в том числе по распространению программ телевизионного вещания и радиовещания [1].

Выбор метода исследования, как правило, неразрывно связан с выбором или разработкой соответствующей модели. Для проведения исследования систем и сетей связи специального назначения в настоящее время используются различные их модели [2].

Общими требованиями к моделям являются:

- 1) адекватность – достаточно точное отображение свойств объекта;
- 2) полнота – предоставление получателю всей необходимой информации об объекте и его поведении в различных условиях обстановки;
- 3) гибкость – возможность воспроизведения различных ситуаций во всем диапазоне изменения условий и параметров;
- 4) трудоемкость разработки должна быть приемлемой для имеющегося времени и программных средств [3].

Основное требование к модели – отражение существенных свойств структуры системы и воспроизведение процессов ее функционирования (адекватность). Кроме других названных требований к моделям предъявляются требования по соответствию числа параметров с системой, наличию параметров оптимизации и достаточной оперативности [3]. Модель должна учитывать вновь появившиеся факторы, влияющие на функционирование СС СН.

В силу сложности и многоаспектности СС СН, в настоящее время наиболее эффективно применение имитационного моделирования. *Имитационная модель* представляет собой алгоритмическое описание процесса функционирования системы на основе установленных статистических, аналитических и логических зависимостей, предназначенное для исследования реальных объектов путем численного эксперимента [2, 3].

При разработке и исследовании СС СН приходится иметь дело с системой моделей, так как на каждом этапе создания (исследования, синтеза) системы связи используются свои модели, отвечающие поставленным целям и задачам. Так на этапе (стадии) макропроектирования требуется обобщенная модель (макромодель), отражающая систему связи в целом. На стадии микропроектирования необходимы модели различных подсистем и элементов системы связи.

Уровни моделей определяются иерархичностью построения системы связи и требуемой степенью детализации разработки ее элементов. Верхним уровнем такой модели должна быть макромодель системы связи, представляющая систему связи в целом как составную часть надсистемы – системы управления войсками. Промежу-

точными уровнями должны стать модели составных частей системы связи (подсистем, сетей, узлов, линий и т. д.).

При создании модели СС СН и проведении вычислительных экспериментов с созданной моделью необходимо определить (выбрать) следующие общие параметры (характеристики) модели:

- структуру моделируемой системы связи;
- структуру информационных потоков, циркулирующих в системе связи;
- базовые алгоритмы и протоколы, реализованные в системе связи и отражаемые в модели;
- перечень варьируемых параметров в модели системы связи.

Для обеспечения надежного информационного взаимодействия, в тракты передачи данных входят обычно каналы связи различной физической природы, часть из которых являются аналоговыми и могут иметь характеристики, существенно меняющиеся в зависимости от состояния внешней среды, вплоть до полной их деградации. Это приводит к необходимости моделировать отдельные линии (каналы) связи, используя либо имитационные модели для различных линий (каналов) связи, либо метамоделей [2], построенные по результатам предварительно проведенных вычислительных экспериментов с имитационными моделями. Эти факты отражают одно из принципиальных различий между моделированием общедоступных СЭОП и рассматриваемых СС СН.

В СС СН циркулирует информация разного типа, имеющая разные приоритеты и к доставке которой предъявляются различные требования по своевременности. Тем самым, при моделировании СС СН необходимо иметь совокупность моделей, описывающих входные потоки информации, имеющей разные приоритеты.

В отличие от СЭОП, «многопривязанность» абонентов (УС ПУ) в СС СН требует моделирования доставки сообщения не только до одного из оконечных УС (КЦ), к которому привязан абонент-получатель, но и моделирование передачи по соответствующему абонентскому тракту. Это накладывает следующие требования к моделям СС СН: маршрутизация должна учитывать «многопривязанность» абонентов, и матрицы маршрутизации для доведения информации до УС ПУ не определяют полностью маршруты дальнейшей передачи.

В силу жестких требований к своевременности доставки сообщений, алгоритмы маршрутизации (коммутации) в СС СН должны «мгновенно» реагировать как на изменение своей структуры, так и на меняющуюся загрузку этих элементов, и оперативно перестраивать свою маршрутизацию (коммутацию). Преобразование маршрутов доведения информации в СС СН должно носить децентрализованный характер и выполняться на каждом УС (КЦ) автономно. Для выбора оптимальных маршрутов на каждом УС необходима информация о текущем состоянии сети. Эта информация на конкретном УС включает в себя не только информацию об отказавших линиях связи и об отказах КЦ, подключенных к УС, но и информацию об отказах других линий связи и КЦ. Тем самым, в СС СН должны присутствовать механизмы обмена внутренней информацией между УС (КЦ), содержащей сведения об отказах и восстановлении СС СН, а также о загрузке функционирующих элементов сети сообщениями разных приоритетов. Вышесказанное определяет следующие требования к моделям СС СН:

- маршрутизация в модели должна учитывать «многопривязанность» абонентов, и матрицы маршрутизации для доведения информации до УС не определяют полностью маршруты дальнейшей передачи;
- модель должна обеспечивать приоритетную обработку сообщений в элементах сети;
- модель должна имитировать процесс обмена служебной информацией между УС, содержащей сведения о текущем состоянии (отказах и восстановлениях линий (трактов)связи и загрузке функционирующих линий (трактов)связи);
- методы маршрутизации, реализуемые в модели, должны быть адаптивными и децентрализованными. В моделях должны реализовываться различные алгоритмы маршрутизации для пакетов и сообщений с разными приоритетами, находить различные маршруты передачи разноприоритетных сообщений даже в адрес одного абонента-получателя и моделировать очереди на передачу сообщений с разными приоритетами.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. О связи. Федеральный закон РФ от 07.07.2003 № 126-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации от 14 июля 2003 г. № 28 ст. 2895.
2. Пирогов Ю.А. Методология исследования систем и сетей военной связи: Учебн. пособие. – СПб.: ВАС, 2016 – 164 с.

УДК 614.843.27

***Е. А. Родионов, И. В. Сараев, А. Г. Бубнов***

ФБГОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### **АНАЛИЗ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ, НАХОДЯЩИХСЯ В ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ АРЗАМАССКОГО ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ГАРНИЗОНА**

**Ключевые слова:** пожарные рукава, абразивный износ, надёжность, метод попарных сравнений.

**Аннотация:** в статье представлен анализ оснащённости Арзамасского пожарно-спасательного гарнизона пожарной охраны. Представлен материал, который в дальнейшем будет использован для попарного сравнения представленных образцов. Ключевым критерием, по которому планируется сопоставление, является устойчивость пожарных рукавов к абразивному износу. В работе рассматриваются исключительно пожарные рукава с условным проходом DN 50, т.к. именно они наиболее часто используются пожарно-спасательными подразделениями МЧС России.

*E. A. Rodionov, I. V. Saraev, A. G. Bubnov*

## ANALYSIS OF TACTICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF FIRE HOSES IN THE FIRE AND RESCUE DIVISIONS OF ARZAMASS FIRE AND RESCUE HARNISON

**Keywords:** fire hoses, abrasive wear, reliability, pairwise comparison method.

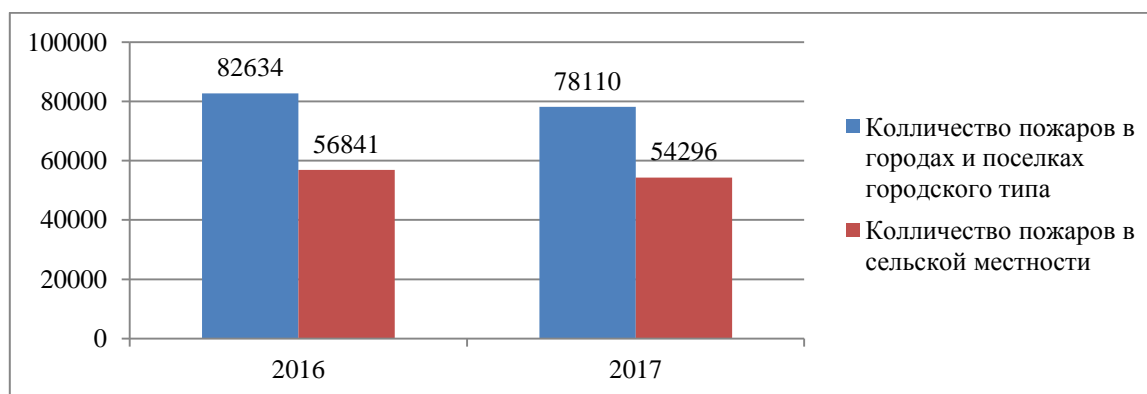
**Abstracts:** the article presents an analysis of the equipment of the Arzamas Fire and Rescue Garrison of the fire brigade. Submitted material, which will later be used for pairwise comparison of the samples. The key criterion by which mapping is planned is the resistance of fire hoses to abrasive wear. In work only fire hoses with conditional pass DN 50 are considered, since They are the ones most often used by the fire and rescue units of the Russian Emergencies Ministry.

Подача и транспортировка огнетушащих веществ аварийно-спасательными подразделениями и подразделениями пожарной охраны МЧС России невозможна без применения пожарных рукавов. Пожарный рукав – это необходимый элемент, входящий в комплектацию пожарного автомобиля находящегося на вооружении пожарно-спасательных подразделений (ПСП) МЧС России [9].

В настоящее время в ПСП МЧС России используются пожарные рукава различных наименований. Наибольшее распространение получили пожарные рукава «Стандарт», «Технолен», «Латексированные» и «Армтекс».

Каждый пожарный рукав (ПР) рассчитан на определённое количество циклов использования, после чего он может прийти в негодность [1]. Стоит отметить, что срок службы пожарных рукавов в соответствии с ГОСТ Р [2] составляет не менее 5 лет (срок сохраняемости 1 год). Как показывает практика, срок службы пожарного рукава в среднем может быть более 5 лет, в некоторых случаях он может быть продлён, если пожарный рукав прошёл испытания на герметичность рабочим давлением и тем самым подтвердил соответствие всем необходимым требованиям [2].

Исходя из статистических данных [10] (рис. 1), наибольшее количество пожаров происходит в зданиях, по большей части в зданиях прокладываются рукава Ø51 (рис. 2). На основании документов регламентирующей деятельность подразделений пожарной охраны [3] рукава Ø77 прокладываются до входа в здание, так же у входа в здание устанавливается разветвление [3], в крайних случаях рукава Ø77 прокладываются непосредственно в здании.



**Рис. 1.** Статистика пожаров на территории Арзамасского пожарно-спасательного гарнизона

В настоящее время ПСП МЧС России применяются ПР различных диаметров (51, 66, 77, 125 и 150). Проведя анализ статистических данных можно сказать, что наибольшее количество пожаров происходит в городах и посёлках городского типа. Исходя из представленных статистических данных в дальнейшем будут рассмотрены рукава с условным проходом DN 50.



Рис. 2. Пожарный рукав «Стандарт»

Изготовление пожарных рукавов относится к текстильной промышленности и производится на специализированных заводах.

Оболочка пожарных рукавов выполняется из высокопрочных полиэфирных нитей, так же она имеет двухстороннее покрытие. Изготовление ПР (рис. 3) можно разделить на несколько этапов: 1) заготовка резиновой камеры; 2) надевание камеры на дорн; 3) закатка резиновых прокладок; 4) прессовка пожарного рукава; 5) вулканизация пожарного рукава; 6) съём пожарного рукава с дорна.

Одной из важнейшей характеристики напорных пожарных рукавов DN 50 можно выделить стойкость к абразивному износу, т.к. именно с ними наиболее часто работают ПСП МЧС России. Следует отметить, что ранее [4] к ПР применялись следующие технические требования:

- 1) должны состоять из внутреннего прорезиненного слоя;
- 2) в районах с тропическим климатом должны быть морозостойкими;
- 3) должны быть герметичными, при гидравлических испытаниях превышающее рабочее давление в 2 раза, а также не пропускать воду.

В соответствии с действующей нормативно-правовой базой [2], в настоящее время к ПР применяются следующие технические требования:

- 1) длина пожарного рукава должна составлять 20 м ( $\pm 1$  м);
- 2) внутренний диаметр должен соответствовать значениям, приведённым в таблице 1 [2];
- 3) масса пожарного рукава должна соответствовать данным табл. 2 [2].



Рис. 3. Стадия производства пожарного рукава «Закатка резиновой прокладки»

Таблица 1. Основные характеристики пожарных рукавов [2]

Условный проход DN	Внутренний диаметр рукава, мм	
	Номин.	Пред. откл.
50	51	+2,0

Таблица 2. Масса пожарных рукавов [2]

Условный проход DN	Масса, кг, не более
50	0,45
Примечание – Для рукавов специального исполнения допускается увеличение значения массы на величину не более 0,05 кг на один метр рукава.	

1) толщина внутреннего гидроизоляционного слоя рукава должна быть не менее 0,30 мм. 2) рукав должен быть герметичен при испытательном давлении превышающее рабочее давление в 1,25 раз.

Проведя анализ стандартов [5] и [2] можно сделать вывод, что в ранее действующей редакции присутствовал показатель абразивного износа пожарного рукава, стоит отметить, что к данному показателю предъявлялись высокие требования. В настоящее время требования к данному показателю отсутствует, но, по нашему мнению, абразивный износ ПР является одной из важных качественных характеристик, определяющих надёжность использования рукавов.

Для проведения испытаний на абразивную стойкость используется специализированный стенд: «Испытания пожарных рукавов на стойкость к абразивному износу (ТЦ-07)» (рис. 4). Следует отметить, что пожарный рукав «Стандарт» с условным проходом DN 50 может эффективно применяться при температуре до -50°С. Форма выпуска рукавов представлена как скатка (20 м), по индивидуальным заказам, длина скатки может составлять 40 м и имеет следующие тактико-технические характеристики (ТТХ), представленные в табл. 3. Пожарные рукава «Технолен» с внутренним гидроизоляционным покрытием: износостойкие, маслостойкие, морозостойкие – рассчитаны на рабочее давление 1,6 МПа и имеют следующие ТТХ в соответствии с табл. 4.



Рис. 4. Установка для испытания пожарных рукавов на стойкость к абразивному износу

Таблица 3. ТТХ пожарного рукава марки стандарт [6]

Внутренний диаметр, мм	51 ± 2
Длина рукава в скатке, м	20 ± 1
Рабочее давление, МПа не менее	1,6
Испытательное давление, МПа не менее	2
Разрывное давление, МПа не менее	3,5
Прочность связи внутреннего слоя покрытия с тканью каркаса при раздире, Н, не менее	10
Относительное удлинение рукава при рабочем давлении, %, не более	5
Относительное увеличение диаметра при рабочем давлении, %, не более	5
<b>Стойкость к абразивному износу, циклов, не менее</b>	<b>50</b>
Стойкость к контактному прожигу при температуре 300°С ± 10°С, с, не менее	30
Толщина внутреннего слоя покрытия, мм, не менее	0,3
Масса рукава длиной 1 м, кг, не более	0,45

Таблица 4. ТТХ пожарного рукава марки «Технолен» [7]

Внутренний диаметр, мм	51 ± 2
Длина рукава в скатке, м	20 ± 1
Рабочее давление, МПа не менее	1,6
Испытательное давление, МПа не менее	2,0
Разрывное давление, МПа не менее	5,0
Прочность связи внутреннего слоя покрытия с тканью каркаса при раздире, Н, не менее	
Относительное удлинение рукава при рабочем давлении, %, не более	2,3
Относительное увеличение диаметра при рабочем давлении, %, не более	3,9
<b>Стойкость к абразивному износу, циклов, не менее</b>	<b>156</b>
Стойкость к контактному прожигу при температуре 300°C ± 10°C, с, не менее	7
Толщина внутреннего слоя покрытия, мм, не менее	0,36
Масса рукава длиной 1 м, кг, не более	0,45

«Латексированные» пожарные рукава (табл. 5) производятся согласно ГОСТ Р 51049-2008 [2]. По климатическому исполнению рукава соответствуют ГОСТ [2] и имеет категорию размещения 1 (УХЛ 1), что позволяет использовать этот рукав в зонах с умеренным и холодным климатом. Нижний температурный предел применения латексированных рукавов составляет -40°C, а верхний предел – до +45°C.

ПР «Армтекс» предназначен для комплектации пожарной техники и использовании в различных климатических условиях (табл. 6).

Представленная информация служит исходными данными для определения наиболее предпочтительного варианта использования ПР путём применения метода «парных сравнений» [8].

Таблица 5. ТТХ латексированного пожарного рукава [6]

Внутренний диаметр, мм	51 ± 2
Длина рукава в скатке, м	20 ± 1
Рабочее давление, МПа не менее	1,6
Испытательное давление, МПа не менее	2
Разрывное давление, МПа не менее	3,5
Прочность связи внутреннего слоя покрытия с тканью каркаса при раздире, Н, не менее	7,0
Относительное удлинение рукава при рабочем давлении, %, не более	5
Относительное увеличение диаметра при рабочем давлении, %, не более	5
<b>Стойкость к абразивному износу, циклов, не менее</b>	<b>50</b>
Стойкость к контактному прожигу при температуре 300°C ± 10°C, секунд, не менее	30
Толщина внутреннего слоя покрытия, мм, не менее	0,3
Масса рукава длиной 1 м, кг, не более	0,45

Таблица 6. ТТХ пожарного рукава производства компании «Армтекс» [6]

Условный проход (DN) Внутренний диаметр, мм	50 (51±2)
Масса 1 м, кг, не более	0,45
Рабочее давление, МПа	1,6

Испытательное давление, МПа, не менее	2,0
Разрывное давление. МПа, не менее	3,5
Прочность связи внутреннего слоя покрытия с тканью каркаса, Н/см, не менее	10,0
Относительное удлинение рукава при рабочем давлении, %, не более	5
Относительное увеличение диаметра при рабочем давлении %, не более	5
Диапазон рабочих температур, °С	- 30 - +40
<b>Стойкость к абразивному износу, циклов, не менее</b>	<b>50</b>
Толщина внутреннего слоя покрытия, мм, не менее	0,3
Стойкость к воздействию стержня, имеющего температуру наружной поверхности 300 °С, сек., не менее	30

На данном этапе работы выявлено, что значимыми характеристиками обладает ПР «Технолён» (Чехия), стойкость к абразивному износу пожарных рукавов находится на высоком уровне и составляет 156 циклов, что позволяет предположить значительный срок службы данных ПР. Но ввиду того, что на территории России в настоящее время действует политика импортозамещения [9], в дальнейшем будут рассмотрены пожарные рукава «Стандарт» (Россия) стойкость к абразивному износу которых составляет 50 циклов, т.к. они наиболее распространены в ПСП.

Таким образом, при изучении данного вопроса был проведён детальный анализ оснащённости Арзамасского пожарно-спасательного гарнизона пожарной охраны. Исходя из статистических данных выявлено, что, во-первых, наибольшее распространение получили рукава «Стандарт», во-вторых, заявленные изготовителями ТТХ пожарных рукавов во многом схожи и имеют равные значения показателя стойкости к абразивному износу (для отечественного производства). В перспективе дальнейшего исследования планируется выполнить следующие задачи:

- 1) выполнить сравнительный расчёт предпочтительности того или иного рукава для эксплуатации в ПСП;
- 2) определить перечень составов, подходящих для нанесения на ПР для приобретения искомых свойств;
- 3) определить совместимость ПР и найденных составов;
- 4) определить состав, для нанесения на поверхность пожарных рукавов, обладающий наибольшей устойчивостью к абразивному износу;
- 5) провести натурные испытания светоотражающей способности нанесённых составов;
- 6) предложить методические рекомендации по нанесению светоотражающих составов на ПР.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Срок службы пожарных рукавов и порядок их использования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://raichev.ru/eto-nuzhno-znat/kak-ustanovit-srok-sluzhby-pozharnyx-rukavov.html> (дата обращения: 17.03.2019 г.).
2. ГОСТ Р 51049-2008 Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний.
3. Приказ МЧС России от 16.10.2017 г. № 444 "Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ".



4. ГОСТ 18698-79 Рукава резиновые напорные с текстильным каркасом. Технические условия (с изменениями № 1, 2, 3, 4).

5. ГОСТ Р 51049-97 Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытания.

6. Первая пожарная компания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fire-service.ru/oborudovanie/rukava-pozharnye/rukav-pozharnyj-standart/rukav-pozharnyj-standart-50.html> (дата обращения: 19.03.2019).

7. Арсенал ПТВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://arsenal-ptv.ru/catalog/technolen\\_px/](http://arsenal-ptv.ru/catalog/technolen_px/) (дата обращения: 19.03.2019).

8. Метод парных сравнений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://npararah.com/intellektualnye-sistemy-prinyatiya-reshenij/03181577.html> (дата обращения: 19.03.2019).

9. Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидий федеральному государственному автономному учреждению «Российский фонд технологического развития» в целях внедрения наилучших доступных технологий и импортозамещения в рамках подпрограммы «Обеспечение реализации государственной программы» государственной программы Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение её конкурентоспособности»: (Постановление Правительства России от 17.12.2014 г. № 1388). – М.: Кодекс, 2014. – 6 с.

УДК 699.058

***Н. Л. Сафонова***

ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»

## **О СОВРЕМЕННОМ ПОДХОДЕ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ГРАЖДАНСКОГО САМОЛЕТА SSJ75**

**Ключевые слова:** Sukhoi Superjet 75, лёгкий турбореактивный самолет, композитные материалы.

**Аннотация:** статья посвящена проектированию уменьшенной версии гражданского самолета Superjet 100 - SSJ75 с использованием композитных материалов для крыла, хвостового оперения и отсека вспомогательной силовой установки и алюминий-литиевых сплавов для фюзеляжа.

***N. L. Safonova***

## **ABOUT MODERN APPROACH TO THE DESIGN OF SSJ 75 CIVIL PLANE**

**Keywords:** Sukhoi Superjet 75, light turbojet, composite materials.

**Abstracts:** this article is devoted to designing a smaller version of a civilian Superjet 100 - SSJ75 aircraft using composite materials for the wing, tail assembly and auxiliary power unit compartment and aluminum-lithium alloys for the fuselage.

Russian Regional Jet – таким образом, сначала именовалось семейство из трёх самолётов RRJ-60, RRJ-75 и RRJ-95, которое в первой половине 2000-х годов начали

проектировать в АО «Гражданские самолёты Сухого». Они должны были иметь отличительную способность, такую как длина фюзеляжа, вместимость и взлётный вес. Все три модификации должны были комплектоваться одним и тем же двигателем PowerJet SaM146, но с различными настройками. Позже самолёт RRJ-95 получил коммерческое название Sukhoi Superjet 100 (SSJ100). В ноябре 2018 года самолёт Sukhoi Superjet 100 поменял название, убрав слово «Sukhoi».

На 31 декабря 2018 года построено 180 самолётов, из них 3 для статических испытаний и 177 лётных экземпляра, в том числе 5 предсерийных, 151 самолёт передан заказчиком.

	ИТОГО	2008	2009	2010*	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Произведено	178	2	1	2	5	12	24	35	18	19	33	24	3
Поставлено	151				5	8	14	27	21	21	25	28	2
Летает	118												

\* — начало серийного выпуска

**Рисунок.** Таблица данных

В 2018 году началось проектирование уменьшенной версии Суперджета – SSJ75. Стартовыми заказчиками регионального самолёта были выдвинуты требования, с перспективой совершать им взлёты и посадки на аэродромах с короткими взлетно-посадочными полосами около 1300-1400 метров с не очень прочным асфальтовым покрытием. Ещё одно существенное специфическое условие к новой модели SSJ — возможность осуществлять посадки с большим резервом горючего. Известный факт, что в отдалённых аэропортах в особенности на севере страны цена топлива в полтора-два раза выше, чем в европейской части. Авиакомпании не желают переплачивать за топливо, и самолёты должны заправляться максимально, для того чтобы керосина было достаточно для выполнения обратного рейса.

Необходима лёгкая турбореактивная машина с современным двигателем, которая по расходу топлива будет вплотную приближаться к турбовинтовым самолётам. Такой рода план весьма серьёзно опередит настоящее поколение реактивных самолётов по экономической эксплуатации. Поэтому планируется, что версия Суперджета на 75–78 пассажиров будет рассчитана на взлётную массу не более 39 тонн. Предполагается использовать самолет в региональных перевозках на расстояния 1500-2000 км. Он будет короче базовой версии, с меньшим размахом крыльев. Конструкторам поручено снизить вес самолета на 10-15%, улучшить аэродинамические качества на 10%, уменьшить расход топлива на 5%. Для снижения веса, в частности, планируется использовать композитные материалы для крыла, хвостового оперения и отсека вспомогательной силовой установки и алюминий-литиевые сплавы для фюзеляжа. Шасси будет сделано из облегченных материалов. В целом доля композитных материалов должна увеличиться почти в два с половиной раза, с 15% до 40%. Разрабатываются две версии крыла: одна – это крыло с меньшей стреловидностью, другая решается конструкцией консоли с большей относительной толщиной.

Также будет изготовлена секция фюзеляжа с целью изучения действия новых материалов. Будет проработана методика производства отдельных элементов конструкции путём сварки и посредством клепки. Намечается приступить к изготовле-

нию секции крыла с целью отработки вопросов, связанных с использованием композиционных материалов. Одним из преимуществ композитных деталей является их устойчивость к коррозии и распространению повреждений. Композиты можно назвать универсальными материалами.

Самолёт SSJ75 планируется поднять в небо в 2023 году.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авиация России - гражданская авиация, пассажирские и боевые самолёты и вертолёты России, новости и история российской и советской авиации [Электронный ресурс] <https://aviation21.ru/ssj75-novye-materialy-kompozitnoe-krylo-uluchshennaya-aerodinamika/> (дата обращения: 20.02.2019).

2. Авиатор 2.0 [Электронный ресурс] <http://aviators.news/article/mi-perekhodim-na-novie-materialy-i-druguyu-aerodinamiku/> (дата обращения: 20.02.2019).

УДК 678

*И. Л. Скрипник*

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

### ВОПРОСЫ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ НОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

**Ключевые слова:** объект, технический уровень, техническое решение, полезность, изобретение, идея, патентная информация.

**Аннотация:** Проводится анализ вопросов, возникающих при оценке изделий нового поколения на этапе обоснования и выбора технических решений с использованием патентной информации.

*I. L. Skrypnuk*

### THE ISSUES OF ASSESSING THE TECHNICAL LEVEL OF NEW PRODUCTS

**Keywords:** words: object, technical level, technical solution, utility, invention, idea, patent information.

**Abstracts:** The analysis of issues arising in the evaluation of new generation products at the stage of justification and selection of technical solutions using patent information.

Основными этапами при разработке техники нового поколения является выбор: функциональной структуры; физического принципа действия; технического решения (ТР); оптимальных параметров [1].

Вопрос о целесообразности нахождения того или иного ТР определяется, исходя из оценок эффективности его применения в составе системы или объекта. В качестве характеристики для этой оценки используется комплексный показатель технического уровня (ТУ) [2]. Выбор данного показателя объясняется тем, что применяется на любой из стадий создания продукции. Это особенно важно на ранних этапах. При этом,

принимая в качестве базы для сравнения лучшие мировые образцы, можно спрогнозировать технико-экономические показатели разрабатываемой продукции, что позволяет исключить ситуацию, когда уже при проектировании создаваемая техника оказывается морально устаревшей. Выбор эталонного изделия для формирования лучшего мирового или гипотетически прогнозируемого облика с достигаемым ТУ проводится на основе анализа патентной информации. Как видно из определения термина «ТУ» - это характеристика относительная, то есть необходимо иметь базу сравнения - аналоги и показатели совершенства решения, которые определяют потребительские свойства объекта, которые непосредственно связаны с полезностью изделия. Каждое функциональное свойство объекта может самостоятельно определять ценность технического объекта (ТО) с позиций предельной полезности, т.е. оно является гипотетической составляющей понятия полезности со своей степенью весомости [3]. Объективное свойство, отражающее характер изделия сводится к субъективной оценке лицом принимающим решение как по единичному параметру, так и по достаточной совокупности свойств. Между полезностью и некоторым отдельным свойством изделия будет иметь место определенная взаимосвязь. Чем большим количеством характеристик обладает объект, тем выше его полезность. Для каждого конкретного изделия характерно собственная совокупность свойств, строго определенная по функциональной принадлежности. Все другие, характеристики, не входящие в это множество, можно считать избыточными и не влияющие на значение предельной полезности. Тогда, если проранжировать все свойства объекта, то с увеличением количества благ, приобретенных пользователем от их реализации, полезность каждого последующего вновь приобретенного блага, полученная от других свойств, будет уменьшаться. Варьируя совокупностью свойств на этапе задания общих технических требований к изделию можно вводить показатель полезности, тесно связанный с ТУ. Оценка ТУ изделий в процессе выработки тактико-технического задания основывается на изучении патентов, которые характеризуются следующими положениями [4]:

1) Она осуществляется экспертным путем, в качестве которых выступает авторы изобретений в данной области техники.

2) Описание изобретений, выявленные в процессе поиска, рассматриваются как анкеты. В них содержится информация, связанная с разработкой и эксплуатацией аналогичных объектов техники.

3) Задачи, сформулированные в описаниях изобретений, направлены на улучшение потребительских свойств объекта и прямо связаны с требованиями пользователей этих изделий.

4) Частота указания той или иной проблемы изобретения, сформулированной в их описаниях различных авторов, показывает, в какой степени решение ее важно для потребителя.

5) Анализу подвергается все изобретения, относящиеся к рассматриваемой предметной области, особенно при оценке ТУ для определения конкурентоспособности продукции.

Патентная информация активно используется в процессе разработки техники нового поколения. Одним из основных направлений ее применения является прогнозная оценка дальнейших путей исследования в различных предметных областях. Способы прогнозирования могут дать ответ на вопрос “Какие в настоящий момент времени пути исследования являются наиболее перспективными, а какие нет”.

Наиболее глубокий, всесторонний анализ патентной информации позволяет намного увеличить информационную составляющую новых разработок, что в конечном итоге влияет на появление прогрессивной техники. Анализ описаний изобретений является индикатором развития технических идей.

Чаще всего разрабатываемый ТО представляет собой сложную систему, содержащую большое количество узлов, деталей, элементов [5]. Поэтому в первую очередь необходимо решить вопрос о том, какой узел является наиболее значимым, с точки зрения его совершенства и решения задач улучшения потребительских характеристик. Рассмотренные положения позволяют оценивать ожидаемый ТУ изделия на ранних стадиях его создания, в частности, при обосновании его облика или эскизного проекта, когда стоит задача выбора основных схмотехнических решений [6]. При этом, применение большого массива информации значительно повышает достоверность проводимых оценок.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. О.А. Рыбин, И.Л. Скрипник, С.В. Воронин. Подходы к методологии создания современных образцов пожарной техники // Научно-аналитический журнал. «Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России». № 4 (2017) – 2017, с. 133-137.
2. Скрипник И.Л., Воронин С.В., Каверзнева Т.Т. Особенности модификации процедур морфологического анализа технических систем // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере, № 1 (45)-2018, с. 112-121.
3. Бардулин Е.Н., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Подходы к созданию современных приборов приемно-контрольных пожарных // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере, № 2 (46)-2018, с. 105-110.
4. С.В. Воронин, И.Л. Скрипник. Применение патентной информации для определения технического уровня новой техники // Фундаментальные и прикладные разработки в области технических и физико-математических наук. Сборник научных статей по итогам работы седьмого международного круглого стола (30 ноября 2018 г.), С.8-10.
5. Скрипник И.Л. Применение понятия сложных технических систем к приборам охранно-пожарной сигнализации // Научно-аналитический журнал. Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности, № 4-2018, с. 12-16.
6. Скрипник И. Л. Вопросы оценки качества и технического уровня новых разработок техники // Научно-аналитический журнал. Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности, № 3-2018, с. 26-32.

УДК 620.193

***И. Л. Скрипник***

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ**

**Ключевые слова:** коррозия, способ, металл, агрессивная среда, нефть, электрофизический способ, масса.

**Аннотация:** Рассматриваются вопросы защиты от коррозии металлических конструкций. Предлагается для оперативной оценки коррозионной активности использовать электрофизический метод воздействия на конструкции и исследовать их состояние с помощью атомно-силовой микроскопии.

*I. L. Skrypnyk*

## THE STUDY OF THE BEHAVIOR OF STRUCTURAL SUBSTANCES IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

**Keywords:** corrosion, method, metal, corrosive medium, oil, electrophysical method, mass.

**Abstract:** The issues of corrosion protection of metal structures are considered. It is proposed to use the electrophysical method of influence on structures and to investigate their condition using atomic force microscopy for rapid assessment of corrosion activity.

В настоящее время защита металлов от коррозии представляет собой важнейшую научно-техническую и экономическую задачу, так как она занимает важное место в обеспечении безопасности объектов нефтегазового комплекса. Коррозия приводит к большим и часто безвозвратным потерям металлов, что составляет 10 – 20% от ежегодного выпуска стали. На магистральных газопроводах развиваются специфические дефекты, которых пока практически нет на других трубопроводах – коррозионное растрескивание под напряжением (стресс-коррозия). Этот вид разрушения газопроводов стал самым опасным в последние годы. Анализ существующих методов защиты от коррозии показал, что одним из перспективных способов защиты является электрофизический метод воздействия в веществе и на границе раздела фаз, заключающийся в воздействии переменного частотно-модулированного сигнала (ПЧМС) на металлические изделия, позволяющий в 1,5-3 раза снизить влияние коррозионной среды [1,2].

Для исследования замедления коррозионных процессов в агрессивных средах от генератора подавался ПЧМС на образцы, в качестве которых использовались стальные пластины, расположенные вертикально, т.е. вся испытываемая поверхность образца подвергалась воздействию коррозионной среды. Они помещались в емкости с жидкостью (образцы бензина (Аи-95), керосина авиационного и нефти). Смывалась образующая коррозия в пробирки с дистиллированной водой, с помощью щавелевой кислоты. Если коррозионные частицы имели крупный размер, то использовали ультразвуковую ванну для раздробления их на более мелкие частицы. Затем происходило осмотр испытываемых образцов на изменение внешнего вида поверхности: цвета; наличие и образование видимых коррозионных изъянов и взвешивание.

С помощью шприца из пробирки на подложку наносили 2-3 капли исследуемого образца. После их высыхания, исследование твердого остатка проводилось с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ) [3]. Результаты сканирования выводились на экран монитора компьютера как в 2D, так и в 3D режимах.

Через 30 дней определялась относительная величина потери массы изделий, но в растворах пенообразователя 30 % и 60 %; уксусной кислоты 25 % и 50%; водном растворе хлорида натрия 20% и в морской воде. Анализ результатов расчета показал, что при воздействии ПЧМС с частотой 50 Гц относительная потеря массы образца составила от 0,076% (при морской воде) до 0,85% (при 25% растворе уксусной кислоты).

Существующие оценки коррозионной активности не позволяют достаточно оперативно и точно спрогнозировать коррозионную активность веществ. Для ее оперативной оценки предлагается использовать электрофизический метод, а с помощью АСМ, основанной на визуальной и качественной оценке осажденных продуктов коррозии, с очень высокой точностью до 100 Нм по рельефу поверхности образца, определять ее наличие и состояние [4].

Данный метод позволит спрогнозировать поведение конструктивных веществ в агрессивных средах.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов А.В., Скрипник И.Л., Сорокин А.Ю., Савенкова А.Е. Научно-методические основы управления электростатическими свойствами жидких углеводородов для обеспечения пожарной безопасности предприятий нефтегазового комплекса // Научный электронный журнал. Вестник Уральского института государственной противопожарной службы МЧС России. 2018/№ 2 (19), с.98-109.

2. А.В. Иванов, И.Л. Скрипник, С.В. Воронин. Исследование процессов электризации при обращении с модифицированными наножидкостями и лакокрасочными материалами // Научно-аналитический журнал. Проблемы управления рисками в техносфере, № 3 (47)-2018, с. 110-119.

3. Д.С. Азимов, И.Л. Скрипник, Б.В. Пекаревский, А.В. Иванов. Физико-химические свойства и коллоидные особенности электрофизически модифицированной воды и акрилового гидрогеля при использовании их огнетушащих и ранозаживляющих возможностей // Известия Санкт-Петербургского технологического института (технического университета). 2018. № 47 (73), С. 57-61.

4. Сорокин А.Ю., Иванов А.В., Скрипник И.Л., Симонова М.А. Нейросетевое моделирование условий обеспечения электростатической искробезопасности процессов транспортировки модифицированных углеводородных жидкостей на основе экспериментальных данных // Научный электронный журнал. Вестник Уральского института государственной противопожарной службы МЧС России. 2018/№ 1(18), с.63-76.

УДК 699.058

*А. Н. Слепаков, И. В. Багажков*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ПРОИЗВОДСТВА ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ В РОССИИ

**Ключевые слова:** пожарный автомобиль, способ тушения, унификация, разработка, внедрение, техническая политика, кооперация, автоматическое регулирование.

**Аннотация:** рассмотрены приоритетные направления развития производства пожарных автомобилей. Особое внимание уделено проблеме производства элементарной базы для пожарных машин. Проведен анализ отечественных заводов-изготовителей, их технической политики. Определена тенденция избегания кооперации друг с другом. Выявлена необходимость создания и внедрения новых образцов автомобилей пенного тушения.

*A. N. Slepakov, I. V. Bagzhakov*

## **PRIORITY DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF PRODUCTION OF FIRE TRUCKS IN RUSSIA**

**Keywords:** fire truck, extinguishing method, unification, development, implementation, technical policy, cooperation, automatic regulation.

**Abstracts:** the priority directions of development of production of fire trucks are considered. Special attention is paid to the problem of production of elementary base for fire engines. The analysis of domestic manufacturers, their technical policy. The tendency of avoiding cooperation with each other is determined. The necessity of creation and introduction of new models of foam extinguishing vehicles is revealed.

В целях обеспечения производства более совершенных пожарных автомобилей [1], не уступающих по своим тактико-техническим параметрам аналогичным образцам ведущих зарубежных фирм, усилия ГПС и других участников обозначенной выше системы должны быть направлены в первую очередь на:

- дальнейшее развитие и совершенствование нормативной базы, регламентирующей процессы разработки, постановки на производство испытаний пожарных автомобилей;

- совершенствование процессов разработки и производства пожарных автомобилей, обеспечение действенных методов контроля за качеством выпускаемых автомобилей, включая сертификацию производств на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9000;

- организацию взаимодействия всех участников системы производства и эксплуатации пожарных автомобилей в вопросах совершенствования процессов разработки, производства, испытаний и эксплуатации пожарных автомобилей.

В числе приоритетных направлений развития производства пожарных автомобилей:

- создание специальных базовых шасси (ЗИЛ, ГАЗ, КамАЗ, «Урал») для пожарных автомобилей с учетом требований заказчика;

- создание пожарных автомобилей с использованием принципиально новых и эффективных способов тушения и применением перспективных огнетушащих веществ;

- создание семейств пожарных автомобилей, функционально адаптированных к условиям применения, включая:

- а) ПА для тушения пожаров в сельской местности;

- б) ПА для северных регионов (исполнения ХЛ и ОХЛ);

- в) ПА для объектов с защитой от радиоактивного излучения и сильнодействующих ядовитых веществ;

- г) пожарно-спасательные автомобили для участия в проведении аварийно-спасательных работ и тушения пожаров на месте чрезвычайных ситуаций.

- модернизация созданных в 90-е годы и находящихся в производстве пожарных автомобилей с учетом фактического опыта и результатов их эксплуатации в подразделениях ГПС;



- разработка и внедрение технологии антикоррозионной обработки и окраски ПА, обеспечивающей нормативные сроки эксплуатации, включая изготовление емкостей для огнетушащих веществ из антикоррозионных материалов;
- унификация электрических схем, коммутационных и распределительных устройств, кабельного хозяйства электросиловых установок специальных пожарных автомобилей, выпускаемых различными предприятиями-изготовителями;
- создание элементной базы (узлов и агрегатов ПА) новых поколений включая:
  - замену технически и морально устаревших насосов серии ПН-40 на более современные насосы расширенного модельного ряда (серии НЦП);
  - разработку нового, более современного и надежного способа забора воды из открытых водоисточников взамен используемого для этого газоструйного вакуум-аппарата;
  - разработку альтернативных, более надежных видов привода специальных агрегатов на пожарные автомобили;
  - разработку автоматического регулирования режимов работы насосной и электросиловых установок пожарных автомобилей.

Все названные выше направления развития производства и совершенствования качества пожарных автомобилей чрезвычайно важны для пожарной охраны. Но особо следует остановиться на проблеме производства элементарной базы для пожарных машин.

Пожарный автомобиль - сложная техническая система, состоящая из большого числа элементов. И, в конечном счете, технический уровень пожарных автомобилей определяется уровнем тех компонентов (шасси, узлов и агрегатов), которые использованы для его создания.

С шасси для пожарных автомобилей вопрос не стоит: используются те модели, которые предлагает отечественное автомобилестроение. Других шасси в стране пока нет. Проблема заключается в пожарной надстройке: большинство из выпускаемых уже в новом веке пожарных автомобилей, которые называются пожарные автомобили нового поколения, укомплектованы элементной базой, созданной еще в середине прошлого столетия (насосы и его системы, привод, система управления, гидравлическое оборудование и т. д.) [2].

Автомобиль пенного тушения АПТ 7,0-150 (65225)

Фактически это ПА из прошлого, а их технический уровень адекватен их элементной базе. За 10 лет прошедшего столетия промышленностью не было создано почти ничего для того, чтобы модернизировать и создать новую элементную базу для пожарных автомобилей (исключение составляют насосы НЦП, но уровень их работоспособности и надежности еще подлежит изучению, а ценовые параметры пока не в полной мере удовлетворяют требованиям пожарной охраны).



**Рисунок.** Автомобиль пенного тушения АПТ 7,0-150 (65225)

Возможен альтернативный подход к решению этой злободневной проблемы.

Все отечественные заводы-изготовители проводят техническую политику, избегая кооперации друг с другом.

Поэтому подъем отечественного пожарного автостроения возможен лишь при условии перестройки производства на базе компонентов (узлов и агрегатов) новых поколений, которыми бы комплектовались пожарные автомобили всех заводов [3].

В последние десятилетия прошлого века было допущено заметное отставание в техническом уровне, качестве и номенклатуре выпускаемых в стране компонентов для пожарных автомобилей от мирового уровня. Поэтому в решении данной проблемы, возможно, не обойтись без лицензии ведущих западных фирм.

Необходимость создания и внедрения новых образцов автомобилей пенного тушения повысит эффективность действий пожарно-спасательных подразделений по тушению пожаров за счет улучшения характеристик пожарного автомобиля.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ Президента РФ от 01.01.2018 № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года». Москва. Кремль. 01 января 2018 года.

2. ГОСТ Р 53328-2009. Техника пожарная. Основные пожарные автомобили. Общие технические требования. Методы испытаний.

3. Концепция совершенствования пожарных автомобилей и их технической эксплуатации в системе Государственной противопожарной службы МЧС России: прил. 2 к приказу МЧС России от 31.12.2002 № 624 // Пожарные автомобили: сб. нормат. док. М.: ВНИИПО, 2007. Вып. 18. 227 с.

УДК 614.847.9

*Д. В. Сорокин<sup>1</sup>, А. Л. Никифоров<sup>1</sup>, О. Г. Циркина<sup>1</sup>, А. В. Молчанов<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Академия гражданской защиты МЧС России

### СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ РАЗРАБОТКИ И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЖАРНЫХ

**Ключевые слова:** статистические данные, травматизм пожарных, специальная защитная одежда пожарного, тепловое воздействие.

**Аннотация:** в работе представлен анализ гибели и травмирования пожарных за период с 2011-2018 гг. Установлено, что количество случаев травматизма и гибели пожарных остается на одном уровне при общем снижении количества пожаров. Обоснована необходимость разработки и совершенствования технических средств, направленных на защиту пожарного.

*D. V. Sorokin, A. L. Nikiforov, O. G. Tsirkina, A. V. Molchanov*

## STATISTICAL JUSTIFICATION OF THE NEED FOR DEVELOPMENT AND IMPROVEMENT OF TECHNICAL MEANS TO ENSURE FIRE SAFETY

**Keywords:** statistical data, injuries of firefighters, special protective clothing of a firefighter, thermal effect.

**Annotation:** the paper presents an analysis of the death and injury of firefighters for the period from 2011-2018. It has been established that the number of injuries and deaths of firefighters remains at the same level with a general decrease in the number of fires. The necessity of the development and improvement of technical means aimed at protecting a firefighter is substantiated.

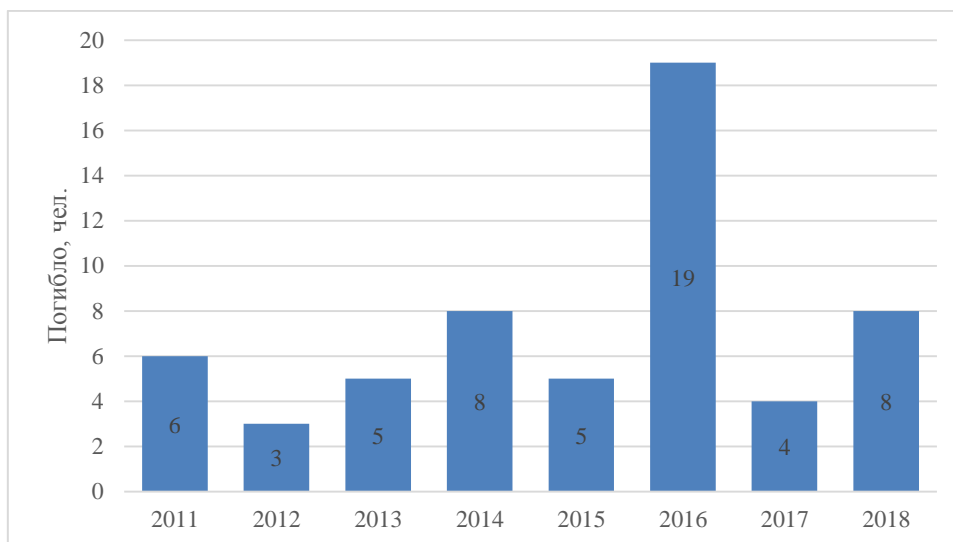
Высокая концентрация горючих материалов в общественных и производственных зданиях, тенденция к увеличению этажности и площади этих зданий, усложнение технологических процессов, применение пожаровзрывоопасных веществ и материалов значительно повышают их пожарную опасность, а также создают значительные затруднения при тушении пожаров на таких объектах. Позднее сообщение о пожаре по причине отсутствия или неисправности систем пожарной сигнализации, усугубляемое постоянно ухудшающейся дорожной обстановкой в крупных городах, зачастую приводит к тому, что пожарные прибывают к месту вызова на стадии уже развившегося пожара. Данные условия требуют постоянного роста профессионального мастерства пожарных, а также современного технического оснащения для обеспечения безопасности при тушении пожаров.

В Российской Федерации в период с 2011-2018 гг. на пожарах погиб 58 пожарный, 502 получили травмы (Таблица) [1].

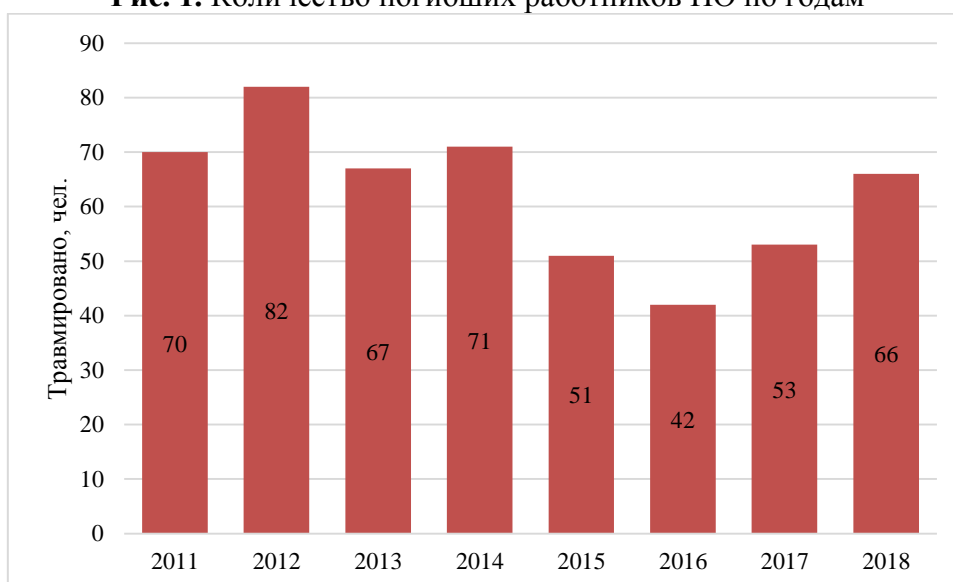
*Таблица. Статистические данные гибели и травмирования работников пожарной охраны в Российской Федерации в период 2011-2018 гг.*

Период	Кол-во пожаров, ед.	Погибло работников ПО, чел.	Травмировано работников ПО, чел.
2011	168533	6	70
2012	162919	3	82
2013	153466	5	67
2014	152695	8	71
2015	145942	5	51
2016	139475	19	42
2017	132844	4	53
2018	131690	8	66
<b>Всего за период</b>	<b>1187564</b>	<b>58</b>	<b>502</b>

На рис. 1 и 2 приведены диаграммы гибели и травмирования работников пожарной охраны (ПО) за рассматриваемый период.



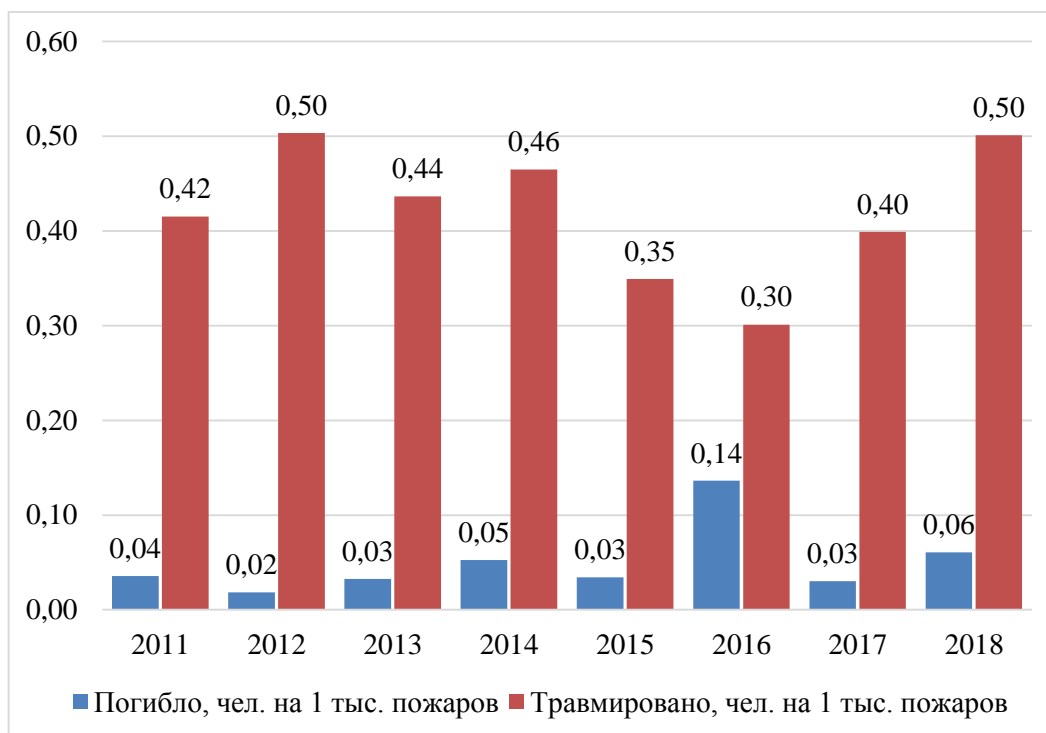
**Рис. 1.** Количество погибших работников ПО по годам



**Рис. 2.** Количество травмированных работников ПО по годам

Для анализа гибели и травмирования работников ПО необходимо учитывать влияющие факторы, такие как, количество пожаров, штатная численность пожарно-спасательных подразделений, места и класса объекта тушения и др.

В настоящее время (таблица 1) наблюдается ежегодное снижение общего числа пожаров. Для объективной оценки относительного числа погибших и травмированных работников ПО по годам был произведен пересчет числа погибших и травмированных работников ПО на 1 тыс. пожаров (Рис. 3)



**Рис. 3.** Количество погибших и травмированных работников ПО на 1 тыс. пожаров по годам

Из вышеприведенной диаграммы видно, что за рассматриваемый период (2011-2018 гг.) динамика снижения случаев травматизма и гибели не наблюдается при общем снижении количества пожаров.

Более распространенными причинами гибели работников ПО являются:

- отравление токсичными продуктами горения при пожаре;
- воздействие высокой температуры при пожаре;
- удушье в результате пониженной концентрации кислорода при пожаре;
- получение травмы, несовместимой с жизнью, в результате обрушения строительных конструкции при пожаре;
- получение травмы, несовместимой с жизнью, в результате падения с высоты при пожаре;
- поражение электрическим током при пожаре;
- отравление токсичными газами и ядовитыми веществами при пожаре;
- получение травмы, несовместимой с жизнью, в результате поражения осколками от взрывов;

На рис. 4 представлена диаграмма распределения причин гибели пожарных в Российской Федерации.



**Рис. 4.** Причины гибели пожарных в Российской Федерации

Из приведенных данных можно выделить 3 основных причины гибели работников ПО: отравление токсичными продуктами горения на пожаре – 23 %; воздействие высокой температуры на пожаре – 21 %; получение травмы, несовместимой с жизнью, в результате обрушения строительных конструкций – 18%.

Первые две причины гибели пожарных, а это 43% от общего числа погибших напрямую связаны с обеспечением и надежностью современных средств защиты пожарного от опасных факторов пожара.

Из проведенного анализа статистических данных гибели и травмирования пожарных в Российской Федерации можно сделать вывод, что проводимые профилактические мероприятия, направленные на предупреждение пожаров являются эффективными, о чем свидетельствует ежегодное снижение количества пожаров в Российской Федерации. Несмотря на этот факт трагическая ситуация гибели и травмирования пожарных за последние годы не улучшается. Следовательно, разработка и совершенствование технических средств, направленных на защиту пожарного от опасных тепловых воздействий, а также средств индивидуальной защиты органов дыхания должны стать приоритетным направлением науки и техники в МЧС России.

Важным направлением по обеспечению безопасных условий работы пожарных является разработка и совершенствование систем защиты от тепловых проявлений опасных факторов пожара. В научном отчете [2] приведен обзор 24 случаев получения пожарными ожогов и выявлены характерные для получения ожогов участки тела: плечи (особенно в местах прилегания плечевых ремней дыхательного аппарата), руки, бедра, локтевые и коленные суставы. Было отмечено появление ожогов в местах расположения светоотражающих лент БОП. Как правило, ожоговый травматизм носит местный характер и происходит в результате неравномерного распределения темпе-

ратур в подкостюмном пространстве боевой одежды пожарного (БОП). Снижение теплозащитных характеристик на отдельном участке БОП происходит по причине повышенной влажности, сжатия пакета материалов, механического износа. Важно отметить, что получению ожоговых травм способствует отсутствие систем, позволяющих осуществлять контроль уровня теплового воздействия на пожарного [3].

Таким образом, для снижения уровня травматизма пожарных от опасных тепловых факторов существует необходимость:

- повышения предъявляемых требований и изменения методики испытания специальной защитной одежды пожарного [4];
- применения современных материалов и текстильных технологий, позволяющих обеспечить равномерность теплозащитных показателей всего комплекта при проектировании специальной защитной одежды пожарного;
- разработки системы контроля параметров подкостюмного пространства специальной защитной одежды пожарного, предназначенной для своевременного оповещения пожарного о достижении предельно допустимых значений температуры и влажности, при которых возможно получение теплового удара, ожогов мягких тканей.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Выписка из федеральной базы данных «Пожары». Основные статистические показатели по пожарам, произошедшим в 2011-2018 гг. в Российской Федерации. ВНИИ ПО. – 2019 г.
2. Final Report of Thermal Capacity of Fire Fighter Protective Clothing. Fire Protection Research Foundation. – 2008. – 37 pp
3. Сорокин Д. В., Никифоров А. Л. Разработка системы контроля параметров внутреннего пространства специальной защитной одежды пожарного // Сборник материалов школы молодых ученых и специалистов МЧС России. – Иваново. – 2017. – С. 237-241.
4. ГОСТ Р 53264-2009. Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний. Национальный стандарт Российской Федерации. Стандратинформ. – 2009. – 37 с.

УДК 677.024

***С. Г. Степанов***

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет

#### **ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ВНУТРЕННЕГО РАЗРЫВНОГО ДАВЛЕНИЯ В НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВАХ**

**Ключевые слова:** пожарный напорный рукав, тканый армирующий каркас, расчет внутреннего разрывного давления.

**Аннотация:** получены зависимости для расчета внутреннего разрывного давления в напорных пожарных рукавах.

*S. G. Stepanov*

## DEPENDENCES FOR CALCULATION OF INTERNAL BURST PRESSURE IN PRESSURE FIRE HOSES

**Keywords:** fire pressure hose, woven reinforcing frame, calculation of internal burst pressure.

**Abstracts:** dependencies are obtained for calculating the internal burst pressure in pressure hoses.

Основным несущим элементом пожарных напорных рукавов (ПНР) является тканый армирующий каркас, полностью воспринимающий усилия, обусловленные наличием давления жидкости внутри пожарного рукава, если речь идет о непрорезиненных ПНР, и в определяющей степени, в случае прорезиненных, латексированных и с двухсторонним покрытием ПНР.

Устройство последних трех видов рукавов, в которых тканый армирующий каркас покрыт слоями резины или латекса дает основание отнести эти изделия к композиционным материалам.

Анализ структуры армирующих каркасов ПНР показал, что все они в большинстве случаев состоят из однослойных тканых оболочек полотняного или саржевого переплетения. По длине ПНР располагаются основные нити, которые взаимно переплетены с уточными нитями, проложенными по его окружности. Расчет на прочность ПНР сводится в основном к расчету на прочность их армирующего каркаса, способность которого сопротивляться разрушению в первую очередь определяется прочностью уточных нитей.

К настоящему времени на основе нелинейной теории расчета однослойных тканей главных переплетений [1] разработаны основные теоретические положения [2]\*, [3]\*, [4] и выполнен комплекс экспериментальных исследований по расчету на прочность ПНР при действии внутреннего гидравлического давления, тканые армирующие каркасы которых состоят из тканей полотняного переплетения.

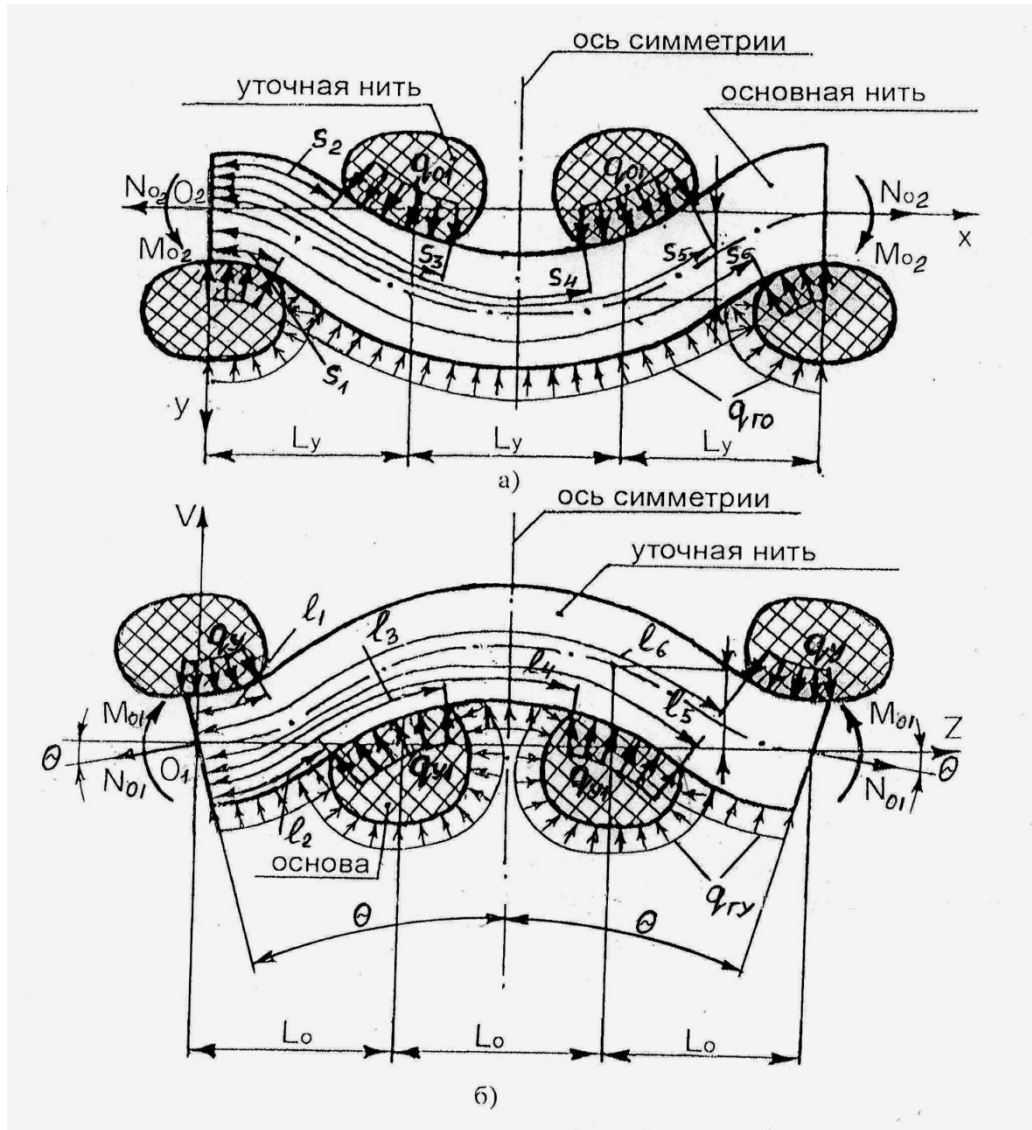
Получим зависимости для расчета на прочность ПНР при действии внутреннего гидравлического давления, тканые армирующие каркасы которых состоят из однослойных тканей саржевого переплетения.

Рассмотрим равновесие жестких на изгиб отрезков основной (рисунок, а) и уточной (рисунок, б) нитей тканого армирующего каркаса ПНР, изготовленного на основе ткани переплетения саржа 1/2. Расчетная модель (рисунок, а, б) полностью соответствует непрорезиненным пожарным рукавам. С учетом допущения о том, что вся нагрузка от гидравлического давления внутри ПНР воспринимается только нитями тканого армирующего каркаса, эта модель также будет соответствовать прорезиненным и латексированным пожарным рукавам (внутренний слой резины в этом случае не показан, а показано давление, передаваемое через внутренний слой резины на нити тканого армирующего каркаса).

---

\* Работы выполнены под руководством д.т.н. С.Г. Степанова





**Рисунок.** Равновесие отрезков основной (а) и уточной (б) нитей тканого армирующего каркаса ПНР на основе саржи 1/2

В тканом армирующем каркасе ПНР эти отрезки основной и уточной нитей (рис. 1, а, б) взаимно переплетены, взаимодействуют друг с другом и представляют собой элемент последнего. Не трудно убедиться, что угол между двумя прямыми, исходящими из центра поперечного сечения ПНР, одна из которых совпадает с осью симметрии, а вторая проходит через центр поперечного сечения любой из крайних нитей основы (рис. 1, б), с достаточной точностью определяется по формуле:

$$\theta = \frac{1,5L_o}{R}, \quad (1)$$

где  $L_o$  – геометрическая плотность по основе;

$R$  - радиус поперечного сечения пожарного рукава.

При наличии гидравлического давления внутри пожарного рукава интенсивностью  $p$  на каждую уточную и основную нить передаются давления, которые в пересчете на единицы длин нитей будут:

$$\text{для уточной нити} \quad q_{ГУ} = pL_y \quad (2)$$

$$\text{для основной нити} \quad q_{ГО} = pL_o, \quad (3)$$

где  $L_y$  – геометрическая плотность по утку.

Опуская ввиду ограниченного объема настоящей статьи промежуточные выкладки, приведем нелинейную математическую модель взаимодействия нитей в тканом армирующем каркасе ПНР саржевого переплетения (саржа 1/2, рис. 1, а, б) при действии внутреннего гидравлического давления.

$$A_y \left\{ \frac{d^3 \alpha}{dl^3} - 0,5 \left[ \left( \frac{d\alpha}{dl} \right)^2 \Big|_{l=0} - \left( \frac{d\alpha}{dl} \right)^2 \right] \frac{d\alpha}{dl} \right\} - N_{o_1} \frac{d\alpha}{dl} + q^y = 0, \quad (4)$$

$$\frac{dv}{dz} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

$$A_o \left\{ \frac{d^3 \varphi}{ds^3} - 0,5 \left[ \left( \frac{d\varphi}{ds} \right)^2 \Big|_{s=0} - \left( \frac{d\varphi}{ds} \right)^2 \right] \frac{d\varphi}{ds} \right\} - N_{o_2} \frac{d\varphi}{ds} + q^o = 0, \quad (6)$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \varphi, \quad (7)$$

$$q_{y1} \beta_o d_o = q_{o1} \beta_y d_y, \quad (8)$$

$$q_y \beta_o d_o = q_o \beta_y d_y, \quad (9)$$

$$-q_o \beta_y d_y - q_{ГО} (s^* - \beta_y d_y) + 2q_{o1} \beta_y d_y = 0, \quad (10)$$

$$q_{ГУ} (l^* - 2\beta_o d_o) + 2q_{y1} \beta_o d_o - q_y \beta_o d_o - 2N_{o1} \theta = 0, \quad (11)$$

$$Y(q_{o1}) + V(q_{y1}) = 0,5[\eta_{oB}(q_o)d_o + \eta_{yB}(q_y)d_y] + 0,5[\eta_{oB}(q_{o1})d_o + \eta_{yB}(q_{y1})d_y], \quad (12)$$

где

$$q^y = q_y [1 - H(l-l_1) + H(l-l_6)] - q_{y1} [H(l-l_2) - H(l-l_3) + H(l-l_4) - H(l-l_5)] - q_{ГУ} [1 - H(l-l_2) + H(l-l_3) - H(l-l_4) + H(l-l_5)],$$

$$q^o = q_o [1 - H(s - s_1) + H(s - s_6)] - q_{o1} [H(s - s_2) - H(s - s_3) + H(s - s_4) - H(s - s_5)] + q_{ГO} [H(s - s_1) - H(s - s_6)]$$

$N_{O_1}, N_{O_2}$  - соответственно натяжения в уточной и основной нитях в краевых сечениях;

$q_o, q_y, q_{o1}, q_{y1}, q_{ГУ}, q_{ГО}$  - распределенные нагрузки, действующие на нити утка и основы;

$l, s$  - текущие координаты изогнутых осей уточной и основной нитей;

$l^*, s^*$  - длины деформированных осей уточной и основной нитей в элементе тканого армирующего каркаса;

$l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6$  - координаты, определяющие действие распределенных нагрузок в зонах контакта уточины и основы;

$\alpha, \varphi$  - текущее значение углов поворота плоскостей сечений уточной и основной нитей;

$V, z, y, x$  - координаты произвольной точки осевой линии уточной и основной нити в осях  $VO_1z$  и  $yO_2x$ ;

$A_y, A_o$  - изгибные жесткости уточной и основной нитей;

$q^y, q^o$  - функции, определяющие действие распределенных нагрузок, приложенных к отрезкам утка и основы;

$d_o, d_y, \eta_{OB}, \eta_{yB}$  - соответственно диаметры и коэффициенты вертикального смятия поперечных сечений нитей основы и утка;

$H(l - l_j), H(s - s_j)$  - функции Хевисайда, характеризующие действие распределенных нагрузок на отрезки нитей;

$\beta_o, \beta_y$  - безразмерные коэффициенты, характеризующие длины зон контакта между нитями в долях диаметров нитей.

$U(q_{o1}) > 0, V(q_{y1}) > 0$  - прогибы соответственно основы и утка в вертикальных плоскостях, проходящих через центры сечений нитей (рис. 1, а, б).

На основании математической модели (4)-(12) получим формулу для разрывного давления в ПНР на основе саржи 1/2, являющегося одним из важнейших прочностных параметров ПНР при гидравлическом воздействии, регламентируемых ГОСТ Р 51049-97.

Произведя замену в (10) с помощью равенств (9) и (8), после преобразований получим

$$2q_{y1}\beta_0d_0 - q_y\beta_0d_0 = q_{ГО}(s^* - \beta_yd_y)$$

Подставляя последнее выражение в (11), имеем

$$q_{ГУ}(l^* - 2\beta_0d_0) + q_{ГО}(s^* - \beta_yd_y) - 2N_{o1}\theta = 0 \quad (13)$$

Из-за наличия больших растягивающих усилий и сильного смятия нитей в радиальном направлении в зонах контакта нитей тканого армирующего каркаса ПНР, обусловленных действием внутреннего гидравлического давления, имеет место существенное уменьшение кривизны нитей. Нити в тканом армирующем каркасе становятся более пологими. Последнее имеет место как при действии рабочего давления внутри рукава, так в еще большей степени при действии внутреннего разрывного давления в ПНР. Вследствие этого такие характеристики осевых линий нитей как высоты волн изгиба, прогибы и углы поворота поперечных сечений нитей могут быть обоснованно отнесены к малым величинам. Это относится к нитям обеих систем, но в особенности к уточным нитям, расположенным по окружности пожарного рукава. Последние имеют очень малые прогибы, а, следовательно, и очень малую высоту волны изгиба ( $V(q_{v1}) \approx 0$ ). В этом случае длина деформированной оси уточины  $l^*$  будет близка к утроенной геометрической плотности по основе, то есть к  $3L_o$ . На основании этого принимаем

$$l^* = 3L_o, \quad V(q_{v1}) = 0. \quad (14)$$

При этом натяжение основных нитей, существенно уступает натяжению уточных нитей. Это приводит к тому, что уточные нити с существенно большим натяжением воздействуют в зонах контакта на основные нити, и последние получают прогибы. Вследствие этого нити основы имеют значительно большие прогибы по сравнению с уточными нитями, что и наблюдается при визуальном осмотре ПНР. Поэтому в тканях армирующих каркасов ПНР при действии внутреннего гидравлического давления уточные нити вытянуты «в струну», имея близкие к нулевым прогибы, а основные нити максимально изогнуты. Вместе с тем, нити обеих систем удовлетворяют условию малости прогибов ввиду значительного смятия в радиальном направлении и существенного натяжения в них. С учетом принятого допущения  $V(q_{v1}) = 0$  уравнение (12) после преобразований принимает вид:

$$Y(q_{o1}) = H_y d_y + H_o d_o, \quad (15)$$

где  $H_y = 0,5[\eta_{yB}(q_y) + \eta_{yB}(q_{y1})]d_y$ ;  $H_o = 0,5[\eta_{oB}(q_o) + \eta_{oB}(q_{o1})]d_o$ .

Аппроксимируя деформированную ось отрезка основы ломаной линией, получим

$$s^* = L_y + 2\sqrt{L_y^2 + (y(q_{o1}))^2} = L_y + 2\sqrt{L_y^2 + (H_y d_y + H_o d_o)^2}$$

Подставив последнее выражение и  $l^* = 3L_o$  в (13), получим

$$q_{Гy}(3L_o - 2\beta_o d_o) + q_{Го}(L_y + 2\sqrt{L_y^2 + (H_y d_y + H_o d_o)^2} - \beta_y d_y) - 2N_{o1}\theta = 0$$

С учетом (1), (2), (3) из последнего выражения следует зависимость,

связывающая натяжение в уточной нити  $N_{O1}$  и внутреннее гидравлическое давление  $p$  в ПНР

$$N_{O1} = \frac{pR}{3L_o} \left\{ L_y(3L_o - 2\beta_o d_o) + L_o \left[ L_y + 2\sqrt{L_y^2 + (H_y d_y + H_o d_o)^2} - \beta_y d_y \right] \right\}$$

Для определения разрывного внутреннего гидравлического давления  $p_{разр}$  в ПНР на основе саржи 1/2 по разрывной нагрузке в уточной нити  $N_{разр}$  в последней формуле производим замены  $p = p_{разр}$ ,  $N_{O1} = N_{разр}$  и из полученного соотношения выражаем  $p_{разр}$ .

$$p_{разр} = \frac{3N_{разр}L_o}{R \left\{ L_y(3L_o - 2\beta_o d_o) + L_o \left[ L_y + 2\sqrt{L_y^2 + (H_y d_y + H_o d_o)^2} - \beta_y d_y \right] \right\}} \quad (16)$$

Аналогичное выражение для саржи 2/1 имеет вид

$$p_{разр} = \frac{3N_{разр}L_o}{R \left\{ L_y(3L_o - \beta_o d_o) + L_o \left[ L_y + 2\sqrt{L_y^2 + (H_y d_y + H_o d_o)^2} - 2\beta_y d_y \right] \right\}} \quad (17)$$

На основе полученных зависимостей может быть выполнен расчет разрывного внутреннего гидравлического давления в ПНР, тканые армирующие каркасы которых изготовлены из тканей саржевого переплетения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов С.Г. Развитие теории формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей. Диссертация доктора технических наук. Иваново. ИГТА. 2007. 443 с.;
2. Моторин Л.В., Степанов О. С., Братолобова Е.В. Математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2010. №8. С. 103 –109;
3. Моторин Л.В., Степанов О. С., Братолобова Е.В. Упрощенная математическая модель для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2011. №1. С. 126 – 133.
4. Арипбаева А.Е., Мырхалыков Ж.У., Койфман О.И., Базаров Ю.М., Степанов С.Г. Методика расчета и рационального проектирования армирующих каркасов напорных пожарных рукавов на основе синтетических нитей // Изв. Вузов. Химия и хим. технология. - 2016. - Т. 59, Вып. 10. - С. 83-87.
5. Aripbaeva A.E., Mirkhalikov Zh.U., Stepanov S. G. Method of design of reinforcing frames fire hoses when subjected to internal hydraulic pressure // European Science and Technology. Materials of the XVII international research and practice conference Munich, Germany 2017. С. 42-50.

УДК 677.024

*С. Г. Степанов*

ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет

## **К РАСЧЕТУ УРАБОТКИ НИТЕЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ТКАНЫХ АРМИРУЮЩИХ КАРКАСОВ НАПОРНЫХ ПОЖАРНЫХ РУКАВОВ**

**Ключевые слова:** пожарный напорный рукав, тканый армирующий каркас, расчет уработки нитей.

**Аннотация:** получены формулы для расчета уработки и необходимых длин нитей при изготовлении тканых армирующих каркасов пожарных напорных рукавов.

*S. G. Stepanov*

## **TO CALCULATE HANDLING THREADS WHILE MANUFACTURING WOVEN REINFORCING FRAMEWORKS OF PRESSURE FIRE HOSES**

**Keywords:** fire pressure hose, woven reinforcing frame, calculation of thread processing.

**Abstract:** formulas have been obtained for the calculation of the training and the necessary lengths of threads in the manufacture of woven reinforcing frames of fire pressure hoses.

В [1] отмечено, что основным несущим элементом пожарных напорных рукавов (ПНР) является тканый армирующий каркас, полностью воспринимающий усилия, обусловленные наличием давления жидкости внутри пожарного рукава, если речь идет о непрорезиненных ПНР, и в определяющей степени, в случае прорезиненных, латексированных и с двухсторонним покрытием ПНР. Тканые армирующие каркасы ПНР изготавливаются на круглоткацких станках в основном из полиэфирных нитей на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Одной из проблем производства тканых армирующих каркасов ПНР является проблема расчета материалоемкости данных технических изделий, т.е. решение задачи – сколько целых уточных и основных синтетических нитей с учетом их уработки необходимо зарезервировать для производства на круглоткацком станке армирующего каркаса данного конкретного изделия. Ниже излагается метод решения проблемы расчета уработки нитей на основе рассмотрения «микроуровня» изделия, т.е. на основе исследования взаимодействия отдельных нитей тканых армирующих каркасов данных изделий и нахождения длин деформированных осей нитей в элементе тканого каркаса. Так как эта задача относится к достаточно сложным нелинейным задачам, не имеющим аналитического решения, для ее решения должны быть использованы наряду с теоретическими положениями работы [2] численные методы на основе компьютерных технологий.

Взаимодействие нитей в тканом армирующем каркасе ПНР саржевого переплетения при действии внутреннего гидравлического давления описывается нелинейной математической моделью (4) - (12) [1]. Для решения проблемы расчета уработки нитей воспользуемся уравнениями (4) - (7) данной модели, характеризующими равновесие деформированных осей уточной и основной нитей в элементе тканого армирующего

щего каркаса ПНР под действием внешней нагрузки, добавив к последним уравнения (8), (9) и уравнение (12), представляющее собой геометрическое соотношение для тканей саржевого переплетения [2]. Решение нелинейной системы уравнений (4) - (9), (12) аналитическими методами практически невозможно. Так как длины деформированных осей нитей армирующего каркаса ПНР являются неизвестными величинами, то интервал интегрирования этой системы также не определен. Из-за неопределенности интервала интегрирования затруднено и численное решение системы (4) - (9), (12) [1]. Поэтому перейдем в данной системе от переменных  $l$  и  $s$  к переменным  $z$  и  $x$  ( $z, x$  – координаты произвольной точки осевой линии уточной и основной нити в осях  $O_1Z$  и  $O_2X$ , рис. 1, а, б [1]), опуская промежуточные выкладки. В переменных  $z$  и  $x$  система примет вид:

$$A_y \left[ \frac{d^3 \alpha}{dz^3} \cos^2 \alpha - 2 \frac{d^2 \alpha}{dz^2} \frac{d\alpha}{dz} \sin 2\alpha - \left( \frac{d\alpha}{dz} \right)^3 (1,5 \cos^2 \alpha - 1) \right] - \left[ 0,5 A_y \left( \frac{d\alpha}{dz} \right)_{|z=0}^2 + N_{01} \right] \frac{d\alpha}{dz} + \frac{1}{\cos \alpha} q^y(z) = 0, \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dz} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

$$A_0 \left[ \frac{d^3 \varphi}{dx^3} \cos^2 \varphi - 2 \frac{d^2 \varphi}{dx^2} \frac{d\varphi}{dx} \sin 2\varphi - \left( \frac{d\varphi}{dx} \right)^3 (1,5 \cos^2 \varphi - 1) \right] - \left[ 0,5 A_0 \left( \frac{d\varphi}{dx} \right)_{|x=0}^2 + N_{02} \right] \frac{d\varphi}{dx} + \frac{1}{\cos \varphi} q^o(x) = 0, \quad (3)$$

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \varphi, \quad (4)$$

$$q_{v1} \beta_O d_O = q_{o1} \beta_V d_V, \quad (5)$$

$$q_V \beta_O d_O = q_O \beta_V d_V, \quad (6)$$

$$V(q_{o1}) + V(q_{v1}) = 0,5 [\eta_{OB}(q_O) d_O + \eta_{VB}(q_V) d_V] + 0,5 [\eta_{OB}(q_{o1}) d_O + \eta_{VB}(q_{v1}) d_V], \quad (7)$$

где функций внешних нагрузок в переменных  $z$  и  $x$ :

$$q^y = q_y [1 - H(z - z_1) + H(z - z_6)] - q_{y1} [H(z - z_2) - H(z - z_3) + H(z - z_4) - H(z - z_5)] -$$

$$- q_{1y} [1 - H(z - z_2) + H(z - z_3) - H(z - z_4) + H(z - z_5)],$$

$$q^o = q_o [1 - H(x - x_1) + H(x - x_6)] - q_{o1} [H(x - x_2) - H(x - x_3) + H(x - x_4) - H(x - x_5)] +$$

$$+ q_{1o} [H(x - x_1) - H(x - x_6)],$$

$z_i (i=1, 2, \dots, 6)$  и  $x_i (i=1, 2, \dots, 6)$  - координаты по осям  $z$  и  $x$ , определяющие действие распределенных нагрузок;

$H(z - z_j)$ ,  $H(x - x_j)$  - функции Хевисайда, характеризующие действие распределенных нагрузок на отрезках нитей.

Математическая модель (1)–(7) не имеет аналитического решения. Наиболее эффективным методом ее решения является метод конечных разностей. Для решения системы (1)–(7) методом конечных разностей [3] введем конечно-разностную сетку на отрезках  $3L_o$  и  $3L_y$ , разделив эти отрезки на  $n$  равных частей ( $n$  – четное) (рисунок, а, б).

Аппроксимируя первую, вторую и третью производные центральными разностями получим конечно-разностный аналог системы (1)–(7), представляющий собой систему нелинейных алгебраических и трансцендентных уравнений. Поскольку такая система имеет множество решений, то для получения единственного решения, отвечающего условию симметрии деформированных осей нитей (рис. 1, а, б), введем дополнительные ограничения, соответствующие этому условию, например, такие:

для отрезка основы

$$y_{m-3} = y_{m+3}; \quad y_{m-3} = 2h_1 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=m-3} tg \varphi_j; \quad y_{m+3} = 2h_1 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=m+3} tg \varphi_j;$$

$$\varphi_{m-1} = -\varphi_{m+1};$$

для отрезка утка

$$v_{m-3} = v_{m+3}; \quad v_{m-3} = 2h_2 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=m-3} tg \alpha_j; \quad v_{m+3} = 2h_2 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=m+3} tg \alpha_j;$$

$$\alpha_{m-1} = -\alpha_{m+1};$$

где:  $h_1 = \frac{3L_y}{n}$ ,  $h_2 = \frac{3L_o}{n}$  - шаги конечно-разностных сеток для отрезков соответственно основы и утка (рисунок, а, б);

$m$  – номер узла, совпадающего с точкой пересечения осей симметрии отрезков основы и утка с осями  $O_1Z$  и  $O_2X$ .



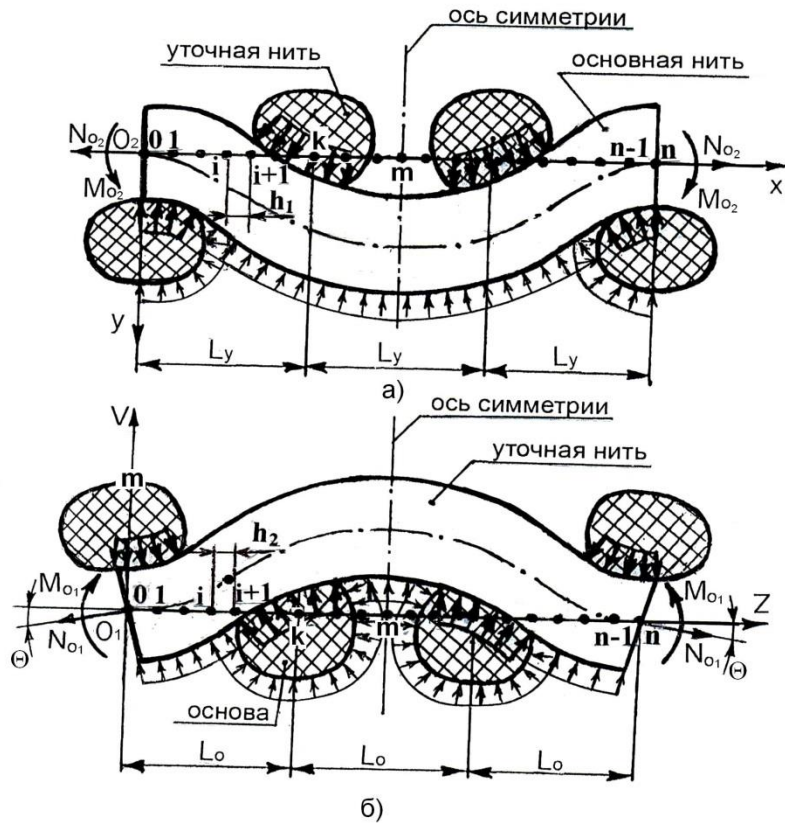


Рисунок. Конечно-разностные сетки для отрезков основы (а) и утка (б)

С учетом наложенных дополнительных ограничений конечно-разностный аналог системы (1)–(7) принимает вид:

$$\begin{aligned}
 & A_y \left[ \frac{(\alpha_{i+2} - 2\alpha_{i+1} + 2\alpha_{i-1} - \alpha_{i-2})}{2h_2^3} \cos^2 \alpha_i - \right. \\
 & \left. - \frac{(\alpha_{i+1} - 2\alpha_i + \alpha_{i-1})(\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1})}{h_2^3} \sin 2\alpha_i - \frac{(\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1})^3}{8h_2^3} (1,5 \cos^2 \alpha_i - 1) \right] - \\
 & - \left[ 0,5A_y \frac{(\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1})^2}{4h_2^2} \Big|_{z=0} + N_{O_1} \right] \frac{(\alpha_{i+1} - \alpha_{i-1})}{2h_2} + \frac{1}{\cos \alpha_i} q^y(z) = 0, \\
 & \frac{v_{i+1} - v_{i-1}}{2h_2} = \operatorname{tg} \alpha_i,
 \end{aligned}$$

$$A_o \left[ \frac{(\varphi_{i+2} - 2\varphi_{i+1} + 2\varphi_{i-1} - \varphi_{i-2})}{2h_1^3} \cos^2 \varphi_i - \frac{(\varphi_{i+1} - 2\varphi_i + \varphi_{i-1})(\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1})}{h_1^3} \sin 2\varphi_i - \frac{(\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1})^3}{8h_1^3} (1,5 \cos^2 \varphi_i - 1) \right] - \quad (8)$$

$$- \left[ 0,5A_o \frac{(\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1})^2}{4h_1^2} \Big|_{x=0} + N_{O_2} \right] \frac{(\varphi_{i+1} - \varphi_{i-1})}{2h_1} + \frac{1}{\cos \varphi_i} q^o(x) = 0,$$

$$\frac{y_{i+1} - y_{i-1}}{2h_1} = \operatorname{tg} \varphi_i,$$

$$q_{y1} \beta_o d_o = q_{o1} \beta_y d_y,$$

$$q_y \beta_o d_o = q_o \beta_y d_y,$$

$$2h_1 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=k-1} \operatorname{tg} \varphi_j + 2h_2 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=k-1} \operatorname{tg} \alpha_j = 0,5 [\eta_{os}(q_o) d_o + \eta_{y\delta}(q_y) d_y] +$$

$$+ 0,5 [\eta_{os}(q_{o1}) d_o + \eta_{y\delta}(q_{y1}) d_y]$$

$$2h_1 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=m-3} \operatorname{tg} \varphi_j = 2h_1 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=m+3} \operatorname{tg} \varphi_j;$$

$$2h_2 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=m-3} \operatorname{tg} \alpha_j = 2h_2 \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=m+3} \operatorname{tg} \alpha_j;$$

$$\alpha_{m-1} = -\alpha_{m+1},$$

$$\varphi_{m-1} = -\varphi_{m+1},$$

где  $k$  – номер узла с координатами  $x = L_y$  и  $z = L_o$  по осям  $O_2X$  и  $O_1Z$  соответственно.

Граничные условия для решения системы (8):  
для отрезка утка

$$\alpha_o = \theta; \alpha_{-1} = -\alpha_1 + 2\theta; \alpha_n = -\theta; \alpha_{n+1} = -\alpha_{n-1} - 2\theta;$$

$$V_o = z_o = 0; z_n = 3L_o; V_n = 0; V_{n+1} = V_{n-1} + 2h_2\theta;$$

для отрезка основы

$$\varphi_o = \theta; \varphi_{-1} = -\varphi_1; \varphi_n = 0; \varphi_{n+1} = -\varphi_{n-1};$$

$$y_o = z_o = 0; x_n = 3L_y; y_n = 0; y_{n+1} = y_{n-1};$$

Система (8) нелинейных алгебраических и трансцендентных уравнений может быть решена стандартными численными методами с использованием компьютерных технологий, в результате чего, помимо уработки нитей, могут быть определены такие параметры строения ткани армирующего каркаса ПНР, как высота изгиба нитей основы и утка и их отношение (порядок фазы строения ткани), форма осевой линии нити в ткани, ее длина, сила давления между нитями, толщина и наполнение ткани волокнистым материалом и т. д.

В качестве исходных данных для численного расчета перечисленных параметров строения ткани необходимо знать геометрические плотности ткани по основе и утку, жесткостные характеристики нитей и ряд других факторов.

Уработки нитей тканого армирующего каркаса ПНР на основе саржи 1/2 по найденным в результате численного решения системы (8) с использованием компьютерных технологий значениям  $\varphi_j$  и  $\alpha_j$  определяются по следующим формулам:

для основы

$$a_o = \left[ \frac{2}{n} \left( 1 + \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=0,5n-1} \frac{1}{\cos \varphi_j} \right) - 1 \right] 100, (\%)$$

для утка

$$a_y = \left[ \frac{2}{n} \left( 1 + \sum_{j=1,3,5,\dots}^{j=0,5n-1} \frac{1}{\cos \alpha_j} \right) - 1 \right] 100, (\%).$$

Для изготовления ПНР длиной  $S$  на основе саржи 1/2 понадобятся следующие длины:

основных нитей

$$S_o = S \left( 1 + \frac{a_o}{100} \right), \text{ м}$$

точной нити

$$S_y = \frac{2\pi RS}{L_y} \left( 1 + \frac{a_y}{100} \right), \text{ м.}$$

Полученные формулы позволяют решить проблему расчета уработки и необходимых длин нитей при изготовлении тканых армирующих каркасов ПНР на основе саржи 1/2.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Степанов С.Г. Зависимости для расчета внутреннего разрывного давления в напорных пожарных рукавах // Сб. материалов X Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов». – Иваново, 2019.
2. Степанов С.Г. Развитие теории формирования и строения ткани на основе нелинейной механики гибких нитей. Диссертация доктора технических наук. Иваново. ИГТА. 2007. – 443 с.
3. Годунов С.К., Рябенький В.С. Разностные схемы. М.: Наука, 1973. – 400 с.

УДК 621.7

*А. А. Суконщиков, П. В. Пучков*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МЕХАНИЗМОВ С ПОМОЩЬЮ 3D ПЕЧАТИ

**Ключевые слова:** 3D принтер, пластик PLA, экструдер, деталь.

**Аннотация:** статья посвящена вопросам создания деталей из пластика на 3D принтерах. В статье рассмотрена методика подбора параметров для печати на принтере WANHAO DUPLICATOR i3 V2.1. Также в статье рассматриваются причины получения брака при печати.

*A. A. Sukonshchikov, P. V. Puchkov*

## RESTORATION OF DETAILS OF MECHANISMS BY MEANS OF 3D PRINTING

**Keywords:** 3D printer, PLA plastic, extruder, part.

**Abstracts:** the article is devoted to the creation of plastic parts on 3D printers. The article describes the method of selection of parameters for printing on a printer WANHAO DUPLICATOR i3 V2.1. The article also discusses the reasons for obtaining a marriage when printing.

В 21 веке понятие трехмерная печать прочно вошло в нашу повседневную жизнь. 3D принтеры заняли уверенные позиции практически во всех отраслях человеческой деятельности, с их помощью не только изготавливают детали машин, элементы декора, детали для макетов, но даже распечатывают дома из бетона. В данной статье пойдет речь о принтере, предназначенном для печати деталей (изделий) небольшого размера из различных видов полимеров. В настоящее время на производствах, ремонтных и дизайнерских мастерских и т.п. используются принтеры для трехмерной печати, основанных на технологии FDM – печати, которая предполагает формирование объемной модели за счет послойного нанесения размягченного полимера («выращивания модели»). 3D принтеры формирующие трехмерные изделия из пластмассы получили наибольшую популярность из-за их невысокой стоимости и доступности. Для создания изделий применяют большое разнообразие пластмасс с различными свойствами. Рассмотрим наиболее часто применяемые пластики для трехмерной печати и рекомендуемые температуры размягчения этих пластиков: ABS пластик ( $T_{пл} = 250-280\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), PS/ABS пластик ( $T_{пл} = 260-300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), PLA пластик ( $T_{пл} = 190-230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), HIPS пластик ( $T_{пл} = 190-260\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), TPE-S пластик ( $T_{пл} = 190-230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), PVA пластик ( $T_{пл} = 160-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Отмечу, что пластмассы именно размягчаются, а не расплавляются, потому что процесс плавления характерен только для материалов с кристаллическим строением. По определению плавление - это процесс перехода вещества из твердого состояния в жидкое, сопровождающийся разрушением кристаллической решетки.

Далее рассмотрю процесс создания деталей из пластика с помощью недорогой и практичной модели 3d принтера - WANHAO DUPLICATOR i3 V2.1 (см. Рис.1).

Неоспоримыми достоинствами этого принтера является простота эксплуатации, удобство интерфейса, компактные размеры. На данном принтере для печати был использован пластик PLA (Полилактид), так как он термопластичен, нетоксичен, износостоек и биоразлагаем, да и температура его размягчения невысока всего 195°C. К недостаткам принтера Wanhao Duplicator i3 V2.1 могу отнести невысокую скорость печати, поэтому на нем целесообразно распечатывать детали небольшого размера, да и размер рабочего стола составляет 200 x 200 мм, а максимальная высота детали не должна превышать 180 мм. Важно отметить, что с помощью данного устройства можно создавать не только твердотельные модели, но и оболочковые, с ячеистой структурой внутри. Поэтому, считаю, что данная модель принтера прекрасно подойдет для бытовых нужд, для создания небольших изделий: брелоков, макетов, фигурок животных, шестеренок, втулок, заглушек много других мелочей.

Минимальная высота слоя, которую может напечатать экструдер данного принтера 0,1 мм, максимальная 0,4 мм. Как показывает опыт, для печати деталей с небольшим поперечным сечением порядка 2-4 мм, высоту слоя следует выставлять 0,1 мм и заполнение формы 100%, иначе данные элементы получаются очень хрупкими и просто рассыпаются в руках. Для крупных деталей такой проблемы не возникает и они получаются достаточно прочными. После многочасового подбора температуры для печати и температуры нагрева рабочего стола установлено, что для PLA пластика наиболее подходящими являются следующие настройки: температура экструдера 193-195°C, температура рабочего стола 50°C, скорость печати 20-40 (мм/с).

Еще один немаловажный момент на который необходимо обратить свое внимание при подготовке принтера к печати - это выравнивание рабочего стола по уровню. В процессе печати или неаккуратного удаления напечатанного изделия с рабочего стола можно случайно перекосить траверсу принтера, а также при многократном нагревании рабочего стола происходит его коробление. В результате зазор между рабочим столом и соплом печатающей головки на разных участках стола будет различаться, а это приведет к тому, что на всех участках рабочего стола первый слой пластика будет прилипать к столу. В результате получаем брак. Выровнять рабочий стол можно следующим образом: поместить белый лист бумаги формата А4 между рабочим столом и соплом печатающей головки, обеспечив тем самым необходимый зазор. Затем необходимо перемещать печатающую головку в углы стола и следить за тем, как изменяется зазор между соплом головки и рабочим столом. Если зазор неодинаковый, то следует его подкорректировать с помощью винтов расположенных по углам столика.

Теперь рассмотрим такой вопрос, как влияет расположение детали при печати на качество её поверхности. Рассмотрим пример использования принтера для восстановления сломанных или утраченных деталей механизмов: создание дубликата уте-

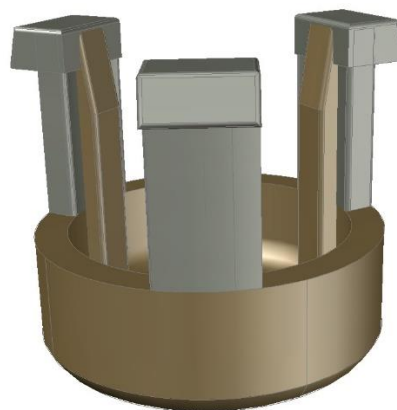


Рис. 1. Внешний вид 3D принтера Wanhao Duplicator i3 V2.1

рянного фиксатора поворотной рукоятки детской коляски (см. Рис. 2). Для решения этой задачи, в программе AutoCAD была создана трехмерную модель фиксатора в масштабе 1:1. Трехмерная модель фиксатора поворотной рукоятки представлена на рисунке 3. Трехмерная модель была сохранена в файл с расширением stl. Затем с помощью приложения wanhao i3 был создан файл с расширением gcod.

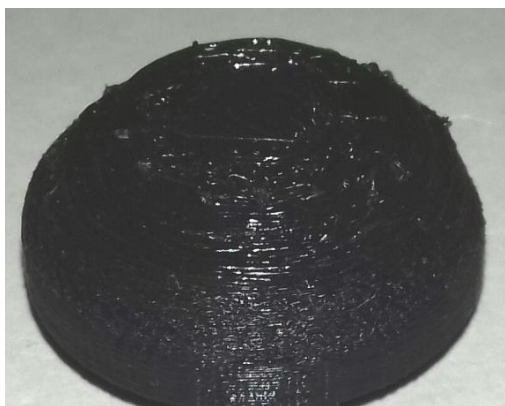


**Рис. 2.** Гнездо под фиксатор поворотной рукоятки детской коляски



**Рис. 3.** Трехмерная модель фиксатора

Качественно напечатать этот фиксатор с первого раза не удалось. Как оказалось, качество поверхности детали при печати на данном принтере во много зависит от того, как расположена модель при распечатке. При печати данного фиксатора кверху «ножками», на ее распечатывание было затрачено меньше времени, так принтер не строил поддержки, но качество поверхности детали получилось очень низким (см. Рис. 4). С учетом ошибок первой модели, фиксатор был распечатан «ножками» вниз, для этого пришлось печатать с подложкой и поддержками (плотность заполнения поддержки - 10%). Качество поверхности стало намного выше (см. Рис. 5). Диаметр фиксатора составляет всего 23,5 мм, а время печати составило 1 час 34 мин (Параметры печати: высота слоя 0,1 мм, скорость печати 25 мм/с, заполнение формы 100%).



**Рис. 4.** Верхняя часть фиксатора из PLA пластика (распечатывался «ножками» вверх)



**Рис. 5.** Фиксатор из PLA пластика (распечатывался «ножками» вниз)

Подведу итог выше сказанному можно сделать заключение, что благодаря принтеру Wanhao Duplicator i3 V2.1 и навыкам работы в программе AutoCAD была восстановлена работоспособность дорогостоящего изделия, причем себестоимость изготовления утерянных деталей весьма невелика. Поэтому с уверенностью можно сказать, что за 3D принтерами будущее.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Компьютерное проектирование в архитектуре. Archicad 11 – М.: ДМК Пресс, 2007. – 800 с.
2. Легкова, И.А. Применение информационных технологий для развития пространственного мышления обучающихся / И.А. Легкова, С.А. Никитина, А.В. Топоров, А.А. Покровский. – Информационные технологии в обеспечении федеральных государственных образовательных стандартов: материалы международной научно-практической конференции. – Елец, 2014.

УДК 621.314.22

*П. С. Сучкова, С. Б. Халенгинов, С. Н. Ульява, А. Л. Никифоров*  
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ПРОБЛЕМЫ РАСЧЕТА И ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНОЙ МОЛНИЕЗАЩИТЫ

**Аннотация:** При наличии большого количества предложений по использованию активной молниезащиты на российском рынке специалисты отмечают множество недостатков данной системы, одним из основных недостатков является проблема расчета соответствующих защитных характеристик.

**Ключевые слова:** активная молниезащита, традиционная молниезащита, зона защиты, молниеотвод, молниеприемник.

*P. S. Sychcova, S. B. Halenginov, S. N. Ulyeva, A. L. Nikiforov*

### PROBLEMS OF CALCULATION AND THE USE OF ACTIVE MAINETODAY

**Annotation:** In the presence of a large number of proposals for the use of active lightning protection in the Russian market, experts note the many shortcomings of this system, one of the main drawbacks is the problem of calculating the appropriate protective characteristics.

**Keywords:** active lightning protection, traditional lightning protection, protection zone, lightning rod, lightning receiver.

Нормативное обоснование и устройство активной молниезащиты имеет множество недостатков и пробелов в определении необходимости защиты и постоянных величин. В имеющихся на сегодняшний день в Российской Федерации документах по

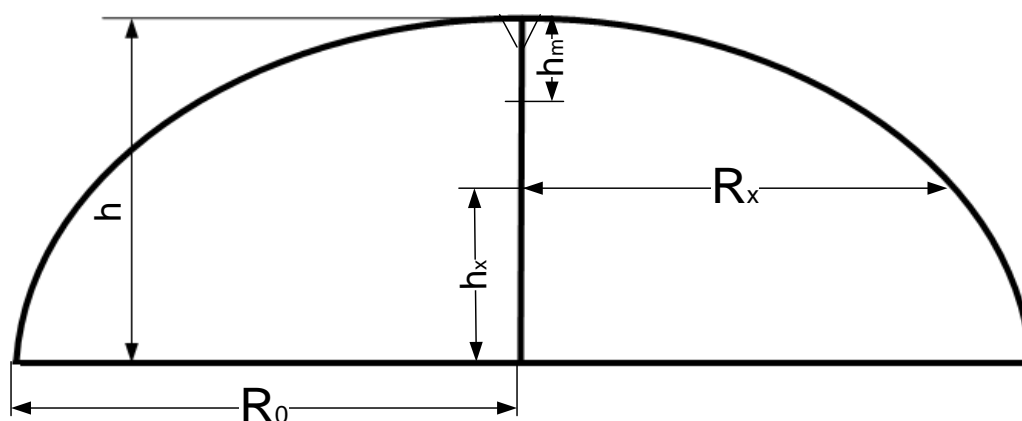
обоснованию и необходимости устройства систем молниезащиты отсутствует информация по применению активных молниеотводов [1-3]. Расчет зон и выбор комплектующих предоставляется каждой организацией отдельно. Расчет зон, высоты молниеотвода и необходимое количество каждая организация по устройству и монтажу активного молниезащиты трактует сама, при этом модифицируя и видоизменяя его на свой лад [4-8]. Последующий расчет активной молниезащиты проводится в соответствии с предложенном вариантом организации «ГазХимКомплект»[9]. Данная организации предоставляет методику расчета активной молниезащиты с молниеотводом М-200, который имеет сертификат соответствия № ССВЭ RU.M064.H.00938 и разрешение на применение № РСС 00-33816.

Все элементы молниеотвода активного смонтированы в герметичном корпусе, на внешней поверхности которого расположена изоляционная конструкция, предохраняющая от развития поверхностного электрического разряда, а также система защитных разрядников, предохраняющих молниеотвод от разрушения в момент разряда молнии.

В верхней части активного молниеотвода находится молниеприемный стержень и четыре антенны. Нижний фланец предназначен для крепления по месту установки и имеет дополнительные винты для заземления молниеотвода. Высота конструкции — 2.3 метра, вес – 14 килограмм. Активный молниеотвод М-200 выпускается серийно.

По заявке «ГазХимКомплект» пространственная конфигурация зоны действия молниеотвода позволяет осуществлять эффективную защиту зданий и сооружений различной конфигурации (рисунок).

- Где  $h_x$  — высота защищаемого объекта, м;
- $R_x$  — радиус зоны защиты объекта на высоте, м;
- $h$  — высота до вершины молниеотвода, м;
- $h_m$  — высота молниеотвода, м;
- $R_0$  — радиус зоны защиты объекта на уровне земли, м;
- $K$  — коэффициент, полученный экспериментально.



**Рисунок.** Пространственная конфигурация зоны действия молниеотвода



В соответствии с уровнем защиты «ГазХимКомплект» предлагает вероятность защиты молниеотводом М-200:

1. Уровень 1, вероятность защиты  $P=0,995$ ;  $K=0,01$ ;
2. Уровень 2, вероятность защиты  $P=0,98$ ;  $K=0,005$ ;
3. Уровень 3, вероятность защиты  $P=0,95$ ;  $K=0,003$ .

Расчет зон защиты производится по формулам:

$$R_0 = \sqrt{\frac{h}{K}}$$
$$R_x = \sqrt{\frac{h - h_x}{K}}$$

При этом в данной методике предлагается выбрать радиус защиты ( $R_0$ ) в соответствии с уровнем защиты и высотой до вершины молниеотвода.

Анализируя методику расчета уровня защиты и зон можно выделить несколько существенных недостатков и пробелов, которые влекут за собой вероятность удара молнии в объект.

При расчете уровни защиты:

1. При определении рабочей площади собирания нет описания и обоснования выбора наивысшей точки, как например в РД относительно дыхательных арматур. В предлагаемых организациях прописывается, что активный молниеприемник устанавливается в наивысшей точке объекта, при этом не описывается, что именно за объект частный дом, высотное здание, здание архитектурного наследия или промышленный объект. Данный аспект в определении уровня защиты играет важную роль в особенности размещения и функциональной направленности объекта и его защищенности.

2. Ожидаемая частота ударов молнии также не может быть точно рассчитана, так как зависит от рабочей площади собирания, а также среднегодовой плотности ударов молнии в районе, в котором расположен объект. При этом нахождение среднегодовой плотности ударов молнии нигде не прописано, а также нет ссылок на нормативно-правовой документ в отличие от определения удельной плотности ударов молнии по РД.

3. Признанная частота ударов молнии в строение характеризуется четырьмя показателями при этом нет обоснования и ссылок на документы при определении  $C_3$  так называемого риска объекта и параметров данного показателя. Следовательно, нельзя точно определить к какому риску относится объект и его вероятность возникновения аварии.

При расчете зон:

1. Основным и главным недостатком является, что единой методики расчета зон активной молниезащиты нет, так как каждая организация, имеющая необходимую документацию, которая позволяет производить устройство и монтаж молниеотвода придумывает собственную методику, по которой их молниеотвод «защищает» объект. При этом полное отсутствие нормативно-правовой базы в данной сфере никак не влияет на увеличение спроса на данное устройство.

2. Разбирая запатентованную методику «ГазХимКомплект» можно опять же сказать, что в ней полностью отсутствуют упоминания о дыхательной арматуре и других выступающих конструкциях, а также месте размещения и количество молниеотводов или дополнительного обоснования для расчета нескольких молниеотводов.

3. Пространственная конфигурация зоны действия молниеотвода. Большим пробелом в пространственной конфигурации является заявленное расстояние от наивысшей точки объекта до молниеприемника. Данное расстояние никак не описывается в методике расчета зон защиты, следовательно, можно сказать, что данная методика не дает гарантии безопасности при установке активной молниезащиты.

4. Одним из недостатков является расчет радиуса защиты  $R_0$ . В методике предлагается как рассчитать, так и найти в таблице данное значение. Если расчет обоснован формулой, то значение из таблицы можно рассматривать по-разному, так как найти величину радиуса защиты  $R_0$  предлагают в соответствии с высотой от фундамента до вершины молниеотвода и уровня защиты, в которых уже было перечислено множество ошибок и недостатков.

Таким образом, устройство активной молниезащиты имеет множество недостатков в области определения уровня и зон защиты, которые влекут за собой снижению безопасности на масло-топливохранилище или вовсе ее отсутствие, в связи с отсутствием нормативно-правовой базы и рассмотрение особенностей функционального назначения объекта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 22.07.2008 №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». - Режим доступа: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru)
2. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений РД 34.21.122 87- Режим доступа: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru)
3. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций СО 153-34.21.122-2003- Режим доступа: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru)
4. Зоричев А.Л. «Первая Российская конференция о молниезащите», <http://www.teziz.ru/pages.phtml?menu=1&page=14>;
5. «Современные технологии молниезащиты», [http://www.mzke.ru/sovremennye\\_tehnologii\\_molniezashhity.html](http://www.mzke.ru/sovremennye_tehnologii_molniezashhity.html);
6. «Активная молниезащита-преимущества под вопросом?», <http://komfortnyj-dom.info/active-lightning-benefits-under-the-question-2.html>;
7. «Активная молниезащита», <http://www.zandz.ru/molniezashchita/vneshnyaya/aktivnaja.html>;
8. «Как обстоят дела с активной молниезащитой в мире?», <https://www.amnis.ru/aktivnaya-molniezashita>;
9. Активный молниеотвод М-200. Расчет зон защиты для активного молниеотвода. <http://gazhim.ru/product/aktivnyiy-molnieotvod-m-200>.

УДК 620.197

*В. В. Терентьев, П. Г. Шатило*

ФГБОУ ВО «Ивановская ГСХА имени Д.К. Беляева»

## УСТАНОВКА ДЛЯ АНТИКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ НАРУЖНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ТЕХНИКИ

**Ключевые слова:** коррозия, пескоструйная обработка, адгезия, газодинамическое напыление.

**Аннотация:** повышение надежности технических средств за счет улучшения ее сохранности является актуальной задачей на современном этапе. Перспективным направлением при этом является антикоррозионная обработка наружных поверхностей методами холодного газодинамического напыления. Однако применяемые установки для реализации данной технологии являются недостаточно эффективными. Данная работа посвящена разработке простой по конструкции установки для антикоррозионной защиты наружных поверхностей технических средств.

*V. V. Terentyev, P. G. Shatilo*

## INSTALLATION FOR CORROSION PROTECTION OF EXTERNAL SURFACES OF EQUIPMENT

**Keywords:** corrosion, sandblasting, adhesion, gas-dynamic spraying.

**Abstract:** improving the reliability of technical means by improving its safekeeping is an urgent task at the present stage. A promising direction in this case is the anti-corrosion treatment of external surfaces by cold spray. However, the applicable designs used to implement this technology are not effective enough. This work is devoted to the development of a simple installation design for corrosion protection of external surfaces of technical means.

Одной из причин, негативно влияющих на техническое состояние любого технического средства, является атмосферная коррозия. При этом ухудшается как внешний вид изделия, так и его прочностные характеристики. Известно, что износостойкость трущихся деталей во многом определяется прочностью их поверхностного слоя [1, 2]. Таким образом, коррозионное поражение наружной поверхности стального изделия снижает его противоизносные характеристики, а, соответственно и ресурс.

Скорость коррозионного поражения изделий из железоуглеродистых сплавов зависит от ряда факторов, основными из которых являются: температура окружающей среды, влажность воздуха, загрязненность воздуха.

Наиболее распространенным методом борьбы с атмосферной коррозией является покрытие поверхности защитными составами (консервационными материалами, лакокрасочными покрытиями). Надежность защиты поверхности от коррозионных поражений во многом определяется прочностью соединения консервационной пленки с поверхностью. При этом для надежного сцепления металлическую поверхность предварительно подготавливают (проводят очистку, удаление с поверхности следов коррозии, обезжиривание). В качестве антикоррозионных составов применяются раз-

личные ингибиторы коррозии. Так, например, авторами [3-5] разработан и предлагается высокоэффективный ингибитор коррозии «Телаз», представляющий из себя неиногенное поверхностно-активное вещество с молекулами дифильного строения. Применение данного ингибитора позволяет эффективно замедлять коррозионные процессы как в случае наружной, так и внутренней консервации техники.

Кроме этого в настоящее время эффективным методом защиты наружных поверхностей от коррозии является нанесение на железоуглеродистые сплавы соединений цветных пластичных металлов (цинк, алюминий и т.д.). Для этого в основном применяются гальванические процессы. Однако данные процессы предусматривают применение реагентов, которые после использования должны быть нейтрализованы и утилизированы.

Одним из перспективных методов нанесения на поверхности разнообразных материалов является метод холодного газодинамического напыления (Cold Spray).

Данный метод заключается в формировании покрытий за счет высокой кинетической энергии металлических частиц, движущихся со сверхзвуковой скоростью. К числу преимуществ данного метода можно отнести: возможность формирования покрытия в атмосфере воздуха при нормальном давлении, отсутствие интенсивного окисления частиц порошка, из которого формируется покрытие, отсутствие отходов, требующих нейтрализации и утилизации, возможность нанесения покрытия на локальные поверхности, возможность нанесения различных по составу и многокомпонентных покрытий и т.д.

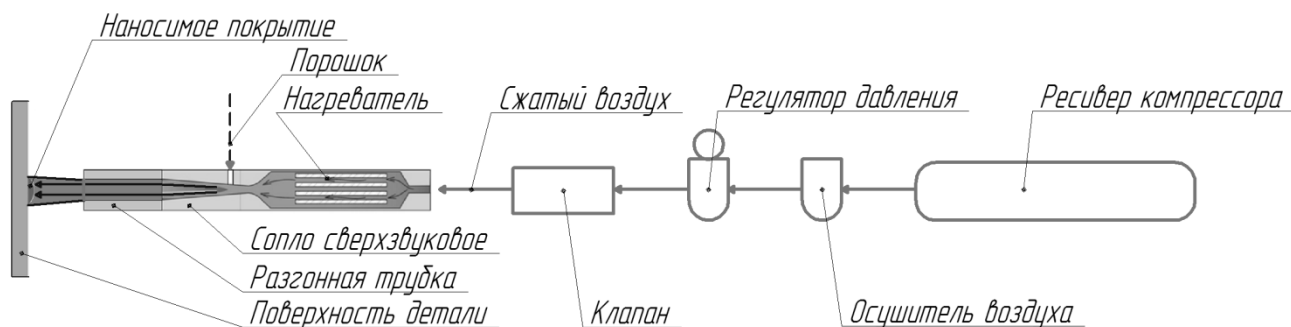
Для метода холодного газодинамического напыления характерна высокоскоростная деформация напыляемых частиц при ударе, приводящая к образованию адгезионно-когезионных связей между основой и покрытием.

Однако существующие разработанные технологии и технические средства их реализации по холодному газодинамическому нанесению материалов отличаются высокой стоимостью и энергопотреблением.

В рамках данного исследования авторами была разработана и изготовлена ручная установка для газодинамического напыления. Схема установки представлена на рисунке.

Нанесение покрытия осуществлялось следующим образом. Сжатый воздух от ресивера компрессора под избыточным давлением, составляющим 0,8-0,9 МПа поступает в осушитель, где происходит отделение из воздуха частиц воды, далее осушенный воздух поступает в регулятор давления, с помощью которого устанавливается необходимое давление для осуществления процесса нанесения покрытия. Из регулятора давления через клапан, включаемый на рукоятке ручного металлатора, сжатый воздух поступает к нагревателю, где происходит нагрев воздуха до необходимой температуры, далее подогретый сжатый воздух поступает к сужающейся части сверхзвукового сопла. Проходя через критическое сечение сопла воздух разгоняется до сверхзвуковых скоростей и поступает в разгонную трубку. За счет эжекции из питателя к соплу поступает порошок, который, смешиваясь с потоком воздуха в разгонной трубке со сверхзвуковой скоростью поступает к поверхности изделия. Ударяясь о поверхность, наносимый материал под действием ударной высокоскоростной деформации закрепляется на поверхности, формируя необходимое покрытие.

Изменяя давление воздуха и температуру нагрева можно изменять качественные характеристики наносимого покрытия.



**Рисунок.** Схема установки для холодного газодинамического напыления материалов

Разработанная установка может работать в режиме пескоструйной очистки при подготовке поверхности перед нанесением покрытия. Для этого в питатель загружается абразив (прокаленный песок или окись алюминия). Устанавливается необходимое давление поступающего в сопло воздуха (при этом нагреватель не включается). Из питателя абразив поступает в сопло, разгонную трубку и на поверхность очищаемой детали, где и происходит пескоструйная очистка поверхности.

Применение разработанной установки для нанесения на поверхность антикоррозионных покрытий позволяет получать сплошные покрытия, отличающиеся высокими прочностными характеристиками.

Нанесение покрытий осуществлялось на стальные пластины из Ст.3 размерами 20x80x2 мм. Перед нанесением осуществлялась пескоструйная обработка образцов прокаленным песком, с размером частиц 250 мкм, а также обезжиривание образцов уайт-спиритом. Далее наносилось покрытие при давлении воздуха 0,8-0,9 МПа. Расстояние от торца разгонной трубки до образца составляло от 10 до 15 мм. В качестве покрытия использовалась механическая смесь порошков алюминия, цинка и меди. В результате на поверхности образцов образовывался сплошной металлический слой. Толщина слоя составляла 0,2 мм.

Прочность сцепления покрытия определялась по ГОСТ 9.302-88 методом изгиба. Для этого образцы закреплялись в тисках и изгибались плоскогубцами под углом 90° сначала в одну сторону, затем в другую несколько раз до излома. В месте излома отслаивания покрытия не происходило, что свидетельствует о высокой прочности сцепления покрытия с основой.

Таким образом, разработанная установка, отличающаяся простотой и невысокой стоимостью, может с успехом использоваться в условиях различных мастерских в качестве технического средства для подготовки техники к хранению, а также при различных ремонтно-восстановительных работах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников В.Г., Терентьев В.В., Зарубин В.П. Исследование влияния на микротвердость поверхности пар трения смазочных композиций, наполненных порошками силикатов. // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 2007. – т.50, вып.1. – С.110-111.
2. Терентьев В. В., Краев Д. Е. Исследование влияния режимов электроискровой обработки на твердость поверхности нержавеющей стали // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов IX Всероссийской научно-практической

конференции, Иваново, 12 апреля 2018 г. – Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России.– 2018. – С. 244-247.

3. Гайдар С.М., Пыдрин А.В., Карелина М.Ю. Технология консервации автотракторных дизелей рабоче-консервационным составом // Техника и оборудование для села. – 2014.– №12.– С. 18-23.

4. Гайдар С.М., Быкова Е.В. Применение препарата «телаз» в качестве диспергирующей добавки для органоразбавляемых лакокрасочных материалов // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 5. – С. 42-44.

5. Гайдар С.М. Теория и практика создания ингибиторов коррозии для консервации сельскохозяйственной техники./ Монография.– М.: ФГНУ «Росинформагротех». 2011.–304 с.

УДК 658.5.012.14

*А. Р. Федорич, Б. С. Четвериков, Н. С. Любимый*

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

### **АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ДРОБЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПУТЁМ УПРАВЛЕНИЯ РАЗМЕРОМ ВЫХОДНОЙ ЩЕЛИ ДРОБИЛКИ**

**Ключевые слова:** дробилка, алгоритм, управление, дробильно-сортировочное производство, строительные материалы, измельчение.

**Аннотация:** Данная статья посвящена модернизации дробильно-сортировочного производства путём автоматизации технологического процесса получения строительных материалов. В отличие от стандартного типа производства, АСУ показывает особенные черты, характеристики и параметры, которые и устанавливают перечень важнейших требований, предъявляемых к нему. АСУ выстроенным на основе иерархической структуры и системного подхода должно быть многоуровневым производством. Произведено моделирование процесса дробления.

*A. R. Fedorich, B. S. CHetverikov, N. S. Lyubimyi*

### **AUTOMATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF CRUSHING CONSTRUCTION MATERIALS BY CONTROLLING THE SIZE OF THE OUTPUT GAP OF THE CRUSHER**

**Keywords:** crusher, algorithm, management, crushing and screening production, building materials, grinding.

**Abstracts:** This article is devoted to the modernization of crushing and screening production by automating the technological process of obtaining building materials. Unlike the standard type of production, the ACS shows the special features, characteristics and parameters that establish the list of the most important requirements for it. ACS built on the basis of a hierarchical structure and a systematic approach should be a multi-level production. Produced modeling of the crushing process.

В настоящее время дробильно-сортировочное используемое для строительной сферы представляет собой спектр с огромным комплектом технологических операций. Данный спектр обладает следующими функциями: доставка каменного материала, очистка материала, сортировка, дробление, сортировка необходимых фракций по стадиям дробления, складирование, транспортировка. Эти процессы являются очень важными процессами для строительной сферы, а так же являются недостаточно высокоэффективными.

Для того что бы повысить эффективность технологических процессов дробления и сортировки материалов необходимо разработать новые научные методы и подходы для улучшения автоматизированной системы управления.

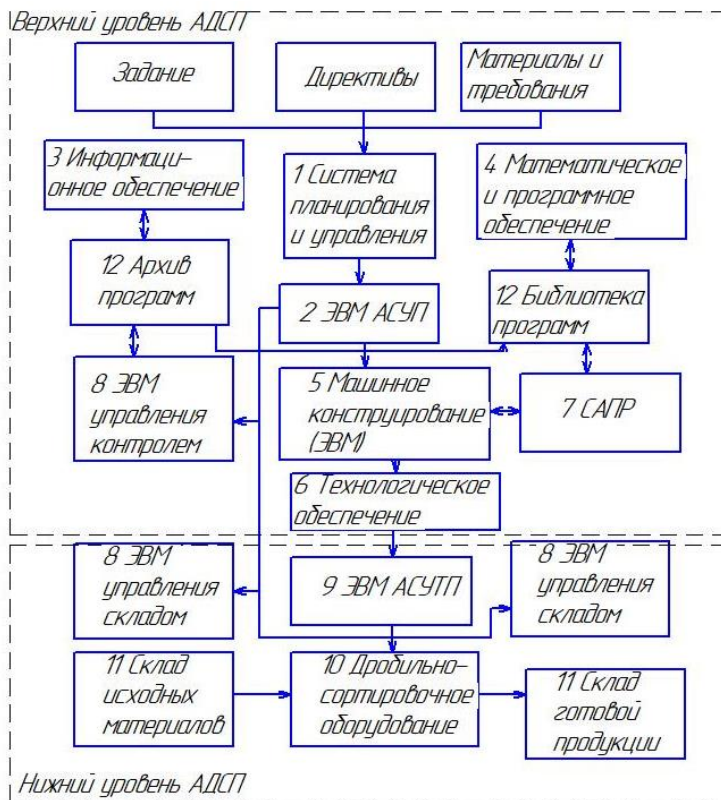
На сегодняшний день автоматизированные системы управления технологическими процессами содержат смешанные элементы, объединенные для достижения необходимого результата. Обработка информации в подобных системах совершается с использованием компьютера, который имеет математическое и программное обеспечение. В нём происходят такие операции как: формирование целесообразной команды для управления процессом и для достижения назначенной цели, выбор наилучшего режима работы всех элементов и самой системы в целом.

В настоящее время существуют подходы к решению проблем автоматизации процесса управления производством во время проектирования и их адаптации к влияниям окружающей среды, на непостоянство параметров на этапе функционирования имеют общесистемный характер, но непрерывное улучшение уровня автоматизации, требует разработки и улучшения новых подходов, моделей и методов постановки задач в этой области. Данная ситуация показывает актуальность темы работы, которая направлена на решение научных проблем автоматизации технологических процессов.

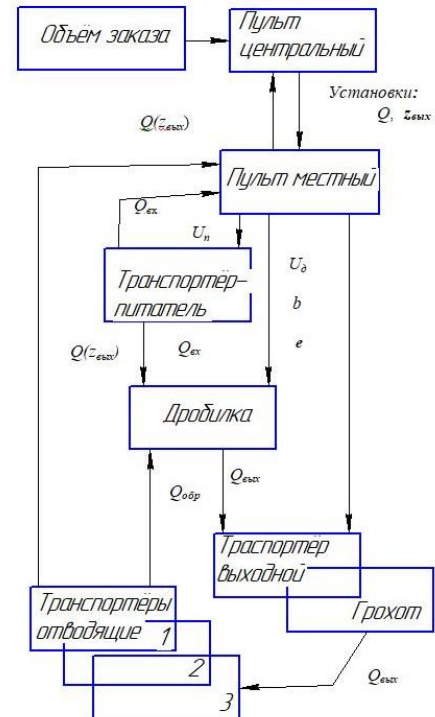
Главная цель данной работы это повышение эффективности автоматизированной системы производства за счет разработки новых математических методов, адаптивных управляющих алгоритмов и программ управления уменьшением крупности материала до необходимой величины[1].

Исходя из всеобщих требований к сложной автоматизированной системе, основной чертой является программирование функциональной деятельности с обширным применением микроконтроллеров и компьютеров. Применение при проектировке конструкций и технологий при помощи компьютеров указывает на необходимость разработки эластичного математического обеспечения. При его разработке необходимо произвести определение показателей качества и эффективности, с помощью которых определяется производительность дробильных машин, с возможностью получения продуктов необходимого фракционного состава, и минимальным затрачиваемым временем и энергией.

АСУ содержит три уровня. В первый уровень входит - автоматизированное производство с механизмами и агрегатами для дробления и сортировки материалов, управляющими системами, приборами, обеспечением и транспортными средствами. Второй уровень служит для создания технологической структуры, способной обеспечить наилучшую оптимальность производства и надёжность. Третий уровень существует для доставки сырья и материалов и автоматизированного управления производством в целом, иначе говоря, для планировки производства[3].



**Рис. 1.** Схема автоматизированного дробильно-сортировочного производства



**Рис. 2.** Структурная схема технологического процесса дробления

Основополагающей чертой АСУ является смоделировать и запрограммировать функциональную деятельность с применением микроконтроллеров и компьютеров. Использование при проектировании конструкций и технологий АСУ компьютеров и микроконтроллеров устанавливает необходимость создание гибкого математического обеспечения. АСУ имеет возможность соединять программное и адаптивное управление. При помощи адаптивного управления предоставляется выполнимость нахождения оптимальной стратегии производства при отсутствии предварительного учёта возможной исходной информации.

Исследование автоматизации дробильного оборудования в строительной сфере показывает его недостаточную эффективность. Изучения по качеству дробления, производительности дробильного агрегата, организации дробильного производства в подавляющем большинстве обращены лишь обоснованию конструктивных решений и технологических нормативов[2].

Проблемам автоматизации процессов измельчения и сортировки уделено весьма незначительное количество трудов. Работы же по вопросам повышения эффективности АСУ как многоуровневой структуры почти отсутствуют. Исследования которые направлены на увеличением эффективности в многоуровневой АСУ, в условиях рыночных связей, в которых порой почти отсутствует планирование перечня выходных материалов производства, но зато обладает место стохастический спрос на подходящий перечень производства. Поэтому требуется создать некоторую наилучшую процедуру планирования производства и скапливания резервов выходного материала.



В итоге реализации автоматизированной системы управления дробильно-сортировочного производства появляется возможность удовлетворить спрос на выходные материалы и добиться максимального дохода производства, при условии если обладаем информацией производственной и коммерческой цены за единичный материал измельчения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четвериков Б.С., Чунихин К.С. Алгоритм генерации управляющей программы восстановительной обработки поверхности катания железнодорожного колеса // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 3744-3747.

2. Романович А.А., Романович М.А., Колесников Р.С. Новая технология и оборудование для производства композиционных вяжущих // В сборнике: Энерго-ресурсосберегающие технологии и оборудование в дор. и строй отраслях Материалы Международной научно-практической конференции. 2017. С. 253-259.

3. Романович М.А., Посохов И.В. К вопросу измельчения материалов // В сборнике: новые информационные технологии в науке сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2017. С. 104-107.

УДК 658.5.012.14

*А. Р. Федорич, Б. С. Четвериков, Н. С. Любимый*

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ РАЗМЕРОМ ВЫХОДНОЙ ЩЕЛИ ДРОБИЛКАМИ

**Ключевые слова:** экспериментальное исследование, управление размером выходной щели дробилок, математическая модель.

**Аннотация:** В данной статье проводились экспериментальные исследования закономерности управления дробилками. Определена динамика оптимального управления щековой дробилки и конусной. Представлена закономерность оптимального управления размером выходной щели щековой и конусной дробилки для случая, когда дисперсия ошибки системы управления составляет  $\eta^2=5\text{мм}$ .

*A. R. Fedorich, B. S. Chetverikov, N. S. Lyubimyi*

### EXPERIMENTAL STUDY OF THE CONTROL OF THE SIZE OF THE OUTPUT GAP OF CRUSHERS

**Keywords:** experimental research, control of the size of the exit gap of crushers, mathematical model.

**Abstracts:** In this article, experimental studies of the management of crushers were carried out. The dynamics of optimal control of jaw crusher and cone are determined. The pattern of opti-

mal control of the size of the output slit of the jaw and cone crusher is presented for the case when the variance of the control system error is  $\eta^2=5\text{мм}$ .

Экспериментальные исследования правил автоматизации для конусных и щековых машин реализовывались по спецификации, отвечающей этой сферы деятельности с верностью нахождения правила останова (нахождения окончания процесса управления по достижении требуемого значения крупности)  $e_{\text{end}}=1\text{мм}$ .

В табл. 1, 1 и на рис. 1, 1 изображены итоги статистического моделирования динамики одномерного оптимального управления дробилками для одного выполнения стохастического процесса. Результаты изображены в виде табличной и графической зависимости для данной величины крупности  $x(n)$ , управления  $u(n)$ , величины крупности после управления –  $s(n)$  и значения размера щели  $b^z(n)$ . Обоснованием этих функций является  $n$  – количество управлений (количество выборок стохастической величины крупности продукта измельчения в процессе управления).

**Таблица 1. Оптимальное управление щековой дробилкой для  $q=r=1$ ,  $x_0=100\text{мм}$ ,  $s_0=10\text{мм}$ ,  $h^2=0$**

$n$	$x, \text{мм}$	$u, \text{мм}$	$s, \text{мм}$	$b^z, \text{мм}$	$z_0, \text{мм}$
1	102,0	-57,0	45,0	69,0	10,0
2	47,0	-23,0	24,0	37,0	10,0
3	20,0	-6,0	14,0	21,0	10,0
4	14,0	-2,0	12,0	18,0	10,0
5	11,0	-1,0	10,0	16,0	10,0
6	10,0	0,0	10,0	15,0	10,0

Начальными значениями, для полученных числовых показаний, были выбраны: средняя величина крупности первоначального продукта –  $x_0= 100$  мм, среднее квадратичное отклонение первоначального продукта -  $s_0 = 10\text{мм}$ , требуемая величина крупности материала дробления  $z_0 = 10\text{мм}$ . При этом  $h^2 = 0$ ,  $q = r = 1$ , а процесс выборки исполнялся с переменной дисперсией.

При реализации автоматизации системы производства оптимальное управление процессом измельчения выполняется с помощью изменения величины выходной щели  $b^z_j$  для каждого  $j$ -го момента управления.

АСУ обязана обладать в составе своего математического и программного снабжения зависимость величины выходной щели дробилки от крупности материалов измельчения в каждый момент управления -  $b^z_j = f(z_j)$ . Эта зависимость, была приобретена при моделировании оптимального управления.

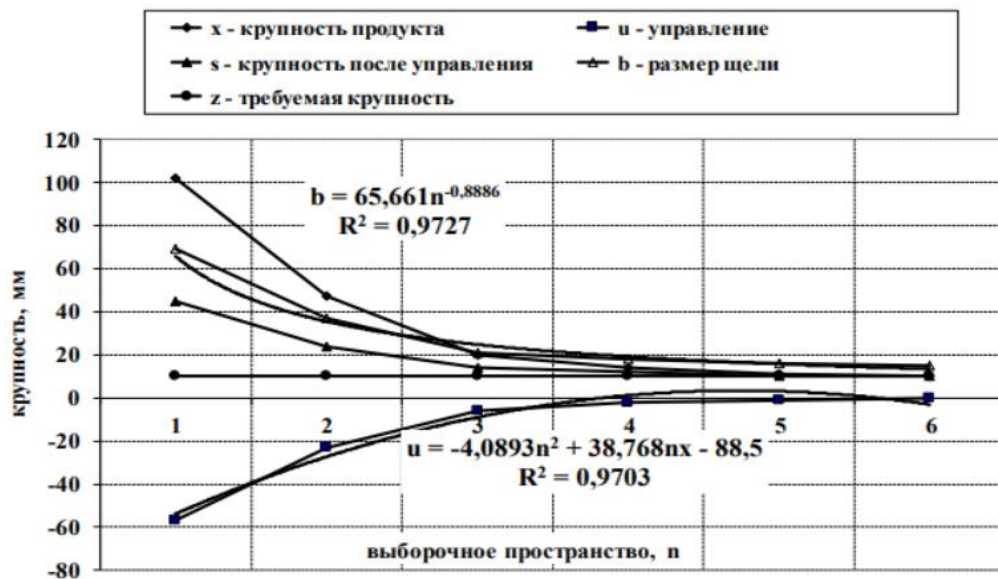


Рис. 1. Динамика оптимального управления щековой дробилкой

Таблица 2. Оптимальное управление конусной дробилкой для  $q=r=1, x_0=100\text{мм}, s_0=10\text{мм}, h^2=0$

$n$	$x, \text{мм}$	$u, \text{мм}$	$s, \text{мм}$	$b^2, \text{мм}$	$z_0, \text{мм}$
1	109,9	-60,0	49,9	179,6	10,0
2	53,3	-24,2	28,1	101,2	10,0
3	29,7	-10,9	18,7	67,3	10,0
4	19,6	-5,2	14,4	51,8,0	10,0
5	14,3	-2,3	12,0	43,2	10,0
6	11,9	-1,0	10,9	39,2	10,0

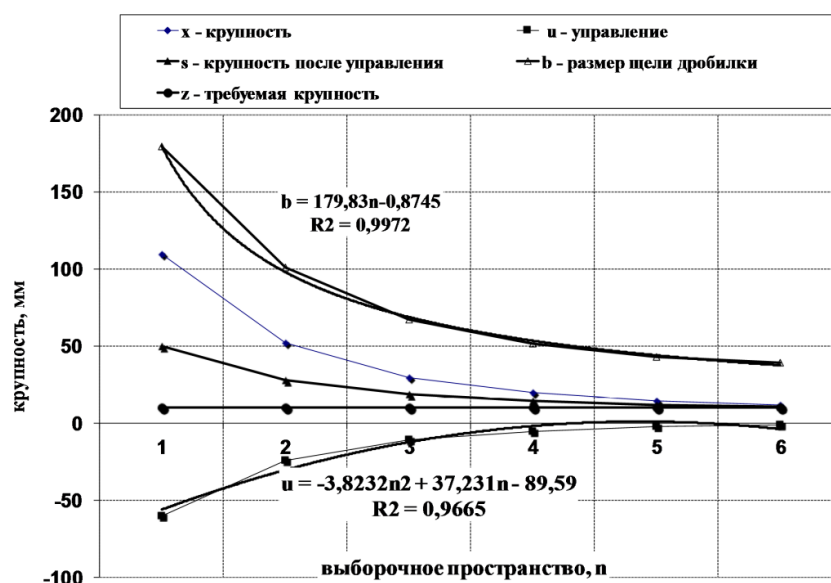


Рис. 2. Динамика оптимального управления конусной дробилкой

Упрощение правил наилучшего управления  $u=f(n)$  и величины выходной щели  $b^z=f(n)$  для щековой и конусной дробилки, при безошибочной работе системы управления, представлены в табл. 3.

**Таблица 3. Аппроксимации основных параметров оптимального управления щековой и конусной дробилкой при  $h^2=0$**

Агрегат	$u=f_1(n)$	$R^2$	$b^z=f_2(n)$	$R^2$
Щековая дробилка	$-4,0893n^2+38,768n-88,5$	0,9703	$65,661n^{-0,8886}$	0,9727
Конусная дробилка	$-3,8232n^2+37,231n-89,59$	0,9665	$179,83n^{-0,8745}$	0,9972

Исследование приобретённых приближенных решений сложной функции с помощью более простых выявил довольно значительный уровень адекватности аналитических зависимостей соответствующим статистическим результатам моделирования. О значительном уровне адекватности показывают величины коэффициента детерминации  $R^2$ .

Правила наилучшего управления  $u=f(n)$ , аппроксимированный полиномиальным трендом второго уровня от величин выборки (состояния системы в данный момент), обладает значительный коэффициент детерминации. Данная ситуация обозначает, что наиболее адекватной статистической моделью наилучшего управления является полиномиальная регрессия [1].

Кроме того, применение в статистической модели преобразования дисперсии крупности материала измельчения, описываемого выражениями (3.39,3.41), оставляет наилучший порядок величин  $u_1, \dots, u_n$ .

Целесообразно, что правила управления для величин выходной щели этих дробилок  $b^z=f(n)$ , является функцией крупности материала измельчения с значительным уровнем адекватности, аппроксимированы уровнем регрессией.

При присутствии ошибок в системе управления, и при других одинаковых ситуациях, вырастает выборочное пространство. Но и в данном обстоятельстве сохраняется значительная адекватность разработанной статистической модели наилучшего процесса управления.

На рис. 3. изображены закономерности наилучшего управления величиной выходной щели конусной и щековой машины для ситуации, когда дисперсия погрешности системы управления составляет  $h^2=5\text{мм}$ [2].

Аппроксимация закономерности управления для конусной дробилки в данных исследованиях реализовывалась экспоненциальной зависимостью, как располагающей более значительным коэффициентом детерминации по сравнению со степенной зависимостью.

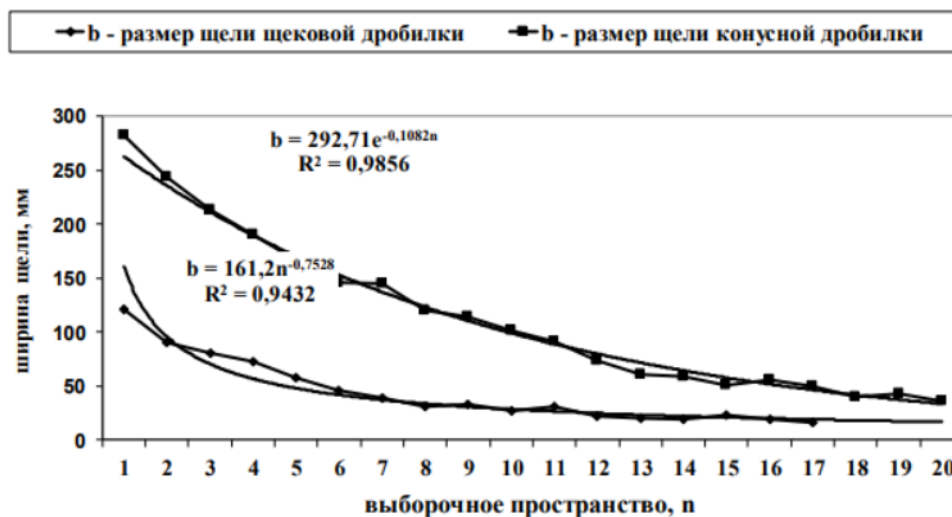


Рис. 3. Оптимальное управление размером щели при ошибке управления  $h^2=5\text{мм}$

Значительные показания коэффициентов детерминации для указанных аппроксимаций свидетельствует и для этих исследований адекватность разработанной статистической модели.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Четвериков Б.С., Чунихин К.С. Алгоритм генерации управляющей программы восстановительной обработки поверхности катания железнодорожного колеса // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. 2016. С. 3744-3747.
2. Романович М.А., Чеховской Е.И., Апухтина И.В. Анализ технологии получения кубовидного щебня в конусных инерционных дробилках // В сборнике: Международная научно-техническая конференция молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова 2017. С. 2817-2820.

УДК 614.843

**М. М. Халитиев, И. В. Сараев, А. Г. Бубнов**

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДИКИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОБЩЕЙ ПОЛЬЗЫ ДЛЯ ВЫБОРА ОБОРУДОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ ДАГЕСТАН

**Ключевые слова:** выбор, общая польза, гидравлический аварийно-спасательный инструмент, подразделение МЧС России.

**Аннотация:** в статье продемонстрирована возможность применения комплексного критерия относительной общей пользы для выбора предпочтительного комплекта гидравли-

ческого аварийно-спасательного инструмента (ГАСИ). Актуальность темы исследования подкреплена статистическими данными о дорожно-транспортных происшествиях, произошедших на территории Республики Дагестан и их последствиях. Выявлено, что выбранный комплексный критерий применим для выбора ГАСИ, но имеет некоторые ограничения в применении.

*M. M. Halituev, I. V. Saraev, A. G. Bubnov*

## EVALUATION OF THE APPLICATION OF THE RELATIVE GENERAL USE TECHNIQUE FOR THE SELECTION OF EQUIPMENT ON THE EXAMPLE OF FIRE-RESCUE DIVISIONS OF THE REPUBLIC OF DAGESTAN

**Keywords:** selection, general benefit, hydraulic rescue tool, a division of the Russian Emergencies Ministry.

**Abstracts:** the article demonstrated the possibility of using the complex criterion of relative general benefits for choosing the preferred set of hydraulic rescue tools (HRT). The relevance of the research topic is supported by statistical data on traffic accidents that occurred on the territory of the Republic of Dagestan and their consequences. It is revealed that the selected complex criterion is applicable for the selection of HRT, but has some limitations in the application.

Пожарно-спасательные гарнизоны (ПСГ) МЧС России подразделяются на территориальные и местные. Местные ПСГ входят в состав территориального. В местные ПСГ объединяются подразделения пожарной охраны, расположенные на территориях городского или сельского поселения, одного или нескольких граничащих между собой муниципальных районов, городских округов и внутригородских территорий городов федерального значения [1].

Цель исследования – определение применимости комплексного критерия относительной общей пользы для выбора гидравлического аварийно-спасательного инструмента и рекомендации ПСГ МЧС России Республики Дагестан. Для успешного достижения цели исследования необходимо решить несколько задач:

- 1) осуществить сбор статистической информации;
- 2) провести расчёты комплексного критерия относительной общей пользы;
- 3) проранжировать результаты расчёта комплексного критерия относительной общей пользы в зависимости от предпочтительности выбора;
- 4) дать рекомендацию для лиц, принимающих решение.

Из [2] следует, что в период с 01.01.2017 по 01.01.2018 на территории республики произошло 1680 дорожно-транспортных происшествий (ДТП) при этом пожарно-спасательные подразделения (ПСП) выезжали на каждое ДТП. Среднее время реагирования ПСП составило 3,7 мин. В ДТП пострадало 2624 транспортных средства и 2514 человека получили травмы различной тяжести. Для лучшей интерпретации данных статистики и характеристики картины с ДТП в целом по Северо-Кавказскому Федеральному округу (СКФО) они будут представлены на рис. 1–8.

Проводя анализ данных рис. 1–8 можно сделать вывод, что на территории Республики Дагестан происходит достаточно большое количество ДТП, в том числе и ДТП с тяжёлыми последствиями. Что подтверждает актуальность выполнения работы по обоснованию выбора ГАСИ и дальнейшего оснащения ПСП МЧС России Республики Дагестан.

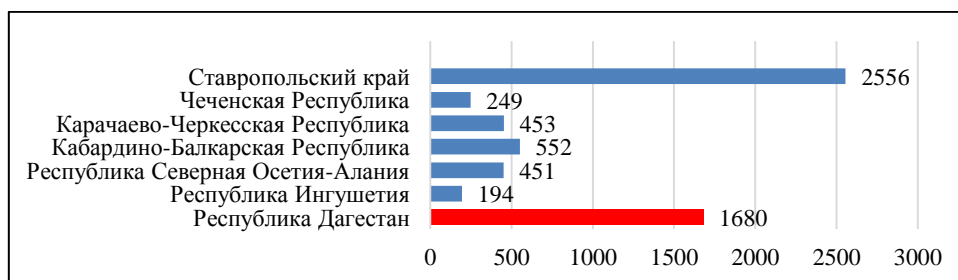


Рис. 1. Количество выездов ПСП МЧС России СКФО на ДТП

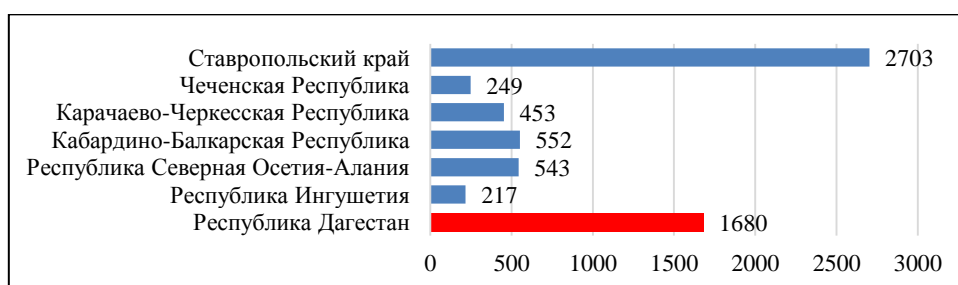


Рис. 2. Количество среагировавших ПСП МЧС России СКФО на ДТП

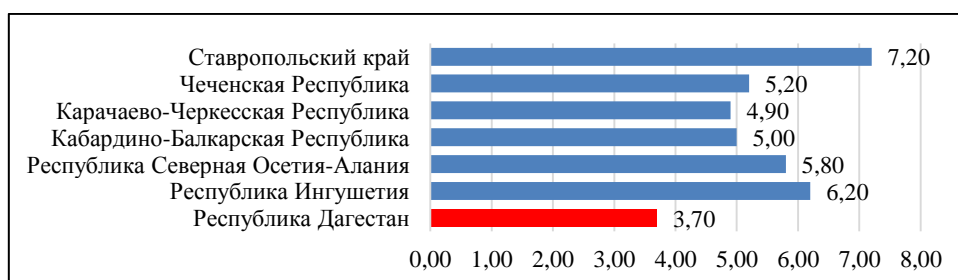


Рис. 3. Среднее время реагирования ПСП на ДТП, мин.

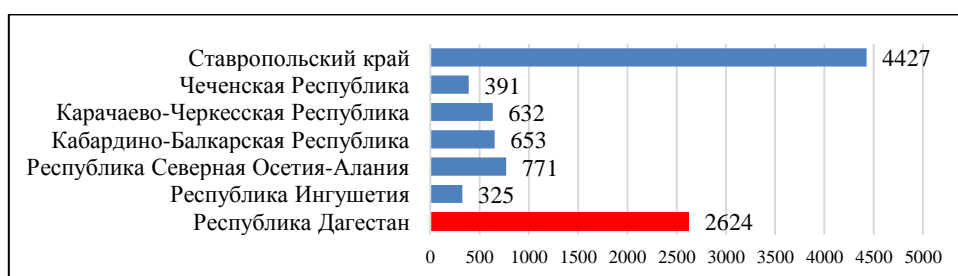
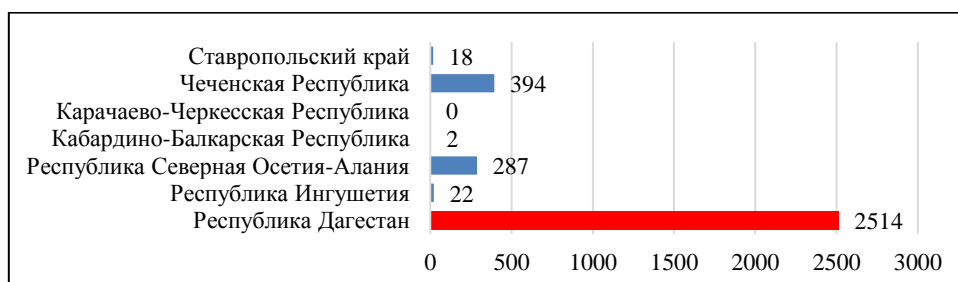
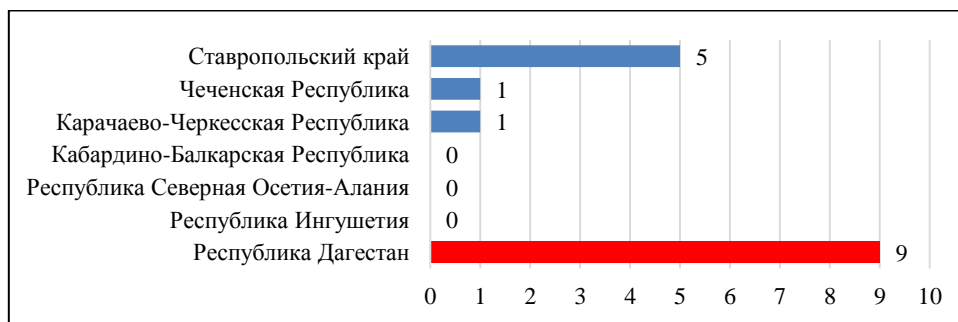


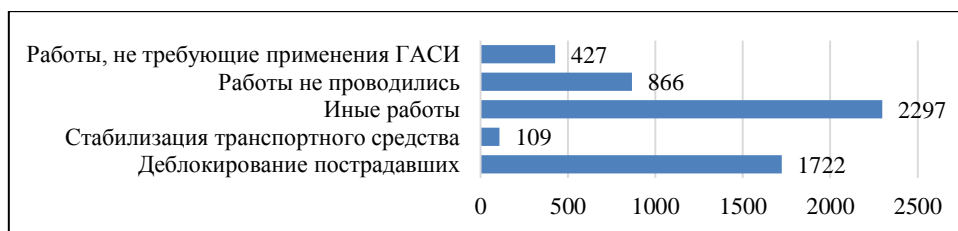
Рис. 4. Количество поврежденных транспортных средств, шт.



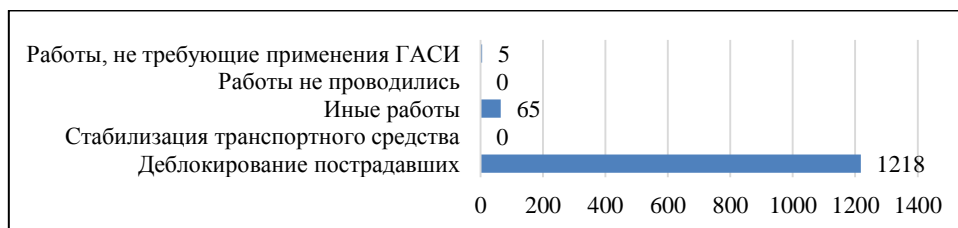
**Рис. 5.** Количество граждан, которым оказана первая помощь, чел.



**Рис. 6.** Количество ДТП на территории СКФО с тяжелыми последствиями



**Рис. 7.** Распределение проводимых ПСП работ на месте ДТП в зависимости от их видов на территории СКФО



**Рис. 8.** Распределение проводимых ПСП работ на месте ДТП в зависимости от их видов на территории Республики Дагестан

В настоящее время ПСП МЧС России Республики Дагестан оснащены разнообразным ГАСИ, а именно: «Медведь», «Ермак», «Спрут», «Круг» и «Агрегат» [3]. В количественном и процентном соотношении оснащённости ПСП ГАСИ представлены на рис. 9, 10.



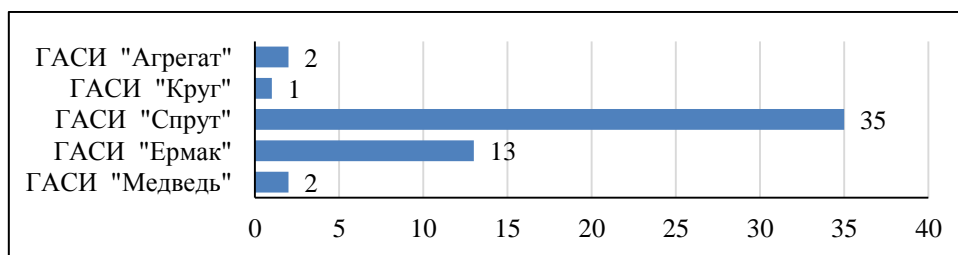


Рис. 9. Количество ГАСИ, находящихся у ПСП Республики Дагестан

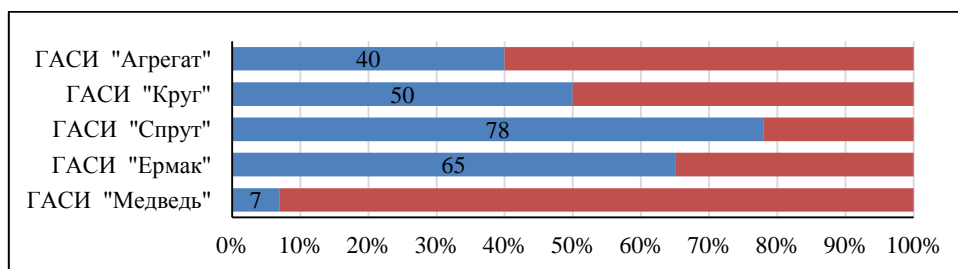


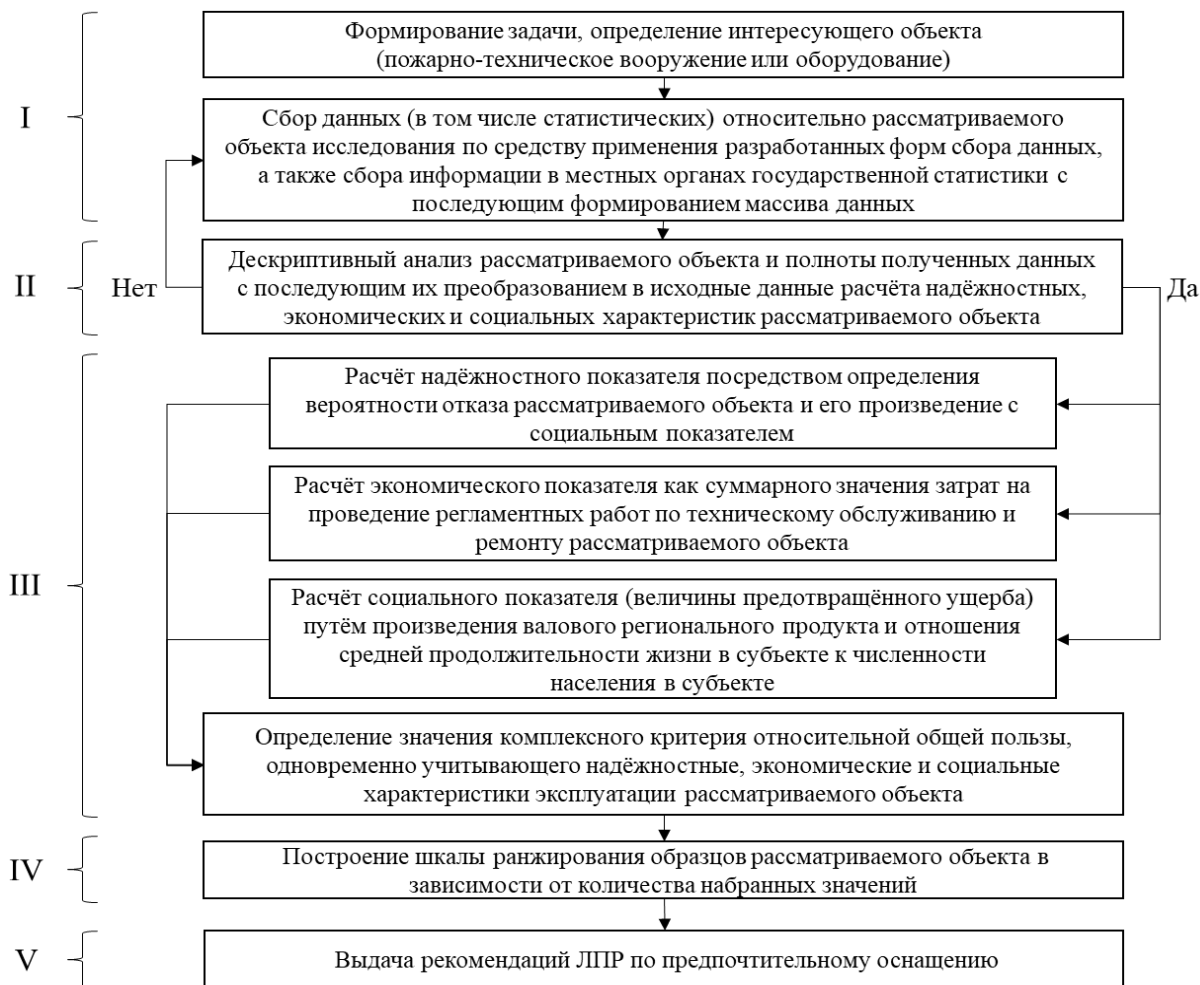
Рис. 10. Обеспеченность ПСП Республики Дагестан на 01.01.2018 г.

Выбор того или иного ГАСИ, и рекомендация по оснащению ПСП, может проводиться с помощью комплексного критерия относительной общей пользы (ККООП), который успешно апробирован на примере выбора другого пожарно-технического вооружения (ПТВ), такого как пожарные рукава и средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (СИЗОД) [4, 5]. Следует также отметить, что ККООП основывается на надёжностных, социальных и экономических показателях, наиболее полно характеризующих ГАСИ.

Методика расчёта и применения ККООП состоит из 5 этапов и представлена на рис. 11.

На первом этапе осуществляется выбор ГАСИ, а также проводится сбор статистических данных об оснащении, а также об отказах в работе рассматриваемых ГАСИ. На втором этапе осуществляется дескриптивный анализ полученных надёжностных, экономических и социальных данных, оценка их полноты и преобразование в исходные данные расчёта. В случае недостаточности исходных данных необходимо повторно выполнить первый этап, в случае же достаточности – перейти к следующему. На третьем этапе выполняется расчёт надёжностных, экономических и социальных характеристик эксплуатации ГАСИ с последующим вычислением ККООП. На четвёртом этапе осуществляется ранжирование полученных значений ККООП. На завершающем, пятом этапе выдаётся рекомендация для лиц, ответственных за материально-техническое оснащение ПСП в соответствии с результатом ранжирования, которую можно использовать в качестве обоснования предпочтительности для технического оснащения ПСП.

Полученная статистическая информация послужила в качестве исходной для расчёта надёжностных, социальных и экономических показателей, наиболее полно характеризующих ГАСИ в соответствии с [5]. Результаты расчётов ККООП представлены в табл. и на рис. 12.

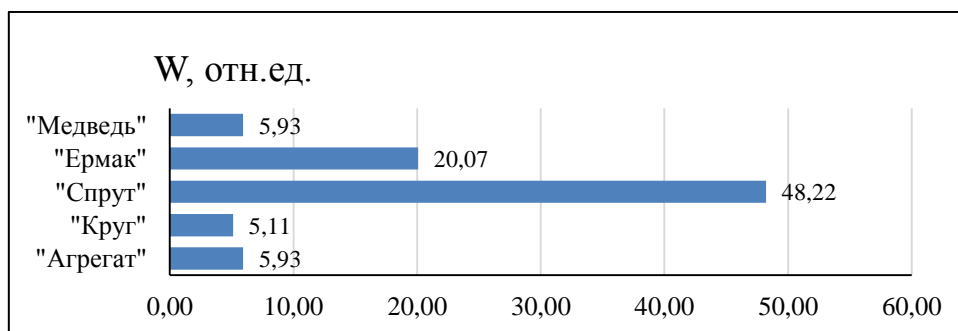


**Рис. 11.** Структура методики выбора ГАСИ  
(римскими цифрами отражены этапы реализации методики)

**Таблица. Результаты расчёта надёжных, социальных и экономических показателей, характеризующих ГАСИ**

Наименование ГАСИ	Показатель						
	$Q$	$P$	$B$ , руб./год	$G$ , руб./год	$V$ , руб./год	ООП	Ранг
«Агрегат»	0,838	0,162	2541163,72	15000	15159813,41	5,93	3
«Круг»	0,974	0,026	2951782,43			5,11	4
«Спрут»	0,099	0,901	299376,00			48,22	1
«Ермак»	0,244	0,756	740193,05			20,07	2
«Медведь»	0,838	0,162	2541163,72			5,93	3

где  $Q$  – вероятность отказа;  $P$  – вероятность безотказной работы;  $B$  – величина техногенного риска, выраженная в стоимостном виде;  $G$  – величина экономических затрат на регламентные работы по техническому обслуживанию и ремонту;  $V$  – величина предотвращённого ущерба, ООП – относительная общая польза.



**Рис. 12.** Итоговые значения предпочтительности выбора ГАСИ для Республики Дагестан, рассчитанные с помощью ККООП

Для расчёта ККООП для ГАСИ, в качестве исходных использовались статистические данные наиболее полно характеризующие рассматриваемый ГАСИ (предоставленные ГУ МЧС России по Республике Дагестан [2]). В результате вычислений лицам, принимающим решение (ЛПР) рекомендован комплект «СПРУТ». Последнее можно объяснить тем, что за год, вышеуказанные комплекты показали наиболее высокие значения показателя надёжности – вероятности безотказной работы ( $P$ , ВБР). Следует отметить, что расчёт и дальнейшее применение ККООП позволяют осуществлять рациональный выбор предпочтительного комплекта ГАСИ. Для ЛПР выбор становится более явным, что и продемонстрировано на рис. 12.

Таким образом, использованный в работе подход расчёта ККООП, основанный на использовании фактических эксплуатационных данных работы ГАСИ в конкретном регионе (гарнизоне), в том числе на его фактических показателях надёжности, снижает вероятное субъективное влияние «человеческого фактора» (ЛПР) при определении предпочтительного ГАСИ для технического оснащения ПСП МЧС России. Стоит отметить тот факт, что потенциал методики расчёта ККООП полностью раскрывается только в условиях прозрачности получения реальных показателей надёжности. Таким образом, при отсутствии данных по отказам ГАСИ, применение ККООП незначительно ограничено. Несмотря на это, зная эксплуатационные затраты на техническое обслуживание и ремонт ГАСИ, а также показатели надёжности (безотказности и работоспособности, выдаваемые фирмами-производителями сертифицированного ГАСИ), можно рационально подобрать наиболее подходящие комплекты ГАСИ для конкретных субъектов РФ, в т.ч. и для Республики Дагестан.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон «О пожарной безопасности» от 21.12.1994 № 69. Доступ из нормативно-справочной системы «КонсультантПлюс» URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5438/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/) (дата обращения 10.03.2019).
2. Информационно-Аналитическая Система в области ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий [Электронный ресурс] ВНИИ ГОЧС (ФЦ). URL: <http://abdtp.ru/> (дата обращения 10.03.2019).
3. Сведения о наличии оборудования, инструмента и имущества в подразделениях ФПС ГПС ГУ МЧС России по Республике Дагестан по состоянию на 01.10.2018 года. [Электронный ресурс] ГУ МЧС России по Республике Дагестан. URL: <http://05.mchs.gov.ru/> (дата обращения 10.03.2019).

4. Сараев, И.В. Относительная общая польза – дополнительный комплексный критерий выбора пожарных рукавов / И.В. Сараев, А.Г. Бубнов, В.Ю. Курочкин, Ю.Н. Моисеев, А.Д. Семенов // Пожаровзрывобезопасность. 2015. № 24 (4). С. 66–71.

5. Сараев, И.В. Комплексный критерий для выбора пожарно-технического оборудования при оснащении подразделений МЧС России / И.В. Сараев, А.Г. Бубнов // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 3 (47). С. 86–93.

УДК 614.842

*Р. И. Харламов, А. А. Смирнов*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **РЕЗЕРВНЫЙ ИСТОЧНИК ПИТАНИЯ ДЛЯ ПОЖАРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ**

**Ключевые слова:** инструмент с электроприводом, аккумуляторы, литий-титановые аккумуляторы, источники питания.

**Аннотация:** в работе изложена проблема отказа источников питания для механизированного инструмента с электроприводом. Представлен обзор существующих на сегодняшний день автономных источников питания. Предложено альтернативное решение по применению литий-титановых аккумуляторов в качестве резервных источников электроэнергии для соответствующего пожарного инструмента.

*R. I. Kharlamov, A. A. Smirnov*

## **A BACKUP POWER SOURCE FOR FIRE EQUIPMENT, ELECTRICALLY**

**Keywords:** electric tool, batteries, lithium-titanium batteries, power supplies.

**Abstracts:** the paper presents the problem of power failure for mechanized tools with electric drive. an overview of the existing autonomous power sources is presented. an alternative solution for the use of lithium-titanium batteries as backup power sources for the corresponding fire tool is proposed.

Нам известно, что для тушения пожаров, проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ используется пожарное оборудование различное по виду привода и источникам питания. Говоря об инструменте для проведения специальных работ на пожаре различают инструмент с мотоприводом, гидроприводом, пневмоприводом и электроприводом [1].

Все вышеизложенные представители механизированного инструмента по виду привода выполняют неотъемлемые задачи по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ. В данной статье речь пойдет об инструменте, работающем посредством потребления электрического тока и напряжения.

Инструменты с электрическим приводом представляют собой электро и вибро-безопасные переносные агрегаты, состоящие из корпуса, встроенных в корпусе электропривода, передаточного механизма, рабочего органа и пусковой аппаратуры [1].

Источниками питания инструментов с электроприводом при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ являются электрогенераторы постоянного тока в переносном исполнении или стационарном на базе специальных пожарных автомобилей. В свою очередь работоспособность электрогенераторов обеспечивается непосредственно от мотоагрегатов или посредством дополнительной трансмиссии от двигателя базового шасси пожарных автомобилей.

Следовательно, имея значительный набор необходимого условного оборудования, обеспечивающего выработку электроэнергии, повышается вероятность потенциальных преждевременных отказов в случае выхода хотя бы одного из перечисленных элементов источников питания. Для решения данной проблемы предлагается провести анализ альтернативных по финансовой составляющей и эффективности источников питания, в случае отказа штатных источников для обеспечения работоспособности инструмента с электроприводом. Идея сборки альтернативного источника питания заключается в использовании аккумуляторных батарей напряжением 12 вольт с последующим инверторным преобразованием на 220 вольт. Необходимо только определиться с выбором аккумуляторных батарей, обеспечивающих токоотдачу на обеспечение работы электроинструмента.

Свинцово-кислотный аккумулятор (рис. 1) – тип аккумуляторов, получивший широкое распространение ввиду умеренной цены, неплохого ресурса (от 500 циклов и более), высокой удельной мощности. Принцип работы свинцово-кислотных аккумуляторов основан на электрохимических реакциях свинца и диоксида свинца в водном растворе серной кислоты [2].

При подключении к электродам аккумулятора внешней нагрузки начинается электрохимическая реакция взаимодействия оксида свинца и серной кислоты, при этом металлический свинец окисляется до сульфата свинца. Недостатками таких аккумуляторов являются: негативность хранения в разряженном состоянии, высокая чувствительность к изменению температуры, низкая плотность энергии, низкая ограниченность циклов заряда, негативное экологическое воздействие, транспортные ограничения.

Принцип и устройство гелевого аккумулятора аналогичны кислотному. В нем так же кислота и дистиллированная вода, вот только в кислоту добавлена двуокись кремния, которая и превращает получившийся электролит в гелеобразную жидкость.

AGM (Absorbent Glass Mat (рис. 2) — пропитанный стекломат/стекловолокно). В этих батареях электролит не залит как все привыкли, внутри корпуса находится стекловолокно, пропитанное электролитом. Аккумуляторы AGM имеют дополнительные преимущества: высокие пусковые токи, длительный срок службы, отсутствует принципиальная возможность утечки, очень устойчивая работа при низких температурах, быстрая зарядка, он может принимать до 30% силы тока от емкости как и гелевый, их можно устанавливать в любом положении, что бывает необходимо при расположении дополнительного питания в нестандартных местах. К недостаткам можно отнести высокую цену (по сравнению с кислотными) и возможно большой вес [3].

Аккумуляторы, построенные на основе различных соединений лития (рис. 3), сейчас являются одними из наиболее емких и компактных, за что и получили широкое распространение. В настоящее время, наиболее эффективными считаются литий-титановые элементы. Электроды из диоксида титана позволяют увеличить удельную емкость аккумулятора на 60% при этом используя материал значительно менее доро-

гой в производстве, более долговечный и позволяющий уменьшить время заряда по сравнению с обычной графитовой литий-ионной батареей.

Литий-титанатные аккумуляторы  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (более сокращённое название - LTO) представляют собой серьёзную заявку на большую часть рынка аккумуляторов. Характеристики таких аккумуляторов выглядят внушительно: количество циклов заряд-разряд до падения ёмкости на 20% (при токе разряда 0.5 C – 10 000 000, при токе разряда 3 C – более 10 000), максимальный ток заряда – 10 C (заряд до 80% ёмкости за 5 минут - некоторые модели за 1 минуту), срок годности более 10 000 циклов, в то время как обычные литий-ионные батареи 800 циклов, внутреннее сопротивление  $\sim 1.0$  мОм, работа при температурах до  $-40$  °C, саморазряд – 2–5% в месяц, пожаро и взрывобезопасность в сравнении с обычными Li-ion аккумуляторами.



Рис. 1. Свинцово-кислотный аккумулятор



Рис. 2. Аккумулятор с AGM-технологией



Рис. 3. Литий-титановые элементы

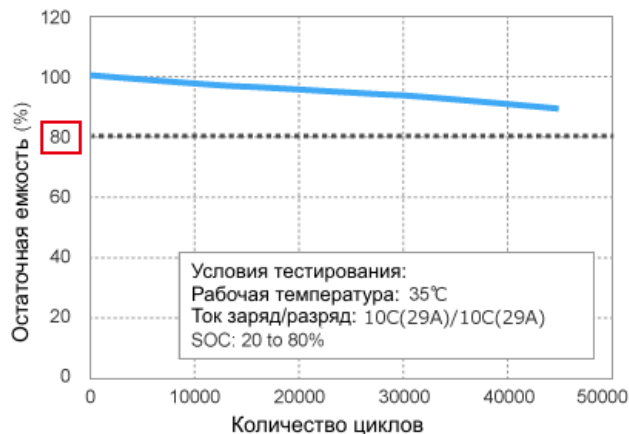
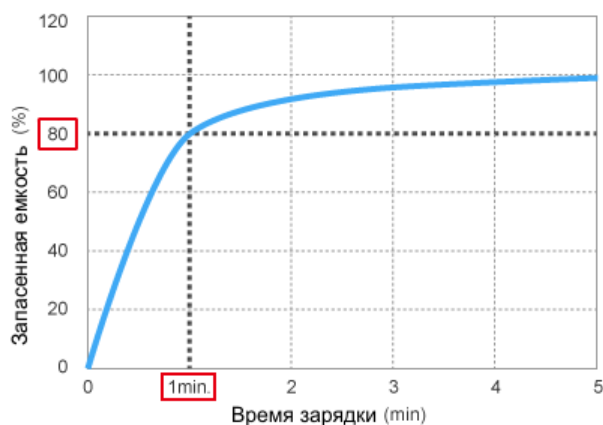


Рис. 4. Параметры эксплуатации литий-титановых аккумуляторов

Благодаря таким преимуществам литий-титанатных аккумуляторов, как высокая безопасность, высокая стабильность, длительный срок эксплуатации, батареи из литий-титаната могут получить широкое применение в пожарной технике и пожарной охране в целом.

В данный момент литий-титанатные аккумуляторы находятся в стадии активного распространения на новые и новые отрасли. Ограничивающим является лишь тот фактор, что об этом виде аккумуляторов известно еще не многим.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р 50982-2009 Техника пожарная. Инструмент для проведения специальных работ на пожарах. Общие технические требования. Методы испытаний.
2. Свинцово-кислотные аккумуляторы URL: <https://ru.wikipedia.org/> (дата обращения: 30.08.2018).
3. AGM-технология URL: <https://ru.wikipedia.org/> (дата обращения: 30.08.2018).
4. Литий-титанатные аккумуляторы или Lithium Titanium Oxide (LTO) батареи и их преимущества URL: <http://ndft.com.ua/litij-titanatnye-akkumulyatory-ili-lithium-titanium-oxide-lto-batarei-i-ih-preimushchestva> (дата обращения: 30.08.2018).

УДК 614.842

*Р. И. Харламов, А. С. Ефанов*

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ РАБОТОЙ ГАЗОСТРУЙНОГО ВАКУУМНОГО АППАРАТА

**Ключевые слова:** пожарный насос, надежность вакуумной системы, газоструйный вакуумный аппарат.

**Аннотация:** в работе изложена значимость центробежных пожарных насосов при тушении пожаров и необходимость наличия дополнительной вакуумной системы для их полноценной работы. Обозначены недостатки современных и ранее используемых вакуумных систем. Предложено техническое решение по автоматизации вакуумной системы, выполненной на основе газоструйного вакуумного аппарата.

*R. I. Kharlamov, A. S. Efanov*

### AUTOMATED MANAGEMENT OF THE GAS-JET VACUUM DEVICE

**Keywords:** fire pump, fire fighting, vacuum system, gas-jet vacuum apparatus.

**Abstracts:** the paper describes the importance of centrifugal fire pumps in extinguishing fires and the need for an additional vacuum system for their full operation. Disadvantages of modern and previously used vacuum systems are indicated. A technical solution for the automation of the vacuum system based on a gas-jet vacuum apparatus is proposed.

На территории Российской Федерации ежегодно происходит более 100 тысяч пожаров различной сложности, которые приносят значительный ущерб экономике государства в целом и его гражданам в частности. Из официальных источников [1] известно, что только за 10 месяцев 2018 года в России произошло 94911 пожаров с прямым ущербом в 11,1 млн. рублей.

Для успешной борьбы с пожарами и их последствиями наряду с целым комплексом мер обеспечения пожарной безопасности необходимо решать задачу совершенствования пожарной техники, и в том числе - повышать эффективность работы пожарных автомобилей - автоцистерн и автонасосов - основных технических средств, при ликвидации возникшего пожара, находящихся на вооружении пожарной охраны.

Стоит отметить, что используемые в пожарной технике центробежные насосы могут начать подачу воды в пожарные рукава только после предварительного заполнения водой их рабочей полости и всасывающей линии. Вместе с тем, более чем на 30% всех пожаров подача воды пожарными автоцистернами (ПА) производится из открытых водоисточников. Одним из основных недостатков всех центробежных насосов является отсутствие возможности самостоятельного изначального забора воды из открытого водоисточника, в связи с чем все центробежные насосы оборудуются дополнительной вакуумной системой, которая в 80% представлена шибберными (пластинчатыми) насосами (рис. 1).

Не вызывает сомнений удобство и эргономичность эксплуатации шибберных насосов, но зачастую данный тип насосов выходит из строя, при попадании, например, небольшой измороси, на блок управления насоса. Также не стоит забывать золотое правило «больше электроники – больше поломок».

Все мы прекрасно знаем, что силовая установка (насос) не будет работать без его предварительного заполнения водой. Из чего следует, что именно от исправности вакуумной системы в целом во многом и будет зависеть оперативность подачи огнетушащих веществ на тушение пожара.

В основе идеи предлагается возобновить эксплуатацию ранее используемой вакуумной системы, выполненной в виде газоструйного вакуумного аппарата (ГСВА) (рис. 2). Блок газоструйного вакуум-аппарата и газовой сирены состоит из корпуса 5 и крышки 10, изготовленных из серого чугуна. К корпусу 5 присоединены резонатор 1 и распределитель 2, составляющие газовую сирену, и струйный насос 12. Внутри корпуса на осях 6 установлены заслонки 3 и 14. На концах осей закреплены рычаги 7 и 11. Пружиной 13 заслонки прижаты к своим седлам. В этом положении отработавшие газы проходят от двигателя к глушителю.

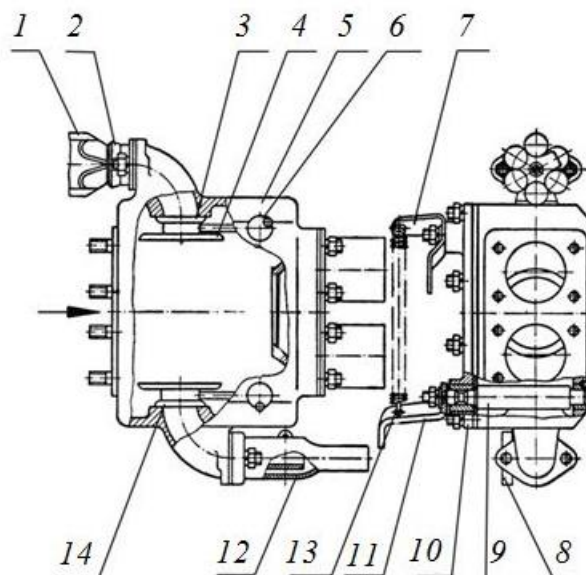
В данной системе ручное управление вакуумным затвором увеличивает время на подготовку автомобиля к тушению пожара и требует высоких практических навыков водителей для заполнения рабочей полости насоса водой. Соответственно в случае обрыва водяного столба во всасывающей линии – время забора и подачи воды увеличивается.

Для решения данной проблемы мы предлагаем доработать вакуумную систему на основе ГСВА узлами и механизмами, исключающими участие водителя при заборе воды из открытого водоисточника при всех возможных ситуациях (рис. 3).

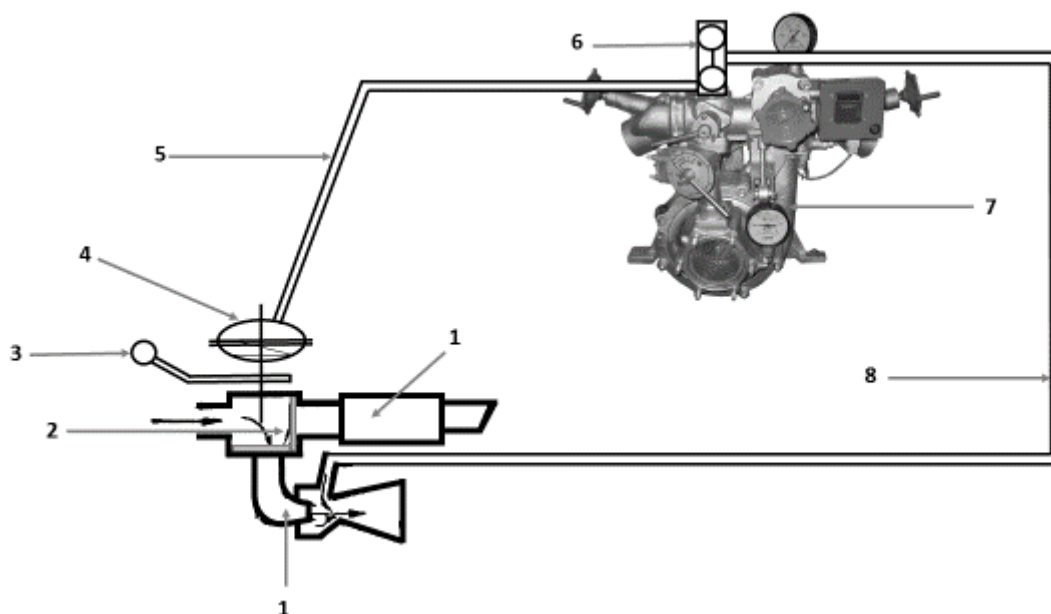




**Рис. 1.** Вакуумная система современных центробежных насосов



**Рис. 2.** Устройство газоструйного вакуумного аппарата



**Рис. 3.** Схема автоматизации вакуумной системы на основе ГСВА

Принцип работы заключается в следующем (рис. 3): при повороте рукоятки 3 шток заслонки освобождается, и заслонка 2 перекрывает выход выхлопным газам автомобиля через выхлопной тракт в атмосферу.

Газы поступают в вакуумный струйный насос 1, который создает разрежение в трубопроводе 8 по известному нам физическому процессу – эжекции. Разрежение создается в вакуумном затворе 6 и рабочей полости насоса 7. Производится заполнение насоса водой. После заполнения насоса водой клапанный механизм вакуумного затвора перенаправляет воду по трубопроводу 5 в полость гидропривода 4. В полости гидропривода 4 давление воды воздействует на мембрану, которая через толкатель возвращает заслонку в исходное транспортное положение, перекрывая доступ газов к

ГСВА. Таким образом работа оператора (водителя) в предлагаемой схеме вакуумной системы – исключается. Не менее важным достоинством предлагаемой схемы является то, что при обрыве водяного столба во всасывающей линии в рабочей полости насоса падает давление, в результате чего клапанный механизм вакуумного затвора вновь обеспечивает создание разряжения в рабочей полости с последующим забором воды и цикл повторяется.

Таким образом предлагаемая схема автоматизации вакуумной системы на основе ГСВА обеспечит полноценное выполнение возложенной задачи, не уступая современным вакуумным системам по эргономическим показателям и превышая показатели надежности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
2. Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ»
3. ГОСТ 52283-2004 «Техника пожарная. Насосы центробежные пожарные. Общие технические требования. Методы испытаний».
4. Официальный сайт МЧС России – Статистика – Пожары – 2013-2018 г. <http://www.mchs.gov.ru/folder/461298>.
5. Пожарная техника / М.Д. Безбородько. М.: Академия ГПС МЧС России. 2004. 289с.

УДК 654.026

*В. И. Чеботарёв, Л. И. Орлова, О. И. Кривошей, Е. В. Фатьянова*  
ФГКВОУ ВО Военная академия связи

#### ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СЕТИ СВЯЗИ ПРИ РЕШЕНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ ЗАДАЧИ

**Ключевые слова:** Сеть связи специального назначения, сеть связи общего пользования, ресурс, распределительная задача.

**Аннотация:** В данной статье представлен способ оценки взаимовлияния подсистем и элементов в сложной взаимоувязанной сети связи специального назначения. Представленный метод оценки позволяет выявить вариант распределения и использования ресурсов увязанных систем и сетей связи, при котором ущерб от недостаточности ресурсов минимален и обеспечивается достижение цели в процессе функционирования.

*V. I. Chebotarev, L. I. Orlova, O. I. Krivoshey, E. V. Fatyanova*

#### ESTIMATION OF THE INFLUENCE OF ELEMENTS OF THE COMMUNICATION NETWORK WHEN SOLVING THE DISTRIBUTIVE PROBLEM

**Keywords:** special purpose communication network, public communication network, resource, distributed task.

**Abstracts:** The paper presents the possible directions of improvement and long-term development of military primary networks with the use of built on modern industrial technologies and software analog transmission systems with frequency division of channels.

Развитие сетей связи специального назначения (СС СН), функционирующих в интересах органов государственной власти, органов обороны страны, безопасности государства и обеспечения правопорядка, происходит в направлении использования ресурсов сетей связи общего пользования (СС ОП), а также коммерческих протоколов связи, другими словами происходит процесс интеграции СС СН с единой сетью электросвязи (ЕСЭ).

К настоящему времени происходит активное замещение специализированных технологий связи на открытые коммуникационные технологии, которые являются общими как для гражданских СС ОП, так и для СС СН. Как отмечено в [3] происходит отказ от построения СС СН на основе отдельной связной инфраструктуры и переход к построению СС СН на основе гибридного подхода, когда отдельные сегменты СС ОП национальных и региональных операторов связи, а также сегменты глобальных сетей используются в качестве элементов транспортной инфраструктуры СС СН.

Для эффективного распределения ресурсов в СС СН предлагается учитывать следующие ее особенности:

Рассматриваемая сеть связи состоит из взаимосвязанных (взаимоуязвимых) элементов (подсистем);

Подсистемы сети сами в свою очередь являются сложными системами;

Элементы (подсистемы) могут изменять структуру, характеристики и свою значимость для системы;

СС СН в целом и ее элементы (подсистемы) функционируют в пределах границ, определяющих ее целостность;

Связи между элементами (подсистемами) могут изменяться из-за влияния внутренних и внешних факторов;

Системы с перечисленными особенностями можно классифицировать как класс сложных взаимосвязанных (взаимосвязанных) подсистем СС СН.

Осуществить процесс распределения ресурсов для сложной взаимосвязанной СС СН можно при помощи когнитивной информационной технологии [1], с помощью которой может быть построена и исследована когнитивная модель сложного объекта. Когнитивная технология в данном случае может быть представлена этапами, порядок и количество которых могут варьироваться в зависимости от сферы применения:

- разработка когнитивной абстрактной модели СС СН;
- определение рационального (оптимального) в заданный период функционирования варианта распределения ресурсов;
- использование ресурсов внутри каждого элемента системы, а затем системы в целом;

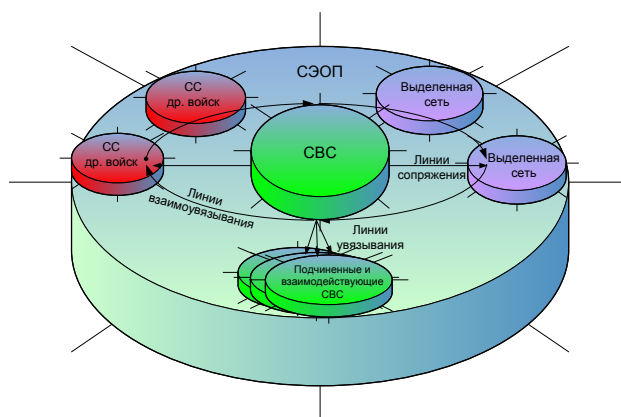


Рис. 1. Схема взаимосвязанной системы связи общевойскового формирования

Обобщенная модель осуществления процесса распределения ресурсов для взаимозависимой СС СН может быть представлена совокупностью состояний объектов и действий над ними  $W$ :

$$W = \langle R_0, K, H_{\Sigma}, r, Z, M, P, Y, F \rangle, \quad (1)$$

где  $R_0$  – вектор рационального (оптимального) варианта решения задачи распределения ресурсов в СС СН;

$K$  – когнитивная модель в виде функционального графа, анализ которого необходим для разработки механизма распределения ресурсов в ВСС СН;

$H_{\Sigma}$  – общее количество распределяемых ресурсов ВСС СН;

$r$  – вектор изысканных дополнительных ресурсов внутри ВСС СН;

$Z$  – вектор запасов (резервов), имеющихся у элементов (подсистем) ВСС СН;

$M$  – порядок определения элементов (подсистем), между которыми ресурсы будут распределены в ВСС СН.

Базовым элементом (модулем) будем считать тот элемент графа, который связан с другими элементами исходящими связями; производным элементом – такой элемент графа, который в логической цепочке с базовым элементом стоит на втором месте, связан с базовым элементом входящими связями.

На рис. 2 представлен граф взаимосвязей элементов (вершин).

Таким образом, в общем случае на деятельность элемента (подсистемы) и всей ВСС СН оказывают влияние коэффициент взаимосвязи между элементами (вершинами), коэффициент обеспеченности элемента (вершины) предыдущего слоя и собственный коэффициент обеспеченности элемента (вершины), а также наличие связности между элементами (вершинами), то есть:

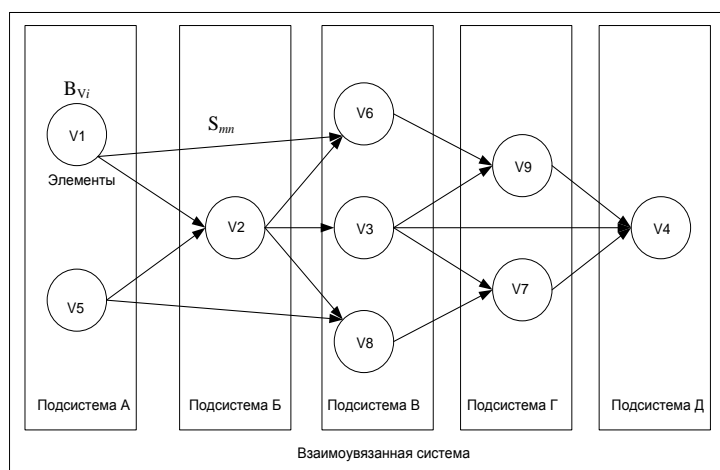


Рис. 2. Упорядоченный граф

$$V_i = b_{V_{i-1}} S_{i-1; i} B_{V_i} J_{i-1; i} \quad (2)$$

где  $V_i$  – результат деятельности  $i$ -ого элемента (вершины);

$b_{V_{i-1}}$  – коэффициент обеспеченности элемента (вершины) предыдущего слоя;

$S_{i-1; i}$  – степень влияния элемента (вершины) предыдущего слоя на элемент (вершину) текущего слоя;

$B_{V_i}$  – коэффициент обеспеченности элемента (вершины) текущего слоя;

$J_{i-1; i}$  – степень связанности элемента (вершины) предыдущего слоя и элемента (вершины) текущего слоя (наличие связей).

Обозначим степень влияния между элементами (вершинами)  $S_{mn}$ , где  $m$  – номер элемента (вершины) текущего слоя,  $n$  – номер элемента (вершины) в последующем слое.

Если же имеет место недостаточность ресурса системы, то для каждой вершины системы следует рассчитать коэффициент обеспеченности  $b_{Vi}$ ; формула оценки результата функционирования  $i$ -ой вершины имеет вид:

$$V_i = \prod_{k=1}^{k-1} b_{V_k} S_{k-1,i+1} J_{k-1,i+1} \quad (3)$$

Результат недостаточности ресурса системы будет проявляться в множителях  $b_{Vi}$  и усугубит лавинообразность результатов функционирования элементов системы (подсистем) и системы в целом. Для того чтобы уменьшить негативные последствия недостаточности ресурса у вершин, требуется разработать стратегии распределения ресурса по вершинам, рассчитать численные значения реализации стратегий и выбрать ту стратегию, которая будет минимально отклоняться от идеального варианта.

Результат деятельности системы в целом можно определить суммированием результатов деятельности каждого элемента (вершины).

Организационная структура ВСС СН характеризуется совокупностью элементов (подсистем), взаимосвязанных между собой. Каждый элемент (подсистема) отвечает за выполнение конкретных задач, успешное осуществление которых требует ресурсов. Каждый элемент (подсистема) формирует ВСС СН в целом, соответственно могут быть выделены элементы, между которыми требуется распределить ресурсы для выполнения задач каждым элементом и достижения цели системой в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Радченко С.А. Исследование слабоструктурированных проблем социально-экономических систем. Когнитивный подход. Таганрог. 2007. 425 с.

УДК 621.926.322

*Е. И. Чеховской, М. А. Романович, В. А. Киселева, Д. С. Агафонов*

ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова»

## РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ПРИВОДА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КУБОВИНОГО ЩЕБНЯ

**Ключевые слова:** агрегат, кубовидный щебень, мощность, направленное силовое воздействие.

**Аннотация:** в данной статье представлены аналитические исследования по расчету мощности затрачиваемой на создание направленного движения и осуществление раздавливающего деформирования кусков с приложением силового воздействия в заданном направлении.

*E. I. Chehovskoy, M. A. Romanovich, V. A. Kiseleva, D. S. Agafonov*

## CALCULATION OF THE POWER OF THE DRIVE OF THE ENERGY-SAVING UNIT FOR GETTING CUBANBAR

**Keywords:** aggregate, cubical crushed stone, power, directional force action.

**Annotation:** this article presents analytical studies on the calculation of the power spent on the creation of directional movement and the implementation of crushing deformation of the pieces with the application of force in a given direction.

Мощность привода агрегата для получения кубовидного щебня, затрачиваемая на выполнение вышеуказанных технологических операций, определяется по формуле:

$$N = \frac{N_{p.v.} + N_{изм} + N_{тр}}{\eta_1}, \text{ Вт} \quad (1)$$

где  $N_{p.v.}$  - мощность, затрачиваемая валковым устройством на создание направленного движения исходного материала, Вт;  $N_{изм}$  - мощность, затрачиваемая на создание раздавливающего деформирования сланцевых материалов валками, Вт;  $N_{тр}$  - мощность, необходимая на преодоление сил трения в подшипниковых узлах валков, Вт.

Мощность привода, затрачиваемая устройством на создание направленного движения, зависит от максимального усилия  $F$ , радиуса валков  $R_e$  и угловой скорости вращения валков  $\omega = 2\pi n$ .

Будем считать, что процесс создания направленного движения кусков материала начинается с момента попадания частиц материала, которая ограничена углом захвата валка. Начало процесса направленного движения большого влияния на величину суммарной силы взаимодействия материала и валка не имеет, поскольку на начальных стадиях очень мало. Положение валика радиуса  $r$  по отношению к бункеру зададим через смещение его центра по горизонтали –  $L$  и вертикали –  $l$ . Угол наклона стенки бункера обозначим через  $\alpha$ , а угол, с которого начинается уплотнение материала, - через  $\beta$ . [1-3].

Полагая, что сила воздействия валика, необходимая на создание направленного движения кусков материала, прямо пропорциональна величине его уплотнения:

$$F = \mu r b (h + r) \left( \frac{\pi / 2 - \psi}{\sin(\psi)} + \ln \operatorname{tg} \frac{\psi}{2} \right) \quad (2)$$

$$\psi = \alpha - \gamma + \beta$$

где  $\mu$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от характеристик уплотняемого материала (гранулометрического состава, формы, дефор-

мируемости частиц и др.),  $r$  - радиус валика, м;  $b$  - ширина валика, м;  $h$  - толщина слоя сланцевых материалов, м.

Мощность, затрачиваемая на создание раздавливающего деформирования сланцевых материалов валками,  $N_{изм}$  зависит от крутящего момента  $M_{кр}$ , необходимого на разрушение куска материала и момента трения  $M_{тр}$ , возникающего в опорах валков. [4-6].

Крутящий момент, при создании направленного движения кусков материала, равен:

$$M = F \cdot r, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3)$$

Максимальное усилие, определяется по формуле:

$$F = G_{сжс} \cdot S = G_{сжс} \cdot B \cdot h \cdot z, \text{ Н} \quad (4)$$

где  $G_{сжс}$  - предел прочности на сжатие куска материала, Н/мм<sup>2</sup>;  $S$  - площадь силового воздействия, м<sup>2</sup>;  $B$  - ширина волков, м;  $h$  - толщина зуба в месте контакта с материалом, м;  $z$  - количество зубьев, действующих с материалом.

Крутящий момент, создаваемый при измельчении материалов, равен:

$$M_{кр} = F \cdot \cos \alpha \cdot R_g = G_{сжс} \cdot B \cdot h \cdot (\cos \alpha \cdot R_g / l), \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (5)$$

где  $\alpha$  - угол захвата зубчатыми валками материала, град;  $l$  - шаг между зубьями, м.

Мощность, затрачиваемая на создание раздавливающего деформирования сланцевых материалов валками, равна:

$$N_{изм} = 2M_{кр} \cdot \omega, \text{ Вт} \quad (6)$$

Момент от сил трения  $M_{тр}$  в опорах валков, равен:

$$M_{тр} = \frac{F_{рез} \cdot f_{np} \cdot d_u}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (7)$$

где  $F_{рез}$  - результирующая сила от максимального усилия измельчения  $F$  и силы тяжести валка  $G_g$ , Н;  $f_{np}$  - коэффициент трения качения,  $f_{np} = 0,001$ ;  $d_u$  - диаметр цапфы валка, м.

Результирующая сила определяется по формуле

$$F_{рез} = \sqrt{F^2 + G_6^2}, \text{ Н} \quad (8)$$

Мощность, затрачиваемая на измельчение сланцевых материалов между валками, равна:

$$N_{изм} + N_{мп} = 2(M_{кр\max} + M_{мп}) \cdot \omega, \text{ Вт} \quad (9)$$

$$N = \frac{N_{р.в.} + N_{изм} + N_{мп}}{\eta_1} = \frac{2(M + M_{кр} + M_{тр}) \cdot \omega}{\eta} = \frac{2((F \cdot r) + (F \cdot \cos \alpha \cdot R_6) + (\frac{F_{рез} \cdot f_{мп} \cdot d_u}{2})) \cdot \omega}{\eta} \quad (10)$$

Общая мощность, затрачиваемая валками  $N_{р.в.}$  на направленное движение, измельчение сланцевых материала между зубчатыми валками  $N_{изм}$  и на преодоление сил трения в опорах валков  $N_{мп}$ , с учетом КПД привода определяем по формуле 10. [7-9].

По полученному уравнению (10) можно определить мощность, расходуемую на создание направленного движения и осуществление раздавливающего деформирования кусков с приложением силового воздействия в заданном направлении.

Проведенные экспериментальные исследования на опытной установке агрегата для получения кубовидного щебня позволили подтвердить адекватность данного уравнения, расхождение значений мощности привода полученные расчетным и экспериментальным путем составила менее 10%.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Romanovich L.G., Romanovich M.A., Vybornova V.V., Riapukhina V.N. Small businesses is a sphere of innovation in the age of globalization // Journal of Applied Engineering Science. - 2014. - Т. 12. № 4. - С. 297-301.
2. Romanovich L.G., Sevostyanov V.V., Romanovich M.A., Arkatov A.Y. Innovation activity and technology transfer of higher education // Journal of Applied Engineering Science. - 2014. - Т. 12. № 4. - С. 273-276.
3. Верич Е.Д., Егошин Ю.С. Новый тип мельниц и их управление // Горные машины и автоматика. - 2005. - № 1. - С. 41-56.
4. Егошин Ю.С., Лобинский А.В. Новый век - новый тип мельниц мельница барабанно – валковая // Сборник научных статей современная наука. - 2010. - №3(5). - С.73-76.
5. Матвейков С.В., Белобров Ю.Н. Валковый пресс- измельчитель // Горная промышленность. - 1998. - № 2. - С.28-29.



7. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Chekhovskoy E.I., Calculation of capacity reduced to create directed movement of slant materials in press roll unit // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - Т. 194 (032025).

8. Romanovich A.A., Romanovich L.G., Chekhovskoy E.I., Determination of rational parameters for process of grinding materials precrushed by pressure in ball mill // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2018. - Т. 327 (042091).

9. Romanovich A.A., Romanovich M.A., Belov A.I., Chekhovskoy E.I. Energy-saving technology of obtaining composite binders using technogenic wastes // IOP Conference Series: Journal of Physics: Conf. Series. - 2018 - Т. 1118 (012035).

УДК 621.8

***В. А. Шевцов, В. П. Зарубин***

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

## **ВЫБОР ПОДЪЕМНЫХ МЕХАНИЗМОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ**

**Ключевые слова:** техническое обслуживание, ремонт, подъемные механизмы, пожарные автомобили.

**Аннотация:** В статье рассмотрен вопрос выбора домкратов для проведения технического обслуживания и ремонта пожарной техники. Проведен обзор существующих видов домкратов и сделан вывод по выбору с учетом особенностей конструкции пожарных автомобилей.

***V. A. Shevtsov, V. P. Zarubin***

## **THE CHOICE OF LIFTING MECHANISMS FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF FIRE ENGINES**

**Keywords:** maintenance, repair, lifting mechanisms, fire trucks.

**Abstract:** the article deals with the choice of jacks for maintenance and repair of fire equipment. A review of the existing types of jacks and concluded the choice of taking into account the design features of fire trucks.

Для проведения качественного обслуживания и ремонта пожарной техники необходимо проводить обширный комплекс мероприятий с применением разнообразного инструмента и оборудования. В настоящее время не все пожарно-спасательные части имеют в своем распоряжении ремонтные участки позволяющие в полной мере проводить операции технического обслуживания. Отсутствие ремонтного оборудования в значительной части снижает качество проведения ремонта и технического обслуживания и в некоторых случаях требует отправки техники в специализированные центры. Это влечет за собой затраты на топливо при переброске техники и выведение пожарных автомобилей из расчета на длительное время.

Задачи по техническому обслуживанию и ремонту являются весьма актуальными для пожарно-спасательных частей, поскольку износ парка аварийно-спасательной и пожарной техники пожарно-спасательных подразделений ФПС ГПС России достигает 70%. Поддержание имеющейся пожарной техники в исправном состоянии, проведение ее ремонта и технического обслуживания требуют больших материальных затрат. Средний годовой пробег пожарных автомобилей составляет около 12000 км. Это приводит к необходимости уделять повышенное внимание тем узлам и механизмам, которые определяют работоспособность автомобиля в целом. Эти узлы изнашиваются быстрее, чаще вызывают необходимость проведения текущих ремонтов. Большинство пунктов ТО в пожарно-спасательных частях не оснащены необходимым оборудованием и именно поэтому время и затраты увеличиваются на ремонт пожарной техники.

В регионах где дорожное полотно не соответствует нормативным требованиям чаще всего встречаются с проблемой износа шасси автомобилей, ремонт которого это трудоемкий процесс с вложением максимальных усилий, а порой и не возможности устранения неисправностей в пожарно-спасательных частях. Трудности при техническом обслуживании и ремонте ходовой части начинаются с необходимости осуществления подъема либо одной оси автомобиля либо подъема автомобиля полностью, что в свою очередь предполагает наличие подъемного устройства. Кроме этого, агрегаты ходовой части грузовых автомобилей (коробка переключения передач, раздаточная коробка, мост и т.п.) имеют большие габариты и большую массу, что влечет за собой необходимость использования различных кантователей и съемников. Оснащение ремонтных участков пожарно-спасательных частей соответствующими подъемными механизмами в значительной степени облегчит проведение ремонтных операций и улучшит качество проведения ТО.

Одними из самых распространенных подъемных устройств являются домкраты. Существует несколько видов грузовых домкратов отличающихся принципом работы. К ним можно отнести винтовой, гидравлический, пневматический.

Винтовые домкраты используют для ремонтных работ, когда необходимо установить груз как сверху на вращающейся пяте, так и снизу на лапе. Обычно это штатные домкраты для различных видов автомобилей. Грузоподъемность винтовых домкратов составляет до 15 т. Такое устройство состоит из цилиндрического основания и помещенного внутри него одного или двух подъемных винтов, выдвигающихся или задвигающихся в зависимости от направления вращения специальной зубчатой гайки с трапецеидальной резьбой.

К достоинствам винтовых домкратов относят следующее: небольшой вес и размеры, простота в установке и эксплуатации, простота конструкции, стабильное и небольшое усилие на приводной рукоятке, малая высота подхвата, удобство в работе, большой рабочий ход, максимальная высота подъема и низкая цена. Мягкие уплотняющие элементы не применяются.

К недостаткам таких домкратов относят: недостаточная устойчивость в связи с небольшой площадью опоры, небольшая грузоподъемность, слежение за отсутствием грязи на винте, посторонних частиц, необходимость смазки шарниров и винта, не способность поднять сторону автомобиля на достаточную высоту. Основные типы винтовых домкратов представлены на рис. 1.

Гидравлический домкрат - стационарный, передвижной или переносной механизм для подъема автомобиля. Такой домкрат надежный в эксплуатации, а также простой в обслуживании. Он обеспечивает быстрый и плавный подъем, удобный подхват, устойчивость в рабочем положении, точно и без особых усилий остановит автомобиль на определенной высоте



Рис. 1. Основные типы домкрата винтового

Гидравлические домкраты используются преимущественно в пунктах ТО, автосервисах, шиномонтажах, поскольку позволяют с легкостью поднимать автотранспорт любой массы. Такие домкраты наиболее мощные, используются, когда нужны большие усилия. К достоинствам и недостаткам гидравлических домкратов относятся: большая грузоподъемность, хорошая устойчивость и точность, жесткость и компактность конструкции, небольшое усилие на ручке для поднятия автомобиля, надежная конструкция, позволяющая поднимать грузы с достаточно минимальной высоты, использование в качестве рабочего тела жидкости (гидравлическое масло), что обеспечивает плавность опускания и подъема, быструю фиксацию груза на требуемой высоте и точность торможения, высокий КПД (до 80%). К недостаткам относятся: медленная работа, большая масса и размеры, высокая стоимость, транспортировка и хранение исключительно в вертикальном положении, большая начальная высота подъема, небольшая максимальная высота подъема, небольшой рабочий ход, требуют особого ухода. На рис. 2 представлены подкатной и бутылочный домкраты как одни из самых часто используемых гидравлических подъемных устройств.

Пневматический домкрат - переносной, стационарный механизм, используемый на СТО и автосервисах для вывешивания колес при ремонте легких грузовиков, микроавтобусов и легковых автомобилей без приложения особых физических усилий. Также он незаменим при работе на рыхлом, или неровном грунте, если имеет значительную скорость подъема, при небольшом зазоре между грузом и опорой. Он представлен в виде плоской эластичной пневмоподушки из резины и армирующего материала или насоса и поршня в цилиндре. Такой домкрат имеет следующие характеристики: рабочее давление от 2-9 атм, высота подхвата 150 мм, грузоподъемность от 1-4 тонн, масса от 14 до 25 кг, высота подъема от 375 до 560 мм. К преимуществам таких домкратов относятся: большая площадь опоры, небольшая высота подхвата, снижение трудозатрат, мгновенный подъем, небольшой вес и конструкция для легкой транспортировки к месту работы, высота, позволяющая расположить домкрат под любым автомобилем. К недостаткам относится следующее: небольшая грузоподъемность и средний срок службы (от 5 до 6 лет), трудность удержания фиксированной высоты подъема, необходимость в стационарном насосе или компрессоре, защите рабочего баллона с эластичными стенками от острых предметов, строго вертикальном расположении. На рис. 3 представлен основной тип пневматического домкрата.

Таким образом, проведенный обзор различных видов и типов домкратов дает возможность сделать вывод о широком выборе различных подъемных устройств. В настоящее время можно подобрать домкрат под любые цели.

Для ремонта и технического обслуживания пожарных автомобилей можно рекомендовать использование гидравлических домкратов бутылочного типа. Выбор обусловлен следующими параметрами основных и специальных пожарных автомобилей:

АЦ 3.2-40/4 базовое шасси – КАМАЗ 43253, дорожный просвет 263 мм, полная масса – 14035 кг;

АЦ-6,0-40 базовое шасси – Урал 5557, дорожный просвет 360 мм, полная масса – 16750 кг;

АЛ-30 базовое шасси – ЗИЛ 131, дорожный просвет 300 мм, полная масса – 10185 кг.



**Рис. 2.** Основные типы домкрата гидравлического:  
а) домкрат подкатной; б) домкрат бутылочный



**Рис. 3.** Домкрат пневматический

Дорожный просвет приведенных автомобилей составляет от 263 до 360 мм. Этот показатель снимает ряд ограничений по высоте домкрата в сложенном состоянии. Масса автомобилей достаточно большая поэтому домкрат должен обладать соответствующей грузоподъемностью. Кроме этого для обеспечения необходимой безопасности при работе с домкратом он должен иметь возможность удержания фиксированной высоты подъема. Учитывая это пневматические подъемники не рекомендуется использовать из-за трудности зафиксировать высоту подъема, а винтовые из-за больших усилий при подъеме больших масс.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеев, М.В. Технология ремонта машин и оборудования / М.В. Авдеев, Е.А. Воловик, И.Е. Ульман – М.: Агропромиздат, 2007. – 357 с.
2. Сычев, С.А. Возможность использования передвижной мастерской для проведения технического обслуживания и ремонта пожарной техники / С.А. Сычев, В.П. Зарубин // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник матер. VIII всерос. научно-практической конф. – Иваново, 2017. С. 240 – 243.

УДК 62-43

*А. В. Широухов*

ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

## РАЗВИТИЯ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Ключевые слова:** сквозная трещины, дефект материала, цикловая усталость, коэффициент интенсивности напряжений.

**Аннотация:** в работе рассмотрен принцип образования трещины при цикловой нагрузке детали, предлагаются способы оценки возникновения и развития данного дефекта в зависимости от условий нагрузки видов деформации.

*A. V. Shiroukhov*

## DEVELOPMENT OF FATIGUE CRACKS IN THE DESIGN OF MACHINE PARTS

**Keywords:** through cracks, material defect, cyclic fatigue, stress intensity factor.

**Aannotation:** the work considers the principle of formation of cracks during cyclic loading of a part, provides methods for evaluating the occurrence and development of this defect depending on the load conditions types of deformation.

Большинство эксплуатационных разрушений деталей машин и элементов конструкций, работающих при переменных нагрузках, имеют усталостный характер. В реальных условиях детали всегда имеют дефекты различного характера, которые появляются как на стадии производства металла, так и на стадии их последующей обработки. Наличие таких микродефектов может привести к возникновению усталостной трещины и выходу детали из строя задолго до окончания срока службы. Для количественной оценки остаточного ресурса деталей, имеющих дефекты в виде трещин, необходимо исследовать законы распространения усталостных трещин, зарождающихся из опасных точек, как правило, на поверхности деталей.

В зависимости от рода материала и характера деформационного процесса, деформации, возникающие в конструкционных металлах при абсолютных температурах, не превышающих примерно 30-40% температуры плавления, являются главным образом мгновенно-упругими и мгновенно-пластическими [1]. Так или иначе, стадия диссеминированных повреждений многоциклового усталости заканчивается в общем случае образованием одной или нескольких магистральных трещин, которые растут вследствие разрушений, происходящих в локальной зоне концентрации напряжений, перед фронтом трещины. В этой, постоянно смещающейся зоне протекает как бы непрерывный процесс малоциклового усталости. Когда этот процесс завершается разрушением, фронт трещины (в пластине шириной  $b$ ) продвигается в область еще неповрежденного материала.

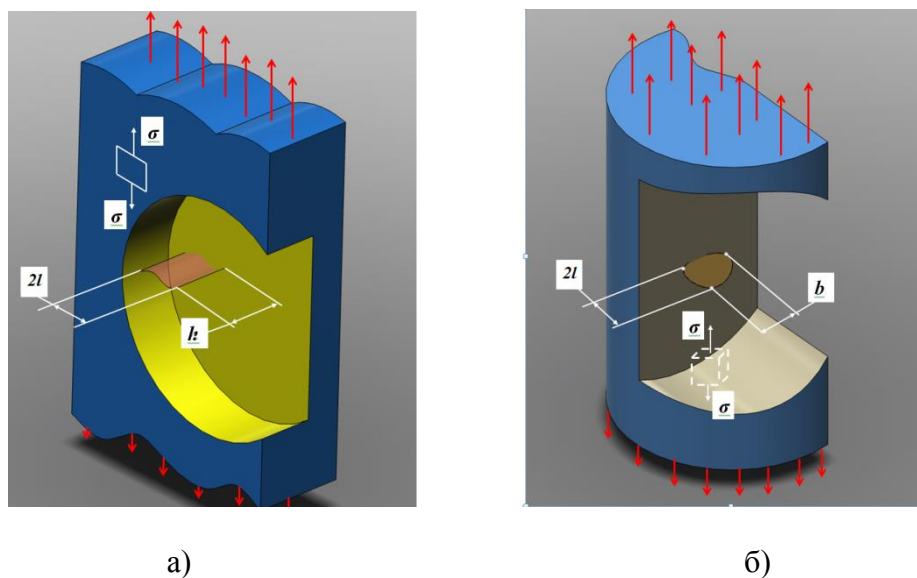
Наиболее используемое уравнение движения трещины усталости, известное как уравнение Пэриса [1], имеет вид

$$\frac{dl}{dN} = A(\Delta K)^m, \quad (1)$$

где  $l$  - полудлина трещины, а  $\Delta K$  - размах коэффициента интенсивности напряжений. Последний коэффициент интенсивности имеет выражение

$$K = \sigma\alpha\sqrt{\pi l} \quad (2)$$

Предполагается, что трещина в пластине - плоская и сквозная, расположенная перпендикулярно действию растягивающего напряжения  $\sigma$ . Это напряжение должно быть значительно ниже предела текучести материала, который за пределами пластической зоны у кончика трещины работают в пределах упругости деформирования. Безразмерный коэффициент  $\alpha$  отражает как геометрический фактор, так и характер распределения напряжений  $\sigma$ . При весьма большом отношении  $B/l$  этот коэффициент равен единице, что имеет место и в случае бокового надреза длиной  $l$ . При конечном отношении  $B/l$  и неравномерном распределении напряжений коэффициент  $\alpha$  принимает другие значения. Случай сквозной трещины (рис. 1, а) в растянутой или изгибаемой пластине встречается при проведении различных опытов на трещиностойкость материалов.



**Рис. 1.** Схематическое изображение трещин: а) – сквозное, б) – поверхностное

В расчетах конструкционных элементов чаще встречается случай плоской поверхностной трещины (рис.1, б). Очертание фронта такой трещины в процессе ее развития по ряду экспериментальных данных близко к полу-эллипсу. Соотношение его полуосей по данным опытов составляет примерно 0,38. Постоянство этой величины при изменении абсолютных размеров трещины объясняется тем, что независимо от исходной формы, она приобретает через некоторое число циклов нагружения устой-

чивую форму равного сопротивления продвижению во всех точках ее фронта. Коэффициент интенсивности  $K$  сохраняет и в этом случае выражение и иных значениях  $\alpha$ , но часто используют так же и выражение:

$$K = \sigma\alpha\sqrt{\pi b},$$

где  $b$  - глубина трещины (рис. 1, б).

В тех случаях, когда глубина  $b$  соизмерима с расстоянием от контура трещины до противоположной поверхности тела, теоретическое определение коэффициента  $K$  оказывается затруднительным и его обычно находят экспериментальным путем (так называемый метод  $K$ -трактовки) с использованием энергетической трактовки условий предельного равновесия трещин [1].

Выражение для размаха коэффициент интенсивности напряжений можно записать в виде:

$$\Delta K = 2\sigma_0\alpha\sqrt{\pi l} = \sigma_{max}(1 - R)\alpha\sqrt{\pi l},$$

и подставив его в уравнение (1), переписать так:

$$\frac{dl}{dN} = A\sigma_{max}^m(1 - R)^m\alpha^m\pi l^{m/2}. \quad (3)$$

Коэффициент  $A$  и  $m$  подбираются по экспериментальной кривой зависимости скорости роста  $\Delta K$  (рис. 2). Эта кривая имеет в логарифмических координатах средний участок, близкий к линейному. При малых значениях  $\Delta K < \Delta K_{th}$  трещины в условиях циклического действия напряжения не растут, а с достижением предельного значения:

$$K_{max} = \sigma_{max}\alpha\sqrt{\pi l} = K_{fc},$$

трещина переходит в стадию спонтанного роста, причем конструкционный элемент полностью разрушается. Вопросам экспериментального определения предельного значения коэффициента интенсивности напряжений, рассматриваемого как механическая характеристика материала, посвящено много работ [2,3,4].

Значения критического коэффициента интенсивности напряжений для данного материала не очень стабильны и зависят от условий опыта, из которого они определяются. Нестабильна и величина  $K_{fc}$ , относящаяся к условиям циклического нагружения. Однако за критическое значение коэффициента интенсивности напряжений

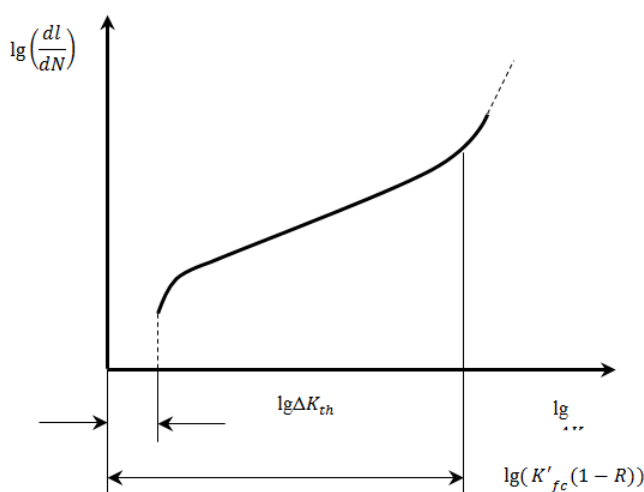


Рис. 2. Зависимость скорости роста трещин от размаха коэффициента интенсивности напряжений

можно принимать не то, которое отвечает переходу на стадию спонтанного роста трещины, а меньшее значение, например, размах

$$\Delta K_* = K'_{fc},$$

соответствующий переходу от линейного участка диаграммы к криволинейному участку ускоренного развития трещины в случае  $R=0$ . При других коэффициента асимметрии критического размаха составит:

$$\Delta K_* = K'_{fc}(1 - R)$$

Таким образом, появляется возможность оценить эмпирически возможность и интенсивность образования микротрещин в зависимости от вида возникающих напряжений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов П.А. Основы инженерных расчетов элементов машин на усталостную и длительную прочность.- Л.: Машинстроение. Ленинград. отделение, 1988. –252 с.
2. Сысоева В.В. Расчеты коэффициентов интенсивности напряжений для типовых авиационных конструкций с трещинами //Электронный журнал «Труды МАИ». Выпуск № 45 [www.mai.ru/science/trudy](http://www.mai.ru/science/trudy).
3. Перов С.Н., Скворцов Ю.В., Цапурин К.А. Коэффициенты интенсивности напряжений для труб с несквозными трещинами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук, т. 10. – 2008. – №3.
4. Емельянов О.В., Шувалов А.Н. Совершенствование определения коэффициента интенсивности напряжений методом малобазной тензометрии // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура», т. 15 – 2015. - № 3. – С. 32–37.

УДК 614.849

*С. Л. Шпачков, А. А. Будин, Ю. С. Косенович, А. В. Букарин, А. Н. Мальцев*  
ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

### **РОЛЬ ДИСЦИПЛИНЫ «ПОЖАРНАЯ ТАКТИКА» В ПОДГОТОВКЕ ДОЛЖНОСТНЫХ ЛИЦ, ОСУЩЕСТВЛЯЮЩИХ НЕПОСРЕДСТВЕННОЕ РУКОВОДСТВО ДЕЙСТВИЯМИ ЛИЧНОГО СОСТАВА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПО ТУШЕНИЮ ПОЖАРОВ**

**Ключевые слова:** пожарная тактика, оперативный штаб на пожаре.

**Аннотация:** в данной статье рассмотрена роль дисциплины «Пожарная тактика» в системе качественной подготовки должностных лиц, выступающих в качестве руководителей тушения пожаров.



*S. L. Shpachkov, A. A. Boudin, Yu. S. Kosenovich, A. V. Boukarin, A. N. Maltsev*

## **THE ROLE OF THE FIRE TACTIC DISCIPLINES IN THE PREPARATION OF THE OFFICIALS IMPLEMENTING A DIRECT GUIDE TO THE ACTIVITIES OF THE PERSONAL COMPOSITION OF FIRE EXTINGUISHERS**

**Keywords:** fire tactics, operational headquarters on fire.

**Abstracts:** This article discusses the role of the discipline «Fire Tactics» in the system of high-quality training of officials acting as fire-extinguishing managers.

Тушение пожаров является одним из важнейших направлений деятельности пожарной охраны. Для сотрудников линейных подразделений Государственной противопожарной службы – пожарно-спасательных частей – тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ, связанных с тушением пожаров – это основная задача, стоящая перед личным составом, решение которой и является основой и смыслом их существования.

В этой статье хочется поговорить о роли такой дисциплины как «Пожарная тактика» в системе подготовки должностных лиц, выступающих в качестве руководителей тушения пожара, подчеркнуть ее уникальность и крайнюю актуальность в существующих условиях деятельности пожарной охраны.

На пожарную охрану возложен ряд важнейших задач, по обеспечению пожарной безопасности общества и государства, таких как профилактика пожаров, спасение людей при пожарах, оказание им первой помощи, тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ. За исключением профилактики все указанные задачи решаются личным составом подразделений и органов управления пожарной охраны, осуществляющим весь спектр мероприятий по спасению людей, имущества и тушению пожаров. Боевые действия всякого подразделения на пожаре или при ликвидации последствий чрезвычайной ситуации возглавляются руководителями разного уровня подчинения, от которых напрямую зависит успех тех или иных действий на порученном участке работ.

Несомненно, что для успешного решения поставленных задач, квалифицированный сотрудник Государственной противопожарной службы должен обладать как обширными теоретическими знаниями, так и практическими навыками по многочисленным и самым разным дисциплинам.

Едва ли можно поспорить с тем, что дисциплина «Пожарная тактика» относится к учебным дисциплинам, играющим важнейшие роли в подготовке личного состава и руководителей подразделений, непосредственно осуществляющих действия по тушению пожаров. Именно осознанием крайней важности самой серьезной подготовки специалиста пожарной охраны по всему комплексу вопросов, рассматриваемых пожарной тактикой и должен быть обусловлен и самый внимательный подход к ее изучению.

Изучая и анализируя закономерности развития и тушения пожаров, потенциальный руководитель тушения возможного пожара, например, устанавливает, что при прочих равных условиях линейная скорость распространения горения для каждого горючего материала является постоянной величиной, зная которую возможно прогнозировать обстановку, которая могла бы сложиться на пожаре с заданными параметра-

ми. Или то, что при пожарах в закрытых помещениях площадь пожара зависит от площади проемов, через которые осуществляется газообмен с окружающей средой. Отсюда следует, что изменяя площадь проемов, есть возможность ограничивать площадь пожаров. «Пожарная тактика» позволяет узнать, что время локализации и ликвидации пожара связаны с интенсивностью подачи огнетушащих веществ. Скорость наращивания сил и средств подразделений должна превышать скорость возрастания площади пожара, что локализация пожара достигается в момент, когда значения фактического расхода огнетушащих веществ на тушение пожара становится равным и превышает значения требуемого расхода огнетушащих веществ и многое другое.

На основе установленных закономерностей, касающихся развития и тушения пожаров «пожарная тактика» занимается разработкой наиболее целесообразных приемов и способов использования сил и средств подразделений в самом широком смысле: от непосредственной подачи огнетушащих веществ в очаг пожара ствольщиками до организации работы оперативного штаба на месте пожара, управления силами и средствами в целом.

Разрабатывая и анализируя целесообразные приемы и способы использования сил и средств подразделений пожарной охраны, «пожарная тактика» определяет и исследует боевые тактические возможности подразделений, что позволят определить оптимальную организационную структуру, которая позволила бы наиболее эффективно эти возможности использовать.

И далее, осознавая зависимость тактических возможностей подразделений от степени подготовки личного состава к верному применению вверенных сил и средств тушения пожаров в различных условиях, пожарная тактика формирует правильные принципы, программы и способы профессиональной подготовки пожарных и реализует их.

Таким образом, пожарно-тактическая наука идет в ногу со временем, продолжает развиваться в динамике развития научно-технического прогресса, в тесном взаимодействии с другими науками, в соответствии с задачами, возложенными на пожарную охрану.

Исходя из этого, становится очевидно, что «пожарная тактика» став во главу угла продолжает выполнять несущие, каркасные функции всей системы борьбы с пожарами. Сотрудникам пожарной охраны всех уровней, а в особенности сотрудникам, допущенным к руководству тушением пожаров крайне необходимо быть совершенно грамотным и постоянно поддерживать себя в профессиональном тонусе в части вопросов, касающихся задач, решаемых пожарной тактикой. Думается что данная дисциплина, для каждого такого сотрудника должна быть связующим звеном изучения всего комплекса дисциплин, непосредственно относящихся к боевой работе на пожарах. Необходимо постоянно углублять, закреплять и систематизировать полученные знания, касающиеся процессов развития и прекращения горения на пожаре, отрабатывать практические навыки по проведению расчетов, решению вопросов планирования и организации тушения пожаров. Подобная работа позволит делать новые шаги в нелегком пути теоретического и практического становления специалиста пожарной безопасности. Главной же целью профессионального обучения в целом и работы по направлениям пожарной тактики, видится формирование фундамента всего комплекса знаний, на котором удастся построить гранитный бастион профессионализма, как один из передовых оплотов защиты жизни и здоровья людей, материальных ценностей, интересов общества и государства от пожаров.

Именно в этом – смысл и цель жизни каждого пожарного. Именно к этому все мы должны стремиться.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности».
2. Приказ МЧС России от 16 октября 2017 г. № 444 «Об утверждении Боевого устава подразделений пожарной охраны, определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».
3. Приказ МЧС России от 26.10.2017 № 472 « Об утверждении Порядка подготовки личного состава пожарной охраны».
4. Терехнев В.В., Подгрушный А.В. Пожарная тактика. Основы тушения пожаров. – Екатеринбург: Калан, 2012. – 512с.

## АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Агафонов Д. С., 198, 201, 573  
Акопова О. Б., 279  
Аладышкина К. О., 290  
Андреева О. И., 3  
Анненко Д. М., 133  
Антюхов И. А., 27, 32  
Арбузова А. А., 6, 9  
Арефьев И. М., 129  
Артемова Н. В., 351  
Багажков И. В., 351, 354, 519  
Базаркин С. В., 16  
Балаба С. В., 19  
Балабина Т. А., 22  
Баранов А. В., 219, 222, 225  
Бараш А. Л., 27, 32, 76  
Батенков К. А., 39  
Беляев С. В., 479  
Берёзкин М. С., 358, 361  
Беспалова Ю. О., 70  
Блинов О. В., 118, 258, 293, 473  
Боговик А. В., 364, 367  
Бойков А. А., 370  
Бойцова В. В., 94, 229  
Бондаренко И. Р., 42  
Бочкарев А. Н., 374  
Бочкарева О. В., 374  
Бубнов А. Г., 507, 557  
Будин А. А., 584  
Букарин А. В., 584  
Булаев Д. М., 293  
Булгаков В. И., 65  
Бурлаков А. А., 46  
Бурнашов А. С., 377  
Бурцев А. В., 49  
Бурченков К. С., 337  
Васечкин М. А., 232  
Васин А. С., 449  
Ведерникова И. И., 16, 306, 314, 341, 344, 347  
Ведяскин Ю. А., 429  
Веселовацкий В. Е., 55  
Веселовский А. П., 380  
Винограденко А. М., 380  
Вишняков Н. И., 385  
Власов А. М., 235  
Волкова М. Ю., 298, 388, 391  
Воловиков В. С., 46  
Воронин С. В., 394, 396  
Гамзина Ф. Я., 238  
Гарелина С. А., 398  
Герасимов М. Д., 110, 469  
Гоголев Ю. Г., 58  
Годлевский В. А., 118, 194, 238, 258, 286, 293, 473  
Голубкина М. И., 61  
Гомонай М. В., 65, 70, 73, 401  
Горев А. Р., 405  
Гребенюк И. И., 76  
Гребнев Ю. В., 19  
Грименицкий П. Н., 94  
Гринь Д. А., 409  
Губская О. А., 142, 364, 367, 380  
Гутовский А. В., 70  
Данилов М. Г., 398  
Даровской Г. В., 242  
Дементьев В. Д., 275  
Демечкин А. С., 411  
Долотин Г. А., 416  
Дульцев С. Н., 49  
Егоров В. Г., 232  
Егоров С. А., 246  
Егорова Н. Е., 9, 246, 419, 424  
Егорычева Е. В., 298, 300, 304, 388  
Ерженин Н. Р., 73  
Ермилова В. А., 65  
Ефанов А. С., 567  
Жуков Л. В., 27, 32, 76  
Заманов А. С., 443, 447  
Зарубин В. П., 204, 248, 411, 577  
Зарубина Е. В., 268  
Захаров Д. Е., 479  
Иванов В. Е., 180, 427, 438, 453  
Иванов Н. А., 182  
Казанцев С. Г., 429  
Калентьев В. А., 150, 154  
Калинин В. В., 479  
Калинин Е. Н., 258  
Калинина Е. С., 81  
Кальмагаев Ю. А., 84  
Киселев Б. Р., 229  
Киселев В. В., 3, 84, 122, 252  
Киселева В. А., 198, 201, 573  
Клычков А. А., 88, 433  
Ключихин И. С., 84  
Ковалев С. В., 84  
Ковтун В. А., 104

Кожевников С. О., 435  
 Козлов Л. Н., 268  
 Козловский А. Э., 94  
 Колесникова А. Д., 306  
 Колобов А. Б., 96, 100, 125  
 Колобов М. Ю., 94, 147, 229  
 Кононов И. А., 309, 438  
 Копосов В. Н., 312  
 Коровкин А. А., 314  
 Короткевич С. Г., 104  
 Косенович Ю. С., 584  
 Кочуров В. И., 440  
 Кривошей О. И., 449, 504, 570  
 Кривцов С. П., 443, 447, 449  
 Кропотова Н. А., 116, 177  
 Круглов Д. В., 495  
 Крудышев В. В., 19  
 Куваева Е. Ю., 271  
 Кузнецов В. Б., 258, 435  
 Кузнецов К. Ю., 477  
 Кузнецов М. В., 318  
 Кулагин А. В., 429  
 Курчин Д. В., 320  
 Кушляев В. Ф., 320  
 Кушляева О. В., 320  
 Латышенко К. П., 398  
 Лебедев П. В., 461  
 Легкова И. А., 114, 248, 464  
 Лесной А. А., 466  
 Лукиенко Л. В., 107  
 Лычев С. С., 110, 469  
 Любимов А. О., 114, 116  
 Любимый Н. С., 550, 553  
 Максимов А. С., 229  
 Максимова А. А., 483  
 Малов М. С., 118, 435, 473  
 Мальцев А. Н., 584  
 Мамаев А. Н., 22  
 Маматова В. В., 139  
 Манин А. А., 122  
 Матвеева Е. В., 232  
 Милосердов Е. П., 477  
 Митронов Д. В., 258  
 Моисеев Ю. Н., 118, 293, 473  
 Молчанов А. В., 522  
 Морозов Н. А., 61  
 Морозова Н. В., 65  
 Музафьяров Р. Р., 192  
 Мухин Ю. С., 331, 334  
 Мякотин А. В., 501  
 Натареев С. В., 479  
 Наумов А. В., 440  
 Никитина С. А., 252  
 Никифоров А. Л., 522, 543  
 Никишов С. Н., 483  
 Новиков В. В., 337  
 Новопашин Л. А., 19  
 Ноздрин М. А., 461, 489  
 Огнев С. О., 493  
 Огурцов Ф. Б., 96, 125  
 Орлова Л. И., 570  
 Павлюкова Н. Л., 495  
 Палин Д. Ю., 129  
 Панченко С. Л., 262  
 Пастухов К. В., 156  
 Пахомов Е. Г., 133, 136, 201  
 Пахотин Н. Е., 265  
 Пахотина И. Н., 265  
 Пащенко С. В., 139  
 Плут М. Н., 142  
 Повтарев И. А., 147  
 Подобный А. В., 167  
 Позняк В. Ю., 443, 447  
 Покровский А. А., 189, 377, 466, 493  
 Полетаев В. А., 211, 235, 290, 331, 334  
 Прокопенко В. С., 498  
 Пучков П. В., 116, 309, 416, 540  
 Пушкарев А. Г., 156  
 Пылинский М. В., 449, 501, 504  
 Раевская Л. Т., 150, 154  
 Рассохин М. А., 156  
 Репин Д. С., 268  
 Решетов Г. В., 429  
 Родионов Е. А., 507  
 Романович А. А., 139  
 Романович М. А., 88, 133, 198, 358, 361,  
 409, 433, 573  
 Рыжонков Ю. В., 185  
 Сайкин М. С., 160, 163  
 Самохвалов А. А., 385  
 Сараев И. В., 507, 557  
 Сафонов М. С., 42, 498  
 Сафонова Н. Л., 513  
 Сафронов В. А., 443, 447  
 Сафронов Н. А., 438  
 Сахаров С. Е., 94  
 Сащенко В. Н., 156  
 Семенов А. Д., 374  
 Семенова К. В., 167  
 Сивцов С. Л., 81  
 Скрипник И. Л., 171, 515, 517  
 Слепаков А. Н., 519

Смирнов А. А., 564  
Смирнов В. А., 405  
Соловьев Д. О., 489  
Сопига В. А., 174  
Сорокин Д. В., 522  
Сошников А. Г., 341, 344  
Степанов С. Г., 527, 534  
Степанова Т. Ю., 271  
Суконщиков А. А., 540  
Суслов Д. С., 177  
Сучкова П. С., 543  
Сырбу С. А., 337  
Талашенко А. О., 180  
Татаркин А. В., 27, 32  
Телегин И. А., 279  
Терентьев В. В., 275, 279, 547  
Терёшкин Н. М., 501  
Тетеревлева Е. В., 182  
Тихонов А. И., 167  
Топоров А. В., 129, 185  
Топорова Е. А., 283  
Торопов Т. Д., 388  
Трубехин В. Н., 189  
Туранов Н. А., 180  
Тютюкин И. Ю., 271  
Ульева С. Н., 543  
Фатьянова Е. В., 570  
Федорич А. Р., 550, 553  
Федосеева В. П., 163  
Филиппов А. В., 19  
Халенгинов С. Б., 543  
Халитуев М. М., 557  
Харламов Р. И., 192, 194, 286, 564, 567  
Хонгорова О. В., 55  
Циркина О. Г., 522  
Чарыков А. К., 27, 32  
Чеботарев В. И., 501  
Чеботарёв В. И., 504, 570  
Чекалкина П. В., 504  
Чемшикова Ю. М., 182  
Четвериков Б. С., 550, 553  
Чеховской Е. И., 136, 198, 201, 573  
Чистов П. В., 189  
Шатило П. Г., 547  
Шеберстов М. С., 204  
Шевцов В. А., 577  
Шипилов Р. М., 429  
Широухов А. В., 581  
Шишин А. В., 185  
Шпачков С. Л., 584  
Шуваева В. В., 347  
Шургин И. А., 211  
Юрченко Р. А., 214  
Яковенко Т. А., 174  
Яценко С. М., 262

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

<i>Андреева О. И., Киселев В. В.</i> Актуальность диагностики деталей тормозных систем пожарных автомобилей .....	3
<i>Арбузова А. А.</i> Экзоскелет как средство повышения эффективности работы пожарного .....	6
<i>Арбузова А. А., Егорова Н. Е.</i> К вопросу об определении уровня надежности бетонных конструкций.....	9
<i>Атабаев М. С., Бочкарев А. Н., Семенов А. Д.</i> Анализ эффективности и перспективы использования пожарного двухзвенного гусеничного транспортера для тушения лесных пожаров .....	13
<i>Базаркин С. В., Ведерникова И. И.</i> Конструкция изолирующей металлокомпозитной накладки.....	16
<i>Балаба С. В., Филиппов А. В., Крудышев В. В., Новопашин Л. А., Гребнев Ю. В.</i> Исследование возможности очистки рабочей тормозной жидкости пожарных автомобилей	19
<i>Балабина Т. А., Мамаев А. Н.</i> Экспериментальное исследование колебаний в механизме с точным выстоем выходного звена.....	22
<i>Бараш А. Л., Жуков Л. В., Татаркин А. В., Чарыков А. К., Антюхов И. А.</i> Совершенствование системы комплектования запасными частями и принадлежностями дизельных энергетических установок.....	27
<i>Бараш А. Л., Жуков Л. В., Татаркин А. В., Чарыков А. К., Антюхов И. А.</i> Применение мобильных сервисных групп в процессе технической эксплуатации передвижных дизельных электростанций на объектах применения.....	32
<i>Батенков К. А.</i> Анализ надежности сложных структур на основе нижней границы Эзари–Прошана.....	39
<i>Бондаренко И. Р., Сафонов М. С.</i> Энергетический подход к оценке износа зубьев ковша экскаватора .....	42
<i>Бурлаков А. А., Воловиков В. С.</i> Планирование восстановления элементов сети связи.....	46
<i>Бурцев А. В., Дульцев С. Н.</i> Сравнительно-конструктивный анализ рулевых механизмов пожарной и аварийно-спасательной техники.....	49
<i>Веселовацкий В. Е., Хонгорова О. В.</i> Робототехника, используемая для тушения пожаров...55	
<i>Гоголев Ю. Г.</i> Повышение технологической надежности работы десублиматора-смесителя.58	
<i>Голубкина М. И., Морозов Н. А.</i> Влияние коэффициента возврата и времени рабочего цикла на надёжность работы контактора .....	61
<i>Гомонай М. В., Булгаков В. И., Ермилова В. А., Морозова Н. В.</i> Разработка аэродинамического стенда для отработки моделей ветрогенераторов воздушного размещения.....	65
<i>Гутовский А. В., Гомонай М. В., Беспалова Ю. О.</i> Технические требования к мобильному средству защиты боевого расчета пожарного автомобиля от повышенных тепловых воздействий в очаге лесного пожара.....	70

<i>Ерженин Н. Р., Гомонай М. В.</i> Роботизированный комплекс для тушения низовых пожаров .....	73
<i>Жуков Л. В., Гребенюк И. И., Бараиш А. Л.</i> Результаты экспериментальных исследований работы нагревательного элемента дизеля автомобильной техники .....	76
<i>Калинина Е. С., Сивцов С. Л.</i> Применение полумарковских процессов при расчете надежности сложных технических систем .....	81
<i>Кальмагаев Ю. А., Ключихин И. С., Ковалев С. В., Киселев В. В.</i> Повышение надежности пожарной техники за счет качественной организации ее ремонта и технического обслуживания .....	84
<i>Клычков А. А., Романович М. А.</i> Перспективы развития автомобильных кранов-манипуляторов .....	88
<i>Колобов М. Ю., Козловский А. Э., Сахаров С. Е., Бойцова В. В., Грименицкий П. Н.</i> Повышение эффективности центробежной мельницы .....	94
<i>Колобов А. Б., Огурцов Ф. Б.</i> Технология вибромониторинга промышленных роторных машин .....	96
<i>Колобов А. Б.</i> Разработка методики проектирования редуктора исполнительного однооборотного механизма системы автоматического управления .....	100
<i>Короткевич С. Г., Ковтун В. А.</i> Обеспечение надежности при эксплуатации цистерн прямоугольного сечения пожарных автомобилей .....	104
<i>Лукиенко Л. В.</i> Опорно-направляющее устройство для перемещения шахтных электровозов по наклонным выработкам .....	107
<i>Лычев С. С., Герасимов М. Д.</i> Вибрационный уплотнитель бетонной смеси .....	110
<i>Любимов А. О., Легкова И. А.</i> Прочностной расчет технического устройства для пожарно-спасательной части .....	114
<i>Любимов А. О., Кропотова Н. А., Пучков П. В.</i> Техническое решение для удаления выхлопных газов пожарных автомобилей из закрытых помещений .....	116
<i>Малов М. С., Блинов О. В., Годлевский В. А., Моисеев Ю. Н.</i> Результаты численного моделирования гидравлических параметров одноступенчатого центробежного пожарного насоса .....	118
<i>Манин А. А., Киселев В. В.</i> Разработка подъемных устройств для ремонта пожарной техники .....	122
<i>Огурцов Ф. Б., Колобов А. Б.</i> Исследование статистических параметров высокочастотной вибрации подшипников качения различных типов .....	125
<i>Палин Д. Ю., Топоров А. В., Арефьев И. М.</i> Разработка комбинированного магнитожидкостного уплотнения вала пожарного центробежного насоса .....	129
<i>Пахомов Е. Г., Анненко Д. М., Романович М. А.</i> Основные параметры отвала бульдозера и их влияние на эффективность его работы .....	133
<i>Пахомов Е. Г., Чеховской Е. И.</i> Модернизация уплотнения горячего конца печи с целью повышения энергоэффективности работы .....	136
<i>Пащенко С. В., Романович А. А., Маматова В. В.</i> Агрегат для распределения песко-соляных смесей .....	139
<i>Плут М. Н., Губская О. А.</i> Обоснование и выбор показателя надежности средств измерений автоматического измерительного комплекса .....	142
<i>Повтарев И. А., Колобов М. Ю.</i> Восстановление изношенных деталей пожарной техники .....	147



<i>Раевская Л. Т., Калентьев В. А.</i> Влияние динамической составляющей реакции опоры манипулятора на прочность .....	150
<i>Раевская Л. Т., Калентьев В. А.</i> Основные направления повышения надежности аксиально-поршневых пневмомоторов .....	154
<i>Рассохин М. А., Сащенко В. Н., Пушкарев А. Г., Пастухов К. В.</i> Определение износов деталей двигателя внутреннего сгорания методом безразборного контроля .....	156
<i>Сайкин М. С.</i> Разработка магнитожидкостных герметизаторов вращающихся валов модульного типа.....	160
<i>Сайкин М. С., Федосеева В. П.</i> Экспериментальное исследование силы взаимодействия постоянных магнитов магнитожидкостного датчика вибраций .....	163
<i>Семенова К. В., Подобный А. В., Тихонов А. И.</i> Методика расчета жизненного цикла трансформаторов.....	167
<i>Скрипник И. Л.</i> Повышение надежностных характеристик технологических трубопроводов на основе модифицированных клеевых композиций .....	171
<i>Сопица В. А., Яковенко Т. А.</i> Динамика автомобильного колеса при наезде на искусственную неровность .....	174
<i>Суслов Д. С., Кропотова Н. А.</i> Подъемное устройство для башенной сушки рукавов .....	177
<i>Талащенко А. О., Туранов Н. А., Иванов В. Е.</i> Разработка устройства для сушки пожарных рукавов секционного типа.....	180
<i>Тетеревлева Е. В., Иванов Н. А., Чемшикова Ю. М.</i> Проектирование рамы легкого вездехода на основе ее прочностного расчета .....	182
<i>Топоров А. В., Шишин А. В., Рыжонков Ю. В.</i> Синтез механизма устройства для модернизации ручного насоса для привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента.....	185
<i>Трубехин В. Н., Чистов П. В., Покровский А. А.</i> Обзор двухстоечных стендов для ремонта двигателей пожарных автомобилей .....	189
<i>Харламов Р. И., Музафьяров Р. Р.</i> Повышение надёжности оборудования для забора и подачи воды при использовании гидроэлеватора пожарного .....	192
<i>Харламов Р. И., Годлевский В. А.</i> Повышение надёжности насоса НЦПН-40/100 путём изменения показателей работоспособности его составных частей .....	194
<i>Чеховской Е. И., Романович М. А., Киселева В. А., Агафонов Д. С.</i> Описание устройства агрегата для получения кубовидного щебня .....	198
<i>Чеховской Е. И., Пахомов Е. Г., Киселева В. А., Агафонов Д. С.</i> Описание устройства агрегата для измельчения давлением и дезагрегации спрессованных материалов.....	201
<i>Шеберстов М. С., Зарубин В. П.</i> Влияние выбора подшипникового узла на работоспособность механизма.....	204
<i>Шургин И. А., Полетаев В. А.</i> Применение магнитных подшипников .....	211
<i>Юрченко Р. А.</i> Решения альтернативной разведки в МЧС России на базе микроконтроллеров Arduino и Raspberry PI .....	214

## СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПРОЦЕССЫ

<i>Баранов А. В.</i> Ультразвуковая диагностика трибосопряжений методом акустической эмиссии .....	219
<i>Баранов А. В.</i> Модификация смазочных материалов .....	222
<i>Баранов А. В.</i> Металлонаполненные пластичные смазочные материалы .....	225
<i>Бойцова В. В., Колобов М. Ю., Киселев Б. Р., Максимов А. С.</i> Исследование свойств порошковых стеклосодержащих материалов с бронзографитовой матрицей .....	229
<i>Васечкин М. А., Егоров В. Г., Матвеева Е. В.</i> Экспериментальные исследования абразивного износа деталей при ударе .....	232
<i>Власов А. М., Полетаев В. А.</i> Исследование влияния величины шероховатости поверхностей рабочего зазора на момент трения магнитожидкостного устройства .....	235
<i>Гамзина Ф. Я., Годлевский В. А.</i> Испытания трибологических свойств гомогенизированной эмульсии при трении металлов .....	238
<i>Даровской Г. В.</i> Тепловая задача в паре трения «ролик-колодка» на машинах трения типа «Амслер» .....	242
<i>Егоров С. А., Егорова Н. Е.</i> Испытание трения волокон в бункерных устройствах с покрытиями .....	246
<i>Зарубин В. П., Легкова И. А.</i> К изучению вопроса влияния миральных наполнителей в смазки на поверхность трения деталей с низкой твердостью .....	248
<i>Киселев В. В., Никитина С. А.</i> К вопросу повышения надежности и долговечности трансмиссий пожарных автомобилей .....	252
<i>Митронов Д. В., Блинов О. В., Годлевский В. А., Калинин Е. Н., Кузнецов В. Б.</i> Исследования трибологических свойств текстильных материалов на трибометре ТАУ-1 ...	258
<i>Панченко С. Л., Яценко С. М.</i> Способы контроля и снижения износа при работе машин .	262
<i>Пахотина И. Н., Пахотин Н. Е.</i> Современные методы разделения и очистки отработанных масел .....	265
<i>Репин Д. С., Зарубина Е. В., Козлов Л. Н.</i> Эффективность действия активированных СОТС с полимерными присадками при лезвийной обработке металлов .....	268
<i>Степанова Т. Ю., Куваева Е. Ю., Тютюкин И. Ю.</i> Влияние вязкости смазочного материала на контактное напряжение зубчатой передачи .....	271
<i>Терентьев В. В., Дементьев В. Д.</i> Влияние адсорбентов на качество очистки загрязненных моторных масел .....	275
<i>Терентьев В. В., Телегин И. А., Аконова О. Б.</i> Улучшение антифрикционных и противоизносных характеристик пластичной смазки .....	279
<i>Топорова Е. А.</i> Использование среды Microsoft Excel для построения математических моделей с применением метода «Бокс-3» для проектирования механических свойств ткани для пожарных рукавов .....	283
<i>Харламов Р. И., Годлевский В. А.</i> Улучшение трибологических характеристик смазочного материала на основе присадок с наночастицами .....	286

## ТРИБОЛОГИЯ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

<i>Аладышкина К. О., Полетаев В. А.</i> Конструкции алмазных выглаживателей.....	290
<i>Блинов О. В., Булаев Д. М., Годлевский В. А., Моисеев Ю. Н.</i> Экспресс-диагностика антифрикционных свойств СОТС на операциях обработки металлов осевым инструментом.....	293
<i>Егорычева Е. В., Волкова М. Ю.</i> Исследование влияния предварительного упрочнения и СОЖ на силу резания.....	298
<i>Егорычева Е. В.</i> Изменение уровня энергии деформации в контактной зоне режущего инструмента.....	300
<i>Егорычева Е. В.</i> Влияние предварительной обработки инструмента на шероховатость обработанной поверхности.....	304
<i>Колесникова А. Д., Ведерникова И. И.</i> Способы упрочнения зубьев зубчатых колес.....	306
<i>Кононов И. А., Пучков П. В.</i> Безабразивная обработка деталей машин в магнитной жидкости.....	309
<i>Копосов В. Н.</i> Синтез структур автоматизированных систем инструментального обеспечения ГПС на ранней стадии проектирования.....	312
<i>Коровкин А. А., Ведерникова И. И.</i> Технология сварки труб.....	314
<i>Кузнецов М. В.</i> Каталитическое азотирование: новая перспективная технология химико-термической обработки поверхностей металлических изделий.....	318
<i>Кушляев В. Ф., Кушляева О. В., Курчин Д. В.</i> Методика оптимального проектирования профиля ножей рабочего органа транспортно-технологических машин.....	320
<i>Мухин Ю. С., Полетаев В. А.</i> Расчет напряженно деформированного состояния металла детали при механической обработке.....	331
<i>Мухин Ю. С., Полетаев В. А.</i> Анализ напряженно деформированного состояния детали...334	334
<i>Новиков В. В., Бурченков К. С., Сырбу С. А.</i> Численное моделирование тепловых процессов при резании с учетом температурных изменений механических свойств обрабатываемого материала.....	337
<i>Сошников А. Г., Ведерникова И. И.</i> Создание системы подготовки обработки детали станка с ЧПУ.....	341
<i>Сошников А. Г., Ведерникова И. И.</i> Влияние материала режущей пластины на процесс резания.....	344
<i>Шуваева В. В., Ведерникова И. И.</i> Механическая обработка деталей типа тело вращения .347	347

## АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПОЖАРНЫХ И СПАСАТЕЛЕЙ

<i>Артемова Н. В., Багажков И. В.</i> Искусственные нейронные сети в модели оценки газовоздушной среды.....	351
<i>Багажков И. В.</i> Особенности прогноза развития и распространения пожара в зданиях учебных заведений.....	354
<i>Берёзкин М. С., Романович М. А.</i> Усовершенствование машиностроения как основа развития экономики России.....	358

<i>Берёзкин М. С., Романович М. А.</i> Применение информационных технологий в производственном процессе .....	361
<i>Боговик А. В., Губская О. А.</i> Метрологический подход к моделированию информационно-измерительной системы мониторинга и управления транспортной сетью связи .....	364
<i>Боговик А. В., Губская О. А.</i> Особенности моделирования иерархической системы мониторинга и управления параметрами телекоммуникационного оборудования транспортной сети связи .....	367
<i>Бойков А. А.</i> Об использовании конструктивных геометрических алгоритмов в САПР .....	370
<i>Бочкарева О. В., Семенов А. Д., Бочкарев А. Н.</i> Расчет временных показателей проведения аварийно-спасательных работ .....	374
<i>Бурнашов А. С., Покровский А. А.</i> Разработка управленческо-технологической схемы технического обслуживания и ремонта пожарной техники .....	377
<i>Винограденко А. М., Веселовский А. П., Губская О. А.</i> Адаптация информационных потоков измерительной информации в условиях отказов объектов контроля .....	380
<i>Вишняков Н. И., Самохвалов А. А.</i> Общая методика разработки требований к военной технике связи .....	385
<i>Волкова М. Ю., Егорычева Е. В., Торопов Т. Д.</i> Зависимость удобства рабочей среды от формы оборудования на примере пульта управления АЭС .....	388
<i>Волкова М. Ю.</i> Инструменты вычислительного и аналитического моделирования для проектирования объектов .....	391
<i>Воронин С. В.</i> Определение показателя конструктивной организованности разрабатываемых изделий .....	394
<i>Воронин С. В.</i> Представление новых разрабатываемых изделий через теорию сложных технических систем .....	396
<i>Гарелина С. А., Данилов М. Г., Латышенко К. П.</i> Оценка возможности использования ТММ 3 с опиранием на обрушенный пролет моста .....	398
<i>Гомонай М. В.</i> Патентные исследования как инструмент оценки научно-технического уровня новых разработок в области создания аварийно-спасательной техники .....	401
<i>Горев А. Р., Смирнов В. А.</i> Экономический эффект использования компрессионной пены .....	405
<i>Гринь Д. А., Романович М. А.</i> Актуальные аспекты получения кубовидного щебня .....	409
<i>Демечкин А. С., Зарубин В. П.</i> Обзор характерных пожаров на авозаправочных станциях .....	411
<i>Долотин Г. А., Пучков П. В.</i> Разработка конструкции станка для навязки пожарных рукавов на соединительные головки .....	416
<i>Егорова Н. Е.</i> Особенности разработки программного приложения по расчету и оценке пожарных рисков .....	419
<i>Егорова Н. Е.</i> Алгоритмы обнаружения динамических объектов .....	424
<i>Иванов В. Е.</i> Снижение металлоемкости конструкции средствами Autodesk Inventor .....	427
<i>Казанцев С. Г., Шипилов Р. М., Ведякин Ю. А., Кулагин А. В., Решетов Г. В.</i> Проект тренажерного комплекса многоскатной крыши .....	429
<i>Клычков А. А., Романович М. А.</i> Анализ оборудования для измельчения материалов, применяемых в дорожном строительстве .....	433
<i>Кожевников С. О., Кузнецов В. Б., Малов М. С.</i> Исследование гидродинамики жидкости в роторных устройствах .....	435

<i>Кононов И. А., Сафронов Н. А., Иванов В. Е.</i> Разработка принципиальной схемы драйвера двигателя робототехнического устройства .....	438
<i>Кочуров В. И., Наумов А. В.</i> Системы получения компрессионной пены у зарубежных производителей .....	440
<i>Кривцов С. П., Позняк В. Ю., Сафронов В. А., Заманов А. С.</i> Интерактивное моделирование сети автоматической телефонной станции .....	443
<i>Кривцов С. П., Позняк В. Ю., Сафронов В. А., Заманов А. С.</i> Моделирование сети документальной связи на основе комплекса технических средств обработки сообщений....	447
<i>Кривцов С. П., Пылинский М. В., Васин А. С., Кривошей О. И.</i> Моделирование мультисервисной сети связи .....	449
<i>Иванов В. Е.</i> Разработка грузовой тележки для облегчения ремонта крупногабаритных агрегатов пожарной техники.....	453
<i>Кропотова Н. А.</i> Особенности управления технической подготовкой специалистов техносферной безопасности.....	455
<i>Ноздрин М. А., Лебедев П. В.</i> Расчет напряжений и деформаций ортеза сустава руки .....	461
<i>Легкова И. А.</i> Особенности самостоятельной познавательной деятельности обучающихся при выполнении конструкторской документации .....	464
<i>Лесной А. А., Покровский А. А.</i> Сушка материала боевой одежды пожарных с использованием механических активаторов .....	466
<i>Лычев С. С., Герасимов М. Д.</i> Анализ процессов уплотнения грунтов различными способами .....	469
<i>Малов М. С., Блинов О. В., Годлевский В. А., Моисеев Ю. Н.</i> Результаты численного моделирования гидравлических параметров одноступенчатого центробежного пожарного насоса .....	473
<i>Милосердов Е. П., Кузнецов К. Ю.</i> Структуры для описания трехмерных твердотельных моделей .....	477
<i>Натареев С. В., Захаров Д. Е., Калинин В. В., Беляев С. В.</i> Методика расчета процесса ионного обмена в аппарате с плотным слоем ионита непрерывного действия.....	479
<i>Никишов С. Н., Максимова А. А.</i> Разработка дополнительных нормативов для подготовки газодымозащитников .....	483
<i>Ноздрин М. А., Соловьев Д. О.</i> Эскизное проектирование агрегата пищевой промышленности .....	489
<i>Огнев С. О., Покровский А. А.</i> Становление теоретической механики в качестве основы развития современных отраслей техники.....	493
<i>Павлюкова Н. Л., Круглов Д. В.</i> Проект учебной лаборатории аддитивных технологий .....	495
<i>Прокопенко В. С., Сафонов М. С.</i> Анализ конструкций очистки воздуха с помощью мокрого способа .....	498
<i>Пылинский М. В., Чеботарев В. И., Мякотин А. В., Терёшкин Н. М.</i> Построение транспортной сети взаимоуязванной системы связи.....	501
<i>Пылинский М. В., Чеботарёв В. И., Кривошей О. И., Чекалкина П. В.</i> Моделирование сети связи специального назначения.....	504
<i>Родионов Е. А., Сараев И. В., Бубнов А. Г.</i> Анализ тактико-технических характеристик пожарных рукавов, находящихся в пожарно-спасательных подразделениях Арзамасского пожарно-спасательного гарнизона.....	507

<i>Сафонова Н. Л.</i> О современном подходе к проектированию гражданского самолета SSJ75.....	513
<i>Скрипник И. Л.</i> Вопросы оценки технического уровня новых изделий.....	515
<i>Скрипник И. Л.</i> Исследование поведения конструктивных веществ в агрессивных средах.....	517
<i>Слепаков А. Н., Багажков И. В.</i> Приоритетные направления развития производства пожарных автомобилей в России .....	519
<i>Сорокин Д. В., Никифоров А. Л., Циркина О. Г., Молчанов А. В.</i> Статистическое обоснование необходимости разработки и усовершенствования технических средств обеспечения безопасности пожарных.....	522
<i>Степанов С. Г.</i> Зависимости для расчета внутреннего разрывного давления в напорных пожарных рукавах.....	527
<i>Степанов С. Г.</i> К расчету уработки нитей при изготовлении тканых армирующих каркасов напорных пожарных рукавов.....	534
<i>Суконщиков А. А., Пучков П. В.</i> Восстановление деталей механизмов с помощью 3D печати .....	540
<i>Сучкова П. С., Халенгинов С. Б., Ульева С. Н., Никифоров А. Л.</i> Проблемы расчета и применения активной молинезащиты.....	543
<i>Терентьев В. В., Шатило П. Г.</i> Установка для антикоррозионной защиты наружных поверхностей техники .....	547
<i>Федорич А. Р., Четвериков Б. С., Любимый Н. С.</i> Автоматизация технологического процесса дробления строительных материалов путём управления размером выходной щели дробилки .....	550
<i>Федорич А. Р., Четвериков Б. С., Любимый Н. С.</i> Экспериментальное исследование управления размером выходной щели дробилками .....	553
<i>Халитюев М. М., Сараев И. В., Бубнов А. Г.</i> Оценка применения методики относительной общей пользы для выбора оборудования на примере пожарно-спасательных подразделений Республики Дагестан .....	557
<i>Харламов Р. И., Смирнов А. А.</i> Резервный источник питания для пожарного оборудования с электроприводом.....	564
<i>Харламов Р. И., Ефанов А. С.</i> Автоматизированное управление работой газоструйного вакуумного аппарата.....	567
<i>Чеботарёв В. И., Орлова Л. И., Кривошей О. И., Фатьянова Е. В.</i> Оценка влияния элементов сети связи при решении распределительной задачи.....	570
<i>Чеховской Е. И., Романович М. А., Киселева В. А., Агафонов Д. С.</i> Расчет мощности привода энергосберегающего агрегата для получения кубовинового щебня .....	573
<i>Шевцов В. А., Зарубин В. П.</i> Выбор подъемных механизмов для проведения технического обслуживания и ремонта пожарных автомобилей .....	577
<i>Широухов А. В.</i> Развития усталостных трещин при проектировании деталей машин .....	581
<i>Шпачков С. Л., Будин А. А., Косенович Ю. С., Букарин А. В., Мальцев А. Н.</i> Роль дисциплины «пожарная тактика» в подготовке должностных лиц, осуществляющих непосредственное руководство действиями личного состава подразделений по тушению пожаров.....	584
<b>АВТОРСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ .....</b>	<b>588</b>

# НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

СБОРНИК МАТЕРИАЛОВ X ВСЕРОССИЙСКОЙ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
ИВАНОВО, 18 АПРЕЛЯ 2019 г.

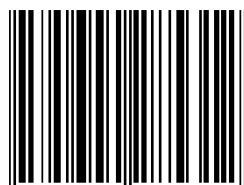
*Текстовое электронное издание*

Издается в авторской редакции

Подготовлено к изданию 11.04.2019 г.  
Формат 60×84 1/8. Усл. печ. л. 37,4. Уч.-изд. л. 34,8. Заказ № 36

Отделение организации научных исследований  
экспертно-консалтингового отдела  
Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России  
153040, г. Иваново, пр. Строителей, 33

ISBN 978-5-6042853-1-2



9 785604 285312