

**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»**

**Технологии дистанционного мониторинга  
крупных пожаров с использованием  
беспилотных авиационных систем**

**Монография**

Иваново 2020

УДК 614.842  
ББК 32.97+22.19  
М 74

*Рецензенты:*

**С. А. Качанов**, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, заместитель начальника по научной работе ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий)

**А. А. Порошин**, доктор технических наук, начальник научно-исследовательского центра организационно-управленческих проблем пожарной безопасности ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России»

Технологии дистанционного мониторинга крупных пожаров с использованием беспилотных авиационных систем: монография / А. В. Кузнецов, Н. Г. Топольский, М. О. Баканов [и др.]. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. – 124 с. – ISBN 978-5-6042853-5-0

Монография посвящена теоретическим основам и практическим аспектам комплексной оценки качества системы мониторинга, созданной на базе беспилотных авиационных систем с целью формирования единого информационного пространства для эффективного управления подразделениями, участвующими в предупреждении и ликвидации крупных и затяжных пожаров.

Рассмотрены систематизированные результаты, полученные в ходе решения научной задачи, состоящей в разработке моделей комплексной оценки качества системы мониторинга, созданной на базе беспилотных авиационных систем с целью формирования единого информационного пространства для эффективного управления подразделениями, участвующими в предупреждении и ликвидации пожаров

УДК 614.842  
ББК 32.97+22.19

ISBN 978-5-6042853-5-0

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	5
<b>ГЛАВА 1. КОНЦЕПЦИЯ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ</b> .....	8
1.1. Концепция мониторинга пожаров .....	8
1.1.1. Системы мониторинга пожаров.....	9
1.1.2. Модель мониторинга пожара на основе теории автоматов .....	12
1.1.3. Основные требования к построению систем мониторинга .....	13
1.2. Анализ применения средств мониторинга беспилотной авиации .....	15
1.2.1. Перспективы развития беспилотной авиации .....	15
1.2.2. Анализ применения беспилотных летательных аппаратов .....	18
1.3. Информационные ресурсы системы мониторинга .....	30
1.3.1. Функции системы мониторинга.....	30
1.3.2. База данных информационных ресурсов системы мониторинга .....	33
1.3.3. Анализ информационных ресурсов системы мониторинга.....	34
Выводы по главе 1 .....	43
<b>ГЛАВА 2. МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ</b> .....	44
2.1. Модели управления беспилотными авиационными системами.....	44
2.1.1. Основы управления беспилотными авиационными системами.....	44
2.1.2. Развитие управления при мониторинге пожаров.....	46
2.2. Комплексная оценка мониторинга пожаров.....	47
2.2.1. Модель комплексной оценки мониторинга пожаров .....	48
2.2.2. Структура комплексной оценки мониторинга пожаров .....	51
2.3. Резервирование средств оперативного мониторинга пожаров .....	55
2.3.1. Постановка и решение задачи резервирования мониторинга .....	55
2.3.2. Практическое применение теоретической модели .....	59
2.3.3. Направления развития теоретических моделей .....	61
Выводы по главе 2.....	65

<b>ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ</b> .....	67
3.1. Мониторинг беспилотными авиационными системами .....	67
3.1.1. Постановка и решение задачи расчета средств мониторинга .....	68
3.1.2. Анализ результатов решения задачи.....	72
3.2. Данные для планирования мониторинга .....	74
3.3. Расчет необходимого количества средств мониторинга.....	77
3.3.1. Схема организации мониторинга пожара.....	78
3.3.2. Пример применения теоретических результатов.....	81
Выводы по главе 3 .....	82
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	83
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b> .....	85
Приложение. Информационные ресурсы системы мониторинга пожаров в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах (фрагмент) .....	91

## ВВЕДЕНИЕ

Общая концепция борьбы с пожарами в Российской Федерации определяет ряд практических аспектов управления разрозненными во времени и пространстве элементами системы прогнозирования, предупреждения и ликвидации крупных пожаров. Информационное обеспечение данной системы полностью основано на результатах мониторинга, которые в совокупности с методами прогнозирования обеспечивают объективной информацией все этапы предупреждения и борьбы с пожарами.

Однако развитие цифровых технологий определило объективную потребность в оснащении результатов мониторинга как информационной составляющей управления интеллектуальным анализом результатов мониторинга – аналитической составляющей управления. Поэтому на современном этапе информационно-аналитические системы управления нуждаются в развитии. Важным направлением совершенствования информационно-аналитических систем управления в области борьбы с пожарами является комплексная оценка их организации и функционирования, для чего необходимо иметь объективный количественный инструментарий, создание которого возможно на основе теории интегрированных систем пожаровзрывозащиты, разработанной заслуженным деятелем науки Российской Федерации, доктором технических наук, профессором Николаем Григорьевичем Топольским.

Таким образом, **целью** монографии является теоретическое обобщение разработанных моделей комплексной оценки организации мониторинга пожаров на основе беспилотных авиационных систем.

Для достижения поставленной цели в монографии необходимо решить следующие **научные задачи**:

1. Предложить параметры классификации средств мониторинга и с их использованием провести анализ практики применения беспилотных авиационных систем при мониторинге крупных пожаров.

2. Разработать структурную схему формализации, классификации и хранения информационных ресурсов, необходимых для решения практических задач организации мониторинга крупных пожаров на основе беспилотных авиационных систем.

3. Синтезировать комплекс моделей для оценки организации мониторинга крупных пожаров с учетом объективных требований к созданию ориентированных на практику борьбы с пожарами устройств, средств и систем мониторинга.

4. Разработать модель по принятию решений о привлечении резервных средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем с учетом требований непрерывности и устойчивости мониторинга.

5. Предложить практические рекомендации по применению теоретических положений организации мониторинга на основе беспилотных авиационных систем при мониторинге крупных пожаров.

Монография посвящена решению важной **научной задачи**, состоящей в разработке моделей комплексной оценки качества системы мониторинга, созданной на базе беспилотных авиационных систем с целью формирования единого информационного пространства для эффективного управления подразделениями, участвующими в предупреждении и ликвидации пожаров.

**Научная новизна** работы заключается в том, что в ней впервые на основе применения методов теории вероятностей, математической статистики, теории автоматов и теории алгоритмов разработаны и исследованы следующие научные результаты:

1. Для научного анализа беспилотных авиационных систем как средств мониторинга пожара предложена система количественных показателей, таких как оперативность развертывания системы мониторинга; качество передаваемой информации при мониторинге; экономическая составляющая: стоимость средства мониторинга.

2. На основе классификации синтезированы информационные ресурсы для управления беспилотными авиационными системами при мониторинге пожаров. Предложены варианты реализации информационных ресурсов в системах мониторинга, построенных с применением теоретической модели клеточных автоматов.

3. Разработана структурная схема корректировки экономических показателей с учетом резерва беспилотных авиационных систем, что позволяет оптимизировать комплекс профилактических мероприятий борьбы с крупномасштабными пожарами в части мониторинга их развития.

4. Предложен комплекс алгоритмических и структурных решений для проектирования сложных систем управления при мониторинге крупных пожаров на основе беспилотных авиационных систем. Важной особенностью здесь является учет современного уровня развития технологий, что позволяет использовать разработанный комплекс решений при математическом описании состояний мониторинга на основе теории автоматов. При постановке задачи планирования мониторинга была предусмотрена возможность учета изменений состояний системы управления вследствие воздействия внешней среды, что носит определяющий характер при оценке адекватности результатов моделирования.

5. Предложены методы определения предельных состояний системы мониторинга крупных пожаров на основе анализа ее структурно-логической модели. Данные результаты в перспективе развития системы мониторинга позволят применить разработанные модели в интегрированных, автоматизированных системах пожаровзрывозащиты.

6. Предложена концептуальная модель резервирования средств мониторинга пожара на основе прогноза динамики состояний системы управления. Разработан метод оценки состояний системы мониторинга с целью прогнозирования эффективности ее функционирования в режиме реального времени.

**Практическая значимость** работы заключается в решении задач планирования, организации и реализации мониторинга крупных пожаров на основе беспилотных авиационных систем. В результате работы получены следующие практические результаты:

1. Разработана процедура планирования резерва средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем с целью повышения качества информационного обеспечения действий подразделений, участвующих в ликвидации пожаров.

2. Сформированы требования к информационным ресурсам, необходимым для реализации мониторинга крупных пожаров. Рассмотрены практические аспекты применения теоретических положений резервирования средств мониторинга пожаров на основе беспилотных авиационных систем.

3. Предложена методика комплексной оценки предельных состояний системы мониторинга для решения комплекса задач его планирования и организации при затяжных пожарах.

4. Разработаны процедуры решения практических задач, связанных с комплексной оценкой необходимого количества средств мониторинга, включая резервные средства, для его качественной реализации.

Монография состоит из основной части на 90 страницах, включающей три главы, содержащие развёрнутое решение поставленных теоретических и практических задач, заключения, списка литературы из 60 наименований, приложения с фрагментом базы данных информационных ресурсов системы мониторинга пожаров в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах.

Научные результаты иллюстрированы 26 рисунками и 7 таблицами, включающими табулированные значения функций, необходимых при расчете резервных средств мониторинга крупных пожаров на основе беспилотных авиационных систем.

## **ГЛАВА 1. КОНЦЕПЦИЯ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

В главе проводится анализ современных средств мониторинга, рассматриваются модели дистанционного мониторинга пожара на открытых пространствах. Решается задача перспективного планирования требуемого количества средств мониторинга для обеспечения необходимого уровня качества. Представлена база данных информационных ресурсов средств мониторинга на базе беспилотных авиационных систем. Рассматриваются примеры средств дистанционного мониторинга, объединенные в единую систему или подсистему по функциональному признаку.

### **1.1. Концепция мониторинга пожаров**

Специфика реализации систем мониторинга зависит от его видов и специфики основных функций, а именно: сбор информации, получение прогнозов, оценка безопасности и оценка результативности [10,11].

Исходя из реализации одной или нескольких функций, системы мониторинга подразделяются на монофункциональные и многофункциональные. Функции мониторинга включают в себя основные функции мониторинга динамики пожара и системы, их реализующие.

Первой и основной функцией мониторинга является сбор информации о динамике пожара для целей управления техническими средствами пожарной автоматики, а также пожарными подразделениями [19, 16, 26, 17, 20].

Система информационного мониторинга пожара предназначена только для сбора, обработки и хранения результатов мониторинга и обеспечивает констатацию состояния пожара. Таким образом, данный вид систем мониторинга необходим для информационного обеспечения функций прогноза динамики параметров пожара и оценки критериев результативности действий по тушению пожара. В общем случае данные функции мониторинга выходят за границы задач, решаемых системой информационного мониторинга [21, 22].

Второй функцией мониторинга является контроль за результативностью технических систем пожарной автоматики и действий пожарно-спасательных подразделений. Контроль реализуется посредством анализа динамики параметров мониторинга пожара [23].

Система мониторинга результативности тушения пожара предназначена для оценки результатов действий по тушению пожара по заданным критериям результативности. В общем случае данный вид систем мониторинга обеспечивает потребителя результатов мониторинга данными, позволяющими сделать вывод о том, насколько эффективно участники тушения пожара выполняют или выполнили поставленные перед ними задачи [25].

Третья функция мониторинга определяет возможность оценки условий безопасной работы участников тушения пожара в процессе выполнения действий, направленных на локализацию и ликвидацию пожаров, а также



спасание людей и имущества при пожаре. Система мониторинга безопасности участников тушения пожара предназначена для наблюдения за изменением значений параметров безопасности участников тушения пожара, а также извещения потребителей результатов мониторинга о достижении параметрами безопасности критических для участников тушения пожара значений. Данный вид систем относится к системе безопасности пожарных, которые в качестве критериев безопасности используют не только показатели физического состояния, но и параметры окружающей среды пожара – температуру, условия видимости [17, 19].

Для полной реализации функций мониторинга при выборе теоретической основы для разработки моделей и методов мониторинга необходимо:

- обеспечить применение результатов моделирования в режиме реального времени с учетом динамики пожара;
- выполнить моделирование процесса мониторинга динамики пожара для проектирования систем и моделирования ее работы;
- произвести обработку результатов мониторинга с возможностью восполнения недостающих фрагментов данных, отсутствующих по техническим либо иным причинам;
- представить результаты мониторинга в количественной форме с учетом метрологического анализа информационных компонент систем пожарной автоматики.

### **1.1.1. Системы мониторинга пожаров**

Мониторинг пожара осуществляется с использованием средств мониторинга, то есть технических устройств, предназначенных для решения задач получения, обработки, хранения и передачи данных, включая представление данных потребителю результатов мониторинга [13]. Средства мониторинга классифицируются по виду, способу размещения, а также по назначению и характеру использования. По способу размещения средства мониторинга разделяют на стационарные (технические устройства, не предусматривающие изменение их позиции в процессе мониторинга) и мобильные (технические устройства, предусматривающие возможность перемещения, изменения позиции в пространстве) при реализации мониторинга, посредством участников тушения пожара пожарной и приспособленной для средств пожаротушения техники и технических средств.

По назначению средства мониторинга подразделяются на средства съема данных; средства передачи данных; устройства представления данных; устройства и блоки оперативной обработки данных; устройства хранения данных. Взаимодействие средств мониторинга происходит с использованием проводных и беспроводных линий связи. Совокупность средств мониторинга, включая структуры их взаимодействия, предназначенная для обеспечения потребителей результатов мониторинга информацией о возникновении и прогнозе развития пожара, является системой мониторинга пожара.

Системы мониторинга классифицируются по четырем основным признакам:

1. По функциям мониторинга:
  - монофункциональные;
  - многофункциональные;
2. По удаленности мониторинга:
  - локальные;
  - дистанционные;
3. По количеству параметров мониторинга:
  - однопараметрические;
  - многопараметрические;
4. По способу мониторинга:
  - дискретные;
  - непрерывные.

Анализируя системы мониторинга по функциям мониторинга, выделяют монофункциональную систему, рассматривая ее как вид систем мониторинга, включающих в себя реализацию только одной из функций мониторинга пожара. В свою очередь, многофункциональная система мониторинга пожара реализует одновременно нескольких функций мониторинга пожара.

Рассматривая существующие системы мониторинга пожара (далее – системы), исходя из специфики принятия решений при управлении на пожарах, в первом приближении можно выделить два основных вида систем, рассматриваемых ниже.

К одному из перспективных видов относятся системы, позволяющие проводить сбор информации для принятия решений с помощью средств объективного дистанционного мониторинга состояния пожаров.

Система информационного мониторинга пожара предназначена только для сбора, обработки и хранения результатов мониторинга и обеспечивает идентификацию состояния пожара [10, 11]. Системы предназначены для решения двух основных задач: 1 – констатация и прогноз развития пожара; 2 – оценка результативности действий по тушению пожара. Функция прогноза развития пожара предназначена для оценки динамики параметров пожара с целью принятия решений о возможности его тушения имеющимися техническими системами или силами и средствами пожарно-спасательного подразделения. Внедрение системы прогнозного мониторинга обусловлено использованием для принятия управленческих решений прогнозных значений параметров, полученных на основе текущих значений с использованием соответствующих прогнозных математических моделей. Функция оценки результативности тушения пожара предназначена для оценки результатов действий по тушению пожара по заданным критериям результативности. В общем случае данный вид систем мониторинга обеспечивает потребителя результатов мониторинга данными, позволяющими сделать вывод о том, насколько эффективно участники тушения пожара выполняют поставленные перед ними задачи.

В общей концепции управления при тушении пожаров под мониторингом пожара понимают процесс непрерывного или дискретного сбора данных о динамике пожара, включая обработку, анализ, а также представление данных с целью обеспечения системы управления действиями по тушению пожара и других потребителей результатами мониторинга, полной и дифференцированной по иерархии управления информацией о возникновении и прогнозе развития пожара. Потребителями результатов мониторинга являются должностные лица и структуры управления, непосредственно использующие результаты мониторинга для принятия решений, направленных на локализацию и ликвидацию пожара. В основном практика тушения пожаров показывает, что потребителями результатов мониторинга являются руководитель тушения пожара, должностные лица нештатной структуры управления действиями на пожаре (оперативный штаб пожаротушения), должностные лица центра управления в кризисных ситуациях МЧС России, а также другие структуры, заинтересованные в результатах мониторинга состояния пожара [13].

При разработке модели дистанционного мониторинга состояния пожара необходимо произвести обоснованный выбор метода моделирования мониторинга пожара. Для этого рассмотрим основные подходы моделирования мониторинга состояния пожара: модель соответствия требуемым значениям; модель взаимодействия входных и выходных параметров; процессная модель мониторинга; динамическая модель мониторинга.

Метод оценки соответствия состояния – это один из наиболее распространенных методов мониторинга состояния пожара, основанный на системе принципов определения возникновения пожара на объекте, оборудованном системой мониторинга. На основе данного метода разрабатывается модель оценки состояния пожара. Возникновение пожара в данной модели соответствует ситуации, когда один или несколько параметров, контролируемых системой мониторинга пожара, примет значение, превышающее заранее заданные критические значения. Например, если в качестве контролируемого параметра пожара рассмотреть температуру газовой среды с критическим значением  $t = 64 \text{ }^\circ\text{C}$ , то в случае, если измерение данного параметра средством мониторинга превысит данное значение, система мониторинга трактует данное событие как пожар. Достоинством данной модели мониторинга является простота реализации, а недостатком – ограниченные возможности интерпретации результатов мониторинга.

Метод мониторинга пожара, построенный на принципе «вход – выход», определяет процесс мониторинга по схеме «черного ящика» и используется при моделировании изменения критических значений. Данный метод используется для средств мониторинга с функцией самодиагностики. На основе самодиагностики средства мониторинга самостоятельно изменяют критические значения контролируемого параметра пожара. Достоинством метода является повышенная объективность результатов мониторинга, недостатком – необходимость использования дополнительных цифровых моделей обработки

результатов, существенно расширяющих диапазон допустимых значений контролируемого параметра.

Динамический метод моделирования мониторинга пожара подразумевает описание процесса изменения значений мониторинга пожара посредством систем дифференциальных уравнений. Модель мониторинга построена на основе динамического метода и предназначена для контроля как одного, так и нескольких параметров пожара. Процесс мониторинга состоит в том, что после достижения контролируемым параметром своего критического значения средство мониторинга фиксирует это событие и продолжает непрерывное наблюдение за динамикой его значений, где каждому диапазону значений присваивается определенное число, соответствующее состоянию пожара. Достоинством данной модели мониторинга является большее чем одно контролируемое состояние пожара и возможность моделирования динамики нескольких контролируемых системой мониторинга параметров пожара. Недостатком данной модели является сложность реализации.

В целях теоретического обобщения существующих моделей необходимо произвести разработку аналитического способа моделирования динамики параметров пожара в процессе дистанционного мониторинга состояний пожара. При этом в качестве основы для теоретического обобщения будет рассмотрена модель клеточных автоматов и интегральный метод моделирования пожара в помещении [4-8, 15, 24, 18].

### **1.1.2. Модель мониторинга пожара на основе теории автоматов**

Структура результатов мониторинга пожара и специфика принятия решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений, заключающаяся в одновременном решении нескольких задач, определяют необходимость моделирования мониторинга методами теории цифровых автоматов, теоретические положения которой впервые сформулировал и применил в автоматических системах защиты заслуженный деятель науки Российской Федерации, доктор технических наук, профессор Николай Григорьевич Топольский [1].

Модель цифрового автомата – это дискретная математическая модель, включающая в себя совокупность состояний анализируемой системы на рассматриваемый дискретный момент времени может находиться в одном из наперед заданных состояний. Множество возможных состояний автомата счётно. В рассматриваемой компьютерной модели применение модели автомата необходимо для визуализации результатов работы систем мониторинга состояния пожара. В такой постановке задачи работа системы мониторинга представляется как процесс функционирования сложной динамической системы, внутренние процессы в которой описываются с помощью концепции «серый ящик». Процессы распространения пожара в модели описываются системой дифференциальных уравнений, аналогичной модели «гибели-размножения» как частного случая записи системы уравнений

Колмогорова. Эта замена обусловлена аналогией уравнений пожара в системе уравнений А.Н. Колмогорова и их частной реализации в виде уравнений Эрланга при определенных упрощениях и допущениях.

Каждая зона контроля с одним средством измерения системы мониторинга состояния пожара представляется в виде ячейки автомата с конечным числом состояний

$$\{S_0, S_1, \dots, S_k\}. \quad (1.1)$$

Каждому состоянию системы соответствует диапазон значений параметра пожара

$$\{p_0, p_1, \dots, p_k\}. \quad (1.2)$$

Система находится в состоянии  $S_i$ , если результат измерения  $p_k$  принадлежит интервалу  $p_k \in [p^1, p^2)$ . Проверка условия осуществляется для каждого дискретного момента времени. Таким образом, необходимо задать функцию, описывающую динамику контролируемого системой мониторинга параметра пожара, чтобы иметь возможность получения конкретного значения  $p_k$ .

### 1.1.3. Основные требования к построению систем мониторинга

Анализ концепций формирования информационных систем мониторинга пожаров показал жизнеспособность двух основных вариантов: создание интегральной информационной системы; разработка локальной информационной системы. Однако особенности реализации действий пожарных подразделений определили систему требований, предъявляемых к информационным системам, способным к функционированию в боевом режиме. Поэтому практика решения задач управления определила третий вариант разработки информационной системы мониторинга, который не подвергался принципиальному анализу в совокупности существующих требований, поэтому цель данного исследования состоит в определении необходимого и достаточного количества требований для успешного применения разрабатываемых по новому варианту систем мониторинга.

Наиболее важным с практической точки зрения управления является полное информационное сопровождение реализации задач управления. Поэтому первое требование к информационной системе мониторинга заключается в том, что информационная система должна обеспечивать сопровождение всех задач управления, непосредственно определяющих результат тушения пожара. Данное требование справедливо для интегральных и локальных информационных систем с различием, состоящем в том, что локальная система ограничена по количеству решаемых задач управления,

поэтому выполнение первого требования обеспечит надлежащее качество решения только локальных, частных задач управления.

Совокупность задач управления при тушении пожаров носит прогнозный характер. Реализация решения одной задачи является основанием для возникновения новых задач, схожих по структуре с исходной. Поэтому для локальной и интегральной информационных систем мониторинга необходимо выполнение второго требования: информационная система должна обеспечивать сопровождение всех задач управления, непосредственно определяющих результат тушения пожара.

В реализации управленческой деятельности на пожаре априори принято, что информационные системы не должны быть ориентированы только на конкретного пользователя, так как выезд на пожары осуществляется в режиме дежурных смен (или караулов) и роль руководителя тушения пожара в районе и подрайоне выезда пожарных подразделений будут выполнять разные люди. Данное утверждение справедливо как для тушения крупных пожаров, так и для тушения пожаров в начальной стадии развития. Таким образом, третье требование, предъявляемое к информационной системе мониторинга, состоит в том, что информационная система должна быть способной к адаптации под специфику реализации различных по структуре задач управления.

При управлении на пожаре группой должностных лиц необходима дифференциация информации по уровням их иерархии в процессе управления, но для локальной системы, когда все задачи управления возложены на одно должностное лицо, иерархия еще не создана. Поэтому четвертое требование к информационной системе мониторинга, состоящее в обеспечении агрегирования задач управления по уровням иерархии ее пользователей, применимо только к интегральной информационной системе.

Пятое и заключительное требование к информационной системе мониторинга состоит в том, что информационная система должна предусматривать максимальное удобство представления данных для потребителя информации. Данное требование справедливо ко всем информационным системам, целью создания которых является повышение оперативности и качества принимаемых управленческих решений.

Анализ системы требований показал, что система мониторинга должна быть разработана в виде оптимальной совокупности функциональных подсистем: информационного обеспечения действий по тушению пожаров; аналитической обработки информации для принятия решений; визуализации результатов информационно-аналитического сопровождения управления.

Система локального мониторинга предусматривает схему информационного обмена, где все данные, получаемые средствами мониторинга, дублируются на средства отображения данных без каких-либо изменений, поэтому основным преимуществом данной схемы является скорость передачи данных и простота в их обработке. Недостатком данной системы является автономность данных, заключающаяся в том, что если в течение времени система мониторинга отказала в качественном выполнении своей

функции, то результаты мониторинга будут утеряны.

Система дистанционного мониторинга осуществляет сбор, формирование данных и передачу данных потребителям мониторинга, которые находятся удаленно. Процесс передачи данных производится по беспроводной связи с обязательным дублированием данных на устройствах их централизованного хранения.

Реализуемая схема мониторинга позволяет хранить все результаты мониторинга централизованно, поэтому доступ к данным можно обеспечить из любого места, где имеется выход в сеть, поэтому системы дистанционного мониторинга предусматривают наличие удаленно расположенной базы данных – сервера. Централизованная база данных позволяет обеспечить результатами мониторинга одновременно всех его потребителей, в том числе и оперативные службы пожарно-спасательных подразделений, реагирующие на пожары и чрезвычайные ситуации (ЧС) в зданиях. Однако схема дистанционного мониторинга, предусматривающая передачу данных по сети, не применима в зданиях, к которым предъявляются повышенные требования по защите информации. Для данного случая предусматриваются методы шифрования результатов мониторинга, что снижает скорость передачи данных и качество информационного обеспечения результатами мониторинга его потребителей.

Однопараметрические системы мониторинга осуществляют наблюдение за одним параметром с использованием порогового средства мониторинга. В качестве информационных компонент данных систем выступают обычные беспилотные авиационные системы.

Рассматривая в качестве классификатора способ реализации мониторинга, разделяют дискретную систему мониторинга и систему непрерывного мониторинга. В основе первого вида систем лежит способ реализации дискретного мониторинга, представляющего собой вид наблюдения за состоянием пожара, осуществляемый в заданные моменты времени и имеющий конечное число значений состояний пожара. В альтернативном случае непрерывный мониторинг пожара обеспечивает потребителя результатов мониторинга поступлением информации о динамике пожара в виде непрерывно меняющейся свои значения функции.

## **1.2. Анализ применения средств мониторинга беспилотной авиации**

Направление развития беспилотных воздушных систем происходит в сторону узкой специализации как в зависимости от целей применения, так и основываясь на требования к целевым нагрузкам конечного потребителя. В зависимости от поставленных конкретных задач при использовании БАС, осуществляется оптимизация как самого комплекса, так и затрат на его эксплуатацию.

### **1.2.1. Перспективы развития беспилотной авиации**

Развитие направления мониторинга пожаров на основе применения беспилотных авиационных систем не стоит на месте, а лишь набирает обороты. Ожидаются новые тенденции, проблемы и возможности для индустрии беспилотной авиации. Основные направления развития БАС представлены ниже [9].

#### *Технологии противодействия БАС*

После серии широко известных инцидентов в 2018 и 2019 годах мировой рынок противодействия БАС стремительно вырос. Огромное количество доступных решений по борьбе с беспилотниками почти удвоилось, страны начали разрабатывать стратегии борьбы с беспилотниками, и спектр доступных решений продолжил расти. Ожидается, что этот рынок продолжит расти и развиваться в 2020 году – предвидится больше решений, больше вложений, больше контрактов и больше продвинутых технологий в индустрии противодействия. Остается открытым вопрос: сохранятся ли более продвинутые технологии борьбы с беспилотниками, особенно инструменты запрета, сферой деятельности правительственных субъектов, военной и критически важной инфраструктуры, такой как аэропорты, или же она станет частью защиты личной и публичной жизни граждан?

#### *Городская сеть БАС (UAM)*

Городская сеть БАС была серьезной отраслью с самого начала коммерческой индустрии беспилотных летательных аппаратов, когда компании только начали разрабатывать концепции пассажирских беспилотников. В прошлом году UAM была особенно важной темой, поскольку доставка товаров беспилотными аппаратами начала распространяться в Австралии, Соединенных Штатах, Гане и других странах. От медицины до продуктов питания, розничных упаковок и промышленных материалов, компании разрабатывают беспилотные решения для доставки как в городские, так и в сельские районы. Ожидается дальнейшее развитие индустрии доставки товаров беспилотными летательными аппаратами, в то время как пассажирские беспилотники, вероятно, будут отставать от них из-за гораздо более высоких нормативных и технологических потерь, с которыми они сталкиваются. В частности, компаниям, разрабатывающим пассажирские беспилотники (также известные как летающие автомобили, воздушные такси и eVTOL), потребуется больше времени и значительного количества средств для получения сертификата (по оценкам, этот процесс будет стоить около 1 миллиарда долларов за платформу). Несмотря на то, что в отрасли беспилотной доставки товаров регулирование не настолько строгое, отсутствие действительно надежных технологий в сочетании с близлежащей экспертной сетью и финансированием (поскольку многие мелкие технологические компании в секторе доставки беспилотных летательных аппаратов полностью недофинансированы) в настоящее время является самой большой проблемой. Существует также большая региональная разница с точки зрения доставки товаров БАС и общего прогресса развития отрасли UAM. В то время, как китайские поставщики услуг по доставке товаров БАС уже часто работают



даже в городских районах, США все еще находятся на стадии испытаний в связи с высокими требованиями для работы в общественных местах. Ключом к успеху сейчас является не только то, как правительства выдают специальные разрешения, но и создание системы одобрения, которая позволит масштабировать доставку товаров беспилотными средствами.

#### *Управление полётами беспилотников (UTM)*

Индустрия беспилотных летательных аппаратов, в частности, те, кто работает в области управления беспилотным движением (UTM), будет готовиться к стандартам Remote ID (Удаленный ИД). Удаленный Идентификационный Номер (ИД) даст возможность беспилотнику предоставлять идентификационную информацию, которая может быть получена другими сторонами. Для этого Федеральное авиационное управление США (FAA) опубликовало в декабре 2019 года 319-страничный свод правил удаленной идентификации для общественного обсуждения. Одним из основных моментов является выбор девяти основных поставщиков, таких как Airmap, Kittyhawk или Unifly, утвержденные организации заключат контракт с FAA на поставку услуг удаленной идентификации для воздушного пространства США. В Европе ожидается, что EASA опубликует доклад об удаленном идентификаторе и их инициативе U-Space. Интересно будет заметить, как эти предлагаемые правила отличаются от правил США. Удаленный идентификатор должен избегать использования технологии ADS-B (автоматическая зависима система наблюдения) на дронах. FAA опасается, что высокий ожидаемый трафик беспилотников негативно повлияет на доступные частоты ADS-B, что, в свою очередь, также повлияет на возможности ADS-B для пилотируемых воздушных судов, создавая возможный риск для безопасности полетов.

#### *Адаптация и автоматизация*

Между тем, в 2020 году повсеместно будет продолжаться внедрение технологии дронов. По мере снижения сложности технологий для конечного потребителя (в связи с более высокой степенью автоматизации и интеграции рабочих процессов) все больше компаний начнут эксплуатацию беспилотников или привлекут к работе сторонних специалистов. Это отражается в прогнозе роста рынка коммерческих беспилотников на ближайшие пять лет. Одной из причин увеличения и дальнейшего внедрения, безусловно, является автоматизация как с точки зрения обработки данных, так и выполнения миссий. Технология «BIG DATA» может стать наряду с мощным и надежным беспилотным летательным аппаратом, вероятно, самым важным фактором в индустрии беспилотных летательных аппаратов. Дроны часто генерируют большие объемы данных, иногда больше, чем мы можем обработать. Чем быстрее, чем точнее и проще мы будем обрабатывать полученные изображения, тем лучше. Дальнейшее развитие алгоритмов ИИ может помочь в достижении этих целей, например, путем обработки тысяч изображений мелких деталей без участия человека.

### *Стандарты ISO*

2019 год завершился объявлением первых утвержденных ISO стандартов безопасности беспилотников в декабре. Это означает, что в 2020 году создание системы управления безопасностью будет основной нормативной темой. Это также означает, что фундамент для будущего нормотворчества, стандартизации и законодательного регулирования операций с беспилотниками уже заложен. Основная задача в 2020 году будет заключаться во внедрении и согласовании с национальными координационными органами по стандартам (ANSI, JSI, DIN и т.д.) и совместимости этих стандартов с существующими правилами, касающимися дронов.

Как мы видим, задач по развитию сферы беспилотной авиации немало, и решения требуют колоссальных вложений. Анализ рынка БАС на 2019 год показывает, что с 2008 г. на инвестирование в индустрию БАС было потрачено 4,433 млрд. долларов США. Это говорит нам о том, что сфера беспилотной авиации в настоящее время очень актуальна, ей занимаются многие передовые страны и тратят на это множество своих сил и ресурсов.

### **1.2.2. Анализ применения беспилотных летательных аппаратов**

БАС приспособлены для выполнения различных задач и работ в гражданском секторе. В большинстве случаев работы приобретают монотонный или особо опасный характер или, другими словами, для решения задач, которые предусматривают опасную деятельность пилота на борту воздушного судна. Применение БАС активно находит себя в коммерческой отрасли, научных изысканиях, а также для обеспечения безопасности населения и инфраструктуры страны от природных ЧС. Указанные выше виды использования и применения БАС в основном предусматривают осуществление мониторинга, передачу видео- и фото- данных, а также получение качественных изображений. К основным задачам осуществления мониторинга можно отнести патрулирование акваторий, поиск и спасание, рыбоохрана, обнаружение ландшафтных пожаров, контроль за природными ЧС (паводки, сели, оползни, смерчи, ураганы), контроль за экологической обстановкой, наблюдение за ситуацией на автодорогах и безопасностью дорожного движения, мониторинг линий электропередач и нефте- и газотрубопроводов и геологическая разведка.

Способность беспилотных летательных аппаратов в зависимости от глубины применения, находится в режиме полета достаточно продолжительное время, позволяет применять их в качестве ретрансляторов связи.

С каждым годом растет спрос на коммерческие БВС мини и малого классов. Данные типы БАС способны выполнять полеты в пределах прямой видимости, что позволяет осуществлять мероприятия, связанные с охраной общественного правопорядка, съемкой местности, аэрофотосъемкой и видеосъемкой на праздничных мероприятиях и концертах.

БАС тяжелого класса с радиусом действия более 500 км осуществляется в контролируемом воздушном пространстве, где известны все участники воздушного движения и где служба УВД может обеспечить необходимое их эшелонирование относительно других воздушных судов.

В ближайшем будущем планируется применять БВС для регулярных грузовых перевозок в гражданском секторе. Наличие большой активности в воздухе (полеты планеров и аэростатов, парашютирование, развлекательные полеты, военные учебные полеты и правоохранительные операции) создает сложности для применения БАС в части необходимости предотвращать столкновения и согласовать полеты и услуги по обеспечению эшелонирования предоставляемыми органами УВД. Поэтому простое визуальное наблюдение с помощью мини-БАС достаточно сложный процесс, требующий организационных мероприятий.

Технологии, помогающие оператору осуществлять свои действия с применением БАС по недопущению столкновений, отсутствуют, поэтому, как следствие таких преград, коммерческий и гражданский сектор БАС, применяемых вне границ контролируемого воздушного пространства, будет развиваться наиболее медленно.

В кооперации с научным сообществом гражданские авиационные полномочные органы работают над средствами, позволяющими использовать БАС, в числе прочего, для исследования изменений климата, метеорологического прогнозирования и контроля состояния дикой природы. Многие, если не большинство, из этих полетов не могут осуществляться воздушными судами с пилотом на борту вследствие удаленности районов, сложности условий или высот, на которых должны выполняться такие полеты.

Ожидается, что гражданский рынок БАС будет развиваться постепенно, при этом масштабы их использования будут возрастать по мере повышения уверенности в безопасности и надежности БАС, а также по мере разработки SARPS и технических спецификаций и роста доверия к этим воздушным судам в общественных и отраслевых структурах.

Беспилотные летательные аппараты успешно разрабатываются фирмами США, Израиля, Франции, Германии, Великобритании и Китая, и их применение дает положительные результаты в решении задач по мониторингу лесопожарной, паводковой обстановки и поисково-спасательных работ. Крупнейшими рынками применения БЛА можно назвать США, Китай. Анализируя международный опыт применения БАС, важно отметить, что власти многих стран Северной Америки, Европы и Азии придают большое значение проблеме борьбы с природными пожарами. Ведется серьезная научная проработка этого вопроса, широко используются новейшие технологии для предупреждения и борьбы с техногенными пожарами. Конструкторы из национального управления по авиации и исследованию космического пространства США (НАСА) создали технологию беспилотного самолета для борьбы с лесными пожарами. Его презентация состоялась в сентябре 2001 года

в городе Лос-Анджелес, штат Калифорния. Этот воздушный аппарат, получивший название «Альтус II», может на низкой высоте в течение 24 часов облетать места стихийного бедствия, не ставя под угрозу жизнь пилотов [14]. Его полеты контролируются с земли. Самолет оборудован приборами, позволяющими посылать пожарным через искусственный спутник Земли изображения с данными о температурах в сфотографированной местности. Новая технология может быть использована также для борьбы с последствиями других стихийных бедствий, таких как наводнения и землетрясения, поскольку она позволяет составлять подробные топографические карты пострадавших районов всего за один день. «Альтус II» был представлен специалистам и прессе в момент, когда в Калифорнии бушевали лесные пожары [2].

Управление гражданской авиации Китая в 2016 году сформулировало правила применения БАС в зависимости от их веса и размеров. Сегодня беспилотники применяются в Китае практически повсеместно: как для решения простых задач муниципального уровня, так и проблем государственного масштаба. Примером успешного применения стало землетрясение в 2014 году на юго-западе Китая. Только использование БАС позволило провести поисково-спасательную операцию и затем оценить масштабы ущерба. Экспорт китайских беспилотников составляет более 413 миллионов долларов (27,6 триллиона рублей). В 2016 году Китай инвестировал 2% ВВП в технологии, связанные с беспилотными летательными аппаратами. Если подобный уровень инвестиций сохранится, Китай станет одним из ведущих мировых производителей беспилотников.

В будущем беспилотные летательные аппараты станут надёжным инструментом при проведении поисково-спасательных работ. Компания «Flyability» использовала беспилотный летательный аппарат для исследования ледников. Трещины в ледниках – очень опасные места, они могут быстро проваливаться в снег. Зачастую сверху они покрыты тонкими снежными мостами, которые могут разрушиться прямо под ногами. Поиски людей в таких расщелинах – также очень опасная задача, облегчить которую могут беспилотные летательные аппараты. Установленные на БАС камера с разрешением Full HD, цифровой канал передачи видео в режиме реального времени и осветительная система позволяют обследовать ледник на глубине десятков метров под поверхностью.

Беспилотники оказывают неоценимую помощь поисково-спасательным отрядам во многих странах мира, но в данный момент их использование имеет ряд ограничений: стоимость, транспортировка до места использования, отсутствие квалифицированных операторов, опасность при использовании БАС вблизи ЧС, метеоусловия. При определенных обстоятельствах БАС могут быть полезны для решения определенных задач. Они могут увеличить вероятность обнаружения пропавших людей при использовании в сочетании с традиционными техниками.

Один из важных выводов: беспилотные авиационные системы – это, в первую очередь, автоматизированные информационные системы,

направленные для решения задач управления, а уже во вторую очередь авиационные комплексы, в той или иной степени решающие авиационные задачи.

Одна из особенностей нашей страны заключается в обширной территории, низкой плотности заселения территорий и высокой концентрации людей в крупных городах, наличие регионов с постоянными природными ЧС (наводнения, землетрясения, лесные пожары, оползни, и др.). Также Российская Федерация обладает огромными водными пространствами внутренних и внешних водоёмов, крупнейшей в мире трубопроводной сетью и огромными площадями лесных массивов, защита и охрана которых не представляется возможной без применения авиации.

В настоящее время во всем мире отмечается стремительное развитие беспилотных авиационных систем (БАС), растет заинтересованность в применении беспилотной техники нового поколения не только в силовых ведомствах, но в гражданском секторе экономики. Именно здесь открываются широкие возможности, и наметилась активизация работ по их использованию.

По данным Минпромторга России в рамках гособоронзаказа доля российских производителей гражданской авиационной продукции на мировом рынке увеличится от 1,1% 2011 года до 3,6% к 2025 году. Одним из видов выпускаемой продукции в последние годы становится беспилотная авиация, и спрос на неё стремительно увеличивается.

Беспилотные летательные аппараты в настоящее время применяются почти во всех сферах деятельности (табл. 1.1) [12].

Таблица 1.1. Анализ применения БАС

№	Сфера деятельности	Применение БАС
1	Археология	Съёмка с беспилотных летательных аппаратов открывает для археологии новые горизонты возможностей. Осмотр территорий с воздуха с помощью обычных и тепловизионных камер позволяет сформировать точную картину ландшафта и увидеть объекты, скрытые под слоем земли и растений. Археологические открытия в Нью-Мексико и в долине Эрия, сделанные с помощью беспилотников, уже доказали поразительную эффективность метода. Особенно успешно тепловизор обнаруживает объекты в районах с высокой разностью ночных и дневных температур
2	Архитектура, градостроительство	Система с использованием дрона и специального ПО может автономно обследовать местность и формировать 2D и 3D карты и модели местности. Или более того, обработать визуальные данные для поддержки градостроительных решений – помочь в решении проблем ирригации, проведения линий электроснабжения и т.п.
3	Аэротакси	Беспилотные аэротакси для доставки пассажиров в точку назначения. Еще несколькими годами ранее беспилотные аэротакси казались исключительно атрибутом

№	Сфера деятельности	Применение БАС
		фантастических романов и фильмов. Идут разработки ряда моделей, например, в Китае, Франции и США, проводятся испытания в Лос-Анжелесе. В том, что подобные аппараты появятся в нашем небе в ближайшие годы, сомнений практически нет
4	Аэрофотосъемка	В России практически отсутствуют цифровые карты с разрешением выше 1:10 000. БЛА позволяют создавать цифровые карты практически с любым разрешением, начиная от нескольких сантиметров на точку. Идут разработки по автоматизации таких работ, например, совместная разработка Autodesk, 3D Robotics, Kimley-Horn в США – платформа Solo и продукт SiteScan. Система с использованием дрона и специального ПО может автономно обследовать местность и формировать 2D и 3D карты и модели местности
5	Видео- и киносъемка с воздуха, аэросъемка	Новые технологии позволяют отказаться от дорогих вертолетов и лишенных мобильности съемочных кранов. Все больше студий используют дроны для панорамных съемок, экшн-сцен, облета определенного объекта по кругу и съемок с высоты птичьего полета
6	Геологоразведка	БАС может летать ближе к земле и дольше остается в воздухе. Для обнаружения ресурсов используются воздушные магнитометры и радиометрические детекторы
7	Горнодобыча	Лазерное сканирование на базе БЛА – это возможность создать 3D-модель из облака точек в ходе постобработки данных лазерного сканирования. Это позволяет определять объемы горной выработки при добыче полезных ископаемых открытым способом. Ежемесячные облеты с целью определения объемов с помощью БЛА становятся привычной рутинной горнодобывающих компаний
8	Городское хозяйство	Примеры: поиск несанкционированных свалок; выявление незаконной застройки; контроль качества дорожного покрытия; взятие проб воздуха; замеры уровней радиоизлучения; замеры радиации; выявление крыш, требующих ремонта; закраска граффити в труднодоступных местах
9	Доставка БАСгрузов	Доставка грузов разных габаритов без пилота в автономном варианте по запрограммированному маршруту, доставка медикаментов и биологических материалов, доставка продуктов питания, доставка почты, доставка товаров из интернет-магазина, транспортные системы на базе дронов
10	Железные дороги	85.5 тыс. км составляет общая протяженность железных дорог в России. Беспилотники позволяют достичь экономии при периодическом обследовании железных дорог и объектов с БЛА
11	Животноводство	Существует целый ряд профессий БЛА, позволяющих с пользой задействовать их в животноводстве. Одно из основных применений – оперативное выявление в стаде заболевших животных с помощью тепловизора по разнице

№	Сфера деятельности	Применение БАС
		температур заболевших и здоровых особей
12	Картография	Получение отофотопланов для целей картографирования, постановки на кадастр и т.п. Идут разработки по автоматизации таких работ, например, совместная разработка Autodesk, 3D Robotics, Kimley-Horn в США – платформа Solo и продукт SiteScan. Система с использованием дрона и специального ПО может автономно обследовать местность и формировать 2D и 3D карты и модели местности
13	Кинематограф	Современный беспилотник для профессиональной съемки, вместе со всем навесным оборудованием и камерой, обходится примерно в те же деньги, что и час аренды вертолета с оператором-специалистом. К тому же, дрон при правильном обращении может служить киностудии годами. Беспилотник сегодня может принести разнообразие в музыкальный клип, инди-кино и даже во вполне серьезную картину, и все это за совсем небольшие деньги. Со стороны киностудий отмечается спрос на услуги квалифицированных операторов, которые умеют работать с БЛА, оснащенными профессиональным оборудованием для съемки
14	Контроль радиотехнических средств	Контроль точности и надежности работы средств радиотехнического обеспечения полетов. Переход на беспилотную технику весом менее 30 кг в составе комплекса позволяет отказаться от практики использования воздушных судов с массой свыше 5 тонн. Это позволяет в разы сократить затраты на проверки, минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и исключить влияние человеческого фактора при проведении работ
15	Контроль токсичных веществ	Пример: в Дании начали следить за содержанием серы в выхлопных газах судов, проходящих через пролив Большой Бельт с борта БЛА вертолетного типа SaabSkeldar V-200. Беспилотник следует за судном на расстоянии около 100 метров и ведет анализ выбросов судна в атмосферу
16	Кредитно-страховая деятельность	Сравнение заявленных и фактических площадей земель, объектов. Оценка фактических объемов выполненных работ. Прогноз урожайности. Визуальная оценка состояния объектов в видимом и ИК спектре. Контроль соблюдения техусловий эксплуатации объектов (расчистка территории, вырубка леса и т.п.)
17	Лесное хозяйство и заповедники	Борьба с браконьерами; выявление пожаров, задымлений; контроль заграждений; лесозащита; лесоустройство; мониторинг (учет) животных; поиск (выявление) и инспектирование вырубок, выявление незаконного строительства, свалок, обезлесений, ветровалов; восстановление леса за счет посадок семян с БЛА; публикации
18	Метеорология	Изучение ураганов, тайфунов и других природных явлений в области метеорологии, а также усиление осадков

№	Сфера деятельности	Применение БАС
19	Мониторинг мостов, высотных и прочих сооружений	Беспилотники могут эффективно применяться для обследования труднодоступных снаружи высотных сооружений, например, фабричных труб, высотных зданий, плотин и мостов, а также различного оборудования – ветроэлектростанций, оборудования сотовой связи, устанавливаемое на вышках и т.п.
20	Мониторинг протяженных объектов	2.5 млн км составляет общая протяженность линий электропередачи в России. 900 тыс. км составляет общая протяженность газо- и нефтепроводов в России. Авиамониторинг данных объектов проводится как правило не реже раза в неделю. Использование беспилотников вместо авиамониторинга с пилотируемых человеком самолетов позволяет заметно сэкономить на себестоимости такого мониторинга
21	Нефтегазовая область	Обследование факелов, инспекция трубопроводов, мониторинг проведения строительства, демонтажа, ремонтных работ. Выявление незаконной деятельности. Поиск утечек
22	Орнитология (наблюдение за птицами с воздуха)	В австралийском Университете Монаша исследуют возможности использования БЛА для мониторинга популяции птиц, их подсчетов. Результаты наглядно доказывают – исследования с высоты эффективнее традиционных. Ни другие птицы, ни неровности рельефа не закрывают от камеры фотографируемые стаи
23	Осмотр изнутри труднодоступных для человека объектов	Например, осмотр объектов со сложной геометрией – резервуары, тоннели, бойлерные котлы, другие труднодоступные участки производства
24	Поиск и обнаружение объектов	Поиск, обнаружение и идентификация объектов в режиме реального времени, включая определение их точных координат и передачу данных на НСУ (наземную станцию управления). Также можно осуществлять поиск объектов за счет анализа фотоснимков и/или видеозаписи. Беспилотник может быть снабжен самыми разными сенсорами – от мультиспектральных камер до датчиков радиации, магнитного поля, тепловизоров, металлодетекторов и т.д. Например, выявление объектов незаконной застройки, выявление мин и их подрыв и т.п. Поисково-спасательные работы
25	Проектные работы	Выбор трасс линейных сооружений, участие в инженерно-геодезических изысканиях, проектирование инженерной инфраструктуры
26	Развлечения	Рассматривание или аэрофотосъемка объекта с воздуха, спорт и другие соревнования владельцев беспилотников, включая гонки беспилотников и гонки беспилотников с управлением от первого лица (FPV), курьезные применения беспилотников, управление беспилотником ради удовольствия, шоу с использованием беспилотников
27	Рекламная деятельность	Беспилотник переносит рекламный баннер, например, во время мероприятий на «открытом воздухе». При этом не нужно арендовать «точку стояния». Возможны и другие



№	Сфера деятельности	Применение БАС
		варианты. В 2015 году отмечались случаи использования дронов в рекламе и рекламных акциях в США и России
28	Риэлторская деятельность	Риэлторы все чаще используют беспилотники для рекламы недвижимости. Клиентам демонстрируют видео объектов и их окрестностей. Кроме того, по мере роста распространения шлемов виртуальной реальности растет также популярность 3D-туров
29	Силовые, охранные структуры	Полиция и спасатели все чаще задумываются об использовании беспилотников в повседневной практике. А где-то уже прошли первые внедрения и накоплен опыт использования «глаза в небе» в различных ситуациях, требующих внимания силовых структур или спасателей. В частности, в Лондоне намерены преследовать преступников с помощью БЛА – это дешевле и безопаснее для полиции и окружающих, чем при использовании мотоциклов и вертолета
30	Складское хозяйство	Первое известное применение беспилотников на складах – инвентаризация. Дрон летит вдоль полок, делая до 30 снимков в секунду. Снимки обрабатываются системой технического зрения, данные синхронизируются в базе данных склада. Другой вариант – дрон также летит вдоль полок, ретранслируя сигнал RFID-считывателя и ответы меток, такой подход позволяет сканировать товары с расстояния до пары десятков метров с точностью позиционирования до 19 см
31	Спасательные подразделения	МЧС России используют беспилотники для профилактики, мониторинга ЧС, поиска людей после стихийных бедствий или пропавших людей, а также экстренной доставки необходимого груза, где это требуется в ЧС
32	Спорт	Камера дрона позволяет выбирать ракурсы и создавать кадры спортивных соревнований, недостижимые для «наземных» профессионалов-операторов, даже если они используют специальные краны. Возможно использование дронов как для освещения крупных соревнований (с трансляцией видео на большой экран или по ТВ), так и спортсменами, например, во-время тренировок, в том числе «летающих камер», которые ведут автоматическую видеозапись спортсмена, старающегося поставить рекорд или выполнить сложный трюк
33	Строительство	Подготовка проекта. Планирование работ и контроль за ходом их выполнения. Мониторинг соблюдения требований техники безопасности. Подготовка видео- и фотоотчетов для клиентов, инвесторов, акционеров. Идут разработки по автоматизации таких работ. Система с использованием дрона и специального ПО может автономно обследовать местность и формировать 2D и 3D карты и модели местности
34	Телекоммуникационная сфера	Беспилотники в связи могут использоваться для ретрансляции сигналов; исследования картины распространения радиосигналов; обследование вышек сотовой связи; беспилотники как «узлы» подключения к

№	Сфера деятельности	Применение БАС
		интернету (IoD, InternetofDrones). Сети сотовой связи могут использоваться как канал связи с беспилотником, наряду с «воздушными сетями» P2P, например, для обеспечения доступа БЛА к информации о «географической зоне» (например, запрете полетов БЛА в данной зоне), а также в системах управления воздушным движением
35	Экология	Борьба с браконьерами, выявление миграционных путей животных, выявление нарушений норм экологического законодательства, изучение таяния полярных льдов, мониторинг лесов, мониторинг побережья, мониторинг акваторий, мониторинг почвы и посевов, наблюдение за редкими видами животных, определение влияния различных загрязнителей на глобальную экологическую ситуацию, определение уровня загрязнений, поиск несанкционированных свалок

Как видно из таблицы, применимость БАС чрезвычайно велика, и на этом она не останавливается. Множество стран продолжают работу над разработкой и совершенствованием беспилотной авиации, ее применением в различных сферах.

Понятие БАС неверно ассоциировать только с летательным аппаратом. Летательный аппарат – важный составной элемент системы, но он служит лишь транспортным средством для доставки оборудования в заданный район, а многие функции системы как объекта техники реализуются с использованием его наземных элементов (рис. 1.1). Кроме того, для обеспечения надежной работы необходима система подготовки операторов, включающая в себя АРМ и тренажер оператора. В связи с установившейся за рубежом практикой все БАС разделены по классам, и этим классам соответствуют минимально необходимые требования к БАС. В зависимости от класса БАС требования к ним дифференцируются.

В России наименований гражданских БАС по сравнению с остальным миром пока достаточно немного, поэтому применение беспилотной авиации осуществляется в соответствии с ведомственными инструкциями в отдельных ведомственных структурах. Сохраняется двойственность ситуации: с одной стороны, нет запрета на использование беспилотной техники, а с другой – отсутствует четкая регламентация деятельности в данной области. Следует отметить основные положения, требующие реализации в воздушном законодательстве Российской Федерации в интересах развития сферы БАС: государственная регистрация; сертификация беспилотных воздушных судов и их элементов; допуск к эксплуатации; требования к оснащению техническими средствами и оборудованием, в том числе обеспечивающими наблюдение беспилотных воздушных судов и недопущение столкновения с ними других БАС; порядок использования воздушного пространства и организация совместных полетов пилотируемых БВС; правила выполнения авиационных

работ и предоставления услуг с использованием БАС; порядок привлечения эксплуатантов БАС к проведению поисковых и аварийно-спасательных работ.

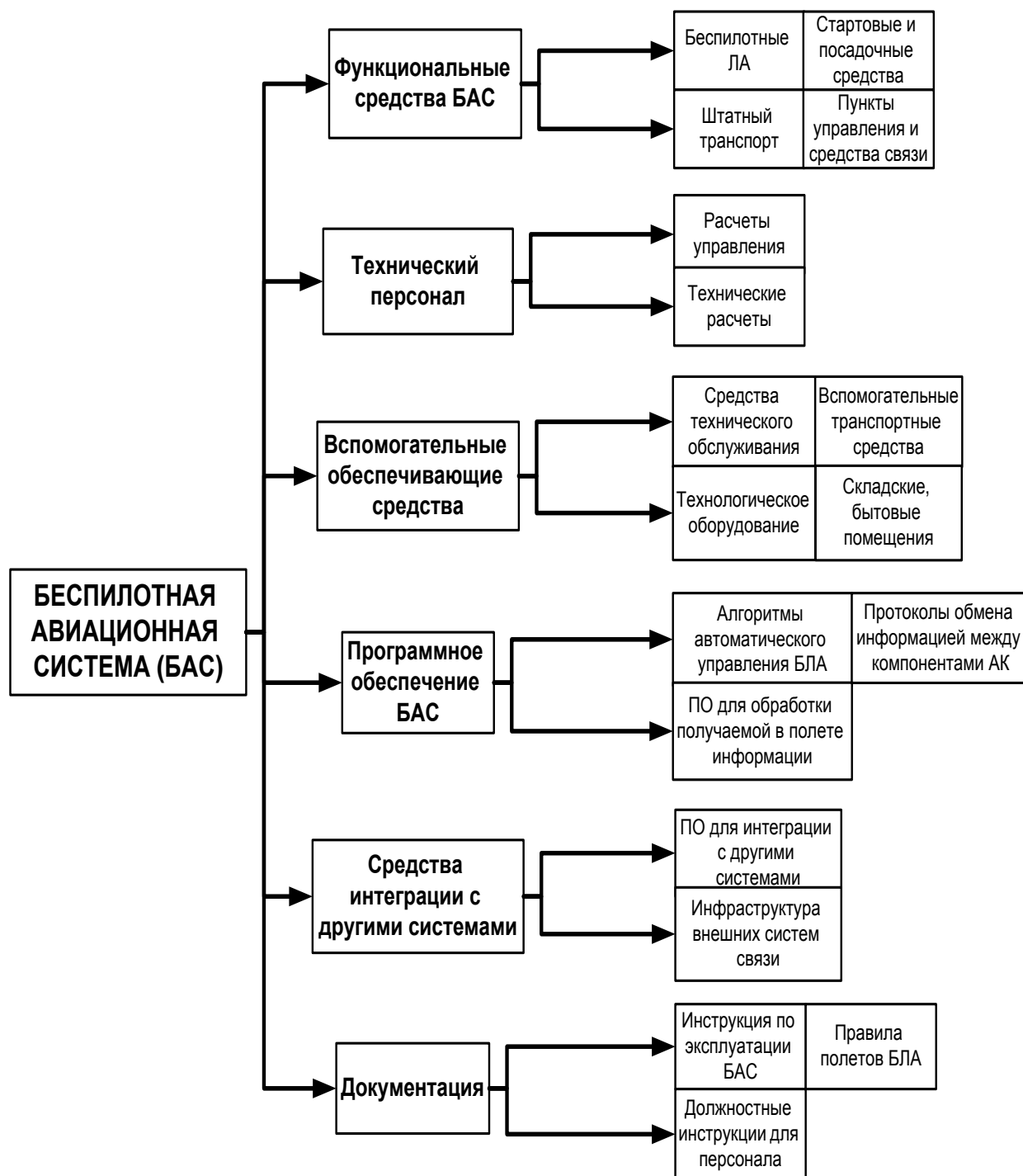


Рис.1.1. Беспилотные авиационные системы

На сегодняшний день актуальную проблему в разработке бортового оборудования, а также создании систем защиты информации вызывает отсутствие единой и обобщённой классификации БАС.

В соответствии с международными требованиями БАС разделяются на те, что используются во внутреннем пространстве страны, и те, которые отвечают общим международным требованиям. Поскольку БАС, в первую очередь,

предназначались только для военных целей, то многими авторами рассматриваются требования и классификация только для военной авиации и не учитываются интересы гражданской авиации.

Комплексы БАС можно систематизировать по организационным и техническим признакам:

- область применения (военные, гражданские);
- предназначение и решаемые задачи (видеонаблюдение, перевозка грузов, фотосъемка, ретрансляция сигналов, реклама, метеорологическое и экологическое наблюдение, мониторинг атмосферы, наблюдение за природными явлениями, испытание новых технологий);
- взлетная масса (мини-класс – до 1 кг; малый класс – до 30 кг; легкий класс – до 200 кг; средний класс – до 500 кг; тяжелый класс – более 500 кг);
- глубина применения (большой дальности - с радиусом действия более 500 км; средней дальности – с радиусом действия до 500 км; малой дальности – с радиусом действия до 250 км; ближнего действия – с радиусом действия до 100 км);
- аэродинамическая схема полета (с жестким крылом – самолетного типа; с гибким крылом – крыло обладает свойством обратной деформации; вертолетного типа; с машущим крылом – орнитоптерного и энтомоптерного типов);
- система управления (дистанционные по радиоканалам, автономные и комбинированные за счет программного обеспечения, с использованием спутниковой, инерционной, магнитной навигации и средств ориентировки по сопоставлению рельефа местности и карты (снимков), комбинированные);
- способ старта (с взлетно-посадочной полосы; с использованием стартовой катапульты; запускаемые с руки);
- способ посадки (с использованием взлетно-посадочной полосы; спускаемые на парашюте; с применением специальных уловителей – тросов, сеток, растяжек; вертикально);
- высота применения (сверхмаловысотные, маловысотные, применяемые на средних и больших высотах);
- тип энергетической установки (солнечная батарея, АКБ, электродвигатель).

На основании существующей и принятой международным сообществом классификации БЛА, предложенной международной ассоциацией «UVS International», БАС классифицируется по следующим признакам (табл.1.2)[3].

Таблица 1.2. Международная классификация БАС

Категория	Обозн. в мире	Обозначение	Наименование	Взлетный вес, кг	Радиус действия, км	Практич. потолок, м	Продолж. полета, ч
I	η	η	Нано	< 0,025	< 1	100	< 1
	μ	μ	Микро	< 5	< 10	3000	1

	Mini	Мини	Мини	< 25	10 – 25	3000	≤ 2
II	CR	БлД	Ближнего действия класса 1	25 – 50	25 – 70	3000	2 - 4
			Ближнего действия класса 2	50 – 150	50 – 100	3000	≤ 4
III	SR	МД	Малой дальности	≤ 200	≤ 150	4000	6 - 8
	MR	СД	Средней дальности	≤ 500	200	5000	10 – 12
IV	MRE		Средней дальности с большой продолжительностью полета (СД-БПП)	≥ 500	> 500	8000	10 – 18
	LADP	БД	Маловысотный большой дальности (МБД)	250 – 2500	> 250	≤4000	1,5 – 2
V	LALE		Маловысотный большой продолжительностью полета (МБД-БПП)	≥ 250	> 500	4000	18
V - VI	MALE		Средневысотный большой продолжительностью полета (СБД-БПП)	≥ 1000	> 1000	8000	24
VII	HALE		Высотный большой продолжительностью полета (ВБД-БПП)	≥ 2500	> 4000	20 000	> 24
VIII	UCAV	Б	Беспилотный ударный (Б-У)	≥ 1000	> 500	12 000	1,5 – 2
	DEC		Ложная цель (Б-Л)	150 – 500	0 – 500	50 – 5000	< 4
	TGT		Воздушная мишень (Б-М)	10 – 10000	5 - 200	50 - 10000	> 0,5
IX	OPA	ОП	Пилотируемый по выбору (опционно) ЛА	> 200			
	CMA	ПП	Переоборудованный пилотируемый ЛА				

В современных условиях уровень развития беспилотных авиационных технологий в России позволяет четко оценить возможности беспилотных летательных аппаратов (БАС) разных классов. В 2017 году производством беспилотных летательных аппаратов занимались более 20 отечественных предприятий, выпуская порядка 50 моделей различного предназначения.

Как уже говорилось выше, компаний-разработчиков БАС в общем числе отечественных производителей не так много. Сегодня к таким компаниям относятся: ОКБ «Яковлева», ОКБ «МиГ», ОКБ «Сухой», ОКБ «Сокол», «Транзас» (все военно-промышленного назначения); ZALA AERO GROUP, БЛАСКОР, Unmanned, Аэрокон (все гражданского назначения) и пр. Стоимость самой модели БАС в среднем около 500 тысяч рублей. Окончательная сумма зависит от того, каким будет комплекс управления. А они, в зависимости от задач, бывают на базе автомобилей, катеров, а также наземные, переносные и мобильные. Поэтому итоговая стоимость может доходить до нескольких десятков миллионов рублей.

### 1.3. Информационные ресурсы системы мониторинга

Система мониторинга ЧС предназначена для прогнозирования и предупреждения рисков возникновения природных и техногенных катастроф. Она использует способы наблюдения за опасными явлениями и их контроля. Позволяет предвидеть наступление кризисных процессов в природе и техногенной среде, предсказывать динамику их развития и масштаб катастрофичности последствий. Помогает вовремя и эффективно организовать мероприятия по обеспечению безопасности людей и ликвидации последствий произошедших катаклизмов.

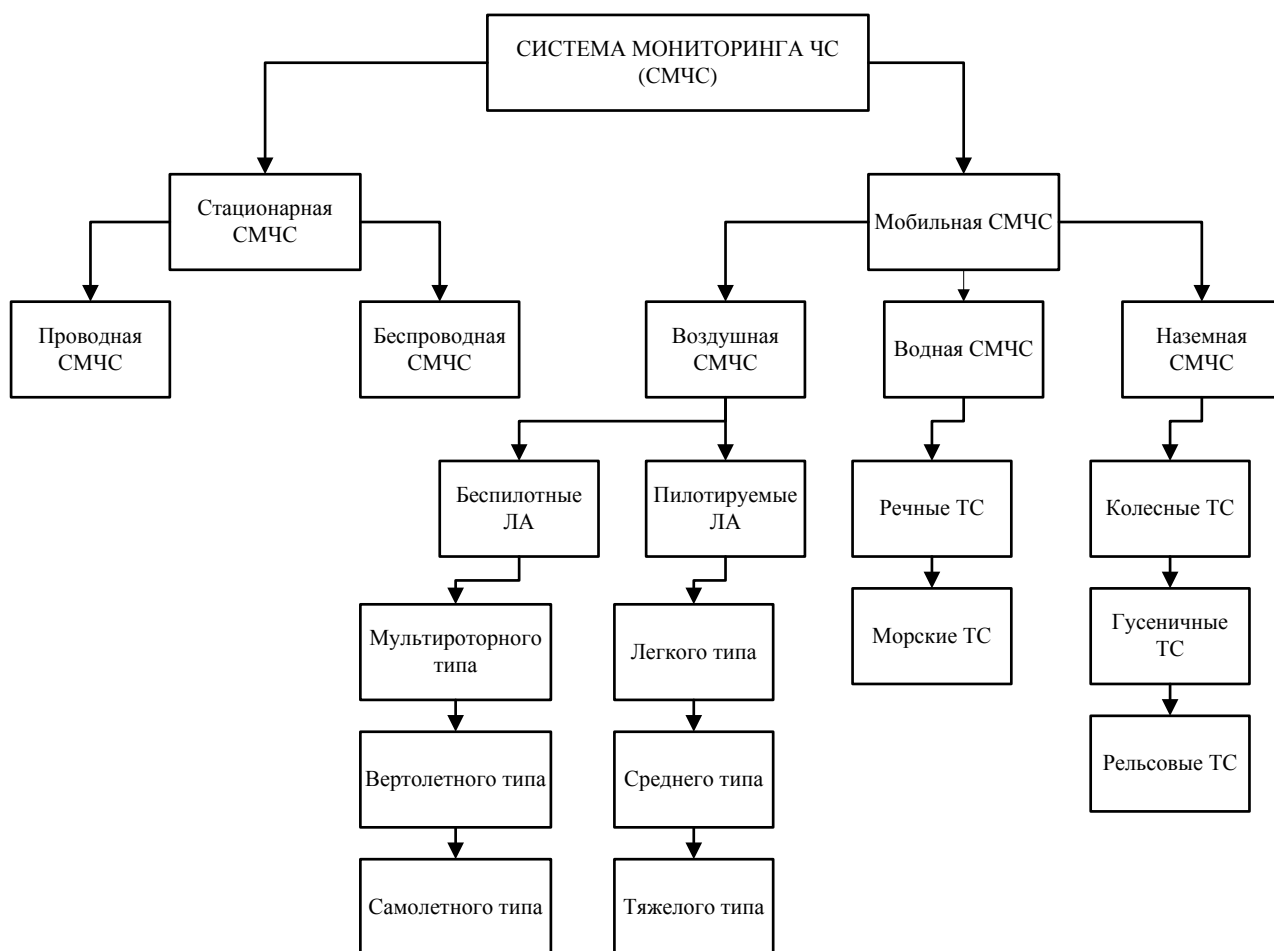
#### 1.3.1. Функции системы мониторинга

Задачи и функции, которые выполняет система мониторинга и прогнозирования динамики крупных пожаров:

- экологическое наблюдение. Оценка состояния окружающей природной среды (атмосферы, водоемов, почвы);
- мониторинг техногенных систем, надзор за состоянием потенциально опасных объектов (атомных станций и турбин, магистральных трубопроводов и т.д.), протеканием техногенных процессов на них и прогнозирование аварийности;
- сбор и анализ информации о потенциальных источниках опасности (землетрясений, извержений вулканов, ураганов, пожаров, наводнений, аномальных изменений в природе, эпидемий, аварий и взрывов на технических объектах, вредных и ядовитых выбросов на производствах, обрушений зданий, транспортных катастроф, терактов и войн);
- вывод на основе изучения этой информации научных заключений, описание закономерностей и причин возникновения ЧС;
- формирование информационного банка сведений об источниках угроз возникновения ЧС;
- проведение точных лабораторных микробиологических, химических, радиологических исследований;
- обнаружение потенциальных источников катастроф, оценка степени вероятности их возникновения. Прогнозирование создания ЧС, их характера и размера, сценариев развития;
- создание алгоритмов действий при возникновении ЧС;
- принятие и координация мер (в том числе, экстренных) по предотвращению и сдерживанию ЧС, по оповещению, эвакуации и обеспечению безопасности гражданского населения, снижению разрушительной силы, минимизации и устранению последствий (краткосрочных и длительных), восстановлению нормальной жизнедеятельности людей;

- прогнозирование последствий и ущерба от воздействия опасных факторов на окружающую среду, жизнедеятельность населения, возможные материальные потери;
- создание информационных и обменно-коммуникационных систем для обеспечения деятельности по мониторингу и прогнозированию ЧС;
- составление планов и целевых программ, на основе которых действует система мониторинга и прогнозирования ЧС;
- создание и актуализация законодательно-нормативной базы своей деятельности.

С технической точки зрения систему мониторинга можно рассмотреть следующим образом (рис. 1.2):



**Рис. 1.2.** Классификация системы мониторинга ЧС с технической точки зрения

В общей сложности систему мониторинга ЧС (СМЧС) можно разделить на две большие подсистемы: стационарная система мониторинга и мобильная система мониторинга.

К стационарной системе мониторинга ЧС относятся следующие технические средства:

- датчики, которые являются приемниками сигнала опасности;
- аппаратура, которая принимает сигнал опасности;
- элементы, которые оповещают об возникшей опасности;

- установки связи;
- автономный элемент питания (генератор, аккумулятор);
- программы, которые обеспечивают корректную работу устройства.

В мобильную систему мониторинга ЧС входят транспортные средства различного назначения:

- наземные (автомобили различной проходимости, вездеходы, поезда);
- водные (катера, корабли, подводные судна);
- воздушные (самолеты, вертолеты, БАС).

В целом система мониторинга ЧС предназначена не только для прогнозирования и предупреждения рисков возникновения природных и техногенных катастроф, но и для контроля над действиями по спасению людей, материальных и культурных ценностей, защите природной среды в зоне ЧС, локализации ЧС. В свою очередь, производить мониторинг и контроль над произошедшей ЧС целесообразней и эффективней с воздуха. Для воздушного мониторинга применимы технические средства различного исполнения: самолеты, вертолеты, парапланы, дельтапланы, дирижабли, аэропланы, стратостаты, планеры, беспилотные авиационные системы. В последнее время идет активное внедрение беспилотной авиации в систему мониторинга различных ведомств Российской Федерации. Беспилотники показали целый ряд преимуществ перед пилотной авиацией в плане мониторинга ЧС:

- низкая стоимость использования по сравнению с использованием пилотируемой авиации (20–40 тыс. рублей / летный час) или спутников. Важно отметить, что наибольшей экономии можно добиться при использовании малых БЛА в течение короткого времени, поскольку при использовании больших БЛА, с большим потреблением топлива и высокой стоимостью, зарплата пилота перестает быть основным фактором, определяющим различия в размере расходов;

- высокая мобильность, не требуются площадки для взлета;
- низкие издержки на содержание штата;
- возможность решения широкого спектра задач;
- возможность применения в сложных погодных условиях и в условиях риска аварии для аппарата;
- не требуется высококвалифицированный персонал.

В таком изобилии выбора БАС легко сделать неверное решение по выбору того или иного средства для качественной информационной поддержки руководителя ЧС. В связи с этим, нами была разработана и зарегистрирована база данных «Информационные ресурсы системы мониторинга пожаров в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах» (№ 2019622080 от 14.11.2019). Благодаря данной базе данных еще на планирующих этапах системы мониторинга как в зданиях, сооружениях, так и на открытых пространствах можно без труда определиться с необходимым техническим средством мониторинга под определенный его вид (как стационарного, так и мобильного). База данных является взаимополняемой, что позволяет расширять диапазон технических средств для определенного вида мониторинга.



### 1.3.2. База данных информационных ресурсов системы мониторинга

База данных «Информационные ресурсы системы мониторинга пожаров в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах» состоит из следующих основных структурных элементов (рис. 1.3, 1.4):

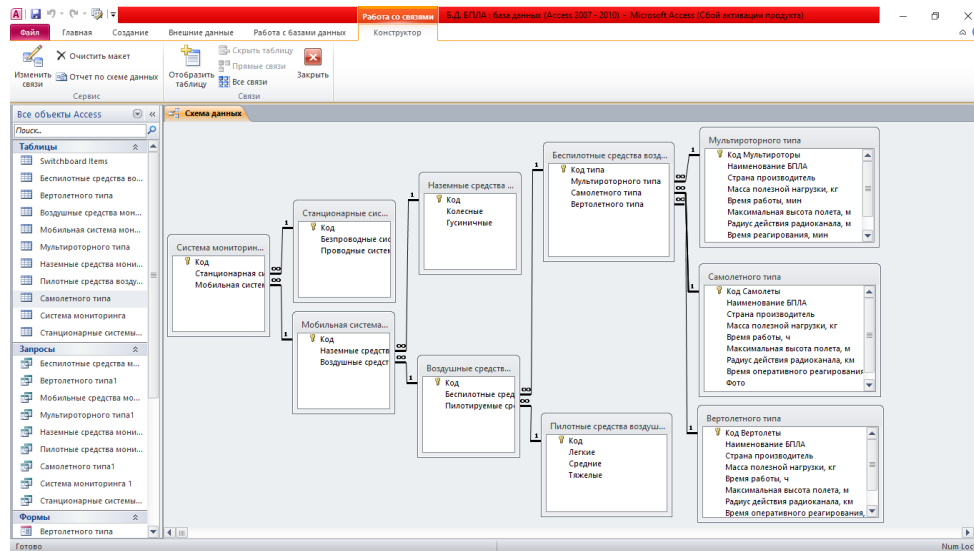


Рис. 1.3. Связи между объектами базы данных (схема данных)

The screenshot shows a data table with the following columns: Код (Code), Наименование БПЛА (Drone Name), Страна произ- (Country of Origin), Масса полезной (Useful Load), Время работы, ч (Operating Time, h), Максимальная (Maximum), Радиус дей- (Radius of Action), Время опер- (Operating Time), Фото (Photo), and Код Беспил- (Code of Unmanned). The table lists 26 different drone models and their specifications.

Код	Наименование БПЛА	Страна произ-	Масса полезной	Время работы, ч	Максимальная	Радиус дей-	Время опер-	Фото	Код Беспил-
1	Иркут-3	Россия	0,5	1,25	3000	15	15	Bitmap Image	
2	ZALA 421-08M	Россия	0,3	1,4	3600	25	10	Bitmap Image	
3	ZALA 421-04 M	Россия	1	1,5	3600	25	12	Bitmap Image	
4	INSPECTOR 301	Россия	1	1,5	4000	25	10	Bitmap Image	
5	Иркут-10	Россия	1,5	2	3000	70	15	Bitmap Image	
6	БЛА Т109	Россия	1,5	2	5000	60	15	Bitmap Image	
7	ZALA 421-16EM	Россия	1	2,5	3600	50	15	Bitmap Image	
8	ДПЛА ГРАНТ	Россия	3	3	3200	70	10	Bitmap Image	
9	Титмак БЛА-05	Россия	14,5	3	3000	70	15	Bitmap Image	
10	Орлан-3	Россия	1,8	3	7000	100	15	Bitmap Image	
11	ALO Observation System	Испания	10	3	3500	60	30	Bitmap Image	
12	ZALA 421-16E	Россия	1,5	3	3600	50	15	Bitmap Image	
13	ZALA 421-16E2	Россия	1,5	4	3600	30	15	Bitmap Image	
14	ZALA 421-16	Россия	3	4	3000	70	15	Bitmap Image	
15	Mantaraya (RMS SA)	Чили	15	4	3000	100	20	Bitmap Image	
16	Neptune (RC-15)	США	9	4	2640	70	15	Bitmap Image	
17	ZALA 421-16ES	Россия	5	5	3600	150	18	Bitmap Image	
18	Skyblade IV	США	12	6	4572	100	20	Bitmap Image	
19	ZALA 421-20	Россия	50	6	5000	120	20	Bitmap Image	
20	A175 «Акула»	Россия	5	7	4000	100	15	Bitmap Image	
21	Aeronautics «Orbiter 3»	Израиль	5,5	7	5500	100	18	Bitmap Image	
22	Aerovision Fulmar	Испания	8	8	3400	100	20	Bitmap Image	
23	Northrop «Bat-12»	США	34	9	6100	970	30	Bitmap Image	
24	Arcturus T-20	США	36	16	4500	800	25	Bitmap Image	
25	Орлан-10	Россия	5	18	5000	600	20	Bitmap Image	
26	Armstechno «NIT»	Болгария	12	20	4000	500	30	Bitmap Image	

Рис.1.4. Значения характеристик БАС

База данных является информационным ресурсом системы мониторинга пожаров в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах. Она содержит информацию о средствах систем мониторинга как стационарного, так и мобильного характера. Применение базы данных на планирующем этапе мониторинга ЧС позволяет сократить временные ресурсы для поиска необходимой информации и выбора наиболее оптимального и рационального

средства мониторинга по различным характеристикам для получения всей необходимой оперативно-тактической информации.

### **1.3.3. Анализ информационных ресурсов системы мониторинга**

Авиационное обеспечение деятельности МЧС России осуществляется воздушными судами, основными из которых являются: Ил-76, Ми-26, Ми-8, Ка-32, Бе-200, Ан-74, Як-42 и др. с широким спектром задач по выполнению авиационно-спасательных и специальных авиационных работ. Эксплуатация этой техники – довольно дорогостоящее мероприятие, не всегда адекватное выполняемым задачам. Выполнение некоторых задач, связанных с работой в зонах загрязнений при авариях на химически и радиационно-опасных объектах, представляет значительную опасность для здоровья экипажа, бортовых и наземных специалистов. На этом фоне применение беспилотных систем для решения задач в интересах Министерства занимает особое место. Беспилотные авиационные комплексы идеально подходят для решения широкого круга задач, стоящих перед авиационными подразделениями МЧС России.

В настоящее время в системе МЧС России на оснащении реагирующих подразделений находится 1591 единица беспилотных авиационных систем, в том числе:

- 1554 единицы вертолетного (мультироторного) типа, из них 132 единицы оснащены тепловизорами;
- 37 единиц самолетного типа.

Беспилотные воздушные суда представлены летательными аппаратами:

- самолетного типа: ZALA 421-04M, ZALA 421-08M, ZALA 421-16EM, Supercam S-250, Орлан-10;
- вертолетного (мультироторного) типа: ZALA 421-21, ZALA 421-22, Гранад ВА-1000, Supercam X6M2 и Supercam X8-M.

Преимущественное большинство составляют беспилотные авиационные системы (БАС) фирмы DJI: Phantom 2, 3, 4 и Inspire 1.

В целях дальнейшего развития беспилотной авиации в плановом периоде 2019–2020 гг. была предусмотрена закупка беспилотных авиационных систем нового поколения, не менее 200 единиц ежегодно, при общей потребности свыше 5 тыс. единиц.

На базе высших учебных заведений МЧС России реализуются программы по обучению и повышению квалификации внешних пилотов БАС. В 2017 году обучено 673 внешних пилота. Таким образом, общая численность штатных внешних пилотов МЧС России составила 801 человек. Организовано обучение 377 внешних пилотов в 2018 году.

В 2015 году были закуплены 200 беспилотных аппаратов «DJI Phantom 3 Advanced» (весом 1,3 кг), которые поступили в Центр проведения операций особого риска «Лидер», отряд «Центроспас», спасательные воинские формирования, авиационно-спасательные центры, региональные поисково-спасательные отряды, 85 Центров беспилотной авиации (созданных в каждом

Главном управлении МЧС России по субъекту РФ), специализированные пожарно-спасательные части.



**Рис.1.5.** БАС «DJI Phantom 3 Advanced»

На беспилотные летательные аппараты имеется возможность устанавливать целевые нагрузки с приборами радиационной разведки, впоследствии благодаря полученным данным за кратчайшее время оператор способен составить карту радиационного заражения местности.

В населенных пунктах при помощи современных беспилотных летательных аппаратов вертикального взлета можно осуществить доставку на определенную высоту средств первой помощи и медикаментов, средств защиты органов дыхания и зрения от опасных факторов пожара, а также оборудования для самостоятельного спасения. Через специальную аппаратуру БАС можно осуществлять оповещение населения об угрозе возникновения ЧС.

В конце 2016 года МЧС России закуплено 800 квадрокоптеров, которые поставлены на вооружение региональным поисково-спасательным отрядам, спасательным центрам, специализированным пожарно-спасательным частям и пожарно-спасательным отрядам. К началу 2017 года в МЧС России группировка БАС насчитывала 1085 беспилотных летательных аппаратов самолетного и вертолётного типов.

Для оценки результатов работ по ликвидации последствий ЧС, с целью проведения мониторинга, в широком диапазоне метеоусловий применяются БАС самолетного типа «Zala-421-16М» (рис. 1.6). Информация, передаваемая БАС на пункт управления, транслируется на мониторы.



Рис.1.6. БАС «Zala-421-16M»

Главным управлением МЧС России по г. Москве организовано внедрение новых образцов беспилотных авиационных систем в подразделения для выполнения задач по мониторингу и воздушной разведки в паводковый и пожароопасный период с применением беспилотной авиации и применения по назначению при ликвидации ЧС, пожаров повышенного ранга и поисково-спасательных работ.

Направление по развитию и внедрению беспилотной авиации реализуется в соответствии с «Концепцией развития и применения БАС в системе МЧС России на период до 2020 года», с учетом особенностей московского территориального гарнизона пожарной охраны и задач, позволяющих повысить безопасность полетов, проведение профилактических мероприятий по предупреждению ЧС и пожаров, для обеспечения эффективности аварийно-спасательных работ с применением авиации и АСТ, уменьшения количества погибших и пострадавших, а также минимизирования ущерба от последствий ЧС; повышения степени оперативной готовности и сокращения времени реагирования на ЧС различного уровня.

В период с 2015 по 2019 года на вооружение подразделений Главного управления МЧС России по г. Москве, с целью повышения возможностей подразделений МЧС России и эффективности выполняемых задач, поступили 27 комплектов беспилотных авиационных систем на базе квадрокоптеров малого класса ближнего действия.

Тактико-технические характеристики беспилотных авиационных систем, применяемых подразделениями пожарно-спасательного гарнизона Москвы, представляют из себя:

**1) Беспилотная авиационная система на базе квадрокоптера «DJI Phantom 3 Advanced» (рис. 1.7).**



**Рисунок 1.7.** Беспилотная авиационная система на базе квадрокоптера «DJI Phantom 3 Advanced»

Беспилотное воздушное судно мультироторного типа с системой автоматического управления (автопилот), встроенной 12 Мп видеокамерой, съемкой видео разрешением 1920x1080 пикселей частотой 60 кадров в секунду, системой телеметрии с возможностью передачи сигналов с различных датчиков (температурных, радиационных и т.п.).

Предназначен для детальной разведки района ЧС, объекта (группы объектов), оценки их состояния, осмотра отдельных элементов строений, сооружений, в том числе и внутри них, отдельных участков местности, дорог, мостов и др., проведения воздушной разведки, определения маршрутов ввода наземных аварийно-спасательных сил.

**Основные летно-технические характеристики:**

- максимальная скорость – до 54 км/ч;
- продолжительность полёта – до 23 мин;
- радиус применения – до 2000 м;
- взлётный вес – 1300 гр;
- максимальная высота полета – до 500 м.

Время разворачивания силами 1 сотрудника: 1–3 мин (зависит от подготовки внешнего пилота и условий разворачивания).

**2) Беспилотная авиационная система на базе квадрокоптера «DJI Phantom 4» (рис. 1.8).**



**Рис. 1.8.** Беспилотная авиационная система на базе квадрокоптера «DJI Phantom 4»



### Основные летно-технические характеристики:

- максимальная высота полета: до 500 метров с точки взлета (ограниченно программой DJIGo);
- максимальная скорость полета – 16 м/с (72км/ч) (зависит от режима полёта);
- масса (с аккумулятором) –1388 гр;
- продолжительность полёта – до 28 мин;
- радиус применения – до 3–5 км\* (зависит от условий применения);
- фото: 20 МП; видео 4К со скоростью 60 к/с;
- несколько усовершенствованных режимов полета;
- система обнаружения препятствий в пяти направлениях в радиусе 30 м. (рис. 1.9).

Время развертывания силами 1 сотрудника: 1–3 мин (зависит от подготовки внешнего пилота и условий развертывания).



Рисунок 1.9. Система обнаружения препятствий на БАСPhantom 4 Pro

Отличительным преимуществом модели Phantom 4Pro является набор из 4 стереосенсоров, которые расположены как в передней части аппарата, так и в задней. По бокам установлены инфракрасные датчики, благодаря которым система быстро и качественно распознает объекты и угрозы и предупреждает о препятствиях внешнего пилота на встроенном экране пульта. За 3–5 метров перед крупными препятствиями система автоматически останавливается, сигнализируя звуковыми сигналами оператору для принятия дальнейших действий.

3) **Беспилотная авиационная система на базе квадрокоптера DJI Inspire 1** (рис. 1.10).

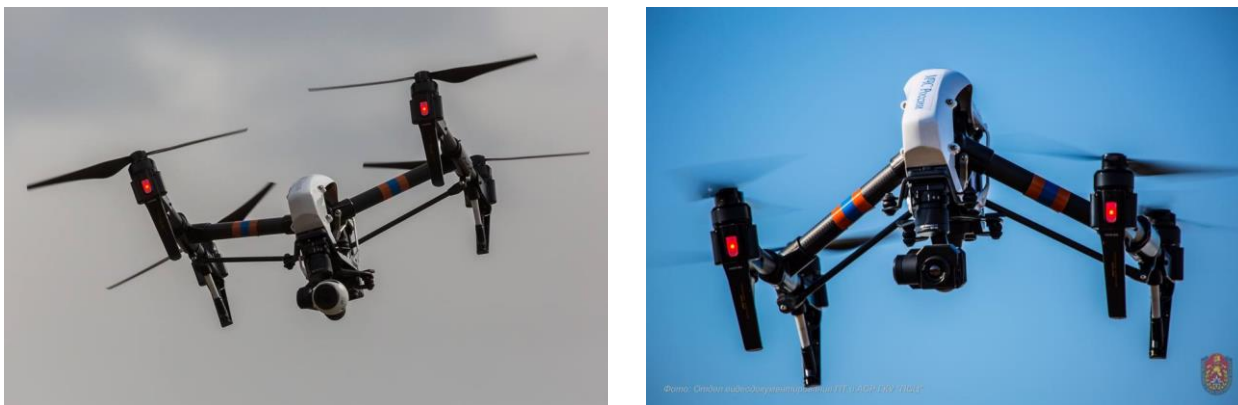


Рис. 1.10. Беспилотная авиационная система на базе «DJI Inspire 1»

### Основные летно-технические характеристики:

- вес (вместе с аккумулятором): 2935гр;
- макс. скорость вертикального взлета: 5м/сек;
- макс. скорость снижения: 4м/сек;
- макс. скорость горизонтального полета: 22м/сек;
- максимальная высота полета: до 500 метров с точки взлета (ограниченно программой DJI Go);
- максимальная дальность управления: до 2км;
- время в полете – до 18 минут;
- рабочая температура: от – 10 до 40° С;
- максимально допустимая скорость ветра: до 8–10 м/с;
- видеокамера: 12Мрх;
- максимальное разрешение фотографий: 4000x3000рх;
- качество видеозаписи: 4096x2160рх; 3840x2160рх; 1920x1080рх; 1280x720рх;
- емкость аккумулятора: 5700 mAh;
- время на подзарядку: около 70 минут.

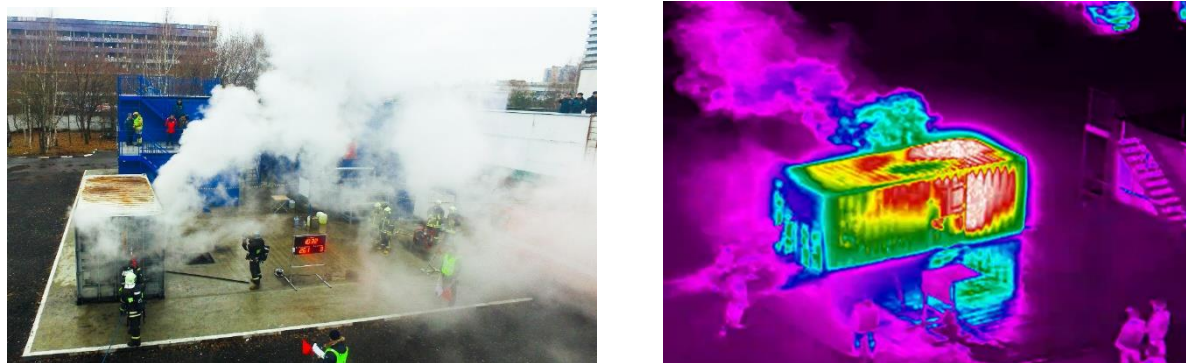
Время разворачивания силами 1 сотрудника: 2–5 мин (зависит от подготовки внешнего пилота и условий разворачивания).

Применение инфракрасного оборудования – мультиспектральной камеры (тепловизора) на базе беспилотной авиационной системы существенно расширяет диапазон их применения (рис. 1.11). Именно этим отличается квадрокоптер DJI Inspire 1, в комплект которого входит измерительный тепловизор профессионального уровня.



**Рис. 1.11.** Инфракрасное оборудование на БАС «DJI Inspire 1»

Комплекты из тепловизионной камеры FLIR и квадрокоптера DJI Inspire открывают перед руководителями тушения пожаров (РТП) и ЧС дополнительные возможности, позволяя провести мониторинг и разведку объектов сквозь дым, оценивать ситуацию с высоты и координировать действия подразделений и сотрудников при крупных пожарах и ЧС (рис.1.12).



**Рис. 1.12.** Пример применения БАС с тепловизором для выявления скрытых очагов пожара и определения тепловых потоков при тушении пожаров.

Данный комплекс позволяет вести наблюдение с высоты в опасных условиях, когда определение очагов затрудняет задымление, сложность объекта и другие факторы.

Аналогичные комплексы применялись при ликвидации последствий лесных и торфяных пожаров в Красноярском крае, Республике Бурятия, Егорьевском и Шатурском районах Московской области, пожаров на объектах экономики в Башкирии и Удмуртии; обнаружении и мониторинге ледовых заторов и разливов рек в Республиках Карелия, Удмуртия, Якутия, Вологодской



области. Неоспоримыми достоинствами БАС являются возможность применения их в условиях, когда уровень факторов, влияющих на здоровье человека, превышает предельные значения, и применение пилотируемых летательных аппаратов не представляется возможным.

27 декабря 2015 года в городе Химки Московской области был открыт Центр беспилотной авиации МЧС России. Созданный Центр позволяет эффективно и на более высоком качественном уровне проводить мониторинг территории центральной части России, а также повышает время реагирования спасательных подразделений на ЧС как природного, так и техногенного характера. Беспилотные летательные аппараты задействуются для проведения разведки территорий, где возникла ЧС, с целью определения координат зон ЧС, объема и количества пострадавших объектов, обнаружения очагов природных и техногенных пожаров. Благодаря применению БАС в зонах ЧС, обусловленных подтоплениями и паводками, удается своевременно обнаружить ледовые заторы, территории населенных пунктов, отрезанных водой, а также адресно оказать помощь населению. Основным преимуществом подразделений, входящих в центр БЛА, является их автономность и мобильность. На вооружении Центра – спецавтомобили, позволяющие доставить аппараты в любую заданную точку, работать в составе оперативных групп и аэромобильных группировок МЧС России. Оснащение расчетов для работы с БАС передвижным пунктом управления, аппаратурой связи, мобильными генераторами позволяет производить мониторинг и полеты в труднодоступной местности.

Департамент авиационно-спасательных технологий и беспилотной авиации совместно со специалистами РАН, ведущими отечественными вузами МГУ имени М.В. Ломоносова и МГТУ имени Баумана сформировали рабочие группы для подготовки предложений по развитию беспилотной авиации:

- разработать концепцию развития центров беспилотной авиации МЧС России и способов применения при выполнении спасательных работ;
- усовершенствовать нормативно-правовую базу для применения БЛА, организации, выполнения и обеспечения полетов воздушных судов МЧС России;
- подготовить федеральные и ведомственные бюджетные целевые программы по развитию авиационно-спасательных технологий;
- внести предложения по модернизации беспилотной авиационной техники, внедрению новых авиационно-спасательных технологий, организации и контролю их исполнения;
- разработать руководящие документы по организации и несению дежурства авиационно-спасательных учреждений, учебно-методические материалы для проведения сборов и занятий с авиационным персоналом.

Основными задачами, решаемыми ВРК с БЛА в интересах подразделений МЧС России, следует считать:

- поиск объектов на заданной территории;
- определение точных координат объектов поиска и границ района ЧС;

- мониторинг района катастрофы;
- использование БЛА в качестве ретранслятора в зонах ЧС; обеспечение сотовой связью мобильных групп (спасателей); передача сигналов управления РТС;
- информационное сопровождение и наведение на объекты мобильных поисковых групп;
- видео, ИК- и фотосъемка;
- контроль ледовых заторов и паводковой обстановки;
- экологический мониторинг водных поверхностей;
- проведение замеров в районе химических и радиационных аварий;
- мониторинг состояния линейных объектов (трубопроводов, русел рек, дорог, ж/д полотна и т.п.);
- поиск пострадавших при сходе снежных лавин;
- обеспечение поиска подводных объектов (сброс радиобуев).

Комплекс с БЛА адаптируется к конкретным условиям применения и решаемым задачам как вариантом базирования (наземным, морским), так и выбором состава полезной нагрузки.

Необходимо отметить, что такие факторы, как длительное время реагирования, высокие эксплуатационные расходы, зависимость от погодных условий, негативно влияют на применение крупной авиации в интересах

Безопасность оператора (человека), минимизация риска для здоровья и жизни – ключевое преимущество применения беспилотных авиационных систем при ликвидации ЧС.

Внедрение БАС в пожарно-спасательные подразделения МЧС России позволило существенно уменьшить количество погибших при ликвидации природных ЧС, в особенности при тушении ландшафтных пожаров и последствий, вызванных наводнениями. Пример неопределимого вклада в безопасный мониторинг и ликвидацию последствий происшествия – взрыв боеприпасов в п. Пугачёво Республики Удмуртия в июне 2011 года. При помощи беспилотных летательных аппаратов проводилась разведка с места происшествия и оперативное информирование руководящего состава для принятия управленческих решений.

Просматривались наиболее безопасные маршруты ввода сил и средств на территорию арсенала, координировалась работа пилотируемой авиации по сбросу огнетушащих веществ в район арсенала. В дальнейшем фото- и видеоинформация использовалась для обнаружения неразорвавшихся боеприпасов и их фрагментов за территорией арсенала.

Таким образом, учитывая опыт МЧС России, можно сделать вывод, что применение беспилотных летательных аппаратов является целесообразным и эффективным средством для создания мощной системы предупреждения и безопасного мониторинга ЧС.

## Выводы по главе 1

В результате проведенных исследований определены направления дальнейших научных поисков связанных, с созданием механизмов организации мониторинга пожаров на основе беспилотных авиационных систем с учетом специфики их применения. Выбраны методы теории автоматов для выполнения детального анализа системы мониторинга пожаров, при котором получены следующие новые научные результаты:

1. Проведен анализ практики применения беспилотных авиационных систем при организации мониторинга пожаров по таким параметрам, как: оперативность развертывания системы мониторинга, включая выполнение организационно-технических мероприятий; качество передаваемой информации при мониторинге, влияние условий среды мониторинга на реализацию его функций; экономическая составляющая организации мониторинга, анализ соотношения эффективности стоимости средства мониторинга.

2. Построена иерархическая база данных информационных ресурсов мониторинга пожаров на основе беспилотных авиационных систем. Сформированы информационные ресурсы для управления беспилотными авиационными системами при мониторинге пожаров.

3. Представлена схема корректировки экономических показателей с учетом резерва беспилотных авиационных систем, что позволяет оптимизировать комплекс профилактических мероприятий борьбы с крупномасштабными пожарами в части мониторинга их развития в режиме реального времени.

4. Предложен комплекс алгоритмических и структурных решений для проектирования сложных систем управления мониторингом на основе беспилотных авиационных систем. Важной особенностью здесь является учет современного уровня развития технологий, что позволяет использовать разработанный комплекс решений при математическом описании состояний мониторинга на основе теории автоматов.

## **ГЛАВА 2.МОДЕЛИ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

При решении задач организации мониторинга пожаров, происходящих как на открытых пространствах, так и в зданиях (сооружениях), важным элементом системы мониторинга является качество его осуществления с учетом специфики воздействия внешней среды и специфики применения средств мониторинга. В данной главе монографии раскрыты основополагающие принципы оценки качества мониторинга пожаров и приведены практические примеры комплексной оценки качества мониторинга.

### **2.1. Модели управления беспилотными авиационными системами**

Рассмотрена специфика управления беспилотными авиационными системами, включая вопросы построения системы мониторинга и выполнения ее основных функций с учетом специфики внешней среды мониторинга.

#### **2.1.1. Основы управления беспилотными авиационными системами**

В настоящее время широкое распространение в мире получили малогабаритные беспилотные летательные аппараты. По оценкам экспертов количество гражданских БАС на мировом рынке достигает 200 000 единиц.

Очевидно, что беспилотный летательный аппарат, как и любая другая робототехническая система, нуждается в системе управления. Можно выделить два основополагающих подхода к построению подобной системы: непрерывный контроль аппарата человеком посредством постоянной двусторонней радиосвязи и автономное управление.

Первый – управление посредством постоянной двусторонней радиосвязи, как правило, с помощью пульта дистанционного управления. Подавляющее большинство подобных аппаратов управляются таким образом. Очевидный минус данного способа состоит в ограниченном радиусе обслуживания, необходимости наличия квалифицированного оператора и постоянного визуального контакта с объектом. Также минусом является использование дополнительного оборудования для отображения текущего положения аппарата на электронной карте местности.

Возможны различные вариации первого подхода: использование пульта дистанционного управления, управление с компьютера или мобильных устройств, использование FPV систем. Использование приведенных вариантов сводится к постоянному ручному контролю управляющих параметров аппарата, что влечет определенные ограничения и неудобства – оператор не может отвлекаться от управления и несет полную ответственность за состояние контролируемого БАС. Также для одного человека становится невозможным управление группой БАС.

Другой, не столь многочисленный класс БАС – аппараты с управлением через беспроводные сети Wi-Fi с компьютеров, планшетов и мобильных телефонов. Данный способ имеет некоторые преимущества – все программно-аппаратные средства управления интегрированы в единое устройство, которое позволяет одновременно оказывать управляющее воздействие и воспринимать поток обратной связи от контролируемого объекта [33]. Главный минус этого способа – ограниченная дистанция.

Таким образом, возникает ряд ключевых проблем управления БАС:

- ограниченная возможность управления;
- ограниченность дальности и длительности полета.

В качестве решения вышеуказанных проблем предложена модель управления БАС как автоматизированной системы [34]. Суть решения состоит в следующем: диспетчер создает полетное задание, находясь на сколь угодно большом расстоянии от контролируемых БАС, которые получают созданное задание посредством сети Интернет и в установленное время начинают его выполнение (рис. 2.1).

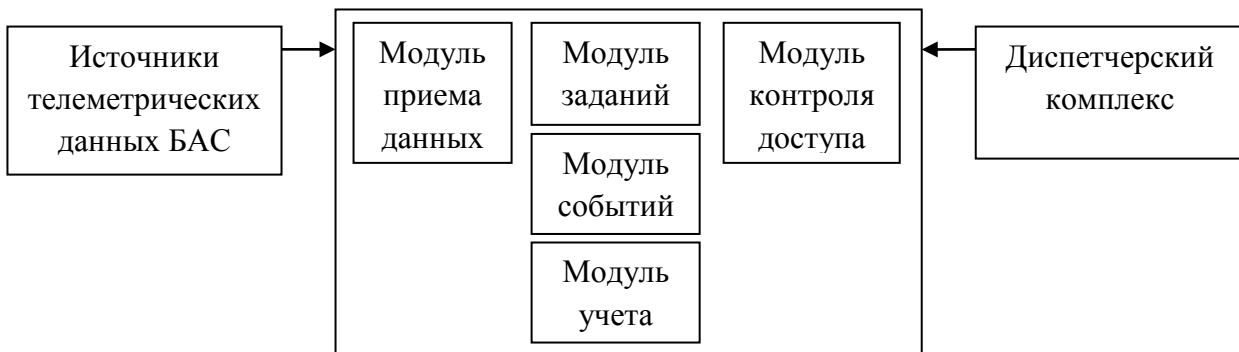


Рис. 2.1. Архитектура программной платформы спутникового контроля БАС

Подобная архитектура позволяет произвольно расширять функционал платформы при появлении новых типов БАС, новых типов событий, новых реализаций диспетчерского комплекса. Сама система управления имеет три уровня автономности, что позволяет обеспечить большую надежность и безопасность при выполнении полета (рис. 2.2).

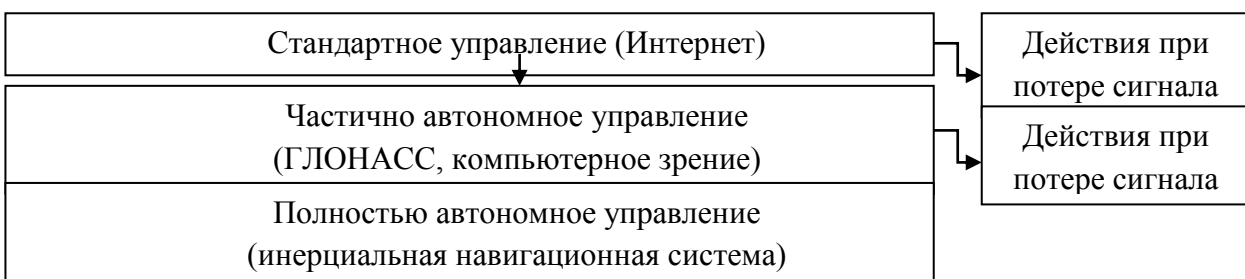


Рис. 2.2. Уровни автономности системы управления БАС

Авторами создана модель системы управления БАС, позволяющая на неограниченной дистанции управлять группами БАС [34].

Актуальной задачей при разработке системы автоматического управления (САУ) беспилотного летательного аппарата является синтез алгоритмов (законов) управления при стабилизации траектории полета БАС. Задача синтеза алгоритмов управления заключается в выборе их структуры и состава сигналов, входящих в закон управления, которые обеспечивают необходимое качество управления БАС, и соответственно, решение тактической задачи, которая, как правило, сводится к полету по заданному маршруту.

В работе [28] представлена методика аналитического синтеза системы автоматического управления беспилотным летательным аппаратом на основе модального управления с использованием полиномов Баттерворта. Проведенное авторами математическое моделирование процесса стабилизации БАС показало работоспособность и эффективность данного подхода в условиях ветровых возмущений атмосферы.

### **2.1.2. Развитие управления при мониторинге пожаров**

Одним из направлений совершенствования систем управления высокоманевренными беспилотными летательными аппаратами является формирование управления на конечном участке траектории. Однако точность таких алгоритмов в традиционно используемых системах управления снижается вследствие действия возмущений большого уровня. Это связано с неадекватностью используемых в алгоритмах прогнозирования моделей. Кроме этого, их реализация ограничивается вычислительными ресурсами бортовых ЭВМ.

В алгоритмах терминального управления, связанных с прогнозированием будущего движения, присутствуют итерационные процедуры, что при ограниченных возможностях БЦВМ не позволяет существенно увеличивать частоту замыкания контура обратной связи. Это не позволяет компенсировать погрешности многошагового процесса управления, как, например, в случаях управления космическим аппаратом многоразового использования или беспилотным маневрирующим летательным аппаратом.

Поэтому для повышения точности управления в алгоритмах прогнозирования целесообразно использовать максимально адекватные модели управляемого движения летательного аппарата.

В работе «Алгоритм терминально-оптимального управления беспилотным летательным аппаратом» рассмотрена схема управления с прогнозированием будущего движения БАС, отличающаяся от известных тем, что в ней используется идентифицируемая по набору измерений модель управляемого движения летательного аппарата [40].

Действие возмущений на различных этапах полета большого уровня, которые являются априорно неопределенными, требуют включения в контур прогнозирования алгоритмов идентификации.

Такой подход позволяет компенсировать ограниченные вычислительные возможности бортовых ЭВМ и повысить точность приземления БЛА в заданную терминальную область.

Численные исследования разработанного авторами модифицированного алгоритма оптимально-терминального управления с прогнозированием идентифицируемой по набору измерений модели функционирования беспилотного летательного аппарата в то же время показали следующее. Ошибки приведения в заданный район приземления и погрешности обеспечения заданных параметров движения центра масс летательного аппарата вдоль опорной траектории были на 45%–50% меньше по сравнению с ошибками традиционного метода. Полученные результаты подтвердили: синтезированный алгоритм может быть эффективно использован для управления маневрами БАС в окрестности опорной траектории, настроенной на краевые условия и заложенной в алгоритм прогнозирования [40].

При разработке и проектировании систем управления важной особенностью является то, что современный уровень развития технологий позволяет использовать множество алгоритмических и структурных решений, представляющих собой неполное математическое описание, т.е. не учитывающих определенные состояния и неспособных дать реальное и адекватное представление о поведении системы. Значительное упрощение используемых параметров и недостаточное их количество не дают при моделировании системы управления и оценке результатов достоверной и корректной информации. Таким образом, при постановке задачи также следует предусмотреть и возможность изменения поведения системы вследствие изменений внешней среды.

## **2.2. Комплексная оценка мониторинга пожаров**

ЧС, сложившаяся в результате ландшафтных пожаров на Европейской части России в третьем квартале 2010 года, со всей остротой показала важность проблемы оперативного мониторинга лесопожарной обстановки. Природные пожары и вызванные ими ЧС наносят существенный ущерб экономическому и социальному благополучию России. В пожароопасные периоды по результатам мониторинга существенная часть муниципальных образований находится в категории повышенного риска возникновения и развития природных пожаров, которые являются потенциальными причинами крупномасштабных ЧС. Одним из решений, позволяющих снизить материальные потери от ландшафтных пожаров, является проведение оперативного и качественного мониторинга обстановки, обеспечивающего информационную и методическую поддержку руководителей структурных подразделений МЧС России при организации борьбы с ландшафтными пожарами [41].

Анализ аспектов управления в условиях ЧС показал, что система управления должна функционировать в четырех режимах: повседневной деятельности, повышенной готовности, чрезвычайного режима,

пост чрезвычайного режима [36, 37]. Далее рассматриваются режимы повседневной деятельности и повышенной готовности, на которых реализуются мероприятия по планированию проведения мониторинга. Не умаляя важности всей совокупности решаемых вопросов планирования мониторинга, авторы ограничиваются двумя взаимосвязанными задачами, носящим основополагающий характер. Это задачи определения необходимого количества средств мониторинга и оценки времени их качественного использования на основе знаний о необходимом уровне надежности используемых средств мониторинга и уровне воздействия внешних факторов природной среды.

В общей совокупности подходов и реализующих их способов существует многочисленный набор средств мониторинга ландшафтных пожаров, транспортировка которых в зоне ответственности осуществляется с применением БАС [29].

Теоретическая составляющая применения БАС при мониторинге природных пожаров в настоящее время развита отечественными и зарубежными учеными. Следует учесть, что в части решения задачи резервирования средств мониторинга вопрос проработан недостаточно для формирования единого подхода и конкретных рекомендаций по оценке качества и продолжительности мониторинга. В свою очередь, технический отказ хотя бы одного из средств мониторинга может привести к неполноте и противоречивости получаемой в режиме реального времени информации.

Несвоевременный, некачественный мониторинг как возможных очагов возгорания, так и развившегося пожара, определяет снижение оперативности принимаемых решений и, как следствие, приводит к увеличению масштабов наносимого природным пожаром ущерба. Поэтому важной теоретической и практической задачей является разработка методики оценки и прогнозирования вероятности отказа средств мониторинга при их практическом использовании в виде системы мониторинга и режиме реального времени.

### **2.2.1. Модель комплексной оценки мониторинга пожаров**

Для формализованного описания состояния системы мониторинга, состоящей из одновременно работающих средств измерений и средств их транспортировки, была использована математическая модель Колмогорова, представляющая собой совокупность обыкновенных дифференциальных уравнений (2.1) (уравнений состояния) и уравнения их аддитивной связи (условия связи состояний) (2.2).

Система уравнений записывается следующим образом:



$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda P_0(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda P_0(t) - \lambda P_1(t); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_k(t)}{dt} = \lambda P_{k-1}(t) - \lambda P_k(t); \\ \dots\dots\dots \\ \frac{dP_m(t)}{dt} = \lambda P_m(t), \end{array} \right. \quad (2.1)$$

где  $P_0(t)$  – вероятность состояния системы мониторинга:  
 состояние 0 – исправны все средства наблюдения системы мониторинга;  
 состояния  $k$  – в системе мониторинга отказало  $k$  – средств наблюдения;  
 $\lambda$  – интенсивность отказов,  $c^{-1}$ ;  
 $t$  – время, с.

Уравнения аддитивной связи вероятностей состояний:

$$P_0(t) + \dots + P_k(t) + \dots + P_m = 1. \quad (2.2)$$

Левая часть уравнения системы с номером  $k$  (2.1) показывает динамику изменения вероятности события, состоящего в том, что в системе мониторинга отказало  $k$  средств наблюдения. Правая часть формирует совокупность правил изменения состояний системы.

Система уравнений (2.1) составлена с учетом нескольких допущений, наиболее существенным из которых является отсутствие восстановления средства мониторинга в процессе реализации наблюдений. То есть, при отказе средства мониторинга принимается, что за оставшееся время данное средство не участвует в информационном обмене.

Данная система уравнений имеет аналитическое решение при следующих начальных условиях:

$$P_0(0) = 1; P_k(0) = 0, k = 1, 2, \dots, m. \quad (2.3)$$

Начальные условия (2.3) оговаривают ситуации, при которых в начальный момент времени все средства наблюдения системы мониторинга исправны.

Аналитические решения системы уравнений записываются следующим образом:

– для начального состояния:

$$P_0 = \exp(-\lambda t); \quad (2.4)$$

– для промежуточных состояний:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(-\lambda t); \quad (2.5)$$

– для конечного состояния:

$$P_m(t) = 1 - \left[ 1 + \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \right] \exp(-\lambda t). \quad (2.6)$$

На базе аналитического решения системы уравнений (2.1), предполагая, что специфика воздействия среды мониторинга на средство наблюдения количественно оценивается с помощью интенсивности отказов  $\lambda$ , может быть предложена классификация задач мониторинга.

Пусть среда мониторинга характеризуется интенсивностью отказов средств наблюдения  $\lambda=0,1$  мин<sup>-1</sup>, а необходимый уровень вероятности мониторинга  $P_{кр}=0,8$ , то есть, при превышении данного значения вариант мониторинга отклоняется; требуемое время качественного мониторинга 35 минут.

Применяя формулу (2.6), получены зависимости для оценки вероятности состояний системы мониторинга. Например, для состояния 3 записывается следующим образом:

$$P_3(t) = 1 - \left[ 1 + 0,1t + \frac{(0,1t)^2}{2!} + \frac{(0,1t)^3}{3!} \right] \exp(-0,1t). \quad (2.7)$$

Состояние 3 вербально можно представить так: система состоит из трех средств наблюдения, и все три средства в рассматриваемый момент времени отказали. Остальные зависимости получены аналогично, результаты представлены на рис. 2.3.

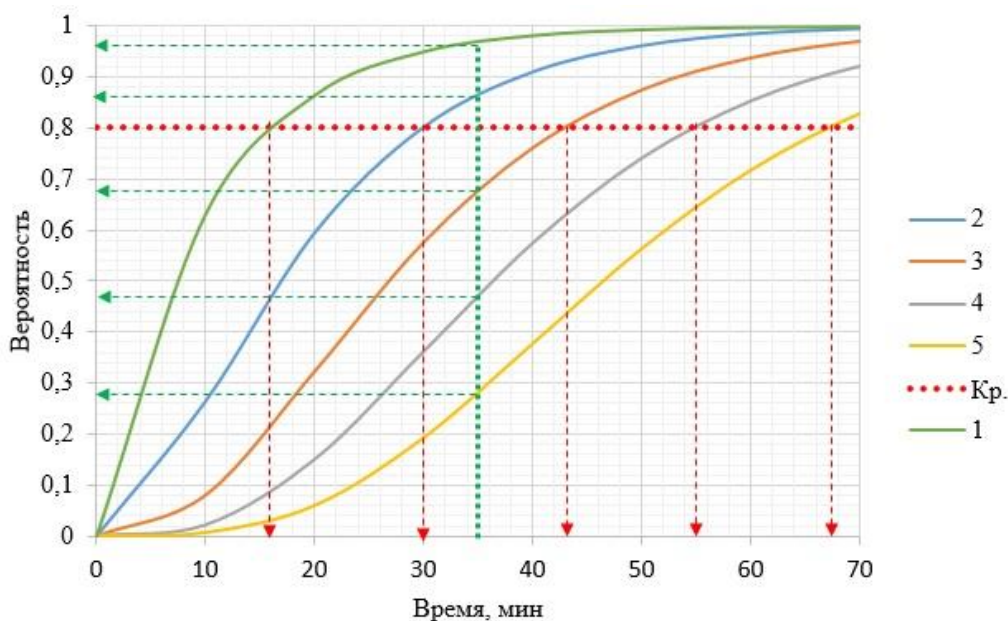


Рис. 2.3. Результаты оценки вероятности состояний системы мониторинга

Анализируя данные, полученные с помощью аналитических решений системы (2.1) (рис.2.3), можно сделать вывод: для качественного мониторинга в условиях среды ( $\lambda=0,1 \text{ мин}^{-1}$ ) в течение требуемого времени (35 минут) необходима система мониторинга, состоящая из трех средств наблюдения.

Обратная задача анализа полученных данных сводится к оценке вероятности функционирования системы мониторинга, состоящей из средств наблюдения. Например, для принятых исходных данных имеем, что система мониторинга, состоящая из двух средств наблюдения, с вероятностью 0,86 на момент времени 35 минут будет нефункциональна.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании бюджета денежных средств для реализации конкретного способа мониторинга или обосновании выбора способа мониторинга. Корректировка экономических показателей мониторинга с учетом резерва средств измерений позволяет оптимизировать комплекс профилактических мероприятий борьбы с крупномасштабными ЧС, вызванными ландшафтными пожарами в части контроля их возникновения и развития в рассматриваемых режимах ЧС.

### **2.2.2. Структура комплексной оценки мониторинга пожаров**

Современное развитие мониторинга процессов возникновения деструктивных событий в социальной среде, в том числе пожаров и ЧС, позволяет заключить, что уже невозможно представить качественную реализацию действий по ликвидации пожаров и ЧС без информации от средств и систем мониторинга. В свою очередь, задача улучшения качества мониторинга не нова, однако исследования, связанные с повышением эффективности использования средств мониторинга, объединенных в единую систему, перед которой стоят задачи оперативного сбора данных для принятия ответственных управленческих решений, актуальны и важны [29].

Качество мониторинга в процессе оперативного управления определяется вероятностью безотказной работы системы мониторинга [38]. Данное утверждение справедливо в том случае, если другие показатели качества мониторинга удовлетворяют требованиям, определенным в процессе планирования мониторинга. То есть, средства мониторинга и система мониторинга в целом соответствуют заранее заданным характеристикам, выполнение которых позволяет осуществлять оперативное управление на основе получаемой информации. В этом случае вероятность отказа системы мониторинга является количественным критерием качества мониторинга, с помощью которого определяют необходимое число средств мониторинга для решения поставленных задач [39]. В совокупности оценка вероятности отказа системы мониторинга позволяет ответить на два важных практических вопроса:

- 1) Какое число средств мониторинга необходимо для заданного уровня качества?
- 2) При заданном числе средств мониторинга какое следует ожидать его качество?

В классическом понимании система мониторинга является восстанавливаемой системой с конечным числом элементов и конечным числом состояний. Предполагается, что для каждого элемента системы вероятность возникновения непрогнозируемых отказов пренебрежимо мала в сравнении с параметрическими отказами, которые могут быть устранены в ходе профилактических и восстановительных работ [38,39]. В общем случае, не касаясь вопроса оперативного управления, вероятности отказа каждого элемента системы рассматриваются как количественные стационарные оценки. Однако для решения задач оперативного управления определяющим является необходимость получения зависимости вероятности отказа от времени реализации мероприятий по мониторингу. Получив такую зависимость, представляется возможным решить и прямую, и обратную задачи исследования.

Классический подход к расчету временной зависимости вероятности безотказной работы для восстанавливаемой системы с конечным числом элементов предусматривает расчет значений вероятности безотказной работы для каждого элемента системы в заданный момент времени и на основе полученных значений расчет вероятности безотказной работы системы в целом. Очевидно, что данный подход применим и для решения поставленной задачи. Однако практическая реализация оперативного мониторинга определяет ряд особенностей данного процесса, препятствующих применению тривиальных решений при планировании и организации мероприятий мониторинга. К особенностям оперативного мониторинга можно отнести:

- при отказе средства мониторинга отсутствуют временные ресурсы для его восстановления, то есть, реализация ремонтных работ невозможна в процессе мониторинга. Данная ситуация описывает случай, когда при отказе средства системы или ухудшении качества функционирования элемента системы до уровня, не позволяющего считать результаты мониторинга удовлетворительными, у оператора системы нет времени на ремонт и восстановление средства мониторинга [30];

- в процессе мониторинга участвует то число средств мониторинга, которое было определено на этапе планирования данных мероприятий. То есть, у оператора системы мониторинга отсутствует возможность увеличения числа средств мониторинга в процессе его реализации [30].

При данных допущениях в работе [29] была предложена математическая модель Колмогорова для формального описания оперативного мониторинга беспилотными авиационными системами параметров ЧС, вызванных природными пожарами. Для математической модели, представляющей собой систему дифференциальных уравнений, получены аналитические нестационарные решения, описывающие динамику вероятности отказа средств мониторинга ( $P$ ) в зависимости от условий среды мониторинга ( $\lambda$  мин<sup>-1</sup>) и времени мониторинга ( $t$ , мин).

Аналитические решения записываются следующим образом:

- для начального состояния:

$$P_0 = \exp(-\lambda t); \quad (2.8)$$

– для промежуточных состояний:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} \exp(-\lambda t); \quad (2.9)$$

– для конечного состояния:

$$P_m(t) = 1 - \left[ 1 + \sum_{k=0}^{m-1} \frac{(\lambda t)^k}{k!} \right] \exp(-\lambda t). \quad (2.10)$$

В (2.8)–(2.10) введены следующие состояния:

- состояние 0 – в данный момент времени  $t$  исправны все средства мониторинга;
- состояние  $k$  – в системе мониторинга в момент времени  $t$  отказало  $k$  средств мониторинга;
- состояние  $m$  – в системе отказали все средства мониторинга.

Однако в общем случае на практике возникают ситуации, когда мониторинг ведется одновременно несколькими системами. Тогда для общей системы мониторинга вероятность безотказной работы будет определяться на основе общей теоремы о повторении опытов [38]:

$$P = \prod_{i=1}^n (P_i z + (1 - P_i)), \quad (2.11)$$

где  $P_i$  – вероятность события, при котором считается, что система мониторинга вышла из рабочего состояния;

$(1 - P_i) = Q_i$  – вероятность рабочего состояния системы.

Тогда вероятность  $P_i$  определяют по значениям коэффициентов производящей функции [38]:

$$\varphi(z) = \sum_{\alpha=0}^m P_\alpha z^\alpha. \quad (2.12)$$

В случае мониторинга для целей оперативного управления целесообразно рассматривать ситуацию, когда в системе мониторинга отказали все средства, то есть, все критерии оценки ниже необходимого уровня [41, 44]. В этом случае при определении вероятности отказа для общей системы в целом достаточно ограничиться произведением вероятностей отказов соответствующих подсистем, то есть:

$$P = \prod_{i=1}^n P_i, \quad (2.13)$$

где  $P$  – вероятность отказа системы мониторинга;  
 $P_i$  – вероятности отказа ее подсистем;  
 $n$  – число систем мониторинга.

Пусть на месте ЧС работают две системы мониторинга с параметрами: система 1 состоит из  $m_1=2$  средств мониторинга в условиях среды мониторинга  $\lambda_1=0,1$  мин<sup>-1</sup>; система 2:  $m_2=3$  и  $\lambda_2=0,2$  мин<sup>-1</sup>, соответственно. Требуется определить: продолжительность мониторинга, при которой вероятность безотказной работы системы мониторинга будет не менее  $Q=0,8$  ( $P=1 - 0,8=0,2$ ).

Результаты расчета по предложенной модели представлены на рис. 2.4.

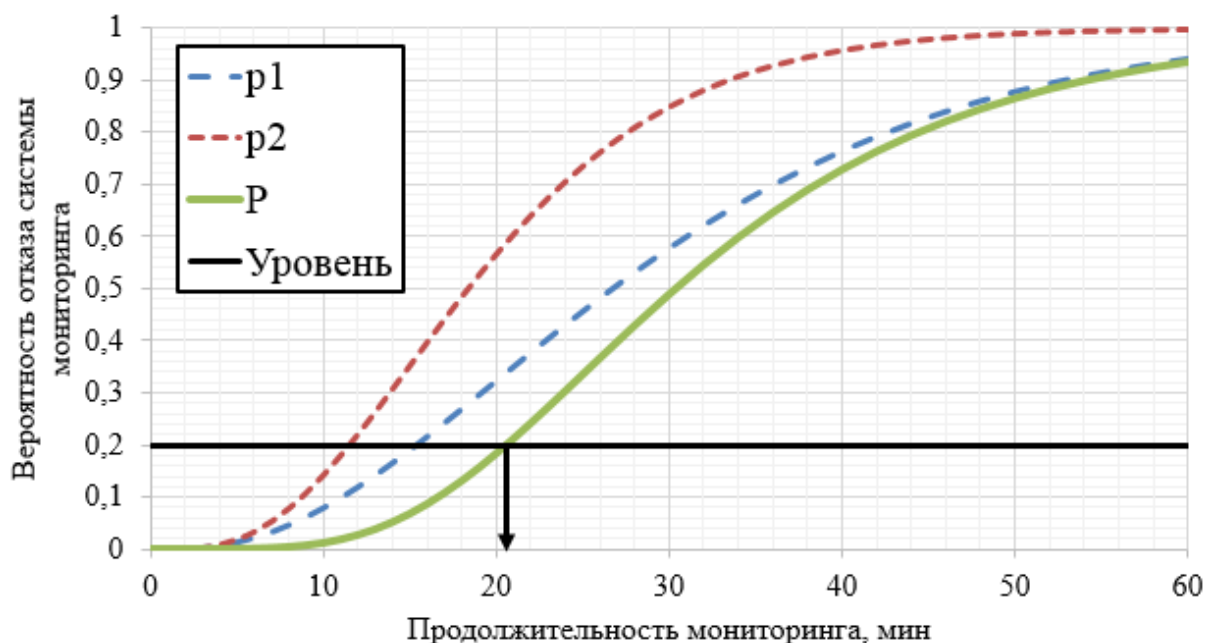


Рис. 2.4. Результаты нестационарной оценки вероятности безотказной работы систем мониторинга

Из рис. 2.4 можно сделать вывод: при вероятности работы 0,8 система мониторинга сможет функционировать 20 минут.

Обратная задача исследования решается с применением ЭВМ аналогично задачам управления, рассмотренным в работах [42, 43], методами подбора, где варьируется значение  $m_1$  и  $m_2$  (число средств мониторинга в системах) до тех пор, пока значение  $P$  не будет удовлетворять исследователя.

Таким образом, произведено теоретическое обобщение математической модели мониторинга параметров, определяющих возникновение и развитие деструктивных событий, на примере ЧС, вызванных природными пожарами. При формальной постановке задачи исходили из следующего допущения: система мониторинга может рассматриваться как восстанавливаемая система с конечным числом элементов. Данное допущение обосновано для случая оперативного мониторинга практикой его реализации. На основе предложенной

математической модели получены решения прямой и обратной задачи планирования мониторинга при заданном уровне качества. Можно предполагать, что дальнейшее развитие модели будет направлено на рассмотрение ситуации, когда параметр среды будет принят не как константа, а как функция времени, что позволит существенно расширить сферу применения предложенной модели.

### **2.3. Резервирование средств оперативного мониторинга пожаров**

В параграфе проведен анализ структурно-логической модели резервирования средств оперативного мониторинга пожаров для определения направлений развития информационной системы в части обоснования ее количественных характеристик эффективного функционирования. Предложена концепция мониторинга состояний системы оперативного мониторинга с использованием моделей оценки качества отдельных ее подсистем. Выполнено сравнение предлагаемой концепции с существующими информационными и техническими решениями оперативного мониторинга пожаров.

#### **2.3.1. Постановка и решение задачи резервирования мониторинга**

Система оперативного мониторинга пожара является одним из достоверных источников информации для принятия решений на применение сил и средств подразделений, участвующих в ликвидации пожаров. Стоит отметить, что результаты оперативного мониторинга необходимы также для организации взаимодействия подразделений со службами жизнеобеспечения, в зоне ответственности которых находится социально-экономическое состояние страны. В общем случае при решении задач информационного обеспечения результаты мониторинга применяются при прогнозировании развития пожара и оценке результативности действий подразделений при ликвидации пожаров [31, 32]. В свою очередь, прогноз развития пожара осуществляется с использованием математического обеспечения на основе цифровой обработки результатов мониторинга параметров пожара. Поэтому, рассматривая систему оперативного мониторинга, необходимо учитывать ее модель в части структуры, так как математическое обеспечение в зависимости от целей мониторинга может варьироваться. Такая постановка исследовательской задачи позволяет в той или иной степени определять направления развития системы и совершенствования ее отдельных элементов, например, резерва средств мониторинга. При этом расчет резерва средств мониторинга имеет дуалистический характер и сводится к решению двух связанных между собой задач: 1 – оценка необходимого количества средств мониторинга для заданного уровня его качества; 2 – определение уровня качества мониторинга при фиксированном количестве средств мониторинга в системе [32]. Первая задача считается прямой (основной) задачей оценки резерва, вторую же принято считать обратной (второстепенной) задачей.

Принятие решений о необходимом количестве средств мониторинга основывается на решении основной задачи и осуществляется при планировании применения средств мониторинга в единой системе. В случае если система является простой и неделимой, то решение основной задачи резерва сводится к анализу общеизвестных моделей надежности социотехнической системы. Если же система является сложной, состоит из ряда подсистем, то основная задача неразрешима с использованием тривиальных методов и требует дополнительных данных и вычислительных процедур. Практика мониторинга пожаров определяет, что подсистемы системы мониторинга функционируют в разных условиях развития пожара, поэтому при анализе резерва мониторинга необходимо использовать детализированные методы, имеющие большее число степеней свободы при моделировании и планировании эффективной реализации оперативного мониторинга пожара. Поэтому научная задача, решаемая в работе, сводится к определению предельных состояний системы оперативного мониторинга на основе анализа структурно-логической модели резерва средств мониторинга. Методы решения поставленной задачи представляют собой процедуру анализа вероятностей состояния системы мониторинга в совокупности с процедурами принятия решений в условиях риска и неопределённости, позволяющих сделать оптимистичный и пессимистичный прогнозы относительно динамики состояний системы в целом.

Потребителями результатов мониторинга пожара являются должностные лица управления подразделениями, это определяет рассмотрение системы мониторинга как социотехническую сложную систему. Структура взаимодействия должностных лиц при ликвидации пожаров построена по иерархическому принципу, что накладывает ряд ограничений на модель резерва средств мониторинга, так как информация от каждой подсистемы системы мониторинга востребована должностным лицом, осуществляющим управление на заданном участке работ по ликвидации пожара, в свою очередь, руководитель тушения пожара должен получать укрупненные данные в целом по системе. Этими формальными принципами определяется существенное влияние человеческого фактора на процесс функционирования системы управления и ее источника объективной информации – системы оперативного мониторинга. В этой связи социальная составляющая системы определяет необходимость методического обеспечения потребителей мониторинга, а техническая составляющая системы определяет развитие в части резервирования средств мониторинга. Объединение двух этих составляющих инициировало эволюцию системы мониторинга в иерархическом направлении.

Относительно каждой подсистемы системы оперативного мониторинга в работах [27,31, 32, 45] была сформулирована модель расчета необходимого количества средств мониторинга с точки зрения его резерва. Процедура расчета необходимого количества средств мониторинга сводится к анализу следующей структуры параметров:

$$\langle m, P_m, \lambda, \tau \rangle, \quad (2.14)$$



где  $m$  – количество средств мониторинга в ее подсистеме;

$P_m$  – критерий принятия решений – вероятность успешной реализации мониторинга с использованием  $m$  средств мониторинга за время  $\tau$ ;

$\lambda$  – параметр среды мониторинга.

Для случая оперативного мониторинга связующее уравнение критерия мониторинга определяется путем анализа системы уравнений Эрланга. Локальные состояния системы для каждой подсистемы мониторинга рассчитывается по формуле:

$$P_k(\tau) = \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} \exp(-\lambda\tau), \quad (2.15)$$

где  $k$  – количество отказавших средств оперативного мониторинга пожара.

В свою очередь, предельное состояние системы в целом, заключающееся в отказе всех средств оперативного мониторинга, определяется по формуле:

$$P_m = 1 - \sum_{k=0}^m P_m. \quad (2.16)$$

Дуалистическая постановка задачи резервирования средств мониторинга определяет необходимость обратного анализа необходимого количества средств, то есть, принятие решений в этом случае проводится на основе параметра:

$$Q_m = 1 - P_m. \quad (2.17)$$

Учитывая, что в задаче на высшем иерархическом уровне требуются результаты анализа только предельных состояний системы, ограничиваясь исключением локального состояния  $k=0$ , обосновывая это тем, что в подсистеме системы мониторинга должны быть хотя бы одно работоспособное средство, получим зависимости вероятностей предельных состояний для решения основной и второстепенной задач резерва средств оперативного мониторинга:

– для решения основной задачи:

$$P_m(\tau) = 1 - \left[ 1 + \sum_{k=1}^m \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} \right] \exp(-\lambda\tau); \quad (2.18)$$

– для решения второстепенной задачи:

$$Q_m(\tau) = \left[ 1 + \sum_{k=1}^m \frac{(\lambda\tau)^k}{k!} \right] \exp(-\lambda\tau). \quad (2.19)$$

Применение математического выражения (2.18) предусматривает решение задачи планирования применения средств мониторинга в подсистеме системы мониторинга, однако для принятия решений в режиме реального времени необходимо иметь представление об изменениях состояний системы в целом.

С учетом социотехнического описания системы мониторинга на рис. 2.5 представлена структурно-логическая модель.

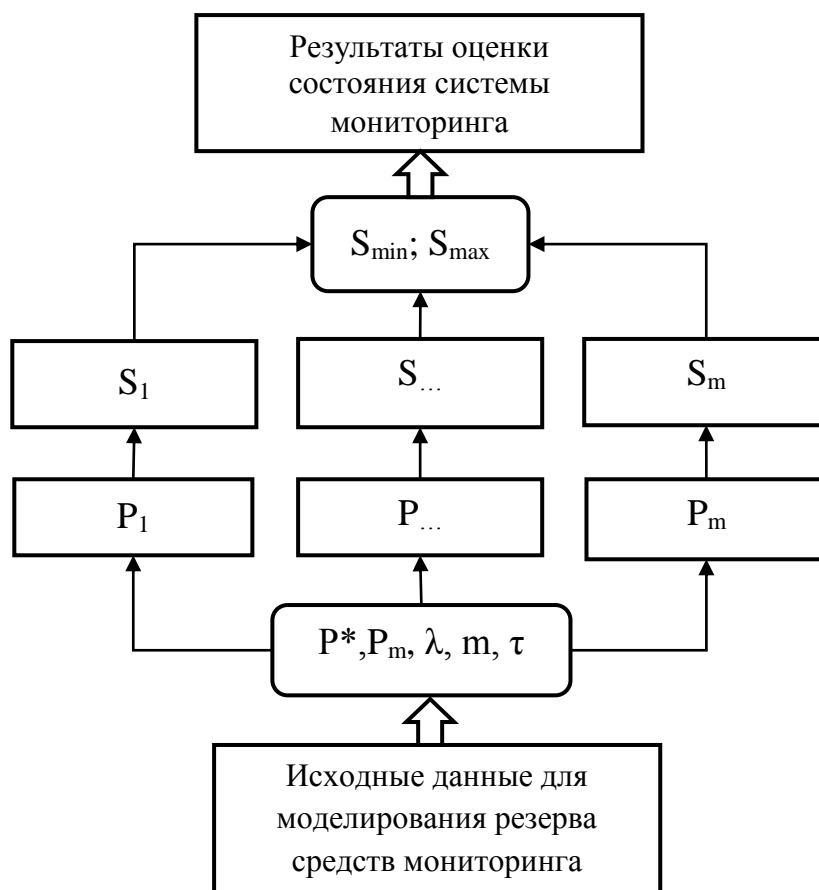


Рис. 2.5. Структурно-логическая модель резерва средств оперативного мониторинга

Структурно-логическая модель направлена на решение основной задачи резерва, однако, заменив критерий  $P_m$  на  $Q_m$ , представляется возможным аналогичными методами решить и второстепенную задачу.

Исследуя поставленную научную задачу определения предельных состояний системы оперативного мониторинга на основе анализа структурно-логической модели резерва средств мониторинга, воспользуемся аналогией с работой [35].

Итак, каждая подсистема системы мониторинга с конечным числом резервных средств мониторинга имеет конечное число состояний:

$$\{S_1, S_2, \dots, S_k\}. \quad (2.20)$$

Каждому из рассматриваемых состояний соответствует критическое значение критерия мониторинга – вероятности успешной реализации мониторинга:

$$\{P_1^*, P_2^*, \dots, P_k^*, I\}. \quad (2.21)$$

То есть, система находится в состоянии  $Sk$ , если прогнозируемая вероятность принадлежит интервалу  $P_k \in [P_{k-1}^*; P_k^*]$ , тогда каждое прогнозируемое состояние в режиме реального времени каждой подсистемы системы мониторинга определяется на основе выражения (2.15) с учетом исходных данных параметров кортежа (2.14).

Интервальная природа прогнозирования состояний системы мониторинга определяет ситуацию, заключающуюся в том, что формальный анализ соотношений (2.18) и (2.19) необходимо проводить на основе методов принятия решений в условиях риска и неопределённости, позволяющих сделать оптимистичный и пессимистичный прогнозы относительно динамики состояний системы в целом.

В соответствии с общей теорией риска прогнозируемое состояние системы мониторинга может быть определено с использованием выражения:

– для пессимистичного прогноза:

$$S_{\min} = \min_{j=1,2,\dots,l} S_j; \quad (2.22)$$

– для оптимистического прогноза:

$$S_{\max} = \max_{j=1,2,\dots,l} S_j, \quad (2.23)$$

где  $S_j$  – текущее состояние  $j$  подсистемы системы мониторинга;  
 $l$  – число подсистем в общей системе.

Возвращаясь к социотехническому описанию структурно-логической модели резерва, можно предположить, что для должностных лиц высшего уровня управления на пожаре фактическое состояние системы мониторинга находится в интервале между пессимистичным и оптимистичным прогнозами.

### 2.3.2. Практическое применение теоретической модели

Рассмотрим структуру информационных ресурсов, полученных с использованием результатов анализа структурно-логической модели. Пример является численной интерпретацией модели с различными значениями параметров кортежа (2.24) для двух подсистем системы мониторинга.

Подсистема 1 включает в себя два средства мониторинга ( $m=2$ ), параметр среды мониторинга  $\lambda=0,15$  мин<sup>-1</sup>. Подсистема 2 имеет три средства мониторинга ( $m=3$ ), параметр среды  $\lambda=0,20$  мин<sup>-1</sup>. Представленные данные

покажут идентичную картину мониторинга, так как большее влияние среды в подсистеме 2 компенсировано увеличением резерва средств мониторинга.

Предельные значения вероятностей состояний подсистем мониторинга представлены в табл.2.1.

Таблица 2.1. Предельные значения вероятности состояний

Состояния системы	S1	S2	S3	S4
P1*	0,20	0,60	0,90	1,00
P2*	0,25	0,50	0,80	1,00

Выражения для расчета динамики вероятности состояний подсистем системы мониторинга будет определяться следующими соотношениями:

– для подсистемы 1 ( $m=2$ ):

$$P_2(\tau) = 1 - \left[ 1 + \frac{(\lambda\tau)^1}{1} + \frac{(\lambda\tau)^2}{2} \right] \exp(-\lambda\tau) \text{ и } Q_2(\tau) = 1 - P_2(\tau); \quad (2.24)$$

– для подсистемы 2 ( $m=3$ ):

$$P_3(\tau) = 1 - \left[ 1 + \frac{(\lambda\tau)^1}{1} + \frac{(\lambda\tau)^2}{2} + \frac{(\lambda\tau)^3}{6} \right] \exp(-\lambda\tau) \text{ и } Q_3(\tau) = 1 - P_3(\tau). \quad (2.25)$$

Расчет динамики значений критериев  $P$  и  $Q$  представлены на рис. 2.6 (а) – для подсистемы 1 и б) – для подсистемы 2).

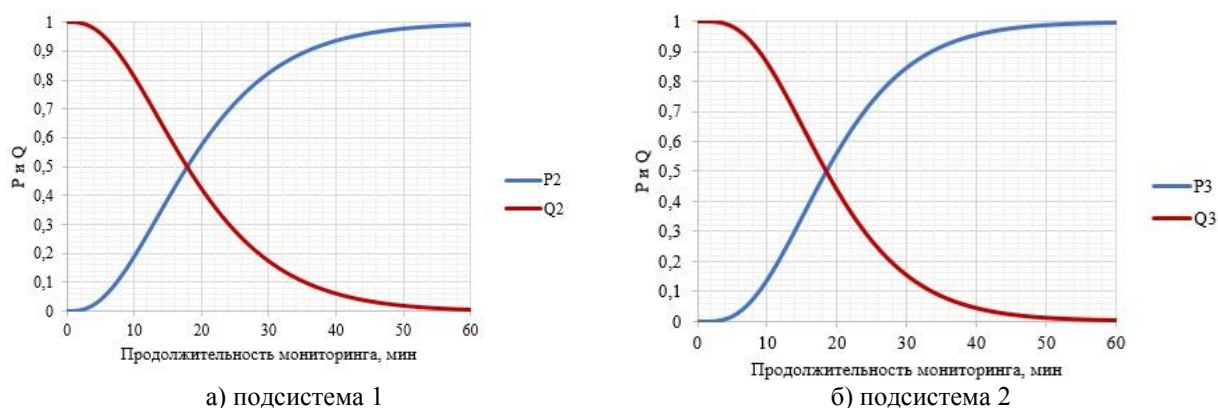


Рис. 2.6. Динамика вероятности состояний подсистем системы мониторинга

Численный анализ результатов моделирования показывает идентичную картину динамики вероятностей в рассматриваемых подсистемах. Поэтому отличие результатов анализа состояний подсистем стоит ожидать за счет различных значений предельных вероятностей состояний.

С учетом предельных вероятностей состояний построим зависимости динамики состояний подсистем мониторинга (рис. 2.6 а) и системы мониторинга в целом (рис. 2.6 б).

Динамика состояний подсистем (рис. 2.7 а) является информационной поддержкой должностных лиц на участках ведения работ по ликвидации пожаров, а динамика оптимистического и пессимистического прогнозов состояний обеспечивает необходимой информацией для управления системой в целом.

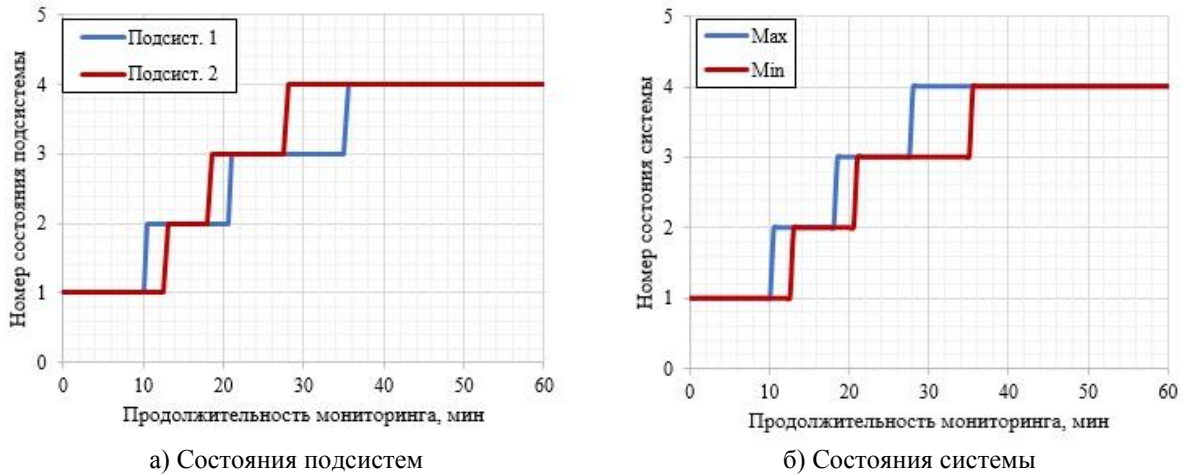


Рис. 2.7. Динамика состояний подсистем и системы мониторинга

Стоит отметить различия в прогнозе состояний каждой из подсистем и системы в целом, это определяет возможность решения задачи резерва средств мониторинга при дополнительном сосредоточении к месту ведения работ по ликвидации пожаров.

### 2.3.3. Направления развития теоретических моделей

Для эффективной борьбы с природными пожарами необходимо учитывать планирование мероприятий, связанных с их предупреждением и ликвидацией. Ключевым параметром при реализации данных процессов является определение требуемого количества средств мониторинга для обеспечения качественного информационного обеспечения оперативных должностных лиц. В настоящее время существуют методики получения достоверной информации о динамике развития природных пожаров с использованием дистанционного мониторинга.

Разработанный подход к комплексной оценке требуемого количества средств мониторинга для качественного сбора оперативной информации при принятии решений предусматривает использование в качестве критерия для выбора зависимость «вероятность-время». Математическая модель, применяемая для расчета требуемого количества резервных средств мониторинга (далее – модель качества мониторинга), состоит из следующих объектов:

$$\langle m, P_m, \lambda, \tau \rangle, \quad (2.26)$$

где  $m$  – количество средств мониторинга;

$P_m$  – вероятность успешной реализации мониторинга;

$\lambda$  – интенсивность отказа средств мониторинга (параметр среды мониторинга);

$\tau$  – продолжительность мониторинга.

Оперативные должностные лица, принимающие решения, применяют данную модель для реализации двух основных задач:

– прямая задача, которая сводится к определению требуемого количества средств мониторинга ( $m$ ) для получения информации при заданной вероятности ( $P_m$ ) за определенную продолжительность мониторинга ( $\tau$ );

– обратная задача, которая позволяет определить, с какой вероятностью ( $P_m$ ) будет получен требуемый объем информации от  $m$  средств мониторинга в процессе мониторинга продолжительностью ( $\tau$ ).

Стоит обозначить тот факт, что прямая задача оценки требуемой численности средств мониторинга на практике используется для планирования применения имеющегося количества средств мониторинга в процессе сбора информации при пожарах и ЧС. В свою очередь, обратная задача применима как средство аудита – оценки качества мониторинга в случае возникновения пожаров и ЧС.

Тем не менее, представленная модель и практические аспекты ее развития позволяет планировать и производить оценку мероприятий по мониторингу пожаров, тушение которых осуществляется за время, не превышающее два часа. Равным образом, решение подобных задач, создаваемых затяжными пожарами и ЧС, при ликвидации которых оперативным службам требуется информационное сопровождение за большие интервалы времени, с помощью предложенной модели проблематично. Это в первую очередь связано с отсутствием этапа восстановления средств мониторинга при их отказе в оперативных информационных условиях. Поэтому необходимо предложить альтернативную вероятностную постановку задачи резервирования средств мониторинга затяжных природных пожаров и ЧС. Для этого важно провести анализ моделей качества мониторинга и предложить альтернативный подход к оценке качества мониторинга, с учетом специфики реализации условий мониторинга затяжных пожаров и ЧС.

Для оценки требуемого количества средств мониторинга предложена система уравнений, аналогичная системе уравнений Эрланга без восстановления. При рассмотрении условий, когда на месте тушения пожара или ликвидации ЧС сосредоточено несколько систем мониторинга при определении вероятности отказа, используется общая формула:

$$P(\tau) = \prod_{i=1}^n P_i(\tau), \quad (2.27)$$

где  $P$  – вероятность отказа системы мониторинга;

$P_i$  – вероятности отказа ее подсистем;

$n$  – число систем мониторинга.

Анализируя зависимости, когда средства мониторинга объединены в единую систему, можно сделать вывод, что при  $k > 10$  формула Эрланга стремится к нормальной Гауссовой модели. Поэтому при разработке альтернативной модели резервирования средств мониторинга затяжных природных пожаров и ЧС воспользуемся плотностью распределения нормальной случайной величины:

$$f(\tau) = \frac{1}{\sqrt{2Dn}} \exp\left(-\frac{(\tau - \tau^*)^2}{2D}\right), \quad (2.28)$$

где  $D$  – дисперсия случайной величины,  $\text{ч}^2$ ;

$\tau^*$  – среднее значение случайной величины – продолжительность мониторинга,  $\text{ч}$ .

Тогда функция распределения и, следовательно, зависимость вероятность–время может быть получена, исходя из следующего выражения:

$$P(\tau) = \frac{1}{2} \left[ 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{\tau - \tau^*}{\sqrt{2D}} \right) \right]. \quad (2.29)$$

Учитывая (2.28) и (2.29), задача оценки качества мониторинга крупных пожаров и ЧС сводится к соотношению значению  $m$  пары  $(\tau^*; D)$ , заменяющих параметр  $\lambda$ .

Таким образом структура вероятностного подхода к решению задачи резервирования средств мониторинга предполагает анализ пожаров с продолжительностью, не превышающей двух часов, и затяжных пожаров продолжительностью более двух часов.

В первом случае для анализа требуемого количества средств мониторинга необходимо использовать модель качества мониторинга на основе уравнений Эрланга, во втором случае на основе соответствующей процессу функции Гаусса (рис. 2.8).

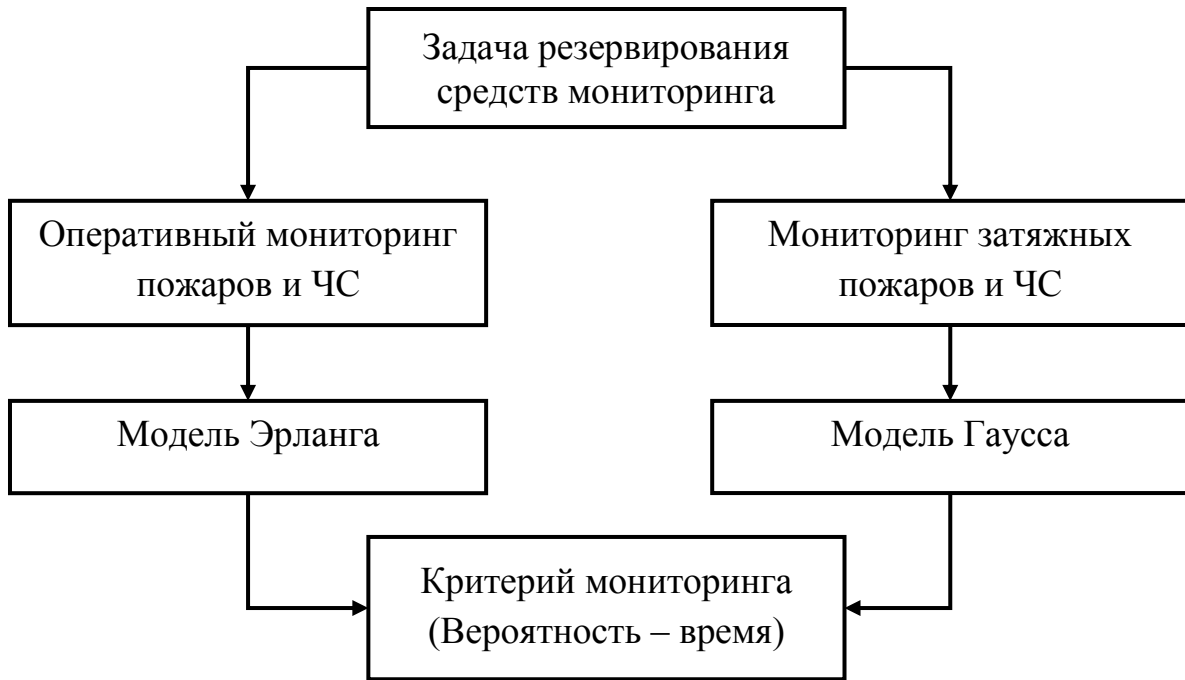


Рис. 2.8. Структура вероятностного подхода к комплексной оценке резервных средств мониторинга для общего случая

Предположим, что на месте природного пожара или ЧС работает система мониторинга с параметрами:

$$m=1 \rightarrow (\tau^*=2; D=4); m=2 \rightarrow (\tau^*=4; D=4); m=3 \rightarrow (\tau^*=6; D=4).$$

Необходимо определить время мониторинга, при которой вероятность безотказной работы системы мониторинга будет не менее  $Q=0,8$  ( $P=1-0,8=0,2$ ). Соответствующие Гауссиансы показаны на рис.2.9, а результаты расчета по предложенной модели представлены на рис.2.10.

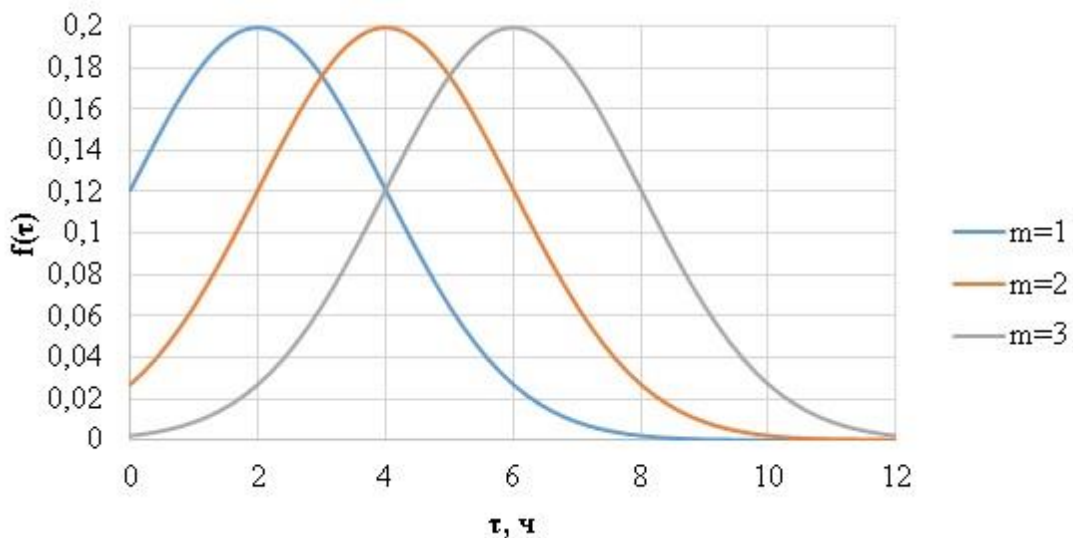


Рис. 2.9. Плотность распределения случайной величины



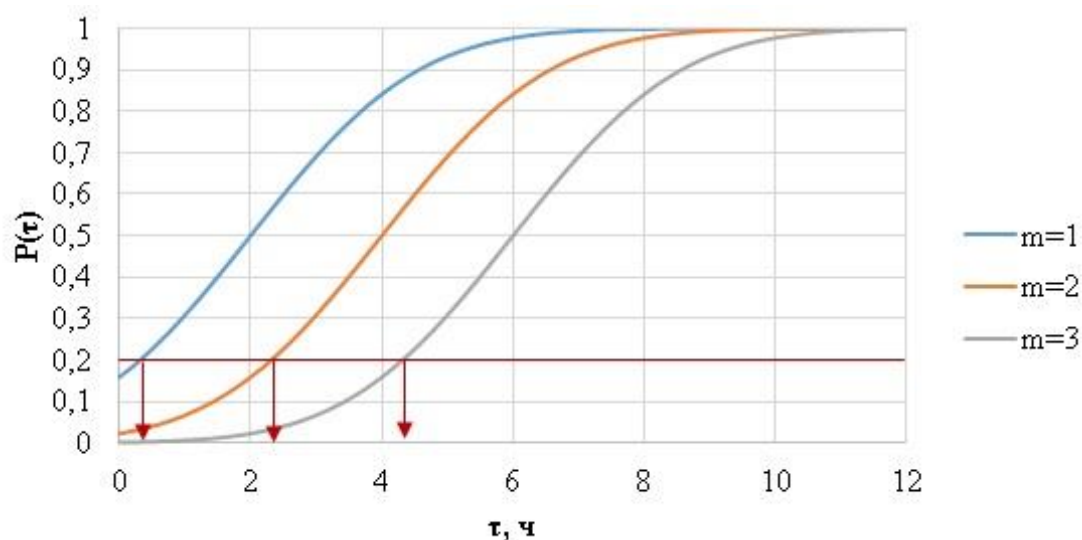


Рис. 2.10. Функция распределения случайной величины

По результатам приложения модели необходимо сделать вывод, что для реализации требуемого качества мониторинга ( $P=0,8$ ) в течение его продолжительности более четырех часов необходимо  $m=3$  средств мониторинга.

Обратная задача планирования мониторинга решается с использованием ЭВМ аналогично. При этом подбор соответствующих значений для функции распределения случайной величины может быть произведен с использованием разложения функции (4) в ряд:

$$\operatorname{erf}(Z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n Z^{2n+1}}{n!(2n+1)}, \quad Z = \frac{\tau - \tau^*}{\sqrt{2D}}. \quad (2.30)$$

Следовательно, в представленной работе показано теоретическое обобщение математических моделей мониторинга для случая пожаров и ЧС с оперативным поступлением информации до двух часов и затяжных пожаров.

## Выводы по главе 2

При разработке систем мониторинга и управления важной особенностью является математическое описание состояния системы в целом, которое в рамках исследования представляет собой комплексную оценку системы мониторинга. Значительное упрощение параметров мониторинга и недостаточное их количество не дают при моделировании системы объективных результатов и достоверной информации. Таким образом, следует предусмотреть и возможность изменения поведения системы вследствие изменений внешней среды. В результате исследования получены следующие основные научные результаты:

1. Проведено теоретическое обобщение математической модели мониторинга параметров, определяющих возникновение и развитие

деструктивных событий, на примере ЧС, вызванных природными пожарами. При формальной постановке задачи исходили из допущения, состоящего в том, что система мониторинга может рассматриваться как восстанавливаемая система с конечным числом элементов. Данное допущение обосновано для случая оперативного мониторинга практикой его реализации. На основе предложенной математической модели получены решения прямой и обратной задачи планирования мониторинга при заданном уровне качества. Можно предполагать, что дальнейшее развитие модели будет направлено на рассмотрение ситуации, когда параметр среды будет принят не как константа, а как функция времени, что позволит существенно расширить сферу применения предложенной модели.

2. Выполнен анализ общей математической модели мониторинга параметров крупных пожаров. Произведена оценка допущения модели, состоящего в том, что система мониторинга может рассматриваться как восстанавливаемая система с конечным числом состояний. На основе результатов анализа математической модели получены решения прямой и обратной задачи планирования мониторинга при заданном уровне качества.

3. Предложена концептуальная модель резервирования средств мониторинга пожара на основе прогноза динамики состояний системы управления. Разработан метод оценки состояний системы мониторинга с целью прогнозирования эффективности ее функционирования в режиме реального времени.

4. На численном примере рассмотрены практические аспекты применения теоретических положений резервирования средств оперативного мониторинга пожаров. Результаты анализа структурно-логической модели резервирования позволяют сформулировать требования к информационным ресурсам, необходимым для реализации модели в дополнение к известным.

## **ГЛАВА 3. ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

На фоне успешного применения беспилотных летательных аппаратов в самых различных областях задача обеспечения группового полета БАС является особенно актуальной не только для развития современной авиации, но и для развития областей, использующих БАС в качестве инструмента для выполнения поставленной цели.

Область применения БАС ежегодно расширяется. При таком обширном применении различают следующие объекты, на которых осуществляется мониторинг с их помощью: электростанции (АЭС); электросети (ЛЭП); объекты сельского хозяйства; нефтегазопроводы; земельные ресурсы; водные ресурсы; лесные ресурсы; автомобильные и железные дороги; месторождения природных ископаемых, и т.д.

Для каждого перечисленного объекта нужен свой подход применения БАС, свои особенные технологии мониторинга. В работе мы рассмотрим основную технологию циклического мониторинга с помощью беспилотных авиационных систем.

Безусловно, материалов, посвященных описанию технологий мониторинга, значительно больше, чем представлено в данной работе, в приведенных исследованиях указывается лишь вектор в направлении развития различных подходов в проблематике обработки результатов мониторинга. Немаловажным остается вопрос разработки оптимальной структуры управления, которая бы позволила оперативно решать задачи мониторинга ЧС. Модели автономного управления разработаны недостаточно, что открывает широкое поле для деятельности в данной области [46].

### **3.1. Мониторинг беспилотными авиационными системами**

Область применения беспилотных авиационных систем постоянно растет, в свою очередь, увеличиваются задачи, которые необходимо решать при реализации мониторинга пожаров на открытых площадках с их применением. Увеличивается нагрузка на средства оперативного мониторинга пожаров, в роли которых выступают беспилотные авиационные системы, как на технические устройства. В связи с этим вопросы обеспечения безотказной работы средств оперативного мониторинга пожаров становятся все более актуальными. Одним из решений данной проблемы является моделирование резервных средств оперативного мониторинга пожаров на открытой местности, которое позволит обеспечить необходимый уровень информационного обеспечения участников оперативного мониторинга и требуемый уровень функциональной надежности средств мониторинга. При увеличении временных параметров мониторинга, а также количества средств мониторинга в группировке, повышается функциональная нагрузка на систему мониторинга,

тем самым вероятность отказа средства мониторинга нарастает, а качественные показатели информации и наблюдаемых параметров могут снижаться. Целью работы является получение аналитических зависимостей для описания вероятности состояния системы мониторинга в работе и при восстановлении для решения комплекса задач планирования и организации мониторинга природных пожаров. В работе рассмотрен вероятностный подход к оценке качества мониторинга затяжных природных пожаров и ЧС. Разработаны аналитические зависимости по оценке предельных вероятностей состояния системы дискретного мониторинга для решения комплекса задач его планирования и организации при затяжных природных пожарах. Предложены процедуры для решения практических задач по оценке необходимого количества средств мониторинга для его качественной реализации и вычисления числовых характеристик, определяющих качество системы мониторинга природных пожаров.

### **3.1.1. Постановка и решение задачи расчета средств мониторинга**

Современное состояние системы профилактики и борьбы с пожарами в природной среде определяет необходимость постоянного превентивного мониторинга показателей пожарной безопасности. Для решения данной задачи используются различные по структуре, функциям и алгоритмическому наполнению технические системы [52, 53, 59]. Однако в случае возникновения конкретных проблемных ситуаций, связанных с затяжными природными пожарами, одних превентивных мероприятий мониторинга недостаточно, тогда единственным и рациональным способом контроля пожара является мониторинг в режиме реального времени с использованием мобильных средств, которые, как правило, размещают на беспилотных авиационных системах [55]. В этой связи возникают две практические задачи оценки качества мониторинга, состоящие в следующем: с одной стороны, необходимо оценить количество средств мониторинга для его качественной реализации на практике, с другой стороны, при заданном числе средств мониторинга необходимо вычислить характеристики системы мониторинга в целом. В работах [47-50] критерий качества мониторинга – это вероятность безотказной работы средств мониторинга, то есть, интегральная функция распределения случайной величины числа отказов средств мониторинга.

В свою очередь, спектр способов мониторинга природных пожаров разнообразен [54, 57, 58] и предусматривает формальное описание данного процесса с использованием систем уравнений, аналогичных моделям Колмогорова, Эрланга и Гаусса. В общем случае при моделировании мониторинга используется формальный инструмент – система отказов без восстановления, которая предусматривает, что средство мониторинга постоянно находится в воздухе, то есть осуществляет непрерывный мониторинг. Однако специфика затяжных пожаров, заключающаяся в циклическом дискретном мониторинге, определяет необходимость





Искомые вероятности состояний системы			
Состояние 0	$P_0 = \frac{\alpha}{1+\alpha}$	$P_0 = \frac{\alpha^2}{1+\alpha+\alpha^2}$	$P_0 = \frac{\alpha^3}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3}$
Состояние 1	$P_1 = \frac{1}{1+\alpha}$	$P_1 = \frac{\alpha}{1+\alpha+\alpha^2}$	$P_1 = \frac{\alpha^2}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3}$
Состояние 2	–	$P_2 = \frac{1}{1+\alpha+\alpha^2}$	$P_2 = \frac{\alpha}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3}$
Состояние 3	–	–	$P_3 = \frac{1}{1+\alpha+\alpha^2+\alpha^3}$

Покажем пример решения системы уравнений (3.2) для  $m=3$  состояний

$$\begin{cases} 0 = -P_0 + \alpha P_1 \\ 0 = -P_1 - \alpha P_1 + P_0 + \alpha P_2 \\ 0 = -\alpha P_2 + P_1 \end{cases}$$

Разложим систему уравнений на три уравнения:

– первое уравнение:

$$0 = -P_0 + \alpha P_1;$$

– второе уравнение:

$$0 = -P_1 - \alpha P_1 + P_0 + \alpha P_2;$$

– третье уравнение:

$$0 = -\alpha P_2 + P_1.$$

Из первого уравнения выразим  $P_0 = \alpha P_1$ , а из второго выражения  $P_1$ , то есть,  $P_1 = \alpha P_2$ , следовательно  $P_0 = \alpha^2 P_2$ . Осталось из второго выражения найти искомую вероятность  $P_2$ , для этого выполним следующие действия.

Заменим во втором уравнении  $P_0 = 1 - P_1 - P_2$ , получим:

$$0 = -P_1 - \alpha P_1 + 1 - P_1 - P_2 + \alpha P_2,$$

учитывая, что  $P_1 = \alpha P_2$ , получим:

$$0 = -\alpha P_2 - \alpha^2 P_2 + 1 - \alpha P_2 - P_2 + \alpha P_2.$$

Далее приведем подобные члены

$$1 = P_2 + \alpha P_2 + \alpha^2 P_2,$$

окончательно получим:

– для состояния  $k=2$ :

$$P_2 = \frac{1}{\alpha^2 + \alpha + 1};$$

– для состояния  $k=1$ :

$$P_1 = \alpha P_2 = \frac{\alpha}{\alpha^2 + \alpha + 1};$$

– для состояния  $k=0$ :

$$P_0 = \alpha^2 P_2 = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \alpha + 1}.$$

Аналогичные вероятности состояний определены в табл. 3.1.

### 3.1.2. Анализ результатов решения задачи

Система уравнений (3.1) может быть решена с применением численных процедур, например, методом Эйлера. Для этого ее целесообразно записать в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \left( \frac{1}{\beta} \right) \frac{dP_0(T)}{dT} = -P_0(T) + \alpha P_1(T) \\ \dots\dots\dots \\ \left( \frac{1}{\beta} \right) \frac{dP_k(T)}{dT} = -P_k(T) - \alpha P_k(T) + P_{k-1}(T) + \alpha P_{k+1}(T), \\ \dots\dots\dots \\ \left( \frac{1}{\beta} \right) \frac{dP_m(T)}{dT} = -\alpha P_m(T) + P_{m-1}(T) \end{array} \right. \quad (3.4)$$

где  $\beta = \frac{1}{T_p}$  и  $\alpha = \frac{T_p}{T_e}$ .

Проведем сравнение стационарного решения системы уравнений (3.4) с нестационарным решением, полученным с использованием метода Эйлера.



Пусть  $T_p=20$  (мин);  $T_B=10$  (мин);  $\alpha=T_p/T_B \rightarrow \alpha=2$ ;  $\beta=1/T_p \rightarrow \beta=0,05$  и начальным условиям при  $T=0 \rightarrow P_0(T)=1$ ;  $P_1(T)=0$ ;  $P_2(T)=0$ . Шаг численного метода  $i=\Delta T = 10$  (мин). Решение системы уравнений (3.4) и модуль разности стационарного и нестационарного решения представлены в табл. 3.2.

Таблица 3.2. Результаты решения системы уравнений методом Эйлера

T	$P_0(T)$	$P_1(T)$	$P_2(T)$	$\Delta P_0$	$\Delta P_1$	$\Delta P_2$
0	1,000	0,000	0,000	0,429	0,286	0,143
10	0,727	0,223	0,051	0,155	0,063	0,092
20	0,637	0,264	0,098	0,066	0,021	0,045
30	0,601	0,277	0,122	0,029	0,009	0,021
40	0,585	0,282	0,134	0,013	0,004	0,009
50	0,577	0,284	0,139	0,006	0,002	0,004
60	0,574	0,285	0,141	0,003	0,001	0,002
70	0,573	0,285	0,142	0,001	0,000	0,001
80	0,572	0,286	0,142	0,001	0,000	0,000
90	0,572	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
100	0,572	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
110	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
120	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
130	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
140	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
150	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
160	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
170	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000
180	0,571	0,286	0,143	0,000	0,000	0,000

Стационарное решение определим по формулам:

$$\text{– для состояния } k=0: P_0 = \frac{\alpha^2}{\alpha^2 + \alpha + 1} = \frac{2^2}{2^2 + 2 + 1} = 0,571;$$

$$\text{– для состояния } k=1: P_1 = \frac{\alpha}{\alpha^2 + \alpha + 1} = \frac{2}{2^2 + 2 + 1} = 0,286;$$

$$\text{– для состояния } k=2: P_2 = \frac{1}{\alpha^2 + \alpha + 1} = \frac{1}{2^2 + 2 + 1} = 0,143.$$

Результаты сопоставления стационарного и нестационарного решения системы уравнений представлены на рис.3.1. и 3.2.

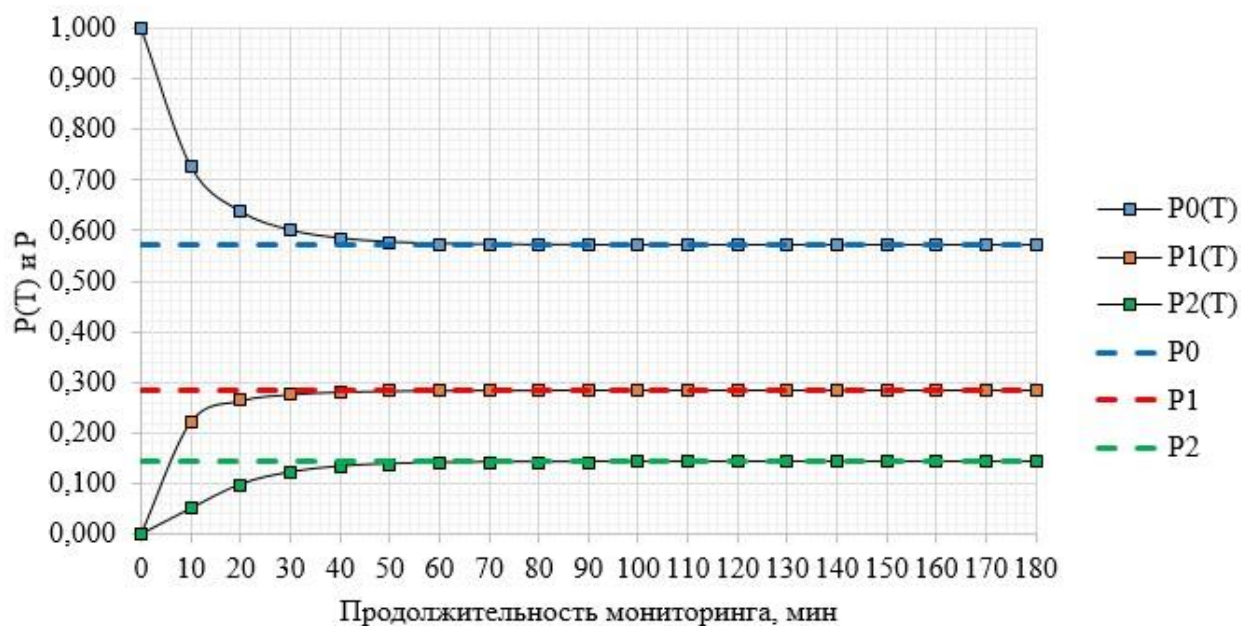


Рис.3.1. Анализ стационарного и нестационарного решения системы

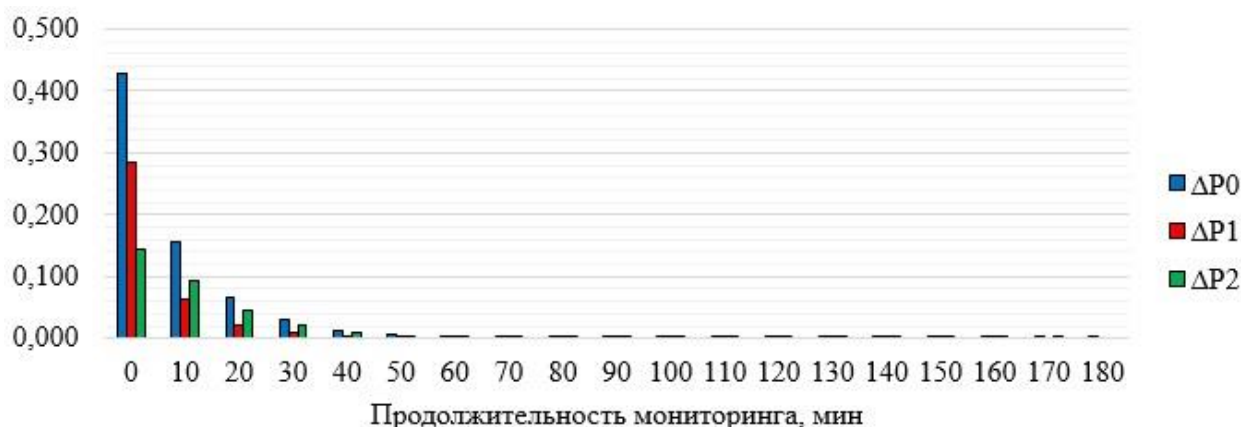


Рис.3.2. Расхождение стационарного и нестационарного решения

Анализируя результаты решения системы уравнений, можно сделать вывод, что отличие стационарного и нестационарного решений наблюдается при реализации первого цикла мониторинга. Однако на 50-й минуте мониторинга отличие стационарного и нестационарного решения незначительно. Поэтому в дальнейшем решение практических задач организации мониторинга целесообразно проводить с использованием упрощенных формул, полученных при решении системы уравнений (3.1).

### 3.2. Данные для планирования мониторинга

В практике решения задач планирования и организации мониторинга пожаров и ЧС, используя общие зависимости (3.3), необходимо задать число средств мониторинга  $m$  и значение соответствующих определителей системы уравнений (3.1).

При решении частных задач планирования и организации мониторинга пожаров с использованием мобильных средств мониторинга на основе практики их применения при ликвидации крупных и затяжных пожаров можно заключить, что в основном группа мобильного мониторинга состоит из 2–3 средств мониторинга [46, 60]. В общей совокупности случаев организации мониторинга их может быть существенно больше. Для обеспечения качественного наполнения информационного пространства, необходимого для эффективного решения задач управления, предполагается, что каждая группа мониторинга проводит работы на конкретном участке ведения действий по тушению затяжных пожаров. Тогда аналитически рассчитаем предельные вероятности состояний системы мониторинга для решения практических задач относительно каждого участка ведения действий по борьбе с пожарами. Для этого, используя данные, полученные в ходе анализа системы уравнений Эрланга (1), необходимо определить предельные состояния групп мониторинга, включающих в себя не более трех средств мониторинга. Результаты анализа соответствующих определителей систем линейных уравнений и аналитические соотношения для определения предельных вероятностей состояний системы мониторинга представлены в табл. 3.3.

На основе полученных аналитических зависимостей построим номограммы, позволяющие по значениям  $\alpha$  определить предельные состояния системы мониторинга на случай, когда все средства мониторинга находятся на земле,  $P_0$  и  $k=0$ , т.е. в воздухе находится 0 средств мониторинга, а также предельную вероятность  $Q=1 - P_0$ , характеризующую состояние системы мониторинга, когда в воздухе находится хотя бы одно средство мониторинга из имеющихся  $m$ . В свою очередь, другие предельные вероятности могут быть получены с использованием соотношений (3.3) и результатов аналитических расчётов, представленных в табл. 3.4.

Таблица 3.3. Табулированные значения функции  $P_0 = \alpha^m / \left[ 1 + \sum_{i=1}^m \alpha^i \right]$

$\alpha$	m=1	m=2	m=3	m=4	m=5	m=6	m=7	m=8	m=9
1,0	0,500	0,333	0,250	0,200	0,167	0,143	0,125	0,111	0,100
1,1	0,524	0,366	0,287	0,240	0,209	0,187	0,170	0,158	0,148
1,2	0,545	0,396	0,322	0,279	0,251	0,231	0,217	0,207	0,199
1,3	0,565	0,424	0,355	0,316	0,291	0,275	0,263	0,255	0,249
1,4	0,583	0,450	0,386	0,351	0,329	0,316	0,306	0,300	0,296
1,5	0,600	0,474	0,415	0,384	0,365	0,354	0,347	0,342	0,339
1,6	0,615	0,496	0,443	0,415	0,399	0,390	0,384	0,381	0,378
1,7	0,630	0,517	0,468	0,443	0,430	0,422	0,418	0,415	0,414
1,8	0,643	0,536	0,491	0,469	0,458	0,452	0,449	0,447	0,446
1,9	0,655	0,555	0,513	0,494	0,484	0,479	0,476	0,475	0,474
2,0	0,667	0,571	0,533	0,516	0,508	0,504	0,502	0,501	0,500
2,2	0,688	0,602	0,570	0,556	0,550	0,548	0,546	0,546	0,546
2,4	0,706	0,629	0,601	0,591	0,586	0,585	0,584	0,584	0,583

2,6	0,722	0,653	0,629	0,621	0,617	0,616	0,616	0,615	0,615
2,8	0,737	0,674	0,653	0,647	0,644	0,643	0,643	0,643	0,643
3,0	0,750	0,692	0,675	0,669	0,668	0,667	0,667	0,667	0,667
3,2	0,762	0,709	0,694	0,690	0,688	0,688	0,688	0,688	0,688
3,4	0,773	0,724	0,711	0,707	0,706	0,706	0,706	0,706	0,706
3,6	0,783	0,738	0,727	0,723	0,723	0,722	0,722	0,722	0,722
3,8	0,792	0,751	0,740	0,738	0,737	0,737	0,737	0,737	0,737
4,0	0,800	0,762	0,753	0,751	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750

Таблица 3.4. Табулированные значения функции  $P_m = 1 / \left[ 1 + \sum_{i=1}^m \alpha^i \right]$

$\alpha$	m=1	m=2	m=3	m=4	m=5	m=6	m=7	m=8	m=9
1,0	0,500	0,333	0,250	0,200	0,167	0,143	0,125	0,111	0,100
1,1	0,476	0,302	0,215	0,164	0,130	0,105	0,087	0,074	0,063
1,2	0,455	0,275	0,186	0,134	0,101	0,077	0,061	0,048	0,039
1,3	0,435	0,251	0,162	0,111	0,078	0,057	0,042	0,031	0,023
1,4	0,417	0,229	0,141	0,091	0,061	0,042	0,029	0,020	0,014
1,5	0,400	0,211	0,123	0,076	0,048	0,031	0,020	0,013	0,009
1,6	0,385	0,194	0,108	0,063	0,038	0,023	0,014	0,009	0,006
1,7	0,370	0,179	0,095	0,053	0,030	0,017	0,010	0,006	0,003
1,8	0,357	0,166	0,084	0,045	0,024	0,013	0,007	0,004	0,002
1,9	0,345	0,154	0,075	0,038	0,020	0,010	0,005	0,003	0,001
2,0	0,333	0,143	0,067	0,032	0,016	0,008	0,004	0,002	0,001
2,2	0,313	0,124	0,054	0,024	0,011	0,005	0,002	0,001	0,000
2,4	0,294	0,109	0,044	0,018	0,007	0,003	0,001	0,001	0,000
2,6	0,278	0,097	0,036	0,014	0,005	0,002	0,001	0,000	0,000
2,8	0,263	0,086	0,030	0,011	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000
3,0	0,250	0,077	0,025	0,008	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000
3,2	0,238	0,069	0,021	0,007	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000
3,4	0,227	0,063	0,018	0,005	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
3,6	0,217	0,057	0,016	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
3,8	0,208	0,052	0,013	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
4,0	0,200	0,048	0,012	0,003	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000

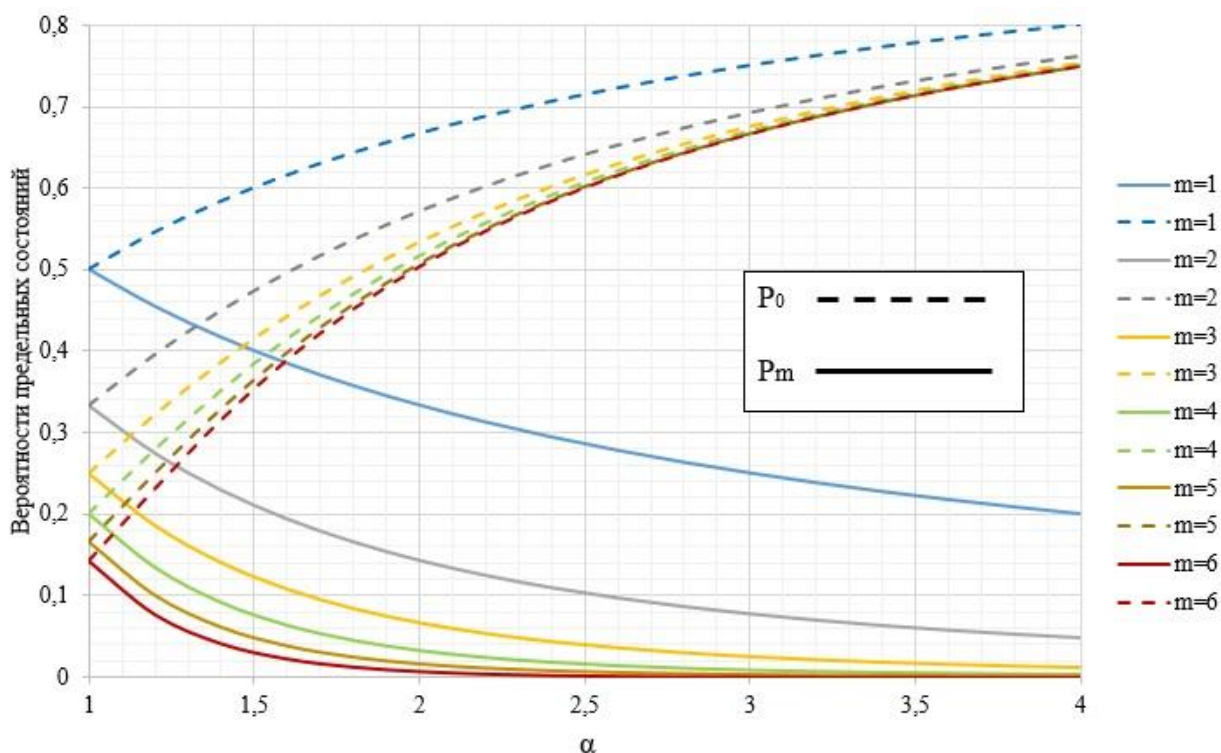


Рис. 3.3. Номограмма для определения предельных вероятностей  $P_0$  и  $P_m$  в зависимости от  $\alpha$

Представленные на рис. 3.3 номограммы предназначены для комплексного решения взаимосвязанных задач планирования и организации мониторинга затяжных пожаров с использованием беспилотных авиационных систем, включая задачи обоснования параметров системы мониторинга и расчета необходимого количества средств мониторинга.

В общем случае комплекс рассмотренных задач ориентирован на практические случаи рационального применения средств мобильного мониторинга восстанавливаемой системы, в свою очередь, обоснование резервного количества средств мониторинга находится за пределами анализируемой теоретической модели – системы уравнений Эрланга – и может быть определено, исходя из результатов моделирования мониторинга, опубликованных в работах [47–50], с допущением, что система мобильного мониторинга функционирует на затяжном пожаре интервалами времени, не превышающими 2 астрономических часа, с учетом контроля технического состояния средств мониторинга в режиме реального времени.

### 3.3. Расчет необходимого количества средств мониторинга

Модель циклического мониторинга основана на принципах непрерывного получения информации с места пожара или ЧС. При планировании циклического мониторинга весь процесс сбора информации, необходимой для принятия решений, декомпозируют на циклы. При этом для каждого средства мониторинга формируется циклограмма, состоящая из этапов. Циклограмма мониторинга – диаграмма времени, реализации этапов применения средств

мониторинга при организации задач сбора информации с места ЧС и этапов восстановления средств мониторинга, включая их техническое обслуживание.

### 3.3.1. Схема организации мониторинга пожара

Рассмотрим следующую схему мониторинга. Пусть имеется продолжительность одного цикла мониторинга  $T$  (мин), включающего следующие этапы:  $T_1$  – продолжительность этапа следования средства мониторинга к месту ЧС (мин);  $T_2$  – продолжительность мониторинга на месте ЧС (мин);  $T_3$  – продолжительность следования средства мониторинга к месту его восстановления (пункту организации мониторинга) (мин);  $T_4$  – продолжительность восстановления средства мониторинга (мин). Структура схемы мониторинга представлена на рис. 3.4.

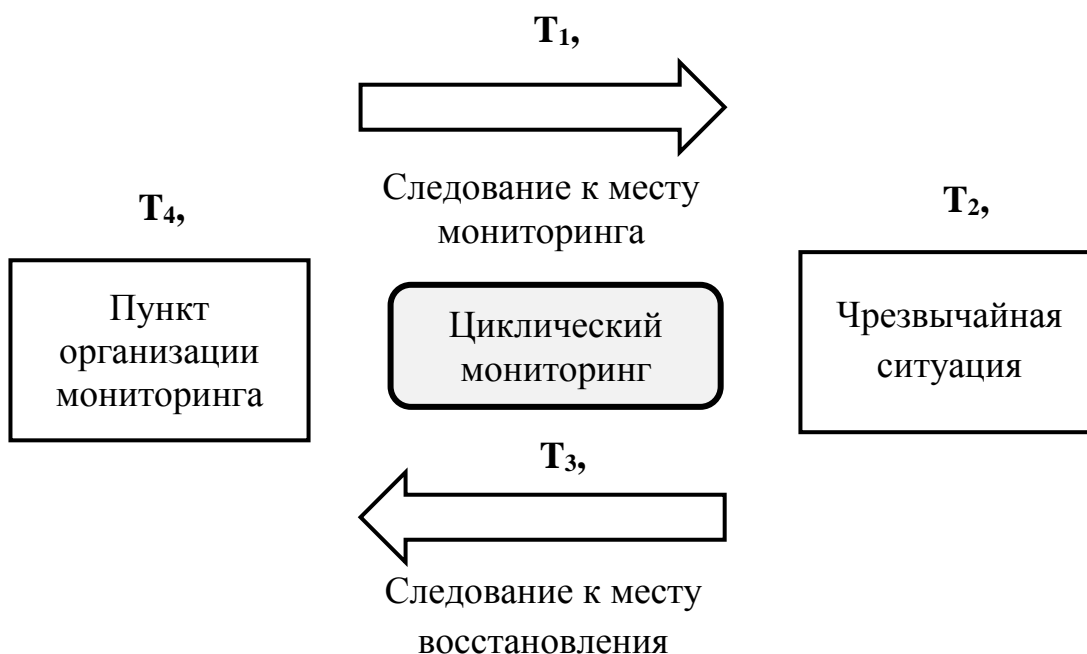


Рис. 3.4. Структурная схема циклического мониторинга

В соответствии с выбранной схемой предполагаем, что продолжительность цикла мониторинга равна сумме продолжительностей его этапов (3.5), то есть:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 \text{ (мин)}. \quad (3.5)$$

Тогда если известны продолжительность цикла мониторинга  $T$ , и  $T_1$  и  $T_3$  – следование к месту мониторинга и обратно, определяемые на основе технических характеристик средств мониторинга (скорости движения и времени работы) необходимо определить продолжительности этапов мониторинга и восстановления средств мониторинга при заданном количестве

средств мониторинга  $N$ , обеспечивающих непрерывный и устойчивый мониторинг.

Здесь под непрерывным мониторингом понимаем процесс, характеризуемый постоянным наличием на месте мониторинга одного средства мониторинга. Устойчивость мониторинга достигается реализацией мер, обеспечивающих при возникновении непредвиденных ситуаций непрерывность мониторинга, что достигается наличием как минимум одного средства мониторинга в пункте восстановления.

Тогда для обеспечения непрерывности циклического мониторинга необходимое количество средств мониторинга определяется по формуле (3.6):

$$m = M\left(\frac{T}{T_2}\right) = M\left(\frac{T_1 + T_2 + T_3 + T_4}{T_2}\right) \rightarrow m = M\left(\frac{T_1 + T_3 + T_4}{T_2}\right) + 1, \quad (3.6)$$

где  $M$  – оператор округления к большему целому.

В случае если продолжительность этапов следования к месту мониторинга и обратно к месту восстановления равны, то есть  $T_1 = T_3$ , то необходимое количество средств мониторинга можно определить по формуле (3.7):

$$m = M\left(\frac{2T_1 + T_4}{T_2}\right) + 1, \quad (3.7)$$

при условии, что  $T_4 \geq T_2$ .

Для обеспечения устойчивости мониторинга должно быть принято решение о необходимости применения резервного средства мониторинга. Процедура принятия решения основана на оценке вероятности события, заключающегося в том, что на пункте восстановления нет ни одного средства мониторинга. Для этого воспользуемся разработанной моделью (3.8):

$$\langle T_p, T_b, \alpha, m, P_m, P^* \rangle, \quad (3.8)$$

где  $T_p$  – продолжительность нахождения средства мониторинга в работе, мин;  
 $T_b$  – продолжительность нахождения средства мониторинга на восстановлении, мин;

$\alpha$  – параметр мониторинга;

$m$  – необходимое для непрерывного мониторинга количество средств мониторинга;

$P_m$  – вероятность события при котором все средства мониторинга находится в работе;

$P^*$  – предельное значение вероятности.

Принятие решения о привлечении резервного средства мониторинга основано на строгом неравенстве: если  $P_m < P^*$ , то необходим резерв.

Здесь  $P(\alpha, m)$  определяется по соотношению (3.9):

$$P_m = \frac{1}{\Delta}, \Delta_k = \alpha^{m-k}, \Delta = \sum_{k=0}^m \Delta_k, k=0,1,\dots,m. \quad (3.9)$$

В соответствии с предложенной схемой циклического мониторинга продолжительность нахождения средства мониторинга в небе будет определяться по формуле  $T_p = 2T_1 + T_2$  (мин).

В свою очередь, продолжительность нахождения средства мониторинга на земле – это время восстановления, то есть,  $T_b = T_4$  (мин).

Тогда для принятия решений о применении резервного средства мониторинга предлагается следующий алгоритм.

1. Ввод исходных данных:

$$T, T_1, T_2, P^*. \quad (3.10)$$

2. Определяют продолжительность восстановления средства мониторинга на базе беспилотных авиационной системы по формуле:

$$T_4 = T - 2T_1 - T_2 = (\text{мин}). \quad (3.11)$$

3. Проводят расчет необходимого количества средств мониторинга:

$$m = M\left(\frac{2T_1 + T_4}{T_2}\right) + 1. \quad (3.12)$$

4. Выполняют расчет параметра схемы мониторинга  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{2T_1 + T_2}{T_4} = \frac{2 \cdot 4 + 15}{17} = 1,35$$

5. Оценивают вероятность события, при котором все средства мониторинга находятся в работе

$$P_0 = \frac{\alpha^m}{\Delta}, \Delta_k = \alpha^{m-k}, \Delta = \sum_{k=0}^m \Delta_k, k=0,1,\dots,m, \quad (3.13)$$

или по номограмме (рис. 3.3).



6. Принятие решения о привлечении резервного средства мониторинга, исходя из условия, если:

$$P_m < P^*, \quad (3.14)$$

то необходимо применить резерв.

### 3.3.2. Пример применения теоретических результатов

Пусть продолжительность цикла мониторинга составляет  $T=40$  (мин), время следования средства мониторинга от пункта восстановления к месту мониторинга  $T_1=4$  (мин), продолжительность мониторинга  $T_2=15$  мин, предельная вероятность  $P^*=0,1$ . Необходимо определить количество средств мониторинга для его непрерывной и устойчивой организации.

#### Решение

Определяем продолжительность восстановления средства мониторинга на базе беспилотных авиационной системы по формуле:

$$T_4 = T - 2T_1 - T_2 = 40 - 2 \cdot 4 - 15 = 17 \text{ (мин)}.$$

Выполним расчет необходимого количества средств мониторинга:

$$m = M\left(\frac{2T_1 + T_4}{T_2}\right) + 1 = M\left(\frac{2 \cdot 4 + 17}{15}\right) + 1 = M(1,67) + 1 = 3.$$

Выполним расчет параметра схемы мониторинга  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{2T_1 + T_2}{T_4} = \frac{2 \cdot 4 + 15}{17} = 1,35.$$

Проведем оценку вероятности события, при котором все средства мониторинга находятся в работе:

$$P_m = \frac{1}{\alpha^3 + \alpha^2 + \alpha + 1} = \frac{1}{(1,35)^3 + (1,35)^2 + (1,35) + 1} = 0,15.$$

Принятие решения о привлечении резервного средства мониторинга исходя, из условия: если  $P_m > P^*$ , то применение резерва беспилотных авиационных систем не требуется. Однако стоит увеличить время следования средств мониторинга к месту его проведения до 5 мин, и искомая вероятность составляет  $P_m=0,099$ , в этом случае применение резерва будет необходимо.

### **Выводы по главе 3**

Таким образом, в главе рассмотрены полученные аналитические зависимости оценки предельных вероятностей состояния системы дискретного мониторинга для решения комплекса задач его планирования и организации при затяжных природных пожарах. Разработаны процедуры для решения практических задач оценки необходимого количества средств мониторинга для его качественной реализации и вычисления числовых характеристик качества системы мониторинга природных пожаров.

1. Получены новые научные результаты, которые применимы при разработке процедуры планирования резерва средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем с целью повышения качества информационного обеспечения действий подразделений, участвующих в ликвидации пожаров. Показана общая структура вероятностного подхода к решению задач планирования средств мониторинга при реализации качественного информационного обеспечения оперативных должностных лиц при ликвидации крупных пожаров.

2. Рассмотрены практические аспекты применения теоретических положений резервирования средств мониторинга пожаров на основе беспилотных авиационных систем. Приведены результаты анализа структурно-логической модели резервирования, сформированы требования к информационным ресурсам необходимым для реализации модели в дополнение к известным.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В монографии рассмотрено решение важной научной задачи, состоящей в разработке моделей комплексной оценки качества системы мониторинга, созданной на базе беспилотных авиационных систем с целью формирования единого информационного пространства для эффективного управления подразделениями, участвующими в предупреждении и ликвидации крупных и затяжных пожаров.

В результате решения научной задачи и выполненных поисковых и фундаментальных исследований в монографии получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Проведен анализ практики применения беспилотных авиационных систем по таким параметрам, как оперативность развертывания системы мониторинга; качество передаваемой информации при мониторинге; экономическая составляющая: стоимость средства мониторинга.

2. Сформированы информационные ресурсы для управления беспилотными авиационными системами при мониторинге пожаров. Представлена схема корректировки экономических показателей с учетом резерва беспилотных авиационных систем, что позволяет оптимизировать комплекс профилактических мероприятий борьбы с крупномасштабными пожарами в части мониторинга их развития в режиме реального времени.

3. Предложен комплекс алгоритмических и структурных решений для проектирования сложных систем управления мониторингом на основе беспилотных авиационных систем. Важной особенностью здесь является учет современного уровня развития технологий, что позволяет использовать разработанный комплекс решений при математическом описании состояний мониторинга на основе теории автоматов. Это позволяет при постановке задачи планирования мониторинга предусмотреть возможность изменения поведения системы вследствие изменений внешней среды, что при тушении затяжных пожаров носит определяющий характер при оценке адекватности моделирования.

4. Проведен анализ общей математической модели мониторинга параметров крупных пожаров. Произведена оценка допущения модели, состоящего в том, что система мониторинга может рассматриваться как восстанавливаемая система с конечным числом состояний. На основе результатов анализа математической модели получены решения прямой и обратной задачи планирования мониторинга при заданном уровне качества.

5. Предложены методы определения предельных состояний системы оперативного мониторинга на основе анализа ее структурно-логической модели.

6. Предложена концептуальная модель резервирования средств мониторинга пожара на основе прогноза динамики состояний системы управления. Разработан метод оценки состояний системы мониторинга с целью

прогнозирования эффективности ее функционирования в режиме реального времени.

7. Получены новые научные результаты, которые применимы при разработке процедуры планирования резерва средств мониторинга на основе беспилотных авиационных систем с целью повышения качества информационного обеспечения действий подразделений, участвующих в ликвидации пожаров. Показана общая структура вероятностного подхода к решению задач планирования средств мониторинга при реализации качественного информационного обеспечения оперативных должностных лиц при ликвидации крупных пожаров.

8. Рассмотрены практические аспекты применения теоретических положений резервирования средств мониторинга пожаров на основе беспилотных авиационных систем. Приведены результаты анализа структурно-логической модели резервирования, сформированы требования к информационным ресурсам, необходимым для реализации модели в дополнение к известным.

9. Выявлены аналитические зависимости оценки предельных состояния системы мониторинга для решения комплекса задач его планирования и организации при затяжных пожарах. Разработаны процедуры для решения практических задач оценки необходимого количества средств мониторинга для его качественной реализации.

Перспективы развития теоретических положений заключаются в том, что полученные по итогам проведенного исследования научные результаты могут быть использованы при планировании бюджета денежных средств, для реализации конкретного способа мониторинга или обосновании выбора способа мониторинга. На основе созданной теоретической базы может быть проведено совершенствование и развитие экономических показателей мониторинга с учетом резерва беспилотных авиационных систем, что в дальнейшем позволит оптимизировать комплекс профилактических мероприятий борьбы с крупномасштабными ЧС, вызванными ландшафтными пожарами в части контроля их возникновения и развития в рассматриваемых режимах ЧС.

Практическое применение моделей комплексной оценки мониторинга на основе беспилотных авиационных систем позволит обеспечить важной информацией процесс принятия решений в сложных условиях ведения действий по тушению крупных и затяжных пожаров.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов А.П. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений при тушении пожаров: структура и содержание информационного обеспечения // Пожары и окружающая среда: материалы XVII Международной науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО, 2002. – С. 363-365.
2. Алехин Е.М. Проверка адекватности математических моделей процесса функционирования аварийно-спасательных служб / Алехин Е.М., Брушлинский Н.Н., Коломиец Ю.И., Соколов С.В., Белых А.В., Вагнер П. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 1997. № 10. С. 47.
3. Алешин Б.С. Обеспечение безопасности полетов беспилотных авиационных систем в едином воздушном пространстве / Б.С. Алешин, В. Л. Суханов, В. М. Шibaев // Ученые записки ЦАГИ. – 2011. - №6. – С. 73-83.
4. Бобков С.П. Использование систем клеточных автоматов для моделирования нелинейных задач теплопроводности [Текст] / С.П. Бобков, Ю.В. Войтко // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2009. –Т. 52, № 11. – С. 126-128.
5. Бобков С.П. Моделирование основных процессов переноса с использованием клеточных автоматов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. – 2009. – Т. 52, № 3. – С. 109-114.
6. Бобков С.П. Моделирование процесса деформирования тел с использованием клеточных автоматов [Текст] / С.П. Бобков, И.В. Полищук // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. –2015. –Т. 58. № 4. – С. 72-74.
7. Бобков С.П. Применение клеточных автоматов для моделирования процесса деформирования твердых тел [Текст] / С.П. Бобков, И.В. Полищук // Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности: сборник научных трудов МНТК, посвященной 105-летию со дня рождения А. Н. Плановского. – 2016. –С. 148–150.
8. Бобков С.П. Моделирование распространения упругих волн с использованием систем клеточных автоматов [Текст] / С.П. Бобков, С.С. Смирнов // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. –2010. –Т. 53. № 8. – С. 100–102.
9. Глобальный обзор индустрии БПЛА в 2020: что на повестке дня [Электронный ресурс]. URL: <https://russiandrone.ru/publications/globalnyy-obzor-industrii-bpla-v-2020-chto-na-povestke-dnya/>. (дата обращения: 30.01.20)
10. ГОСТ Р 22.1.12–2005. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования. Введ. 2005-09-15. М., 2005, 13 с.
11. ГОСТ Р 56935–2016. Производственные услуги. Услуги по построению системы мониторинга автоматических систем противопожарной защиты и вывода сигналов на пульт централизованного наблюдения «01» и «112». Введ. 2017-01-01. М., 2020, 14 с.

12. Области применения беспилотников. [Электронный ресурс]. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/oblasti-primeneniya-bespilotnikov/>. (дата обращения: 15.03.20)
13. Семенов А.О. Руководство по повышению эффективности действий подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров на начальных этапах развития в зданиях с использованием информации от мониторинговых систем поддержки управления [Текст] / А.О. Семенов, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов и др. – Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2017. – 35 с.
14. Соколов С.В. Оценка влияния сроков эксплуатации зданий жилого назначения на последствия от пожара / Соколов С.В., Костюченко Д.В. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2014. № 1. С. 64-69.
15. Тоффולי Т. Машины клеточных автоматов [Текст] / Т. Тоффולי, Н. Марголюс. – М.: Мир, 1991. – С. 283.
16. Dollar, P. Behavior recognition via sparse spatio-temporal features / P. Dollar, V. Robaud, G. Cottrell, S. Belongie. 14 International Conference on Computer Communications and Networks, IEEE Computer Society. Washington, DC, USA. – 2005. – P. 65-72.
17. Doretto G. Dynamic textures / G. Doretto, A. Chiuso, Y. N. Wu, S. Soatto. International Journal of Computer Vision. – 2003. – No. 51 (2). – P. 91-109.
18. Liana Manukyan. Montandon, Anamarija Fofonjka, Stanislav Smirnov & Michel C. Milinkovitch. A living mesoscopic cellular automaton made of skin scales / Liana Manukyan, Sophie A. Nature. – 2017. – Vol. 544. – P. 173-179.
19. Mendonca D. Designing Gaming Simulations for the Assessment of Group Decision Support Systems in Emergency Response / D. Mendonca. Safety Science. – July 2006. – P. 120-126.
20. Pyataeva A. Spatio-temporal smoke clustering in outdoor scenes based on boosted random forests / M. Favorskaya, A. Pyataeva, A. Popov // Procedia Computer Science. – 2016. – Vol. 96. – P. 762-771.
21. Renshaw Geoff. Maths for Economics / Geoff. Renshaw. – New York: Oxford University Press, 2005. – P. 516-526.
22. Sung Ye Kim. Mobile analytics for emergency response and training / Sung Ye Kim, Ross Maciejewski, Karl Ostmo, Edward J. Delp, Timothy F. Collins, David S. Ebert. Information Visualization. – 2008. – 1–12. – Vol. 7. – P. 77-88.
23. Tiejun Cheng. A Group Decision Making Methodology for Emergency Decision / Tiejun Cheng, Fengping Wu, Yanping Chen // IJCSI International Journal of Computer Science Issues. – January 2013 – Vol. 10. – Issue 1. – No 3. – P. 151-157.
24. Toffoli T. Cellular Automata Machines / T. Toffoli, N. Margolus. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1987. – P. 279.
25. Wolfram S. Theory and applications of cellular automata: (including selected papers 1983–1986) / S. Wolfram. Singapore: World Scientific, 1986. – P. 290.

26. Zimmerman D. Fire Fighter Safety and Survival / D. Zimmerman. Jones & Bartlett Learning, 2013.

27. Абросимов В.К. Модель группового полёта беспилотных летательных аппаратов в условиях чрезвычайной ситуации / Абросимов В.К., Гончаренко В.И., Смирнов Д.И. // Сб. тезисов докладов II Всеросс. науч.-техн. конф. «Моделирование авиационных систем». М.: НИЦ ФГУП «Гос-НИИАС», 2013. С. 34-35.

28. Антаневич А.А. Модальное управление беспилотным летательным аппаратом / Антаневич А.А., Икуас Ю.Ф., Лобатый А.А. // Вестник БНТУ. 2010. № 5. С. 37-40.

29. Баканов М.О. Резервирование средств мониторинга природных чрезвычайных ситуаций / Баканов М.О., Анкудинов М.В. // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: Сборник статей по материалам VII Всероссийской научно -практической конференции с междунар. уч. 29-30 сент. 2016 г.: в 2-х ч. Ч. 2 / ФГБОУ ВО Воронежский институт ГПС МЧС России. – Воронеж, 2016. С: 10-11.

30. Баканов М.О. К вопросу о резервировании и управлении беспилотными воздушными судами при мониторинге ландшафтных пожаров / Баканов М.О., Смирнов В.А., Анкудинов М.В. // Мониторинг. Наука и технологии. 2016. № 4 (29). С. 77-79.

31. Баканов М.О. Дистанционный мониторинг техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций / Баканов М.О., Тараканов Д.В. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 1 (373). С. 173-177.

32. Баканов М.О. Модели качества мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с учетом специфики их развития / Баканов М.О., Тараканов Д.В., Кузнецов А.В., Столяров А.В. // Мониторинг. Наука и технологии. 2018. № 3 (36). С. 51-54.

33. Бурый А.С. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами / Бурый А.С., Шевкунов М.А.// Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 199 - 202.

34. Герасимов П.К. Автоматизированная система управления беспилотными летательными аппаратами / Герасимов П.К., Егоров Д.А. // Сборник материалов международной научно – технической конференции. INTERMATIC. - Москва, 2014. – С. 126-129.

35. Гончаренко В.И. Мониторинг лесных пожаров группой беспилотных летательных аппаратов / Гончаренко В.И., Луолэ, Прус М.Ю. // Технологии техносферной безопасности. Вып. 4 (62). 2015. С. 154-163.

36. Кузнецов О.П. Интеллектуализация поддержки управляющих решений и создание интеллектуальных систем // Проблемы управления. 2009. № 3.1. С. 64 - 72.

37. Кульба В.В. Автоматизированные информационно-управляющие системы социально-экономических и организационных структур / Кульба В.В., Косяченко С.А., Лебедев В.Н. // Проблемы управления. 2009. № 3.1. С. 73 - 86.

38. Пицык В.В. Модель прогнозирования нестационарного состояния измерительной техники с параметрическими отказами // Метрология. 2010. № 3. С. 3-15.

39. Пицык В.В. Обоснование метрологических характеристик информационных компонентов систем пожарной автоматики / Пицык В.В., Суховерхова Л.В., Тараканов Д.В., Федоров А.В. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2015. № 3. С. 45-51.

40. Половинчук Н.Я. Алгоритм терминально-оптимального управления беспилотным летательным аппаратом / Половинчук Н.Я., Иванов С.В., Тимофеев В.И. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. № 1. С. 13-17.

41. Тараканов Д.В. Метод модификации векторного критерия в системе поддержки принятия решения при тушении крупного пожара [Электронный ресурс]: Интернет журнал «Технологии техносферной безопасности». – 2010. - №2. – URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-2/01-02-10.ttb.pdf> (дата обращения: 01.04.20).

42. Тараканов Д.В. Компьютерное моделирование процессов развития и тушения пожаров в зданиях / Тараканов Д.В., Варламов Е.С., Илеменов М.В. // [Электронный ресурс]: Интернет журнал «Технологии техносферной безопасности» «Технологии техносферной безопасности». 2014. № 5 (57). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-5/38-05-14.ttb.pdf> (дата обращения: 01.04.20).

43. Тараканов Д.В. Компьютерная модель ликвидации пожаров для тактической подготовки пожарных / Тараканов Д.В., Саттаров И.Ф. // [Электронный ресурс]: Интернет журнал «Технологии техносферной безопасности» «Технологии техносферной безопасности». 2014. № 6 (58). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-6/07-06-14.ttb.pdf> (дата обращения: 01.04.20).

44. Терехнев В.В. Методика принятия управленческих решений при тушении пожара в условиях многокритериальности / Терехнев В.В., Грачев В.А., Тараканов Д.В. // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2009. № 4. С. 35-43.

45. Топольский Н.Г. Многокритериальная модель мониторинга пожара в здании для управления пожарно-спасательными подразделениями / Топольский Н.Г., Тараканов Д.В., Баканов М.О. // Пожаровзрывобезопасность. 2018. Т. 27. № 5. С. 26-33.

46. Абросимов В.К. Модель группового полёта беспилотных летательных аппаратов в условиях чрезвычайной ситуации / Абросимов В.К., Гончаренко В.И., Смирнов Д.И. // Сб. тезисов докладов II Всеросс. науч.-техн. конф. «Моделирование авиационных систем». М.: НИЦ ФГУП «Гос-НИИАС», 2013. С. 34-35.



47. Баканов М.О. К вопросу о резервировании и управлении беспилотными воздушными судами при мониторинге ландшафтных пожаров / Баканов М.О., Смирнов В.А., Анкудинов М.В. // Мониторинг. Наука и технологии. 2016. № 4 (29). С. 77-79.

48. Баканов М.О. Дистанционный мониторинг техногенных пожаров и чрезвычайных ситуаций / Баканов М.О., Тараканов Д.В. // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 1 (373). С. 173-177.

49. Баканов М.О. Модель мониторинга для оперативного управления при ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций / Баканов М.О., Тараканов Д.В., Анкудинов М.В. // Мониторинг. Наука и технологии. 2017. № 3 (32). С. 77-80.

50. Баканов М.О. Модели качества мониторинга пожаров и чрезвычайных ситуаций с учетом специфики их развития / Баканов М.О., Тараканов Д.В., Кузнецов А.В., Столяров А.В. // Мониторинг. Наука и технологии. 2018. № 3 (36). С. 51-54.

51. Бурый А.С. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами / Бурый А.С., Шевкунов М.А. // Транспортное дело России. 2015. № 6. С. 199 - 202.

52. Гончаренко В.И., Луолэ, Прус М.Ю. Мониторинг лесных пожаров группой беспилотных летательных аппаратов. [Электронный ресурс]: Интернет журнал «Технологии техносферной безопасности». Вып. 4 (62). 2015. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-4/05-04-15.ttb.pdf> (дата обращения: 01.04.20).

53. Муйкич Э. Применение БПЛА для получения информации об обстановке в зоне очага возгорания / Муйкич Э., Татаринов В.В. // 9-я всеросс. конф. молодых учёных и специалистов «Будущее машиностроения России»: сборник докладов. М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2016. С. 507-510.

54. Половинчук Н.Я. Алгоритм терминально – оптимального управления беспилотным летательным аппаратом / Половинчук Н.Я., Иванов С.В., Тимофеев В.И. // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2017. №1. С.13-17.

55. Ростопчин В.В. Элементарные основы оценки эффективности применения беспилотных авиационных систем для воздушной разведки [Электронный ресурс]. URL: <http://www.uav.ru>. (дата обращения: 01.04.20).

56. Тараканов Д.В. Совершенствование модели качества мониторинга крупных пожаров и чрезвычайных ситуаций / Тараканов Д.В., Баканов М.О. // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. 2018. № 1 (26). С. 91-95.

57. Татаринов В.В. Применение беспилотных летательных аппаратов для получения информации о природных пожарах / Татаринов В.В., Калайдов А.Н., Муйкич Э. // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 1 (71). С. 160-168.

58. Фоменко А.А. Управление группой беспилотных летательных аппаратов при мониторинге лесных пожаров // Научное обозрение. 2013. № 4. С. 137-143.

59. Шевченко О.Ю. Использование беспилотных летательных аппаратов для ведения мониторинга использования территорий / Шевченко О.Ю., Боричевский А.Б. // Экономика и экология территориальных образований. 2015. №3. С. 150 - 152.

60. Шегельман И.Р. Некоторые направления использования беспилотных аппаратов и роботизации при мониторинге и тушении лесных пожаров / Шегельман И.Р., Ключев Г.В. // Актуальные направления научных исследований: перспективы развития: материалы II Междунар. науч.-практ. конф. — Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. — С. 207–209.

**Приложение. Информационные ресурсы системы мониторинга пожаров в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах (фрагмент)**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации базы данных

**№ 2019622080**

**Информационные ресурсы системы мониторинга пожаров  
в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах**

Правообладатели: *Кузнецов Александр Валерьевич (RU), Суrowегин Антон Вячеславович (RU), Баканов Максим Олегович (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU)*

Авторы: *Кузнецов Александр Валерьевич (RU), Суrowегин Антон Вячеславович (RU), Баканов Максим Олегович (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU)*

Заявка № **2019622010**

Дата поступления **29 октября 2019 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре баз данных **14 ноября 2019 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

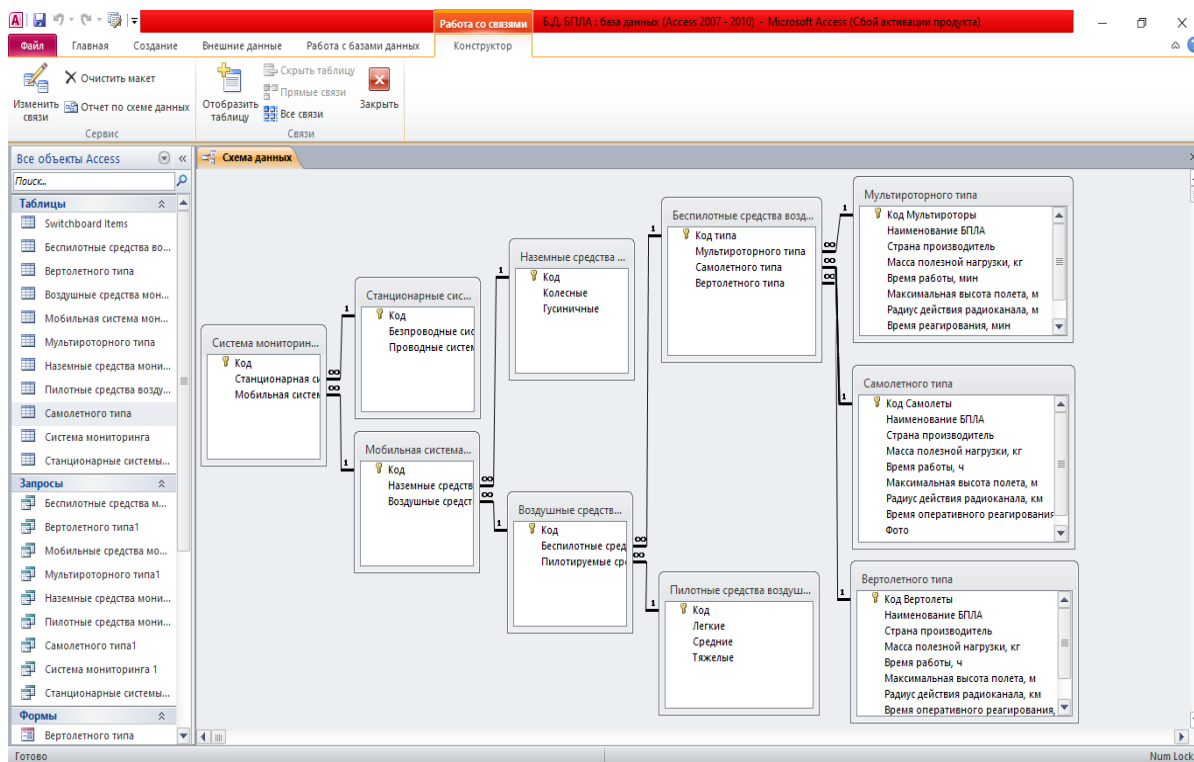
 **Г.П. Ивлиев**



База данных является информационным ресурсом системы мониторинга пожаров в зданиях, сооружениях и на открытых пространствах. База данных содержит информацию о средствах систем мониторинга как стационарного, так и мобильного типа. База данных в совокупности с системой мониторинга используется для информационной поддержки оперативных должностных лиц в процессе принятия решений по выбору наиболее рациональных средств мониторинга, оценке степени развития пожара и результатах действий по его ликвидации. База данных позволяет сократить временные затраты при поиске необходимой информации для рационального выбора оптимального средства мониторинга по нескольким характеристикам для получения всей необходимой оперативно-тактической информации в процессе мониторинга пожара.

Таблицы	Запрос
<p>Объект №1. Основной запрос и форма БД</p> <p>Объект №2. Значения характеристик БАСмультироторного типа в БД обозначен «Мультиторного типа»</p> <p>Объект №3. Значения характеристик БАС вертолетного типа в БД обозначен «Вертолетного типа»</p> <p>Объект №4. Значения характеристик БАС самолетного типа в БД обозначен «Самолетного типа»</p>	Итог

### Связи между объектами базы данных (схема данных)



### Примеры информационного содержания базы данных

## Объект №1. Основной запрос и форма БД

Кнопочная форма

## Система мониторинга



- Стационарная система мониторинга
- Мобильная система мониторинга
- Выход

## Объект №2. Значения характеристик БАСмультироторного типа

БД: БПЛА : база данных (Access 2007 - 2010) - Microsoft Access (Сбой активации продукта)

Работа с таблицами

Средство документирования базы данных | Анализ быстродействия | Анализ таблицы

SQL Server | База данных Access | SharePoint | Настройки

Перемещение данных | Настройки

Все объекты Access

Мультироторного типа

Код	Наименование БПЛА	Страна прои	Масса поле	Время рабс	Максималь	Радиус дей	Время реаг	Фото	Код Беспил	Щелкните для добавл
1	Draganfly Innovations Inc.	Канада	0,5	15	500	1	3	Bitmap Image	5	
2	Dji AGRAS MG-1P	Китай	24,8	20	2000	5	3	Bitmap Image		
3	Aeryon Labs Inc. Scout	Канада	0,4	25	500	3	3	Bitmap Image		
4	Cyber Technology CybrQua	Австралия	0,5	25	500	1	3	Bitmap Image		
5	Dji PHANTOM 3 SE	Китай	1	25	6000	4	3	Bitmap Image		
6	Dji MAVIC PRO	Китай	1	27	5000	7	3	Bitmap Image		
7	ZALA 421-21	Россия	1,5	30	2500	2	3	Bitmap Image		
8	Dji PHANTOM 4 ADVANCEE	Китай	1,5	30	6000	7	3	Bitmap Image		
9	Dji MAVIC PRO PLATINUM	Китай	1,2	30	5000	7	3	Bitmap Image		
10	Dji MATRICE M 210	Китай	6	30	3000	8	3	Bitmap Image		
11	3D Robotics ArduCopter He	США	1	30	500	1	5	Bitmap Image		
12	БПЛА "Колибри"	Россия	2	31	500	10	5	Bitmap Image		
13	Dji MATRICE 600PRO	Китай	15,5	32	4500	5	5	Bitmap Image		
14	AirRobot Australasia Pty Lt	Австралия	1	40	500	1	3	Bitmap Image		
15	Microdrones GmbH md4-1C	Германия	1,2	60	500	2	10	Bitmap Image		
*	(№)									

Записи: 1 из 15

Режим таблицы



## БПЛА мультироторного типа



Код Мультироторы	<input type="text" value="1"/>
Наименование БПЛА	<b>Draganfly Innovations Inc. Draganflyer X6</b>
Страна производитель	<input type="text" value="Канада"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="0,5"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="15"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="500"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="1"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>



Добавить запись

## БПЛА мультироторного типа



Код Мультироторы	<input type="text" value="1"/>
Наименование БПЛА	<b>Draganfly Innovations Inc. Draganflyer X6</b>
Страна производитель	<input type="text" value="Канада"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="0,5"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="15"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="500"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="1"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>

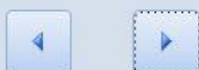


Добавить запись

## БПЛА мультироторного типа



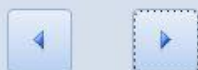
Код Мультироторы	<input type="text" value="2"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Dji AGRAS MG-1P"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Китай"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="24,8"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="20"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="2000"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="5"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>




## БПЛА мультироторного типа



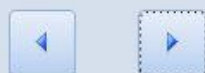
Код Мультироторы	<input type="text" value="3"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Aeryon Labs Inc. Scout"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Канада"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="0,4"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="25"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="500"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="3"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>



## БПЛА мультироторного типа



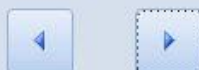
Код Мультироторы	<input type="text" value="4"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Cyber Technology"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Австралия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="0,5"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="25"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="500"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="1"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>

[Добавить запись](#)

## БПЛА мультироторного типа



Код Мультироторы	<input type="text" value="5"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Dji PHANTOM 3 SE"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Китай"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="25"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="6000"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="4"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>

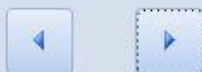
[Добавить запись](#)



## БПЛА мультироторного типа



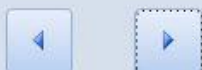
Код Мультироторы	<input type="text" value="6"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Dji MAVIC PRO"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Китай"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="27"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="5000"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="7"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>




## БПЛА мультироторного типа



Код Мультироторы	<input type="text" value="7"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-21"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1,5"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="30"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="2500"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="2"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>



## БПЛА мультироторного типа



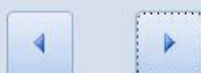
Код Мультироторы	<input type="text" value="8"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Dji PHANTOM 4&lt;br/&gt;ADVANCED"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Китай"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1,5"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="30"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="6000"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="7"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>

[Добавить запись](#)

## БПЛА мультироторного типа



Код Мультироторы	<input type="text" value="9"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Dji MAVIC PRO&lt;br/&gt;PLATINUM"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Китай"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1,2"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="30"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="5000"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="7"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>

[Добавить запись](#)

## БПЛА мультироторного типа



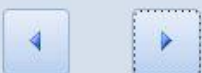
Код Мультироторы	<input type="text" value="10"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Dji MATRICE M 210"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Китай"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="6"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="30"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="8"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="3"/>

[Добавить запись](#)

## БПЛА мультироторного типа



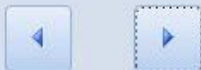
Код Мультироторы	<input type="text" value="11"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="3D Robotics"/>
Страна производитель	<input type="text" value="США"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="30"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="500"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="1"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="5"/>

[Добавить запись](#)

## БПЛА мультироторного типа



Код Мультироторы	<input type="text" value="12"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value='БПЛА "Колибри"'/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="2"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="31"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="500"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="10"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="5"/>




## БПЛА мультироторного типа



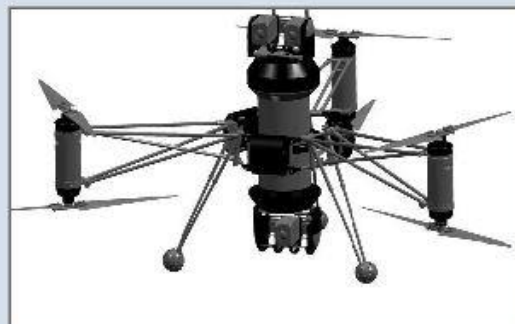
Код Мультироторы	<input type="text" value="13"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Dji MATRICE 600PRO"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Китай"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="15,5"/>
Время работы, мин	<input type="text" value="32"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="4500"/>
Радиус действия радиоканала, м	<input type="text" value="5"/>
Время реагирования, мин	<input type="text" value="5"/>



## БПЛА мультироторного типа



Код Мультироторы	14
Наименование БПЛА	<b>AirRobot Australasia Pty Ltd AR 150</b>
Страна производитель	Австралия
Масса полезной нагрузки, кг	1
Время работы, мин	40
Максимальная высота полета, м	500
Радиус действия радиоканала, м	1
Время реагирования, мин	3

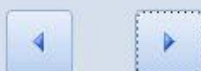


Добавить запись

## БПЛА мультироторного типа



Код Мультироторы	15
Наименование БПЛА	<b>Microdrones GmbH</b>
Страна производитель	Германия
Масса полезной нагрузки, кг	1,2
Время работы, мин	60
Максимальная высота полета, м	500
Радиус действия радиоканала, м	2
Время реагирования, мин	10



Добавить запись

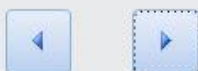




## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="1"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Copter4"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Франция"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="10"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="1"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="8"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>

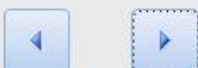


Добавить запись

## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="2"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-02X"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="25"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="1,5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="50"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>



Добавить запись

## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="3"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Zala 421-23"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="11,5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="1,5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="40"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>



Добавить запись

## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="4"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Drone IT 180-5"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Франция"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="1,5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="10"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>



Добавить запись



## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="5"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-06"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="3,5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="0,5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="2500"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="15"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>



Добавить запись

## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="6"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="МАИ БЛА Ворон-700"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="30"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="2,5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="2700"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="12"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>

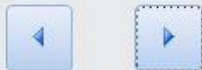


Добавить запись

## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="7"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Black Eagle 50"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Израиль"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="3"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="3"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3200"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="10"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>

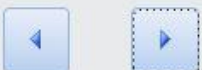


Добавить запись

## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="8"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="INDELA-I.N.SKY"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Беларусь"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="25"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="4000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="50"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>



Добавить запись

## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="9"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Skeldar V-200"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Швеция"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="40"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="4500"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="100"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>

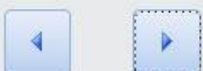


Добавить запись

## БПЛА вертолетного типа



Код Вертолеты	<input type="text" value="10"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Горизонт Эйр S-100"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="50"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="6"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="4500"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="250"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text"/>



Добавить запись



## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="1"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Иркут-3"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="0,5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="1,25"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="15"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>



Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="2"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-08M"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="0,3"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="1,4"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3600"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="25"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="10"/>



Добавить запись



## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="3"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-04 M"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="1,5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3600"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="25"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="12"/>

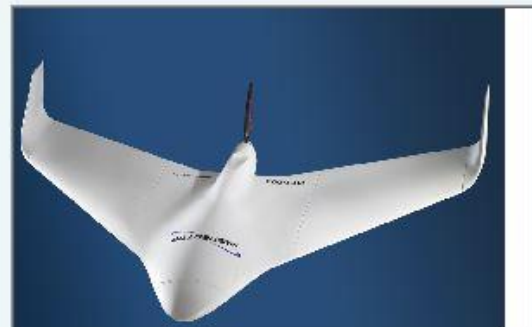


Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="4"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="INSPECTOR 301"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="1,5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="4000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="25"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="10"/>



Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="5"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Иркут-10"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1,5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="2"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="70"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>





## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="6"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="БЛА Т10Э"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1,5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="2"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="5000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="60"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>

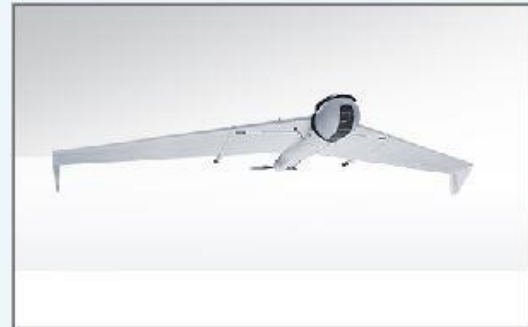




## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="7"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-16EM"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="2,5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3600"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="50"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>



Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="8"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ДПЛА Грант"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="3"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="3"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3200"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="70"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="10"/>



Добавить запись



## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="9"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Типчак БЛА-05"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="14,5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="3"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="70"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>




## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="10"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Орлан-3"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1,8"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="3"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="7000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="100"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>



## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="11"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ALO Observation System"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Испания"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="10"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="3"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3500"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="60"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="30"/>




## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="12"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-16E"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1,5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="3"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3600"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="50"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>



## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="13"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-16E2"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="1,5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="4"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3600"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="30"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>

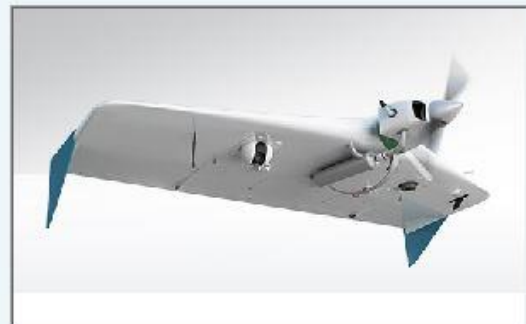


Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="14"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-16"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="3"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="4"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="70"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>



Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="15"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Mantarraya (RMS SA)"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Чили"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="15"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="4"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="100"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="20"/>



Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="16"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Neptune (RQ-15)"/>
Страна производитель	<input type="text" value="США"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="9"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="4"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="2640"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="70"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>



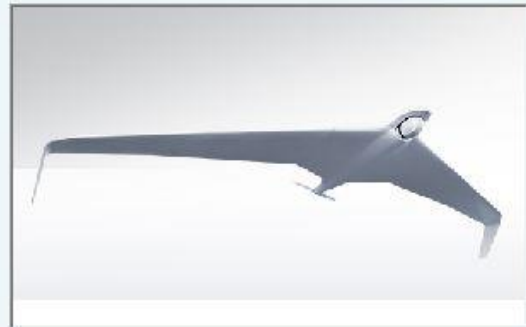
Добавить запись



## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="17"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-16E5"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="5"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3600"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="150"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="18"/>




## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="18"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Skyblade IV"/>
Страна производитель	<input type="text" value="США"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="12"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="6"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="4572"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="100"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="20"/>



## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="19"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="ZALA 421-20"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="50"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="6"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="5000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="120"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="20"/>

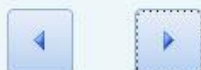


Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="20"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="A175 «Акула»"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="7"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="4000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="100"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="15"/>



Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="21"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Aeronautics «Orbiter 3»"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Израиль"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="5,5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="7"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="5500"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="100"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="18"/>




## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="22"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Aerovision Fulmar"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Испания"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="8"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="8"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="3400"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="100"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="20"/>



## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="23"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Northrop «Bat-12»"/>
Страна производитель	<input type="text" value="США"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="34"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="9"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="6100"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="970"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="30"/>



Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="24"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Arcturus T-20"/>
Страна производитель	<input type="text" value="США"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="36"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="16"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="4500"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="800"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="25"/>



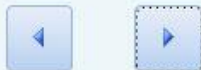
Добавить запись



## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="25"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Орлан-10"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Россия"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="5"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="18"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="5000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="600"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="20"/>



Добавить запись

## БПЛА самолетного типа



Код Самолеты	<input type="text" value="26"/>
Наименование БПЛА	<input type="text" value="Armstechno «НИТІ»"/>
Страна производитель	<input type="text" value="Болгария"/>
Масса полезной нагрузки, кг	<input type="text" value="12"/>
Время работы, ч	<input type="text" value="20"/>
Максимальная высота полета, м	<input type="text" value="4000"/>
Радиус действия радиоканала, км	<input type="text" value="500"/>
Время оперативного реагирования, мин	<input type="text" value="30"/>



Добавить запись

Таблица. Содержание информационной системы

Наименование БАС	Страна производитель	Масса полезной нагрузки, кг	Время работы, мин	Максимальная высота полета, м	Радиус действия радиоканала, м	Время реагирования, мин
1	2	3	4	5	6	7
Draganfly Innovations Inc. Draganflyer X6	Канада	0,5	15	500	1	3
Dji AGRAS MG-1P	Китай	24,8	20	2000	5	3
AeryonLabsInc. Scout	Канада	0,4	25	500	3	3
CyberTechnologyCybrQuadMaxi	Австралия	0,5	25	500	1	3
Dji PHANTOM 3 SE	Китай	1	25	6000	4	3
Dji MAVIC PRO	Китай	1	27	5000	7	3
ZALA 421-21	Россия	1,5	30	2500	2	3
Dji PHANTOM 4 ADVANCED	Китай	1,5	30	6000	7	3
Dji MAVIC PRO PLATINUM	Китай	1,2	30	5000	7	3
Dji MATRICE M 210	Китай	6	30	3000	8	3
3D RoboticsArduCopterHexa	США	1	30	500	1	5
БАС «Колибри»	Россия	2	31	500	10	5
Dji MATRICE 600PRO	Китай	15,5	32	4500	5	5
AirRobot Australasia Pty Ltd AR 150	Австралия	1	40	500	1	3
MicrodronesGmbH md4-1000	Германия	1,2	60	500	2	10
Copter4	Франция	10	1	3000	8	
ZALA 421-02X	Россия	25	1,5	3000	50	
Zala 421-23	Россия	11,5	1,5	3000	40	
Drone IT 180-5	Франция	5	1,5	3000	10	
ZALA 421-06	Россия	3,5	0,5	2500	15	
МАИ БЛА Ворон-700	Россия	30	2,5	2700	12	
BlackEagle 50	Израиль	3	3	3200	10	
INDELA-I.N.SKY	Беларусь	25	5	4000	50	
Skeldar V-200	Швеция	40	5	4500	100	
Горизонт Эйр S-100	Россия	50	6	4500	250	
Copter4	Франция	10	1	3000	8	
Иркут-3	Россия	0,5	1,25	3000	15	15
ZALA 421-08M	Россия	0,3	1,4	3600	25	10
ZALA 421-04 M	Россия	1	1,5	3600	25	12
INSPECTOR 301	Россия	1	1,5	4000	25	10
Иркут-10	Россия	1,5	2	3000	70	15
БЛА T10Э	Россия	1,5	2	5000	60	15

ZALA 421-16EM	Россия	1	2,5	3600	50	15
ДЦЛА ГрАНТ	Россия	3	3	3200	70	10
Типчак БЛА-05	Россия	14,5	3	3000	70	15
Орлан-3	Россия	1,8	3	7000	100	15
ALO ObservationSystem	Испания	10	3	3500	60	30
ZALA 421-16E	Россия	1,5	3	3600	50	15
ZALA 421-16E2	Россия	1,5	4	3600	30	15
ZALA 421-16	Россия	3	4	3000	70	15
Mantarraya (RMS SA)	Чили	15	4	3000	100	20
Neptune (RQ-15)	США	9	4	2640	70	15
ZALA 421-16E5	Россия	5	5	3600	150	18
Skyblade IV	США	12	6	4572	100	20
ZALA 421-20	Россия	50	6	5000	120	20
A175 «Акула»	Россия	5	7	4000	100	15
Aeronautics «Orbiter 3»	Израиль	5,5	7	5500	100	18
AerovisionFulmar	Испания	8	8	3400	100	20
Northrop «Bat-12»	США	34	9	6100	970	30
Arcturus T-20	США	36	16	4500	800	25
Орлан-10	Россия	5	18	5000	600	20
Armstechno «NITI»	Болгария	12	20	4000	500	30

*Научное издание*

**КУЗНЕЦОВ Александр Валерьевич**  
**ТОПОЛЬСКИЙ Николай Григорьевич**  
**БАКАНОВ Максим Олегович**  
**СУРОВЕГИН Антон Вячеславович**  
**ТАРАКАНОВ Денис Вячеславович**

**ТЕХНОЛОГИИ ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА  
КРУПНЫХ ПОЖАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

**Монография**

Подписано в печать 05.08.2020 г.

Формат 60 × 84 1/16. Бумага писчая. Печать плоская.

Усл. печ. л. 11,25. Уч.-изд. л. 10,80. Тираж 300 экз. Заказ № 102.

ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России  
153040, г. Иваново, пр. Строителей, 33

Отпечатано в АО «Информатика»  
153032, г. Иваново, ул. Ташкентская, 90

ISBN 978-5-6042853-5-0



9 785604 285350