

**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»**

# **ЗДАНИЯ, СООРУЖЕНИЯ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ПОЖАРЕ**

**Учебное пособие**

Иваново 2019

*Рецензенты:*

**Шалкеев С. Р.** – заместитель начальника отдела нормативно-технического и перспективного развития пожарной безопасности Департамента надзорной деятельности и профилактической работы МЧС России  
полковник внутренней службы

**Злобнов П. В.** – заместитель начальника учебно-научного центра проблем пожарной безопасности в строительстве ФГБОУ ВО Академии ГПС МЧС России;

**Кобелев А. А.** – преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве ФГБОУ ВО Академии ГПС МЧС России, канд. техн. наук

**Мокроусова О. А.** – заведующая кафедрой пожарной безопасности в строительстве ФГБОУ ВО Уральского института ГПС МЧС России  
полковник внутренней службы в отставке, д-р пед. наук, доцент

**Лазарев А.А.** – ВрИО заместителя начальника Главного управления МЧС России по Ивановской области – начальника управления надзорной деятельности и профилактической работы подполковник внутренней службы

*Допущено Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий  
в качестве учебного пособия для курсантов, студентов и слушателей  
образовательных организаций МЧС России*

Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре : учебное пособие / В. Н. Михалин, М. В. Винокуров, С. Н. Наконечный, С. А. Шабунин, М. В. Акулова. – Иваново : ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2019. – 167 с.

Учебное пособие предназначено для оказания помощи курсантам, студентам и слушателям всех форм обучения по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» при самостоятельном изучении основных разделов дисциплины «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре», подготовке к семинарским и практическим работам, выполнении курсового проектирования.

Материал пособия состоит из общих методических указаний по самостоятельной теоретической подготовке, программы теоретических вопросов разделов дисциплины «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре», изучаемых в высшем техническом учебном заведении.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>Введение</b> .....	6
<b>РАЗДЕЛ 1. ПОВЕДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА</b> .....	7
<b>Глава 1. Структура и свойства строительных материалов, влияющие на их поведение в условиях пожара</b> .....	7
1.1. Классификация строительных материалов .....	7
1.2. Понятие о структуре материалов. Внешние и внутренние факторы, определяющие поведение строительных материалов в условиях пожара .....	10
Темы докладов и рефератов .....	30
Вопросы для самоконтроля .....	30
Контрольные тесты главы 1 .....	31
<b>Глава 2. Пожарно-технические характеристики строительных материалов, методы их оценки</b> .....	33
2.1. Классификация веществ и материалов (за исключением строительных, текстильных и кожевенных материалов) по пожарной опасности .....	33
2.2. Классификация строительных, текстильных и кожевенных материалов по пожарной опасности .....	33
2.3. Методы определения показателей пожарной опасности строительных материалов .....	36
Темы докладов и рефератов .....	58
Вопросы для самоконтроля .....	58
Контрольные тесты главы 2 .....	59
<b>Глава 3. Поведение каменных материалов в условиях пожара</b> .....	61
3.1. Основные виды и характерные свойства каменных материалов, применяемых в строительстве .....	61
3.2. Особенности поведения каменных материалов в условиях пожара .....	66
Темы докладов и рефератов .....	71
Вопросы для самоконтроля .....	71
Контрольные тесты главы 3 .....	72
<b>Глава 4. Поведение древесины и материалов на ее основе в условиях пожара</b> .....	74
4.1. Область использования древесины и материалов на ее основе в современном строительстве .....	74
4.2. Особенности физического и химического строения древесины .....	75
4.3. Пожарная опасность древесины .....	76
Темы докладов и рефератов .....	81
Вопросы для самоконтроля .....	81
Контрольные тесты главы 4 .....	82
<b>Глава 5. Поведение металлов и сплавов в условиях пожара</b> .....	84
5.1. Основные виды, классификация и особенности строения металлов и сплавов, применяемых в строительстве .....	84
5.2. Изменение механических и теплофизических свойств металлов и сплавов при нагревании .....	87
Темы докладов и рефератов .....	90
Вопросы для самоконтроля .....	90
Контрольные тесты главы 5 .....	91

<b>Глава 6. Поведение строительных полимеров и пластмасс в условиях пожара</b> .....	93
6.1. Основные виды пластмасс, применяемых в строительстве, особенности их строения и свойств.....	93
6.2. Особенности пожарной опасности строительных пластмасс .....	97
Темы докладов и рефератов.....	101
Вопросы для самоконтроля.....	101
Контрольные тесты главы 6.....	102
<b>Глава 7. Теплоизоляционные, акустические, гидроизоляционные материалы и их поведение в условиях пожара</b> .....	104
7.1. Основные виды теплоизоляционных и акустических материалов, применяемых в строительстве .....	104
7.2. Гидроизоляционные материалы на битумных и дегтевых вяжущих .....	109
Темы докладов и рефератов.....	112
Вопросы для самоконтроля.....	112
Контрольные тесты главы 7.....	113
<b>РАЗДЕЛ 2. ПОВЕДЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА</b> .....	115
<b>Глава 8. Объемно-планировочные решения и конструктивные схемы зданий</b> .....	115
8.1. Общие принципы объемно-планировочных решений зданий .....	115
8.2. Конструктивные системы и схемы зданий.....	118
Темы докладов и рефератов.....	124
Вопросы для самоконтроля.....	124
Контрольные тесты главы 8.....	125
<b>Глава 9. Несущие и ограждающие строительные конструкции. Типы и конструкции лестниц</b> .....	127
9.1. Несущие и ограждающие строительные конструкции, их пожарная опасность .....	127
9.2. Типы и конструкции лестниц. Лестницы и лестничные клетки .....	132
Темы докладов и рефератов.....	135
Вопросы для самоконтроля.....	135
Контрольные тесты главы 9.....	136
<b>Глава 10. Пожарно-техническая классификация строительных конструкций, зданий и сооружений</b> .....	138
10.1. Пожарно-техническая классификация строительных конструкций.....	138
10.2. Пожарно-техническая классификация зданий и сооружений.....	141
Темы докладов и рефератов.....	145
Вопросы для самоконтроля.....	145
Контрольные тесты главы 10.....	146
<b>Глава 11. Поведение несущих и ограждающих железобетонных, металлических, деревянных строительных конструкций в условиях пожара</b> .....	148
11.1. Поведение железобетонных строительных конструкций в условиях пожара .....	148

11.2. Поведение металлических строительных конструкций в условиях пожара	151
11.3. Поведение деревянных строительных конструкций в условиях пожара	155
11.4 Способы снижения пожарной опасности строительных материалов и повышения огнестойкости строительных конструкций	157
Темы докладов и рефератов	161
Вопросы для самоконтроля	161
Контрольные тесты главы 11	162
<b>Ответы на контрольные тесты по темам 1–11</b>	<b>164</b>
<b>Список литературы, рекомендуемый для самостоятельного изучения</b>	<b>166</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Изучение свойств, характеризующих поведение строительных материалов в условиях пожара, является важной и необходимой задачей усвоения дисциплины «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре» для подготовки квалифицированного специалиста пожарной охраны. От того, какими свойствами обладают материалы, как ведут они себя в условиях пожара, будут зависеть показатели пожарной опасности и огнестойкости строительных конструкций, а также устойчивость зданий в целом. Кроме того, для того, чтобы спрогнозировать возможную обстановку на пожаре, обеспечить безопасность эвакуации людей на случай его возникновения, необходимо знать свойства, характеризующие поведение строительных материалов в условиях пожара. Например, допустимость применения декоративно-отделочных, облицовочных материалов и покрытий полов на путях эвакуации и в зальных помещениях зависит от класса пожарной опасности материала, который в свою очередь определяется пожарно-техническими свойствами.

В данном учебном пособии изложены внешние и внутренние факторы, определяющие поведение строительных материалов в условиях пожара, процессы, происходящие в материалах под воздействием этих факторов, а также отрицательные последствия этих процессов. Представлены основные свойства, характеризующие поведение строительных материалов в условиях пожара: физические, механические, теплофизические. При этом, особое внимание уделено рассмотрению пожарно-технических свойств строительных материалов: горючести, воспламеняемости, скорости распространения пламени по поверхности, дымообразующей способности, токсичности продуктов горения, а также методов их определения согласно существующим стандартам на испытания. Особое внимание уделяется вопросам строения, классификации и поведения каменных материалов, древесины и материалов на ее основе, металлов и сплавов, строительных полимеров и пластмасс, теплоизоляционных, акустических, гидроизоляционных материалов и в условиях пожара. Приводятся вопросы, касающиеся объемно-планировочных решений и конструктивных схем зданий. Представлена классификация строительных конструкций, зданий и сооружений по огнестойкости и пожарной опасности. Для закрепления изученного материала в каждой теме представлены темы докладов и рефератов, приведены задания для самостоятельного решения.

Учебное пособие предназначено для курсантов, слушателей, студентов всех форм обучения по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность».

# РАЗДЕЛ 1. ПОВЕДЕНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

## Глава 1. Структура и свойства строительных материалов, влияющие на их поведение в условиях пожара

*Цель: ознакомить обучающихся с классификацией строительных материалов, их структурой и свойствами, а также процессами, протекающими в строительных материалах при воздействии на них высоких температур.*

### 1.1. Классификация строительных материалов

В настоящее время огромное количество наименований строительных материалов, составляющих сейчас широкую их номенклатуру, стремятся представить в виде системных классификаций из более или менее сходных по каким-либо признакам групп.

Все строительные материалы и изделия классифицируют по назначению, виду материала и способу получения. По назначению материалы подразделяют на конструкционные, отделочные, гидроизоляционные, теплоизоляционные, акустические, антикоррозионные, герметизирующие. По виду материала – природные каменные, лесные, полимерные, металлические, керамические, стеклянные, искусственные каменные и т.д. По способу получения – природные и искусственные

Природные строительные материалы добывают в местах их естественного образования (горные породы), обычно в верхних слоях земной коры или роста (древесина). Их используют в строительстве, применяя преимущественно механическую переработку (глина, песок, облицовочные гранитные плитки, изделия из древесины). Состав и свойства этих материалов, в основном, зависят от происхождения исходных пород и способа их обработки и переработки.

По степени готовности различают собственно строительные материалы и строительные изделия – готовые изделия и элементы, монтируемые и закрепляемые на месте работы. К строительным материалам относятся древесина, металлы, цемент, бетон, кирпич, песок, строительные растворы для каменных кладок и различных штукатурок, лакокрасочные материалы, природные камни и т. д.

Строительными изделиями являются сборные железобетонные панели и конструкции, оконные и дверные блоки, санитарно-технические изделия и кабины и др. В отличие от изделий строительные материалы перед применением подвергают обработке – смешивают с водой, уплотняют, распиливают, тешут и т. д.

По происхождению строительные материалы подразделяют на природные и искусственные.

Природные материалы – это древесина, горные породы (природные камни), торф, природные битумы и асфальты и др. Эти материалы получают из природного сырья путем несложной обработки без изменения их первоначального строения и химического состава.

К искусственным материалам относят кирпич, цемент, железобетон, стекло и др. Их получают из природного и искусственного сырья, побочных продуктов промышленности и сельского хозяйства с применением специальных технологий. Искусственные материалы отличаются от исходного сырья как по строению, так и по химическому составу, что обусловлено коренной переработкой его в заводских условиях.

По назначению материалы подразделяют на следующие группы:

- конструкционные материалы – материалы, которые воспринимают и передают нагрузки в строительных конструкциях;

- теплоизоляционные материалы, основное назначение которых – свести до минимума перенос теплоты через строительную конструкцию и тем самым обеспечить необходимый тепловой режим в помещении при минимальных затратах энергии;

- акустические материалы (звукопоглощающие и звукоизоляционные материалы) – для снижения уровня «шумового загрязнения» помещения;

- гидроизоляционные и кровельные материалы – для создания водонепроницаемых слоев на кровлях, подземных сооружениях и других конструкциях, которые необходимо защищать от воздействия воды или водяных паров;

- герметизирующие материалы – для заделки стыков в сборных конструкциях;

- отделочные материалы – для улучшения декоративных качеств строительных конструкций, а также для защиты конструкционных, теплоизоляционных и других материалов от внешних воздействий;

- материалы специального назначения (например, огнеупорные или кислотоупорные), применяемые при возведении специальных сооружений.

Ряд материалов (например, цемент, известь, древесина) нельзя отнести к какой-либо одной группе, так как их используют и в чистом виде, и как сырье для получения других строительных материалов и изделий. Это так называемые материалы общего назначения. Трудность классификации строительных материалов по назначению состоит в том, что одни и те же материалы могут быть отнесены к разным группам. Например, бетон в основном применяют как конструкционный материал, но некоторые его виды имеют совсем иное назначение: особо легкие бетоны являются теплоизоляционным материалом; особо тяжелые бетоны – материалом специального назначения, который используют для защиты от радиоактивного излучения.

Природные каменные материалы и изделия – получают из горных пород путем их обработки: стеновые блоки и камни, облицовочные плиты, детали архитектурного назначения, бутовый камень для фундаментов, щебень, гравий, песок и др.



Керамические материалы и изделия получают из глины с добавками путем формования, сушки и обжига: кирпич, керамические блоки и камни, черепица, трубы, изделия из фаянса и фарфора, плитки облицовочные и для настилки полов, керамзит (искусственный гравий для легких бетонов) и др.

Из стекла и других материалов и изделий из минеральных расплавов изготавливают оконное и облицовочное стекло, стеклоблоки, стекло профилит (для ограждений), плитки и др.

Неорганические вяжущие вещества – минеральные материалы, преимущественно порошкообразные, образующие при смешивании с водой пластичное тело, со временем приобретающее камневидное состояние: цементы различных видов, известь, гипсовые вяжущие и др.

Бетоны – искусственные каменные материалы, получаемые из смеси вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителей. Бетон со стальной арматурой называют железобетоном, он хорошо сопротивляется не только сжатию, но и изгибу и растяжению.

Строительные растворы – искусственные каменные материалы, состоящие из вяжущего, воды и мелкого заполнителя, которые со временем переходят из тестообразного в камневидное состояние.

Искусственные необжиговые каменные материалы получают на основе неорганических вяжущих и различных заполнителей: силикатный кирпич, гипсовые и гипсобетонные изделия, асбестоцементные изделия и конструкции, силикатные бетоны.

Органические вяжущие вещества и материалы на их основе – битумные и дегтевые вяжущие, кровельные и гидроизоляционные материалы (рубероид, пергамин, изол, бризол, гидроизол, толь, приклеивающие мастики, асфальтовые бетоны и растворы).

Полимерные материалы и изделия – группа материалов, получаемых на основе синтетических полимеров (термопластических нетерморезистивных смол). К ним относятся линолеумы, релин, синтетические ковровые материалы, плитки, древеснослоистые пластики, стеклопластики, пенопласты, поропласты, сотопласты и др.

Древесные материалы и изделия получают в результате механической обработки древесины: круглый лес, пиломатериалы, заготовки для различных столярных изделий, паркет, фанера, плинтусы, поручни, дверные и оконные блоки, клееные конструкции.

Металлические материалы – наиболее широко применяемые в строительстве черные металлы (сталь и чугун), стальной прокат (двутавры, швеллеры, уголки), сплавы металлов, особенно алюминиевые.

Чтобы здание выполняло свое назначение и было долговечным, необходимо правильно выбрать материалы, как конструкционные, так и отделочные.

Рассмотрим классификацию строительных материалов по химическому составу:

– органические;

– неорганические.

Органические вещества – вещества, представляющие собой соединения углерода с другими элементами (преимущественно с водородом, кислородом и азотом). Например, древесина, битум, полимерные строительные материалы. Большинство органических веществ горит. Большинство органических веществ (за исключением некоторых синтетических полимеров) могут служить питательной средой для живых организмов (различного вида грибки), способные вызывать гниение материала.

Неорганические вещества представляют собой соединения окисленных химических элементов – в основном оксидов кремния и алюминия с оксидами металлов. Например, песок – оксид кремния, глина – водный алюмосиликат – керамика, природный камень, и др.

Все вещества состоят из мельчайших частиц – атомов и молекул. В зависимости от степени упорядоченности атомов (или молекул) различают кристаллические или аморфные (стеклообразные) твёрдые тела.

Кристаллическими называют тела, в которых атомы (или молекулы) расположены в правильном геометрическом порядке, причём этот порядок соблюдается как для атомов, расположенных в непосредственной близости друг от друга, так и на значительном расстоянии (дальний порядок).

Геометрически правильный и повторяющийся в пространстве порядок расположения атомов (молекул) называют кристаллической решеткой.

Различие свойств наблюдается у кристаллических материалов одного и того же состава, если они кристаллизуются в разных кристаллических формах. Это явление называется полиморфизмом. Это, например, алмаз и графит.

Аморфными называются тела, в которых только ближние друг к другу атомы находятся в упорядоченном расположении, дальний же порядок отсутствует.

Различие в строении кристаллических и аморфных веществ определяют и различие их свойств:

– аморфные вещества химически более активны, чем кристаллические, т.к. они обладают нерастроченной внутренней энергией;

– аморфные вещества не имеют температуры плавления (при нагревании они размягчаются и постепенно переходят в жидкое состояние, кристаллические при нагревании до определённой температуры (температуры плавления) плавятся).

## **1.2. Понятие о структуре материалов. Внешние и внутренние факторы, определяющие поведение строительных материалов в условиях пожара.**

Структура (строение, расположение, порядок) – совокупность устойчивых связей тела (объекта), обеспечивающих его целостность. Таким образом, под структурой материала понимают взаимное расположение, форму, и размер частиц материала, наличие пор, их размер и характер.

Различают три уровня структуры материала:

1. макроструктура – строение материала видно невооружённым глазом или при небольшом увеличении;
2. микроструктура – строение материала видно только под микроскопом;
3. химическая (внутренняя) структура – строение вещества, изучаемое на молекулярно-ионном уровне с помощью различных физико-химических методов исследования (электронная и атомно-силовая микроскопии, термогравиметрия, рентгеноструктурный анализ и др.).

Макроструктура – это видимая невооруженным глазом или при небольшом увеличении внутренняя или поверхностная часть материала. Макроструктура в целом характеризуется фазовым составом, т.е. наличием элементов структуры в виде твердого тела, жидкости и газовой среды.

При визуальном осмотре изделия выявляют зоны и участки, различающиеся пористостью, окраской, зерновым составом и другими особенностями, а также различные дефекты структуры в виде трещин, каверн и пр.

Макроструктуру строительных материалов делят на несколько групп: конгломератная, ячеистая, мелкопористая, волокнистая, слоистая, и рыхлозернистая (порошкообразная). Конгломератная структура – соединение разнородных веществ, обычно в виде зерен, кусков различных форм и размеров, например, конгломератную структуру имеют тяжелые бетоны. Ячеистая структура свойственна газо-, пенобетонам, пеностеклу, пемзе. Ячеистая структура характеризуется наличием макропор, у мелкопористых большинство ячеек размером менее 1 мм, например у керамических материалов. Волокнистая структура присуща природным (древесина) или искусственным (минеральная вата) материалам с расположением волокон в одном направлении или хаотично. Показатели свойств таких материалов заметно отличаются при физических воздействиях вдоль или поперек волокон. Слоистая структура предполагает наличие в материале нескольких слоев, в том числе и разнородных, характерна для листовых материалов, плитных, рулонных гидроизоляционных и др. Рыхлозернистую структуру имеют сыпучие порошкообразные материалы, состоящие из большого количества несвязанных зерен или мелких частиц, например щебень (гравий), песок – заполнители для бетонов и растворов, материалы для тепло-звукоизоляционной засыпки.

В процессе структурообразования в определенный промежуток времени, как правило, имеют место только две фазы: жидкая (расплав или раствор) и твердая (кристалл или стекло). При стабилизации структуры возможно наличие третьей (газовой фазы).

Микроструктура – строение вещества, материала различимое с помощью оптических приборов (под микроскопом). Классически выделяют три типа микроструктур: кристаллическую, аморфную, смешанную.

Кристаллическая структура – такая совокупность атомов, в которой с каждой точкой кристаллической решётки связана определённая группа атомов, называемая мотивной единицей, причём все такие группы одинаковые по составу, строению и ориентации относительно решётки. Кристаллическая структура – упорядоченная, наиболее устойчивая форма агрегатного состояния вещества. Кристаллическая структура формируется из термодинамически неустойчивых диспергированных систем, обладающих огромным запасом свободной энергии. Кристаллизация, как правило, самопроизвольный процесс с выделением тепла (энергии). Образующиеся кристаллы определяют физические, механические, термические, электрические, оптические и другие свойства структуры.

Аморфная структура – состояние вещества, в атомной структуре которого наблюдается ближний порядок расположения и не имеет дальний порядок, характерный для кристаллических структур. Аморфное состояние многих веществ получается при высокой скорости затвердевания (остывания) жидкого расплава, или при конденсации паров на охлаждённую заметно ниже температуры плавления поверхность – подложку.

Поры – воздушные ячейки в материале размером от долей микрона до сантиметра. Количество пор определяют свойства материала.

Виды пор: замкнутые, сообщающиеся.

Крупные поры размером более 1 см и полости между частицами зернистых материалов (песка, гравия и т.п.) называют пустотами.

Форма и размер частиц твёрдого материала, так же влияют на свойства материала.

В зависимости формы и размера частиц и их строения различают:

- зернистые;
- волокнистые;
- слоистые материалы.

### **Внешние и внутренние факторы, определяющие поведение строительных материалов в условиях пожара**

Под пожарной опасностью строительного материала понимают его способность воспламеняться, гореть, распространять пламя по поверхности, выделять дым, токсичные продукты терморазложения и горения, т.е. способствовать возникновению и развитию пожара. Пожарная опасность строительных материалов характеризуется пожарно-техническими свойствами и показателями пожарной опасности

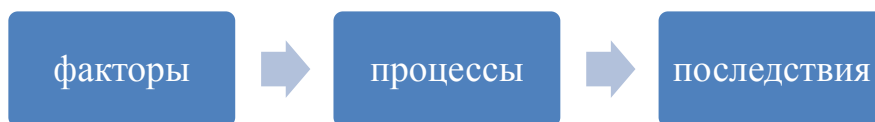
Под поведением строительных материалов в условиях пожара понимается комплекс физико-химических превращений, приводящих к изменению состояния и свойств материалов под влиянием интенсивного высокотемпературного нагрева.

Для того чтобы понять, какие изменения происходят в структуре материала, как меняются его свойства, т.е. как влияют внутренние факторы на

поведение материала в условиях пожара, необходимо хорошо знать сам материал: его происхождение, сущность технологии изготовления, состав, начальную структуру и свойства.

Поведение строительных материалов при пожаре характеризуется (рис. 1):

- различными факторами воздействия;
- процессами, происходящими в материалах под воздействием факторов;
- последствиями этих процессов.



**Рис. 1.** Схема, характеризующая поведение строительных материалов в условиях пожара

Факторы воздействия подразделяются на внешние и внутренние.

Внешние факторы воздействия в свою очередь подразделяются на:

- эксплуатационные;
- факторы пожара (ОФП).

В процессе эксплуатации материала в обычных условиях на него воздействуют внешние факторы. К эксплуатационным факторам воздействия относятся:

- влажность воздуха (чем она выше, тем выше влажность пористого материала);
- нагрузки (чем они выше, тем тяжелее материалу сопротивляться их воздействию);
- природные воздействия (солнечная радиация, температура воздуха, ветер, атмосферные осадки и т.п.).

Они влияют на долговечность материала (ухудшение его свойств в течение времени эксплуатации). Чем они агрессивнее (интенсивнее) воздействуют на материал, тем быстрее изменяются его свойства.

К факторам пожара, воздействующим на строительные материалы, относятся:

- высокая температура;
- время нахождения материала под воздействием высокой температуры;
- воздействия взрывной волны или повышенного давления при взрывах;
- воздействие огнетушащих веществ;
- воздействие агрессивной среды при пожаре.

В результате воздействия на материал внешних факторов пожара в материале могут протекать те или иные негативные процессы. Прогрессирующее развитие негативных процессов в материале ведет к отрицательным последствиям.

Внутренние факторы воздействия – это:

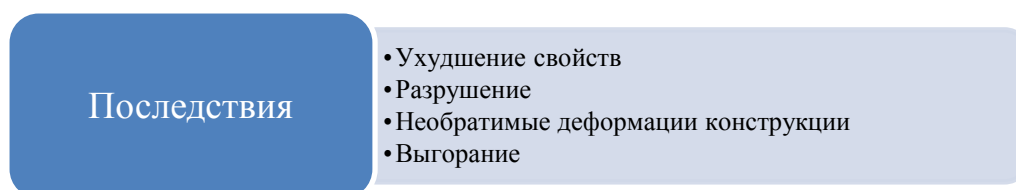
- 1) происхождение материала;
- 2) технология изготовления;
- 3) состав;
- 4) структура;
- 5) свойства.

В результате воздействия внешних эксплуатационных факторов и факторов пожара, в зависимости от внутренних факторов, в материале могут протекать негативные процессы (рис. 2).



**Рис. 2.** Процессы, происходящие в материалах под воздействием факторов пожара

Развитие этих процессов ведет к отрицательным последствиям (рис. 3).



**Рис. 3.** Последствия, возникающие при влиянии на строительные материалы высокотемпературного нагрева

## Понятие о физических, механических и теплофизических свойствах материалов

Свойствами называют способность материалов реагировать на воздействие внешних и внутренних факторов: силовых, влажностных, температурных и др.

Все свойства материалов взаимосвязаны. Они зависят от вида, состава, строения материала. Ряд из них оказывает более существенное, другие – менее существенное влияние на пожарную опасность и поведение материалов в условиях пожара.

Применительно к изучению и объяснению характера поведения строительных материалов в условиях пожара предлагается в качестве основных рассмотреть следующие свойства:

1. Физические свойства: объемная масса, плотность, пористость, гигроскопичность, водопоглощение, водопроницаемость, паро- и газопроницаемость.

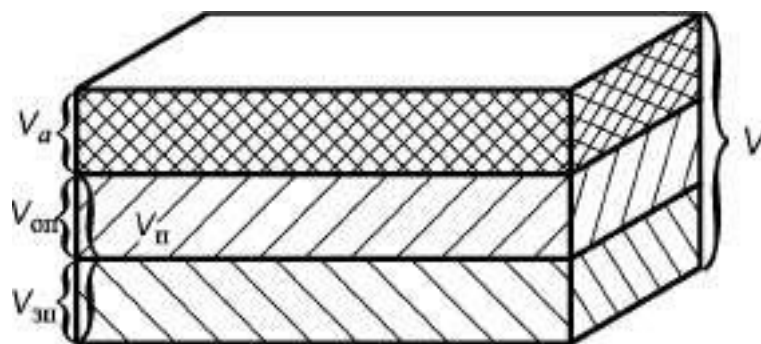
2. Механические свойства: прочность, деформативность.

3. Теплофизические свойства: теплопроводность, теплоемкость, температуропроводность, тепловое расширение, теплостойкость.

4. Свойства, характеризующие пожарную опасность материалов: горючесть, тепловыделение, дымообразование, выделение токсичных продуктов.

Свойства материалов обычно характеризуют соответствующими числовыми показателями, которые определяют с помощью экспериментальных методов и средств.

К физическим относят свойства, выражающие способность материалов реагировать на воздействие физических факторов: гравитационных, влажностных и др. Рассмотрим образец пористого материала (рис. 4).



**Рис. 4.** Образец пористого материала:

$V$  – объем образца;  $V_a$  – объем вещества;  $V_{п}$  – объем пор;  $V_{оп}$  – объем открытых пор;  $V_{зп}$  – объем закрытых (замкнутых) пор

Обозначим его массу –  $m$ , объем –  $V$ . Учитывая, что материал пористый, часть объема образца занимают поры. Обозначим эту часть объема  $V_{п}$ . Причем поры бывают открытыми – сообщающимися между собой и атмосферой, и закрытыми (замкнутыми) – не сообщающимися между собой и атмосферой. Обозначим часть объема образца, занятую указанными порами,  $V_{оп}$  и  $V_{зп}$ , соответственно. Остальную часть объема образца занимает материал (вещество в абсолютно плотном состоянии) –  $V_a$ .

Средняя плотность (объемная масса –  $\rho_o$ , кг/м<sup>3</sup>) – масса единицы объема материала в естественном состоянии, вычисляют по формуле:

$$\rho_o = \frac{m}{V}. \quad (1.1)$$

При этом в объем материала входит и объем пор. При определении массы материала в естественном состоянии обычно указывают величину влагосодержания. Учитывая, что пользоваться величинами объемной массы материала при различных значениях влагосодержания неудобно (т.к. в этом случае  $\rho_o$  получается непостоянной величиной), удобнее при определении  $\rho_o$  использовать величину  $m$  сухого материала (без учета массы воды в порах). Поэтому  $m$  определяют после искусственной сушки материала в сушильном шкафу при температуре 105-110 °С до постоянной массы. Числовые значения объемной массы для различных строительных материалов колеблются в широком диапазоне (табл. 1).

Истинная плотность ( $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>) – масса единицы объема материала в абсолютно плотном состоянии, без учета пор, трещин, каверн и других полостей, присущих материалу в его обычном состоянии:

$$\rho = \frac{m}{V_a}. \quad (1.2)$$

У большинства материалов  $\rho_m < \rho$ , т.к. они содержат поры, трещины и другие неплотности (см. табл. 1). У непористых материалов  $\rho_m = \rho$  (стекло, металлы и т.п.).

Пористость ( $P$ , %) – степень заполнения порами объема образца материала:

$$P = \frac{V_{п}}{V} \times 100. \quad (1.3)$$

Различают полную, открытую и закрытую пористости. Полная пористость  $P$  включает в себя открытую  $P_o$  и закрытую  $P_z$  пористости. Открытыми считаются поры, сообщающиеся с внешней средой, при помещении материала в воду они заполняются ею. Закрытые поры не сообщаются с внешней средой и не заполняются водой.

Полную пористость ( $P$ , %) рассчитывают по формуле:



$$П = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho}\right) \times 100, \quad (1.4)$$

где  $\rho$  – истинная плотность материала, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\rho_m$  – средняя плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Открытую пористость можно приближенно определить по величине водопоглощения по объему:

$$П_о \approx В_v. \quad (1.5)$$

Закрытую (замкнутую) пористость определяют по формуле:

$$П_з = П - П_о. \quad (1.6)$$

От величины пористости, размера и формы пор, равномерности распределения их в материале зависят важнейшие его свойства: прочность, водопоглощение, теплопроводность и др.

Величина пористости у различных материалов колеблется от 0 до 96 % (см. табл. 1).

*Таблица 1. Физические свойства строительных материалов*

Материал	Средняя плотность $\rho_m$ , кг/м <sup>3</sup>	Истинная плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Полная пористость П, %
Пенополистирол	15-20	1050	81-98
Древесина:			
- сосна	400-600	1550	61-74
- дуб	700-900	1600	42-55
Бетоны:			
- ячеистые	500-1200	2500	60-84
- легкие	1200-1800	2600	40-60
- тяжелые	1800-2500	3000	17-40
Керамический кирпич	1600-1990	2650	24-36
Стекло оконное	2500	2500	0
Металлы:			
- алюминиевые сплавы;	2850	2850	0
- сталь	7800	7800	0

По размерам радиуса ( $r$ ) поры классифицируют на:

- микропоры  $r \leq 10^{-7}$  м (0,1 мкм);
- макропоры  $r > 10^{-7}$  м;
- каверны  $r > 5 \times 10^{-5}$  м (0,05 мм).

Гигроскопичность – способность пористого материала поглощать влагу из воздуха (парогазовой смеси).

Она характеризуется влагосодержанием материала – отношением массы влаги, содержащейся в порах материала, к его массе в сухом состоянии (кг/кг, %).

Степень заполнения пор материала прямо зависит от относительной влажности воздуха, температуры, парциального давления смеси. С увеличением относительной влажности и со снижением температуры воздуха гигроскопичность повышается.

Влагой из воздуха заполняются лишь микропоры. Переходные поры и макропоры способны заполняться только при непосредственном контакте материала с водой (например, во время дождя и т.п.). Влага, содержащаяся в микропорах, называется гигроскопической (физически связанной, полусвободной).

Способность материала отдавать влагу в окружающую среду называют влагоотдачей.

Если между влажностью окружающего воздуха и влажностью материала устанавливается равновесие (материал имеет равновесную влажность), материал называют воздушно сухим. Например, в помещении при относительной влажности воздуха 60-65 % равновесная влажность древесины в среднем равна 15 % (0,15 кг/кг). Полное удаление гигроскопической влаги возможно лишь при искусственном нагреве материала при температуре, превышающей  $100^{\circ}\text{C}$ , в течение нескольких часов или суток. При пожаре этот процесс происходит интенсивнее.

Влагу, которая может содержаться в течение какого-то времени в макропорах, называют механической (свободной). Она постепенно испаряется даже при 100% влажности воздуха.

Влажность – это степень насыщения материала влагой по массе или по объему, определяется по формулам:

$$W_m = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \times 100, \quad (1.7)$$

$$W_V = \frac{m_{\text{вл}} - m_{\text{сух}}}{V \times \rho_{\text{воды}}} \times 100, \quad (1.8)$$

где  $m_{\text{вл}}$  – масса образца во влажном состоянии, г;

$m_{\text{сух}}$  – масса сухого образца, г;

$V$  – объем образца,  $\text{см}^3$ ;

$\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды (при  $t = 20^{\circ}\text{C}$  и  $P = 760$  мм рт. ст. или 101,3 кПа  $\rho_{\text{воды}} = 1$  г/ $\text{см}^3$ ).

Влажность материала оказывает значительное влияние на долговечность материалов, их теплоизоляционные свойства, поведение в условиях пожара. В частности, бетонные и железобетонные конструкции, имеющие повышенную влажность (более 5 %), в большей степени подвержены хрупкому взрывообразному разрушению от воздействия огня. Такое разрушение материала может быстро привести к потере несущей способности конструкции и поэтому является наиболее опасным.

В зависимости от окружающих условий влажность может меняться от 0 до полного насыщения водой (зависит от водопоглощения материала).

Водопоглощение ( $B$ ) – способность материала впитывать воду при непосредственном контакте с ней. Различают водопоглощение материала по массе и по объему.

Водопоглощение по массе ( $B_m$ , %):

$$B_m = \frac{m_{\text{воды}}}{m} \times 100 = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \times 100, \quad (1.9)$$

где  $m_{\text{воды}}$  – масса воды в порах образца, кг (г);

$m_{\text{нас}}$  – масса образца после насыщения водой в течение суток, кг (г);

$m_{\text{сух}}$  – масса образца после сушки в сушильном шкафу при температуре 105-110 °С до стабилизации массы, кг (г).

Водопоглощение по объему ( $B_v$ ):

$$B_v = \frac{V_{\text{воды}}}{V} \times 100 = \frac{m_{\text{воды}}}{V \times \rho_{\text{воды}}} \times 100 = \frac{m_{\text{нас}} - m_{\text{сух}}}{V \times \rho_{\text{воды}}} \times 100, \quad (1.10)$$

где  $V_{\text{воды}}$  – объем воды в порах материала, м<sup>3</sup> (см<sup>3</sup>);

$\rho_{\text{воды}}$  – плотность воды, кг/м<sup>3</sup>.

При контакте материала с водой она проникает лишь в открытые поры. В закрытые поры вода не проникает. Поэтому водопоглощение называют кажущейся пористостью. Наличие влаги в порах материала существенно влияет на другие его свойства, а также на его поведение в условиях пожара.

Водопроницаемость – способность пористого материала пропускать воду под давлением. Характеристикой водопроницаемости служит количество воды, прошедшее в течение 1 часа через 1 см<sup>2</sup> поверхности материала при заданном давлении воды.

Паро- и газопроницаемость оценивают с помощью коэффициента парогазопроницаемости ( $\lambda_p$ ). Он равен количеству водяного пара (воздуха), которое проходит через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м<sup>2</sup>, в течение 1 ч, при разности давлений у противоположных поверхностей образца 10 Па.

Механические (деформационно-прочностные) свойства отражают способность материалов (изделий) сопротивляться действию нагрузок (усилий), возникающих от силовых, тепловых, усадочных и других факторов.

Рассмотрим процесс растяжения стержня (рис. 5).

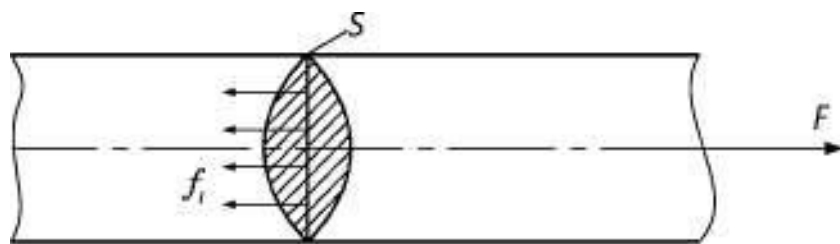


Рис. 5. Процесс растяжения стержня

Если на стержень действует внешняя (растягивающая) сила  $F$ , то в нем возникают внутренние силы  $f_1$ , суммарно равные внешней силе и направленные в противоположную сторону. Причем  $\Sigma f_1 = F$ . Если взять отношение суммы внутренних сил к площади поперечного сечения стержня  $S$ , то получим механическую характеристику, которая называется напряжением:

$$\sigma = \frac{\Sigma f}{A} = \frac{F}{A}, \quad \left[ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па} \right]. \quad (1.11)$$

В зависимости от направления приложения внешней силы в материале могут возникать напряжения сжатия, растяжения, изгиба, кручения и др.

Прочность – это способность материала сопротивляться разрушению за счет внутренних напряжений, возникающих под действием внешней силы.

Возникновение напряжений в материале может происходить также в результате воздействия других факторов, например, температурных градиентов по толщине конструкции. Чем больше величина напряжений, которые способны возникнуть в материале, тем он прочнее. Однако всегда можно приложить такую внешнюю силу, что сумма внутренних сил окажется недостаточной для ее компенсации. В этом случае происходит разрушение материала, точнее – потеря целостности.

Напряжение, соответствующее разрушающей силе, называют пределом прочности (временным сопротивлением) материала и обозначают  $R$  (для металла также –  $\sigma_b$ ).

В зависимости от вида напряжений, возникающих в материале, различают предел прочности при сжатии, растяжению, изгибу и др.

Материалы, характеризующиеся одинаковыми показателями свойств (в частности, пределом прочности) в различных направлениях, называют изотропными, с различными показателями – анизотропными

Деформативность – способность образца материала (изделия) изменять свои размеры (форму) без изменения своей массы, характеризуется величиной деформации: абсолютной, относительной.

Деформации образцов (изделий) происходят при растяжении, сжатии, сдвиге, кручении и т.п. Деформации могут быть обратимыми или необратимыми (остаточными). Обратимые (упругие) – деформации, которые полностью исчезают при прекращении действия на материал факторов, их вызывающих. Необратимые деформации (пластические) накапливаются в период действия факторов, их вызывающих, а после их устранения деформации сохраняются. На характер и величину деформаций влияет не только степень нагружения, но и скорость повышения нагрузки, а также температура материала. Как правило, с понижением скорости нагружения, либо повышением температуры материала величина деформации увеличивается.

Упругость – способность образца материала изменять свою форму под действием нагрузки и восстанавливать первоначальную форму после снятия нагрузки.

Предел упругости – максимальное напряжение, при котором в материале еще не возникает остаточных деформаций.

Пластичность – способность образца материала изменять свою форму без разрушения под действием нагрузки и сохранять новую форму после прекращения действия нагрузки. Это свойство характеризуется текучестью материала.

Предел текучести – постоянное напряжение при нарастании пластической деформации.

Наличие влаги в пористом материале влияет на их деформативные свойства: коробление, усадку и др. Так, при насыщении пор материала водой он расширяется.

Твердость – способность образца материала сопротивляться проникновению в него другого, более твердого образца материала.

Величину твердости для металлов определяют числом Бринелля (НВ), которое представляет собой отношение вдавливающего металлического закаленного шарика в поверхности испытуемого металла, к площади полученного в испытаниях углубления. Твердость каменных материалов определяют по условной десятибалльной шкале Мооса, в которой в качестве эталонов принята твердость десяти минералов, расположенных по возрастающей твердости: 1 – тальк, 2 – гипс, 3 – кальцит, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – полевой шпат (ортоклаз), 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз.

Теплофизические свойства характеризуют поведение материалов при воздействии на них тепла.

Теплопроводность – способность материала проводить через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на противоположных поверхностях образца (изделия), характеризуют коэффициентом теплопроводности материала,  $\lambda$ , Вт/м×К:

$$\lambda = \frac{Q \times \tau}{\delta S \times \Delta t}, \quad (1.12)$$

где  $Q$  – тепло, переданное от обогреваемой поверхности к холодной, Дж;

$\delta$  – толщина образца (изделия), м;

$S$  – площадь обогреваемой поверхности, м<sup>2</sup>;

$\Delta t$  – разность температур противоположных поверхностей образца, °С (или К);

$\tau$  – время, с.

Таким образом, коэффициент теплопроводности – количества тепла, проходящего через плиту толщиной 1 м, при площади ее поверхности 1 м<sup>2</sup>, за время 1 с, при разности температур на противоположных поверхностях 1 К.

Числовые значения коэффициента теплопроводности зависят от вида материала (табл. 2).

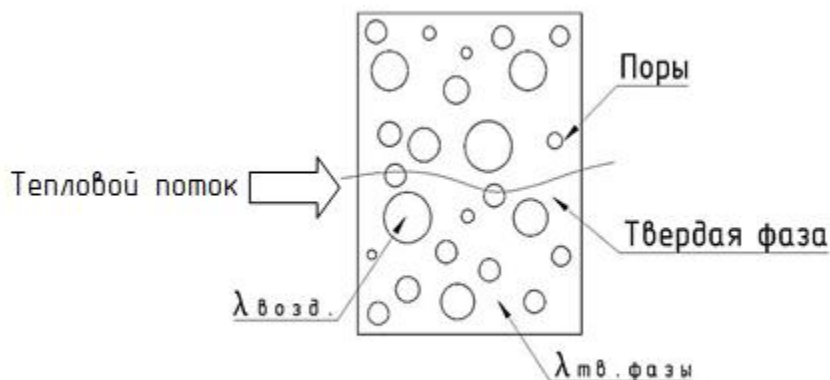
*Таблица 2. Теплофизические характеристики строительных материалов (при 0 °С)*

Материал	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , Вт/м·°С	Удельная теплоемкость $c$ , кДж/кг·°С
Пенопласты	0,04-0,05	-
Минеральная вата	0,05-0,09	-
Древесина	0,24	2,42-2,75
Кирпич керамический	0,8-0,85	0,8
Тяжелый бетон	1,0-1,5	0,8
Гранит	3,0-3,5	0,8
Сталь	58	0,42

С повышением пористости материала  $\lambda$  уменьшается, т.к. воздух в порах имеет очень низкий коэффициент теплопроводности  $\lambda = 0,023$  Вт/м·°С. Тепловой поток проходит через твердый каркас и воздушные ячейки пористого материала (рис. 6), поэтому увеличение пористости материала является основным способом уменьшения теплопроводности.

Строительные материалы, имеющие низкую теплопроводность, эффективно используются в качестве огнезащиты строительных конструкций для повышения предела огнестойкости. Основными способами огнезащиты с применением материалов, имеющих низкую теплопроводность, являются конструктивная огнезащита и вспучивающиеся покрытия.

Точное значение  $\lambda$  определяют для строительных материалов экспериментально.



**Рис. 6.** Структура пористого материала

С повышением влагосодержания материала теплопроводность возрастает, т.к. коэффициент теплопроводности воды  $\lambda = 0,59 \text{ Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$  в 25 раз больше чем теплопроводность воздуха. При повышении температуры теплопроводность большинства материалов возрастает и лишь у некоторых (металлов, магнезитовых огнеупоров) она уменьшается.

Теплоемкость – способность материала при нагревании поглощать определенное количество тепла, а при остывании - его отдавать. Характеризуется удельной теплоемкостью:

$$c = \frac{Q}{m \times \Delta t}, \quad (1.13)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость, Дж/кг;

$m$  – масса материала, кг;

$\Delta t$  – разность температур материала до и после нагревания, К.

Удельная теплоемкость – количества тепла, которое необходимо сообщить, либо отобрать у 1 кг материала, чтобы изменить его температуру на  $1^\circ\text{C}$ . (Дж/кг $\times$ К):

$$c = \frac{Q}{m \times \Delta t}, \quad (1.14)$$

где  $m$  – масса материала, кг;

$\Delta t$  – разность температур материала до и после нагревания,  $^\circ\text{C}$  (К).

У воздуха  $c = 0,97 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ , у воды  $c = 4,2 \text{ кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ . Поэтому с повышением влагосодержания пористых материалов их удельная теплоемкость увеличивается.

Температуропроводность – способность образца материала изменять температуру при нагревании (охлаждении), характеризуется коэффициентом температуропроводности ( $a$ , м<sup>2</sup>/с).

Коэффициент температуропроводности характеризует скорость изменения температуры материала, вычисляется по формуле:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \times \rho_m}, \quad (1.15)$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала, Вт/м·°С;

$c$  – удельная теплоёмкость материала, Дж/кг·°С;

$\rho_m$  – средняя плотность материала, кг/м<sup>3</sup>.

Тепловое (температурное) расширение твердых материалов характеризуется коэффициентами линейного и объемного теплового расширения.

Коэффициент линейного теплового (температурного) расширения ( $\alpha$ , 1/°С) – относительное изменение длины образца материала при изменении температуры на 1 °С (К):

$$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \times \Delta t}, \quad (1.16)$$

где  $\Delta l$  – разность длин образца материала до и после нагрева, м;

$l_0$  – начальная длина образца, м;

$\Delta t$  – разность температур, °С (К).

Коэффициент объемного теплового (температурного) расширения ( $\beta$ , 1/°С) – относительное изменение объема образца материала при изменении его температуры на 1°С (К):

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \times \Delta t}, \quad (1.17)$$

где  $\Delta V$  – разность объемов образца до и после нагрева, м<sup>3</sup>;

$V_0$  – начальный объем образца, м<sup>3</sup>.

Теплостойкость – способность нагретых материалов (в частности полимерных) сопротивляться проникновению в них других, более твердых материалов при их соприкосновении, а также сопротивляться деформированию под действием постоянной нагрузки (в нагретом состоянии). Теплостойкость характеризуется температурой, при которой материал перестает сопротивляться указанным действиям, и контролируемые параметры (глубина проникновения испытываемого средства, величина деформации образца) достигают предельных значений.



## Физико-химические процессы

Рассмотрим физико-химические процессы, характеризующие поведение строительных материалов при воздействии высоких температур.

Теплоперенос (теплопередача) – непрерывное перемещение теплового потока от обогреваемой поверхности образца материала (изделия) вглубь (в направлении необогреваемой поверхности – при одностороннем обогреве).

Основным показателем, характеризующим развитие этого процесса, является температура материала ( $t$ -потенциал теплопереноса). Параметрами, необходимыми для количественной оценки протекания процесса теплопереноса и расчета изменения основного показателя ( $t$ ) при пожаре являются теплофизические характеристики материала ( $\lambda, c, \alpha$ ).

Влагоперенос – отражает процесс перемещения влаги в пористой структуре материала одновременно с развитием процесса теплопереноса.

Поскольку отмеченные процессы действуют одновременно, часто их рассматривают как один процесс тепловлагопереноса. Однако, учитывая, что процесс влагопереноса несколько сложнее для понимания, рассмотрим его автономно. При нагреве материала до температуры 100 °С влага, содержащаяся в порах, претерпевает температурное расширение, что увеличивает давление на стенки пор, вызывает увеличение внутренних напряжений в материале и снижает его прочность. Дальнейший нагрев материала приводит к переходу воды, содержащейся в порах, в парообразное состояние. При этом сначала влага испаряется с обогреваемой поверхности материала. Затем фазовый переход влаги в пар происходит в так называемой «зоне испарения», которая по мере прогрева постепенно перемещается вглубь образца (строительной конструкции) под влиянием процесса теплопереноса. Учитывая, что объем пор в твердом материале во время нагрева практически не изменяется, интенсивное парообразование (с 1 л воды получается 1700 л пара при нормальных условиях) приводит к быстрому росту давления в порах материала. По мере перемещения зоны испарения вглубь образца материала (изделия) давление в ней возрастает. Так образуется градиент давления по толщине образца материала. Поскольку давление пара действует во все стороны одинаково, часть пара под его влиянием фильтруется наружу через образовавшуюся «сухую» зону материала в сторону обогреваемой поверхности. Другая часть пара под действием давления из зоны испарения перемещается в глубь материала, где конденсируется в более холодных его слоях, образуя «зону повышенного влагосодержания». При этом в течении определенного времени за зоной повышенного влагосодержания остается «зона начального влагосодержания» материала.

Основным показателем процесса влагопереноса является избыточное давление ( $P$ ) пара в зоне испарения. Давление пара является одним из основных стимуляторов процесса разрушения (накопления нарушений, повреждений структуры) материала. При превышении избыточным давлением некоторой

критической величины этот процесс может привести к явлению взрывообразной потери целостности образца (изделия) материала.

В том случае, если величина избыточного давления ниже определенного, характерного для данного материала значения, то удаление физически связанной влаги не приводит к явлению взрывообразной потери целостности. При этом после нагрева до температур порядка 100-250 °С может происходить даже некоторое повышение прочности материала. Это обусловлено, в основном, снятием капиллярного давления влаги на стенки пор материала.

Деформирование образцов материала (изделий) при воздействии пламени и теплового потока происходит в результате влияния ряда факторов, внутренних и внешних, в частности: температуры материала, его влагосодержания, внешнего силового воздействия материала (конструкцию). Под влиянием перечисленных факторов в условиях пожара образцы материала (изделия) могут претерпевать следующие виды деформаций:

- температурные деформации расширения происходят в результате процесса теплопереноса, приводящего к увеличению межатомных расстояний в материале вследствие превращения тепловой энергии в кинетическую энергию атомов, подвижность которых при этом возрастает по мере повышения температуры материала;

- температурно-влажностные деформации капиллярно-пористых материалов при нагреве, которые обусловлены действием процесса тепловлагопереноса;

- температурно-влажностно-силовые деформации материала происходят в результате суммарного действия внешней нагрузки на конструкцию (а, следовательно, и материал) и температурно-влажностных процессов;

- накопление дефектов (разрушение материала).

Изменение структуры (модификационные или аллотропические превращения) материала характерно для металлов (сталей), отдельных минералов при изменении температуры (нагреве, охлаждении).

Изменение свойств материалов происходит в результате действия физических или химических процессов в материалах, что ведет, соответственно, к изменению и числовых показателей, характеризующих эти свойства. Так, в зависимости от температуры изменяются теплофизические, механические характеристики материалов. Изменение структуры и даже состава материалов в результате воздействия пожара ведет к уменьшению объемной массы, увеличению пористости, проницаемости, водопоглощения и т.п.

Размягчение свойственно преимущественно аморфным материалам при нагреве, в частности, отдельным видам полимеров (термопластичных). Это приводит, к повышению их пластичности (текучести) и, соответственно, к снижению упругости, прочности, повышению деформативности.

В существенно меньшей мере, чем аморфные материалы, процессу размягчения подвержены кристаллические материалы (металлы, искусственные каменные материалы) при нагреве. Однако, даже незначительное повышение

пластичности способствует развитию температурной ползучести этих материалов при нагревании в нагруженном состоянии. Основным показателем рассматриваемого процесса является температура размягчения.

Изменение агрегатного состояния у кристаллических материалов – фазовый переход из твердого состояния в жидкое (и обратно) происходит при определенной температуре плавления. Температура плавления совпадает с температурой затвердевания. При этом в процессе плавления или затвердевания температура материала не изменяется. Данный процесс, во-первых, приводит к снижению прочности материалов до нуля. Во-вторых, пары и газы, которые при этом выделяются, могут оказаться горючими.

Рассмотрим химические процессы, приводящие к изменению свойств строительных материалов в условиях пожара.

Дегидратация – химическая реакция отщепления от молекулы вещества химически связанной воды. Этот процесс характерен для ряда природных каменных материалов, в частности, гипса:



Дегидратация молекул компонентов приводит, в частности, к усадке материала, например, цементного вяжущего в искусственных каменных материалах (бетоне, асбестоцементе). В то же время другие компоненты композиционных материалов (например, бетонов) могут расширяться, что приводит к возникновению внутренних усилий в материале, созданию напряженного его состояния, накоплению повреждений – разрушению (снижению прочности).

Диссоциация – расщепление (распад) молекул. Эта химическая реакция свойственна, в частности, природным каменным материалам, например, при температуре порядка 900 °С протекает реакция диссоциации известняка (карбоната кальция):



Она характерна также для минеральных вяжущих веществ, которые являются основой искусственных каменных материалов. Эта реакция приводит к снижению объемной массы, прочности материала, увеличению его пористости.

Химическое разложение твердых материалов состоит в том, что при повышении их температуры до определенного для каждого материала значения (температуры начала деструкции) начинается процесс разрыва химических связей с образованием более простых компонентов (твердых, жидких, газообразных). Причем с повышением температуры скорость химических реакций возрастает. Термическое разложение является чрезвычайно сложным процессом, зависящим от множества параметров.

Этот процесс можно разделить на три разновидности:

1. Термическая деструкция, при которой сложные молекулы распадаются на более простые звенья.

2. Пиролиз – процесс глубокого расщепления продуктов деструкции вплоть до образования простейших молекул.

3. Термоокислительное разложение при участии кислорода воздуха.

Процесс термоокислительного разложения носит выраженный экзотермический характер и зачастую приводит к воспламенению материала. Процесс разложения материалов при повышенных температурах сопровождается образованием газообразных, жидких веществ, обладающих токсичным действием. Для большинства материалов общим токсичным компонентом продуктов разложения и горения является оксид и диоксид углерода ( $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ). Наряду с указанными, органические материалы выделяют и другие токсичные продукты, виды которых зависят от химического состава горящего материала.

Таким образом, химические процессы приводят к разрушению (снижению прочности) материалов и другим негативным последствиям, в частности, горению.

Рассмотрим физико-химические процессы, приводящие к изменению свойств строительных материалов в условиях пожара.

Основным физико-химическим процессом, который происходит с органическими строительными материалами в условиях пожара, является процесс горения.

Горение – сложный физико-химический процесс превращения горючих материалов в продукты горения, сопровождающийся выделением тепла и света.

Процесс горения включает совокупность составляющих его процессов: воспламенения, распространения пламени, тепловыделения, дымовыделения.

Воспламенение – процесс принудительного зажигания горючей смеси, т.е. инициирование горения высоконагретым источником зажигания.

Горение строительных материалов в условиях пожара сопровождается процессом распространения пламени.

Распространение пламени является непрерывным процессом, происходящим за счет тепла, высвобождающегося в результате химической реакции и передвигающегося к несгоревшей части поверхности материала.

Тепловыделение является следствием процесса (сопутствующим процессом) горения строительных (и не только строительных) материалов в условиях пожара. Выделяющееся тепло идет частично на нагрев несгоревшей части горящего материала (на подготовку ее к горению), других горючих материалов, составляющих пожарную нагрузку помещения, на нагрев (теплоперенос) негорючих материалов строительных конструкций.

Дымовыделение также является сопутствующим процессом горения. На пожарах, как правило, горение происходит при недостатке окислителя, что приводит к образованию продуктов неполного сгорания и дымовыделению. Дым представляет собой аэрозоль, состоящий как из твердых (сажи, золы), так

и жидких частиц. Оптические свойства дыма характеризуются способностью поглощать и рассеивать свет, что является причиной снижения видимости в задымленном пространстве и ограничения возможности эвакуации людей при пожаре.

Интенсивность дымообразования определяется химической природой материала, а задымление помещений зависит от количества дымообразующих материалов, условий развития пожара, воздействия тепловых потоков от очага пожара и времени. Наибольшее дымообразование достигается при горении в режиме пиролиза материалов (подготовки их к горению) и тления. Дым обычно содержит токсичные продукты горения.

## **Темы докладов и рефератов**

1. Применение строительных материалов и конструкций, при проектировании и строительстве зданий и сооружений на современном этапе.
2. Классификация строительных материалов.
3. Понятие о структуре материалов. Внешние и внутренние факторы, определяющие поведение строительных материалов в условиях пожара
4. Физические свойства, характеризующие поведение строительных материалов в условиях пожара.
5. Механические свойства, характеризующие поведение строительных материалов в условиях пожара.
6. Теплофизические свойства, характеризующие поведение строительных материалов в условиях пожара.
7. Физические процессы, приводящие к изменению свойств строительных материалов в условиях пожара.
8. Химические процессы, приводящие к изменению свойств строительных материалов в условиях пожара.
9. Процесс горения.
10. Процесс дымообразования.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Приведите классификацию строительных материалов по назначению, виду материала и способу получения.
2. Перечислите основные физические свойства строительных материалов.
3. Что называется истинной и средней плотностью строительного материала, в каких единицах они измеряются?
4. Как влияют физические свойства строительных материалов на их поведение в условиях пожара?
5. Перечислите механические свойства строительных материалов.
6. Что называется прочностью строительных материалов?
7. Что называется деформативностью строительных материалов?
8. Перечислите теплофизические свойства строительных материалов.
9. Что называется теплопроводностью строительных материалов, в каких единицах она измеряется?
10. Что называется теплоемкостью строительных материалов, в каких единицах она измеряется?
11. Что называется температуропроводностью строительных материалов?
12. Что называется теплостойкостью строительных материалов?
13. Что понимают под процессом тепловлагопереноса?
14. Что понимают под процессом диссоциации?
15. Что понимают под процессом дегидратации?
16. Что понимают под процессами горения и дымовыделения?

## Контрольные тесты главы 1

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Вариант ответа
1	Способность материала при нагревании поглощать определённое количество тепла, а при остывании – его отдавать	теплоёмкость
		теплопроводность
		гигроскопичность
2	Способность пористого материала впитывать воду при непосредственном контакте с ней	водопоглощение
		водопроницаемость
		лагоотдача
3	Химическая реакция отщепления от молекулы вещества химически связанной воды	горение
		тление
		дегидратация
4	Непрерывное перемещение теплового потока от обогреваемой поверхности образца вглубь	диссоциация
		лагоперенос
		теплоперенос
5	Основные физические свойства, характеризующие поведение строительных материалов в условиях пожара	плотность
		горючесть
		пористость

## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Ройтман В.М., Серков Б.Б. Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.

2. *Киреева Ю.И.* Современные строительные материалы и изделия / Ю. И. Киреева. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 256 с.: ил.

3. *Корольченко А.Я., Трушкин Д.В.* Пожарная опасность строительных материалов. Учебное пособие. / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. М.: Пожнаука, 2005. 232 с.: ил.

4. *Основин В.Н. Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.

5. *Рыженко В.И.* Гипсокартон и другие современные строительные материалы. Технология работ / В.И. Рыженко. М.: Оникс. 2010. 224 с.: ил.

### дополнительная

6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».



## **Глава 2. Пожарно-технические характеристики строительных материалов, методы их оценки**

*Цель: ознакомить обучающихся с пожарно-техническими характеристиками строительных материалов, методами испытания на определение показателей пожарной опасности строительных материалов.*

### **2.1. Классификация веществ и материалов (за исключением строительных, текстильных и кожевенных материалов) по пожарной опасности**

Пожарная опасность веществ и материалов – состояние веществ и материалов, характеризующее возможность возникновения горения или взрыва (п. 21, ст. 2 [2]).

В соответствии со ст. 12 [2] классификация веществ и материалов по пожарной опасности основывается на их свойствах и способности к образованию опасных факторов пожара или взрыва.

По горючести вещества и материалы подразделяются на следующие группы:

1) негорючие – вещества и материалы, неспособные гореть в воздухе. Негорючие вещества могут быть пожаровзрывоопасными (например, окислители или вещества, выделяющие горючие продукты при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом);

2) трудногорючие – вещества и материалы, способные гореть в воздухе при воздействии источника зажигания, но неспособные самостоятельно гореть после его удаления;

3) горючие – вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться под воздействием источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления.

Методы испытаний на горючесть веществ и материалов устанавливаются нормативными документами по пожарной безопасности.

Из горючих жидкостей выделяют группы легковоспламеняющихся и особо опасных легковоспламеняющихся жидкостей, воспламенение паров которых происходит при низких температурах, определенных нормативными документами по пожарной безопасности.

### **2.2. Классификация строительных, текстильных и кожевенных материалов по пожарной опасности**

Классификация строительных материалов по пожарной опасности основывается на их свойствах и способности к образованию опасных факторов пожара (ст. 13 [2]).

По горючести строительные материалы подразделяются на горючие (Г) и негорючие (НГ).

Строительные материалы относятся к негорючим при следующих значениях параметров горючести, определяемых экспериментальным путем:

- 1) прирост температуры – не более 50 градусов Цельсия;
- 2) потеря массы образца – не более 50 процентов;
- 3) продолжительность устойчивого пламенного горения – не более 10 секунд.

Строительные материалы, не удовлетворяющие хотя бы одному из указанных значений параметров, относятся к горючим

Пожарная опасность строительных материалов характеризуется следующими свойствами (ч. 2, ст. 13 [2]):

- 1) горючесть;
- 2) воспламеняемость;
- 3) способность распространения пламени по поверхности;
- 4) дымообразующая способность;
- 5) токсичность продуктов горения.

**По горючести** строительные материалы подразделяются на:

- горючие (Г);
- негорючие (НГ).

Для негорючих строительных материалов другие показатели пожарной опасности **не определяются и не нормируются**.

**Горючие** строительные материалы подразделяются на 4 группы:

- слабогорючие (Г1);
- умеренногорючие (Г2);
- нормальногорючие (Г3);
- сильногорючие (Г4).

**По воспламеняемости** горючие строительные материалы подразделяются на 3 группы:

- трудновоспламеняемые (В1);
- умеренновоспламеняемые (В2);
- легковоспламеняемые (В3).

**По скорости распространения пламени** по поверхности горючие строительные материалы подразделяются на 4 группы:

- нераспространяющие (РП1);
- слабораспространяющие (РП2);
- умереннораспространяющие (РП3);
- сильнораспространяющие (РП4).

**По дымообразующей способности** горючие строительные материалы подразделяются на 3 группы:

- с малой дымообразующей способностью (Д1);
- с умеренной дымообразующей способностью (Д2);
- с высокой дымообразующей способностью (Д3).

**По токсичности продуктов горения** горючие строительные материалы подразделяются на 4 группы:

- малоопасные (Т1);

- умеренноопасные (Т2);
- высокоопасные (Т3);
- чрезвычайно опасные (Т4).

Методы испытаний по определению горючести или негорючести, а также групп пожарной опасности строительных материалов устанавливаются нормативными документами по пожарной безопасности (ГОСТами).

В зависимости от свойств пожарной опасности и способности к образованию опасных факторов пожара строительные материалы подразделяются на классы пожарной опасности. Всего установлено 6 классов пожарной опасности, которые обозначаются: КМ0, КМ1, КМ2, КМ3, КМ4, КМ5.

Классы пожарной опасности в зависимости от групп пожарной опасности строительных материалов приведены в табл. 3 прил. к [2] (табл. 3).

*Таблица 3. Классы пожарной опасности строительных материалов (табл. 3 прил. к [2])*

Свойства пожарной опасности строительных материалов	Класс пожарной опасности строительного материала в зависимости от групп					
	КМ0	КМ1	КМ2	КМ3	КМ4	КМ5
Горючесть	НГ	Г1	Г1	Г2	Г3	Г4
Воспламеняемость	-	В1	В2	В2	В2	В3
Дымообразующая способность	-	Д2	Д2	Д3	Д3	Д3
Токсичность	-	Т2	Т2	Т2	Т3	Т4
Распространение пламени	-	РП1	РП1	РП2	РП2	РП4

Для определения классов пожарной опасности материалов применяются не все показатели. Перечень показателей, достаточных для присвоения классов пожарной опасности, зависит от назначения материала, и определяется по табл. 27 прил. к [2] (табл. 4).

*Таблица 4. Перечень показателей, необходимых для оценки пожарной опасности строительных материалов (табл. 27 прил. [2])*

Назначение строительного материала	Перечень необходимых показателей в зависимости от назначения строительных материалов				
	группа горючести	группа распространения пламени	группа воспламеняемости	группа по дымообразующей способности	группа по токсичности
Материалы для отделки стен и потолков, в том числе покрытия из красок, эмалей и лаков	+	-	+	+	+

Назначение строительного материала	Перечень необходимых показателей в зависимости от назначения строительных материалов				
	группа горючести	группа распространения пламени	группа воспламеняемости	группа по дымообразующей способности	группа по токсичности
Материалы для покрытия полов, в том числе ковровые	–	+	+	+	+
Кровельные материалы	+	+	+	–	–
Гидроизоляционные и пароизоляционные материалы толщиной более 0,2 мм	+	–	+	–	–
Теплоизоляционные материалы	+	–	+	+	+

Примечания: 1. Знак «+» обозначает, что показатель необходимо применять.

2. Знак «-» обозначает, что показатель не применяется.

3. При применении гидроизоляционных материалов для поверхностного слоя кровли показатели их пожарной опасности следует определять по позиции «Кровельные материалы» (добавляется РП)

### 2.3. Методы определения показателей пожарной опасности строительных материалов

#### Испытание на горючесть для отнесения строительных материалов к негорючим или горючим

Испытание на горючесть для отнесения строительных материалов к негорючим или горючим проводят по ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть» [3] (Метод I).

Метод I применяют для однородных строительных материалов. Также данный метод может использоваться в качестве оценочного для слоистых материалов, при этом испытания должны проводиться для каждого слоя, из которого состоит материал. К однородным строительным материалам относятся материалы, которые состоят из одного вещества или равномерно распределенной смеси различных веществ. К ним относятся древесина, пенопласты, полистиролбетон, древесностружечные плиты и др. Материалы, изготовленные из двух и более слоев однородных материалов, относятся к слоистым, например, гипсокартонные листы, бумажно-слоистые пластики, однородные материалы с огнезащитной обработкой др.

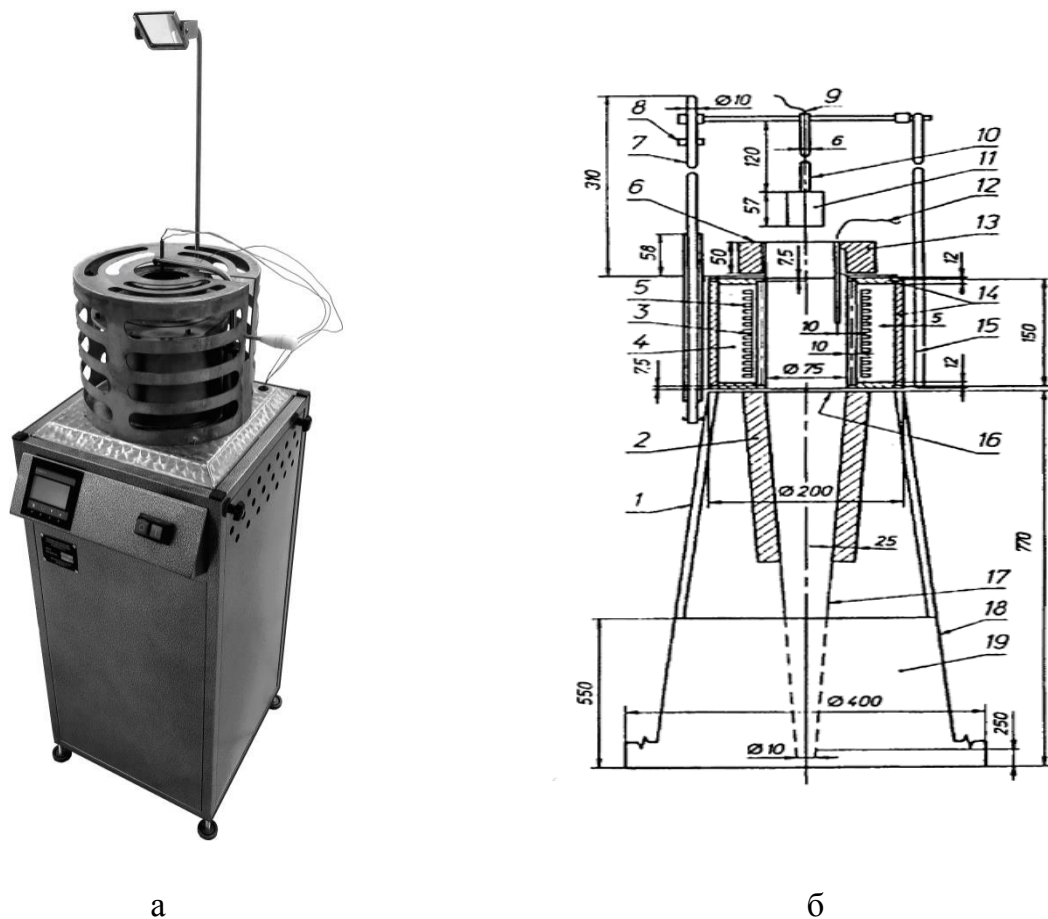
Сущность метода I состоит в тепловом воздействии на испытуемый образец материала в течение определенного времени и регистрации следующих параметров:

- прирост температуры в печи;
- потеря массы образца;

- продолжительность устойчивого пламенного горения.

Испытание проводится в установке ОГНМ («трубчатая электропечь»).  
Общий вид и схема установки ОГНМ представлены на рис. 7.

Установка ОГНМ (см. рис. 7) состоит из следующих основных элементов: печи, помещенной в теплоизолирующую среду; конусообразного стабилизатора воздушного потока; защитного экрана, обеспечивающего тягу; держателя образца и устройства для введения образца в печь; станины.



**Рис. 7.** Установка для испытаний строительных материалов на негорючесть  
«Электропечь трубчатая» (ОГНМ)

а – внешний вид, б – схема установки, 1 – станина; 2 – изоляция; 3 – огнеупорная труба; 4 – порошок окиси магния; 5 – обмотка; 6 – заслонка; 7 – стальной стержень; 8 – ограничитель; 9 – термопары образца; 10 – нержавеющая стальная трубка; 11 – держатель образца; 12 – печная термопара; 13 – изоляция; 14 – изоляционный материал; 15 – труба из асбестоцемента; 16 – уплотнение; 17 – стабилизатор потока воздуха; 18 – листовая сталь; 19 – защитное устройство от сквозняка

Для каждого испытания изготавливают пять образцов цилиндрической формы следующих размеров: диаметр  $45 \pm 2$  мм, высота  $50 \pm 3$  мм.

Перед испытанием образцы выдерживают в вентилируемом термошкафу при температуре  $60 \pm 5$  °С в течение 20-24 ч, после чего охлаждают в эксикато-

ре. Перед испытанием каждый образец взвешивают, определяя его массу с погрешностью не более 0,1 г.

### Порядок проведения испытания

Для каждого материала проводят 5 испытаний заранее подготовленных образцов, при этом при проведении испытаний необходимо соблюдать следующую последовательность действий.

1. Удалить из печи держатель образца, проверить установку печной термопары, включить источник питания.

2. Установить стабильный температурный режим в печи. Стабилизацию считают достигнутой при условии обеспечения средней температуры в печи в диапазоне 745-755 °С в течение 10 мин. При этом допускаемое отклонение от границ указанного диапазона должно составлять не более 2 °С за 10 мин.

3. Поместить образец в держатель, установить термопары в центре и на поверхности образца.

4. Ввести держатель образца в печь. Продолжительность операции должна быть не более 5 с.

5. Включить секундомер сразу же после введения образца в печь. В течение испытания вести регистрацию показаний термопар в печи, в центре и на поверхности образца.

Продолжительность испытания составляет, как правило, 30 мин. Испытание прекращают через 30 мин при условии достижения температурного баланса к этому времени. Температурный баланс считают достигнутым, если показания каждой из трех термопар изменяются не более чем на 2 °С за 10 мин.

Если по истечении 30 мин. температурный баланс не достигается хотя бы для одной из трех термопар, испытание продолжают, проверяя наличие температурного баланса с интервалом 5 мин. При достижении температурного баланса для всех трех термопар испытание прекращают и регистрируют его продолжительность.

Держатель образца извлекают из печи, образец охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Осыпавшиеся с образца во время или после испытания остатки (продукты карбонизации, зола и т.п.) собирают, взвешивают и включают в массу образца после испытания.

При испытании фиксируют все наблюдения, касающиеся поведения образца и регистрируют следующие показатели:

- массу образца до испытания  $T_{н,г}$ ;
- массу образца после испытания  $T_{к,г}$ ;
- начальную температуру печи  $t_{п.н.}, °C$ ;
- максимальную температуру печи  $t_{п.м.}, °C$ ;
- конечную температуру печи  $t_{п.к.}, °C$ ;
- продолжительность устойчивого пламенного горения образцов  $t_{г,с}$ .

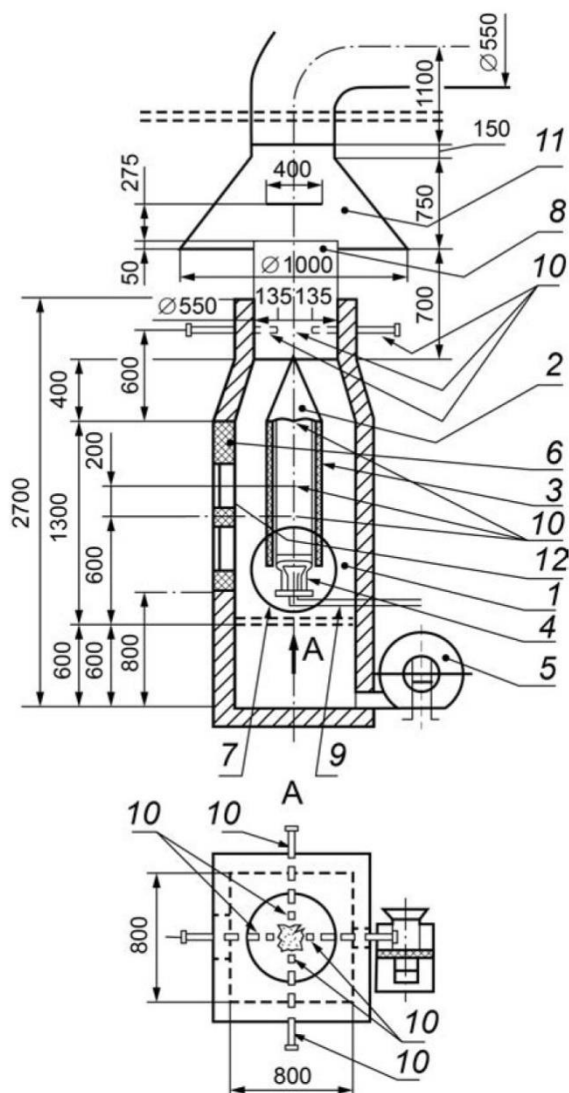
## Испытание горючих строительных материалов для определения их групп горючести

Испытание проводят по ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть» [3] (Метод II). Данный метод применяют для всех однородных и слоистых горючих строительных материалов, в том числе используемых в качестве отделочных и облицовочных, а также лакокрасочных покрытий.

Сущность метода состоит в оценке поведения образцов строительных материалов, подвергаемых воздействию газовой горелки. При этом определяются и анализируются:

- 1) температура дымовых газов;
- 2) степень повреждения образцов по длине;
- 3) степень повреждения образцов по массе;
- 4) продолжительность самостоятельного горения образцов.

Испытание проводят на установке «Шахтная печь» (рис. 8).



**Рис. 8.** Схема установки для испытаний строительных материалов на горючесть «Шахтная печь»

- 1 – камера сжигания;
- 2 – держатель образца;
- 3 – образец;
- 4 – газовая горелка;
- 5 – вентилятор подачи воздуха;
- 6 – дверца камеры сжигания;
- 7 – диафрагма;
- 8 – вентиляционная труба;
- 9 – газопровод;
- 10 – термопары;
- 11 – вытяжной зонт;
- 12 – смотровое окно

Установка для испытания состоит из камеры сжигания, системы подачи воздуха в камеру сжигания, газоотводной трубы и вентиляционной системы для удаления продуктов сгорания.

В камере сжигания размещаются держатель образцов, источник зажигания, и диафрагма.

Для измерения температуры дымовых газов в газоотводной трубе установлены термопары. Для удаления продуктов сгорания используется вентиляционная система, состоящая из зонта, устанавливаемого над газоотводной трубой, воздуховода и вентиляционного насоса.

Для каждого испытания изготавливают 12 образцов прямоугольной формы длиной 1000 мм, шириной 190 мм. Толщина образцов должна соответствовать толщине материала, применяемого в реальных условиях. Если толщина материала составляет более 70 мм, толщина образцов должна быть 70 мм. При изготовлении образцов экспонируемая поверхность не должна подвергаться обработке.

Образцы для стандартного испытания материалов, применяемых только в качестве отделочных и облицовочных, а также для испытания лакокрасочных покрытий, изготавливают в сочетании с негорючей основой. В качестве негорючей основы используются асбестоцементные листы толщиной 10 или 12 мм. В тех случаях, когда в конкретной технической документации не обеспечиваются условия для стандартного испытания, образцы должны изготавливаться с основой и креплением, указанными в технической документации.

### **Порядок проведения испытания**

Для каждого материала проводится три испытания. Каждое из трех испытаний заключается в одновременном испытании четырех образцов материала.

При проведении испытаний необходимо соблюдать следующую последовательность действий.

1. Проверить систему измерения температуры дымовых газов, для чего включить измерительные приборы и подачу воздуха при закрытой дверце камеры сжигания и неработающем источнике зажигания. Отклонение показаний каждой из четырех термопар от их среднего арифметического значения должно составлять не более 5 °С.

2. Взвесить каждый из четырех испытываемых образцов, поместить в держатель, ввести его в камеру сжигания.

3. Включить измерительные приборы, подачу воздуха, вытяжную вентиляцию, источник зажигания, закрыть дверцу камеры.

4. Продолжительность воздействия на образец пламени от источника зажигания должна составлять 10 мин. По истечении 10 мин. источник зажигания выключают. При наличии пламени или признаков тления фиксируют продолжительность самостоятельного горения (тления). Испытание считают законченным после остывания образцов до температуры окружающей среды.



5. После окончания испытания выключить подачу воздуха, вытяжную вентиляцию, измерительные приборы, извлечь образцы из камеры сжигания.

Для каждого испытания определяют следующие показатели:

- температуру дымовых газов;
- продолжительность самостоятельного горения и (или) тления;
- длину повреждения образцов;
- массу образцов до и после испытания.

В процессе проведения испытания регистрируют температуру дымовых газов не менее двух раз в минуту по показаниям всех четырех термопар, установленных в газоотводной трубе.

При испытании фиксируют также следующие наблюдения:

- образование горящего расплава;
- образование негорящего расплава.

### **Анализ результатов испытаний**

После окончания испытания измеряют длину отрезков неповрежденной части образцов и определяют остаточную массу  $m_k$  образцов. Неповрежденной считают ту часть образца, которая не сгорела и не обуглилась ни на поверхности, ни внутри.

Не считают повреждениями:

- осаждение сажи;
- изменение цвета образца;
- местные сколы;
- спекание;
- оплавление;
- вспучивание;
- усадка;
- коробление;
- изменение шероховатости поверхности.

Результат измерения округляют до 1 см.

Аналогично проводят еще 2 испытания (по 4 образца в каждом испытании).

### **Обработка результатов одного испытания (четырёх образцов)**

По результатам каждого испытания определяют следующие показатели горючести:

- температура дымовых газов ( $^{\circ}\text{C}$ ) – определяется как среднее арифметическое значение одновременно фиксируемых максимальных показаний четырех термопар, установленных в газоотводной трубе;
- длина повреждения каждого образца

$$L_{\text{повр.}} = 100 - \frac{L_{\text{неповр.1}} + L_{\text{неповр.2}}}{2}, \quad (2.1)$$

где 100 – длина образца до испытания (см);

$L_{\text{неповр.1}}$  и  $L_{\text{неповр.2}}$  – длины отрезков, расположенных на неповрежденной части образца на расстоянии 15 мм от его краев;  
– степень повреждения по длине (%)

$$S_L = \frac{\sum L_{\text{повр.}}}{4}; \quad (2.2)$$

– степень повреждения по массе (%)

$$S_m = \frac{(\sum m_{\text{нач.}} - \sum m_{\text{ост.}}) \times 100}{\sum m_{\text{нач.}}}, \quad (2.3)$$

где  $\sum m_{\text{нач.}}$  – суммарная масса 4-х образцов до испытания, г;

$\sum m_{\text{ост.}}$  – суммарная масса 4-х образцов после испытания, г.

### Обработка результатов испытаний

По результатам трех испытаний рассчитывают следующие параметры горючести строительного материала:

- температуру дымовых газов ( $t$ , °С);
- продолжительность самостоятельного горения ( $\tau_{\text{с.г}}$ , с);
- степень повреждения по длине ( $S_L$ , %);
- степень повреждения по массе ( $S_m$ , %).

Указанные параметры определяют как среднее арифметическое значение результатов трех испытаний. Полученные результаты округляют до целых чисел.

Горючие строительные материалы в зависимости от значений параметров горючести, определяемых по методу II, подразделяют на четыре группы горючести: Г1, Г2, Г3, Г4. Материалы следует относить к определенной группе горючести при условии соответствия всех значений параметров, установленных в ч. 5, ст. 13 [2] для этой группы (табл. 5).

Таблица 5. Классификация строительных материалов по горючести

Группа горючести материалов	Температура дымовых газов $T$ , °С	Степень повреждения по длине $S_L$ , %	Степень повреждения по массе $S_m$ , %	Продолжительность самостоятельного горения $t_{\text{с.г}}$ , с
Г1	$\leq 135$	$\leq 65$	$\leq 20$	0
Г2	$\leq 235$	$\leq 85$	$\leq 50$	$\leq 30$
Г3	$\leq 450$	$> 85$	$\leq 50$	$\leq 300$
Г4	$> 450$	$> 85$	$> 50$	$> 300$

**Примечание:**

1) для материалов, относящихся к группам горючести Г1-Г3, не допускается образование горящих капель расплава при испытании;

2) для материалов, относящихся к группам горючести Г1 и Г2, не допускается образование капель расплава.

**Испытание горючих строительных материалов  
для определения группы воспламеняемости**

Испытания проводят по ГОСТ 30402-96 «Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость» [4].

Сущность метода состоит в экспериментальном определении величины плотности поверхностного теплового потока, при котором происходит воспламенение материала от источника зажигания.

Параметрами воспламеняемости материала являются:

– критическая поверхностная плотность теплового потока (КППТП) – минимальное значение поверхностной плотности теплового потока, при котором возникает устойчивое пламенное горение, инициируемое источником зажигания;

– время воспламенения.

Испытания проводят на установке для испытаний на воспламеняемость ВСМ (рис. 9).

Установка состоит из следующих основных частей: опорная станина; подвижная платформа; источник лучистого теплового потока (радиационная панель); система зажигания (вспомогательная стационарная горелка, подвижная горелка с механизированной и ручной системой перемещения). В состав вспомогательного оборудования входят: держатель образца, экранирующая пластина, образец-имитатор, система регулирования расхода газоздушнoй смеси, регулирующий и регистрирующие приборы, измеритель теплового потока, регистратор времени.

Нагревательный элемент прикреплен к внутренней поверхности кожуха. На поверхности нагревательного элемента в двух диаметрально противоположных точках имеются два термоэлектрических преобразователя, для регулирования температуры нагревателя и для контроля температуры нагревателя.

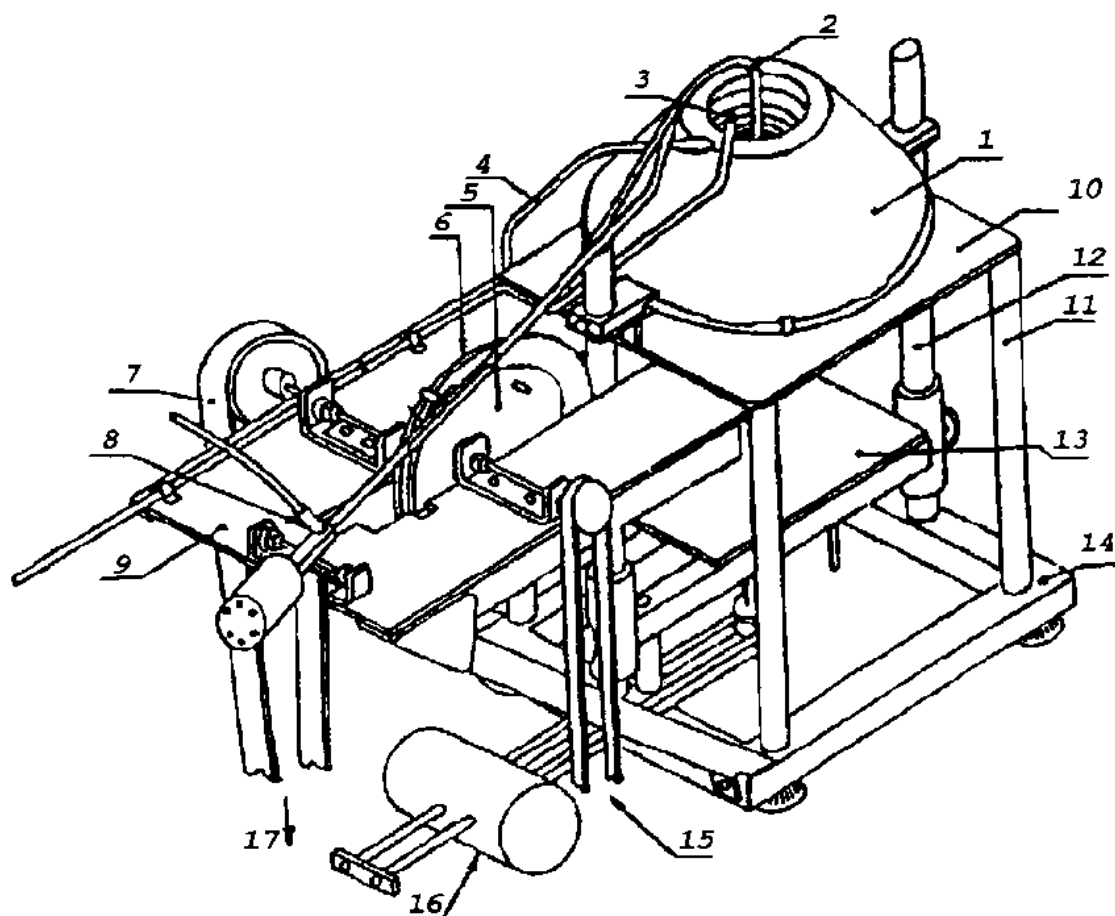
Система зажигания представляет собой подвижную и вспомогательную горелки. Периодичность перемещения горелки из исходного положения в рабочее – 4 с, продолжительность нахождения горелки в рабочем положении – 1 с.

Вспомогательная горелка предназначена для зажигания подвижной горелки в случае ее затухания.

Для испытаний изготавливают 15 образцов, имеющих форму квадрата, со стороной 165 мм и допустимым отклонением минус 5 мм. Толщина образцов должна составлять не более 70 мм.

При изготовлении образцов экспонируемая поверхность не должна подвергаться обработке. Для испытания материалов, применяемых только в каче-

стве отделочных и облицовочных, а также для испытания лакокрасочных покрытий и кровельных материалов образцы изготавливают в сочетании с негорючей основой. В качестве негорючей основы следует использовать асбестоцементные листы толщиной 10 или 12 мм.



**Рис. 9.** Установка для испытаний на воспламеняемость «ВСМ»

1 – радиационная панель с нагревательным элементом; 2 – подвижная горелка; 3 – вспомогательная стационарная горелка; 4 – силовой кабель нагревательного элемента; 5 – кулачок с ограничителем хода для ручного управления подвижной горелкой; 6 – кулачок для автоматического управления подвижной горелкой; 7 – приводной ремень; 8 – втулка для подсоединения подвижной горелки к системе подачи топлива; 9 – монтажная плита для системы зажигания и системы перемещения подвижной горелки; 10 – защитная плита; 11 – вертикальная опора; 12 – вертикальная направляющая; 13 – подвижная платформа для образца; 14 – основание опорной станины; 15 – ручное управление; 16 – рычаг с противовесом; 17 – привод к электродвигателю

С целью экспонирования обеих поверхностей слоистых материалов с различными поверхностными слоями изготавливают два комплекта образцов, при этом группу воспламеняемости материала устанавливают по худшему результату.

Перед испытанием образцы кондиционируют до достижения постоянной массы при температуре  $23 \pm 2$  °С и относительной влажности  $50 \pm 5$  %. Постоянство массы считают достигнутым, если при двух последовательных взвешиваниях с интервалом в 24 ч отличие в массе образцов составляет не более 0,1 % от исходной массы образца.

### **Порядок проведения испытания**

При каждом значении ППТП испытания проводят на трех образцах.

Последовательность действий при проведении испытания:

1. Подготовленный образец для испытания, обернуть листом алюминиевой фольги (номинальная толщина 0,2 мм), в центре которого вырезать отверстие диаметром 140 мм. При этом центр отверстия в фольге должен совпадать с центром экспонируемой поверхности образца.

2. Образец для испытания поместить в держатель, установить его на подвижную платформу и произвести регулировку противовеса. После этого держатель с образцом для испытания заменить держателем с образцом-имитатором.

3. Установить подвижную горелку в исходное положение, отрегулировать расход газа (19-20 мл/мин) и воздуха (160-180 мл/мин), подаваемых в подвижную горелку. Для вспомогательной горелки длина факела пламени должна составлять примерно 15 мм.

4. Включить электропитание и по регулируемому термоэлектрическому преобразователю задать величину термоЭДС, соответствующую ППТП 30 кВт/м<sup>2</sup>.

5. После достижения заданной величины термоЭДС установку выдержать в этом режиме не менее 5 мин.

6. Поместить экранирующую пластину на защитную плиту, заменить образец-имитатор на образец для испытания, включить механизм подвижной горелки, удалить экранирующую пластину и включить регистратор времени. Время проведения этих операций должно составлять не более 15 с.

7. По истечении 15 мин или при воспламенении образца испытание прекратить. Для этого поместить экранирующую пластину на защитную плиту, остановить регистратор времени и механизм подвижной горелки, удалить держатель с образцом и поместить на подвижную платформу образец-имитатор, убрать экранирующую пластину.

8. Повторить испытание при установленной ППТП еще на 2 образцах.

9. Установить величину ППТП 20 кВт/м<sup>2</sup>, если в предыдущем испытании зафиксировано воспламенение, или 40 кВт/м<sup>2</sup> при его отсутствии. Повторить операции по п. 5-7 на трех образцах.

10. Если при ППТП 20 кВт/м<sup>2</sup> зафиксировано воспламенение, уменьшить величину ППТП до 10 кВт/м<sup>2</sup> и повторить операции по п. 5-7 на трех образцах.

11. Если при ППТП 40 кВт/м<sup>2</sup> воспламенение отсутствует, установить величину ППТП 50 кВт/м<sup>2</sup> и повторить операции по п. 5-7 на трех образцах.

12. После определения двух величин ППТП, при одной из которых наблюдается воспламенение, а при другой – отсутствует, задать величину ППТП на  $5 \text{ кВт/м}^2$  больше той величины, при которой воспламенение отсутствует, и повторить операции по п. 5-7 на трех образцах. Если при ППТП  $10 \text{ кВт/м}^2$  зафиксировано воспламенение, то следующее испытание проводить при ППТП  $5 \text{ кВт/м}^2$ .

13. В зависимости от результатов испытаний по п. 12 величину ППТП увеличить на  $5 \text{ кВт/м}^2$  (при отсутствии воспламенения) или уменьшить на  $5 \text{ кВт/м}^2$  (при наличии воспламенения) и повторить операции по п. 5-7 на двух образцах.

Допускается смещение платформы относительно защитной плиты на расстояние не более 5 мм для материалов с высокой сжимаемостью (минераловатные плиты), а также материалов плавящихся, размягчающихся в процессе нагревания или усадке образца. При этом для выполнения этого требования устанавливают регулируемый стопор или используют прокладки из негорючего материала, размещаемые между платформой и защитной плитой.

### **Анализ результатов испытаний**

Для каждого испытанного образца фиксируют время воспламенения и следующие дополнительные наблюдения: время и место воспламенения; процесс разрушения образца под действием теплового излучения и пламени; плавление, вспучивание, расслоение, растрескивание, набухание либо усадка.

За величину КППТП принимают минимальное значение плотности теплового потока, при которой в течение 15 мин (900 с) происходит воспламенение образца. По величине КППТП присваивают материалу группу воспламеняемости в соответствии с ч. 7, ст. 13 [2] (табл. 6).

*Таблица 6. Группы воспламеняемости горючих строительных материалов*

Группа воспламеняемости	КППТП, $\text{кВт/м}^2$
В1 (трудновоспламеняемые)	Более 35
В2 (умеренновоспламеняемые)	от 20 до 35
В3 (легковоспламеняемые)	Менее 20

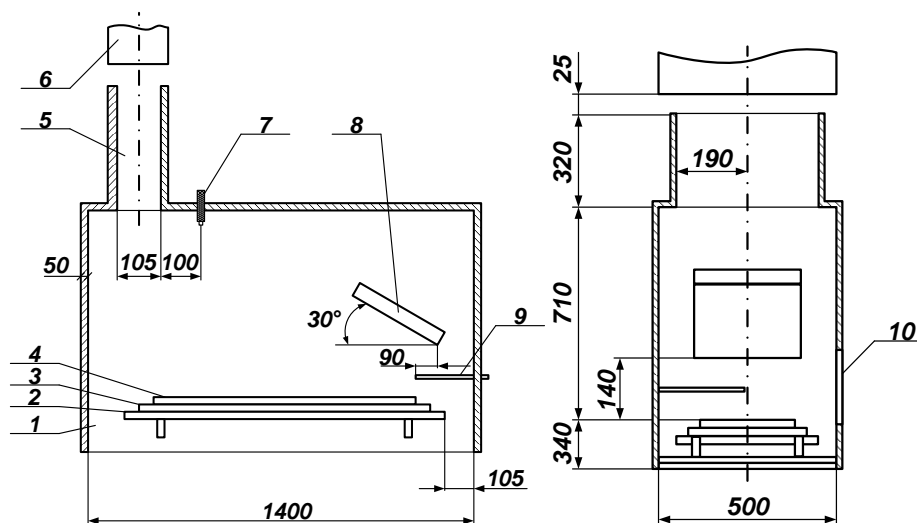
### **Испытание горючих строительных материалов для определения группы распространение пламени по поверхности**

Способность к распространению пламени по поверхности определяется для строительных материалов, используемых в поверхностных слоях конструкций полов и кровель, и осуществляется по ГОСТ Р 51032-97 «Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени» [5].

Сущность метода состоит в определении критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП), величину которой устанавливают по длине распространения пламени по образцу в результате воздействия теплового потока на его поверхность.

Длина распространения пламени ( $L$ ) – максимальная величина повреждения поверхности образца в результате распространения пламенного горения.

Критическая поверхностная плотность теплового потока (КППТП) – величина теплового потока, при которой прекращается распространение пламени. Общий вид и схема установки для испытаний на распространение пламени приведены на рис. 10.



**Рис. 10.** Установка для испытаний на распространение пламени «Полы»  
 1 – испытательная камера; 2 – платформа; 3 – держатель образца; 4 – образец;  
 5 – дымоход; 6 – вытяжной зонт; 7 – термопара; 8 – радиационная панель;  
 9 – газовая горелка; 10 – дверца со смотровым окном

Установка состоит из следующих основных частей:

- 1) испытательная камера с дымоходом;
- 2) источник лучистого теплового потока (радиационная панель);
- 3) источник зажигания (газовая горелка);
- 4) держатель образца и устройство для введения держателя в испытательную камеру (платформа).

Источником зажигания является газовая горелка. При испытании пламя газовой горелки должно касаться точки «ноль» («0») продольной оси образца.

Для испытаний изготавливают 5 образцов материала размером  $1100 \times 250$  мм. Образцы для стандартного испытания изготавливают в сочетании с негорючей основой. Способ крепления материала к основе должен соответствовать используемому в реальных условиях. В качестве негорючей основы следует применять асбестоцементные листы толщиной 10 или 12 мм. Толщина образца с негорючей основой должна составлять не более 60 мм. Образцы изготавливают с основой и креплением, соответствующими реальным условиям

применения в том случае, если техническая документация не предусматривает использование материала по негорючему основанию.

Кровельные мастики, а также мастичные покрытия пола следует наносить на основу в соответствии с технической документацией, но не менее чем в четыре слоя, при этом расход материала при нанесении на основу каждого слоя должен соответствовать принятому в технической документации. Образцы полов, которые применяются с лакокрасочными покрытиями, следует изготавливать с этими покрытиями, нанесенными в четыре слоя.

Образцы кондиционируют при температуре  $20 \pm 5$  °С и относительной влажности  $65 \pm 5$  % не менее 72 ч.

### Проведение испытания

Перед проведением испытаний необходимо провести калибровку установки в следующей последовательности.

1. При выключенной радиационной панели и газовой горелке помещают и жестко фиксируют в дымоходе анемометр так, чтобы его входное отверстие располагалось по оси дымохода на расстоянии  $70 \pm 10$  мм от верхнего края дымохода.

2. Закрепляют калибровочный образец в держателе и устанавливают его на платформу, вводят платформу в камеру и закрывают дверцу. Измеряют скорость потока воздуха и устанавливают ее в пределах от 1,1 до 1,34 м/с, после чего анемометр удаляют из дымохода.

3. Включают радиационную панель и прогревают камеру до достижения теплового баланса. Тепловой баланс считают достигнутым, если температура в камере изменяется не более чем на 7 °С в течение 10 мин.

4. Устанавливают в контрольные точки  $L_1$ ,  $L_2$  и  $L_3$  (рис. 11) приемник теплового излучения так, чтобы поверхность чувствительного элемента совпала с верхней плоскостью калибровочного образца.

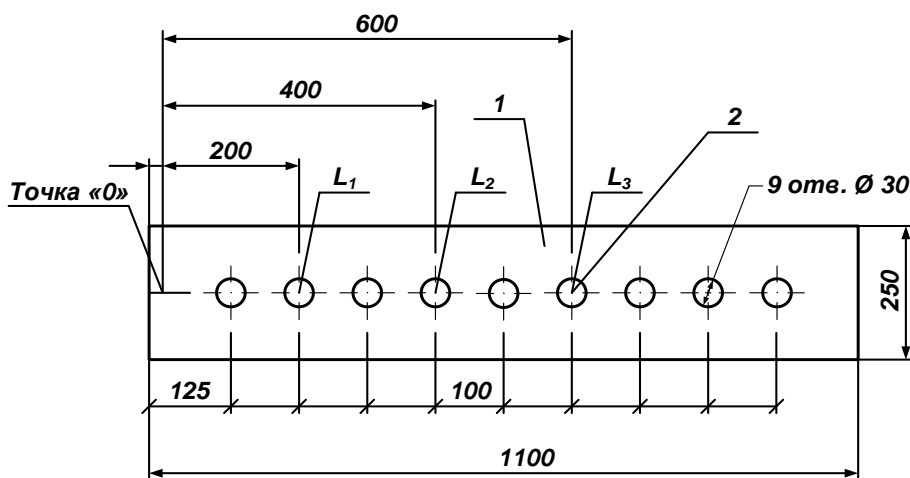


Рис. 11. Расположение контрольных точек на калибровочном образце:

1 – образец; 2 – контрольные точки



5. Определяют показания приемника теплового излучения в каждой точке. Величины ПТП должны соответствовать значениям, указанным в табл. 7. При несоответствии измеренной величины ПТП регулируют мощность радиационной панели для достижения теплового баланса и повторяют измерения ПТП.

Таблица 7. Распределение тепловых потоков на поверхности образца

Контрольная точка	ПТП, кВт/м <sup>2</sup>
L <sub>1</sub>	9,1 ± 0,8
L <sub>2</sub>	5,0 ± 0,4
L <sub>3</sub>	2,4 ± 0,2

6. Проводят измерения ПТП в точках, расположенных на расстоянии 100, 300, 500, 700, 800 и 900 мм от точки «0» (см. рис. 11). По результатам калибровки строят график распределения величин ПТП по длине образца (рис. 12).

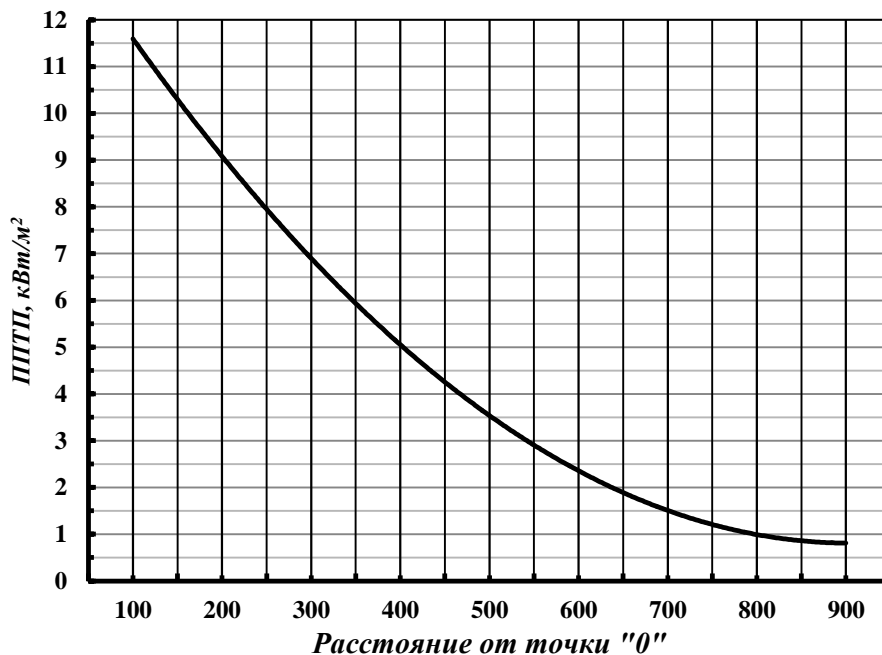


Рис. 12. График распределения ПТП в испытательной установке

После проверки соответствия скорости расхода воздуха в дымоходе и величин тепловых потоков в контрольных точках проводят испытание.

Последовательность действий при проведении испытания.

1. Включить радиационную панель и прогреть камеру до достижения теплового баланса.

2. Открыть дверцу камеры, зажечь газовую горелку и расположить ее так, чтобы расстояние между факелом пламени и экспонируемой поверхностью составляло не менее 50 мм.

3. Установить образец в держатель, зафиксировать его положение с помощью приспособлений для крепления, поместить держатель с образцом на платформу и ввести в камеру.

4. Закрыть дверцу камеры и включить секундомер. После выдержки в течение 2 мин привести пламя горелки в контакт с образцом в точке «0». Оставить факел пламени в этом положении в течение  $10 \pm 0,2$  мин. По истечении этого времени вернуть горелку в исходное положение.

5. При отсутствии воспламенения образца в течение 10 мин испытание считают законченным. В случае воспламенения образца испытание заканчивают при прекращении пламенного горения или по истечении 30 мин от начала воздействия на образец газовой горелки путем принудительного гашения.

6. После окончания испытания открыть дверцу камеры, выдвинуть платформу, извлечь образец. Испытание каждого последующего образца проводят после охлаждения держателя образца до комнатной температуры и проверки соответствия ППП в точке  $L_2$  требованиям.

7. Измерить с точностью до 1 мм длину поврежденной части каждого образца по его продольной оси. Повреждением считается выгорание и обугливание материала образца в результате распространения пламенного горения по его поверхности. Оплавление, коробление, спекание, вспучивание, усадка, изменение цвета, формы, нарушение целостности образца (разрывы, сколы поверхности и т.п.) повреждением не являются.

### Анализ результатов испытаний

Длину распространения пламени определяют как среднее арифметическое значение по длине поврежденной части пяти образцов.

Величину КППТ устанавливают по графику распределения ППП, полученному при калибровке установки (см. рис. 12), на основании результатов измерения длины распространения пламени по поверхности образца. При отсутствии воспламенения образцов или длине распространения пламени менее 100 мм следует считать, что КППТ материала составляет более  $11 \text{ кВт/м}^2$ .

Для материалов с анизотропными свойствами при классификации используют наименьшую из полученных величин КППТ.

Горючие строительные материалы в соответствии с ч. 8, ст. 13 [2] в зависимости от величины КППТ подразделяют на четыре группы распространения пламени: РП1, РП2, РП3, РП4 (табл. 8).

Таблица 8. Классификация строительных материалов по распространению пламени по поверхности

Группа распространения пламени	Критическая поверхностная плотность теплового потока, $\text{кВт/м}^2$
РП1 (нераспространяющие)	более 11
РП2 (слабораспространяющие)	не менее 8, но не более 11
РП3 (умереннораспространяющие)	не менее 5, но менее 8
РП4 (сильнораспространяющие)	менее 5,0

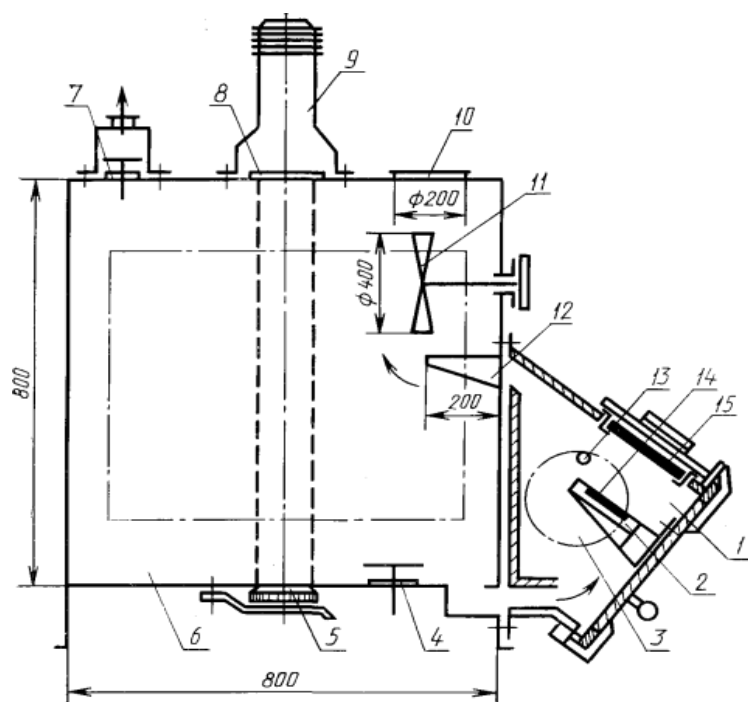
## Испытание горючих строительных материалов для определения группы дымообразующей способности

Группа дымообразующей способности строительных материалов устанавливается в зависимости от значения коэффициента дымообразования, который определяется экспериментально по п. 4.18 [6].

Сущность метода заключается в определении оптической плотности дыма, образующегося при горении или тлении известного количества материала.

Испытания проводятся на установке для определения коэффициента дымообразования «Дым» (см. рис. 13).

В камере сгорания вместимостью  $3 \times 10^{-3} \text{ м}^3$  установлены электронагревательная панель и держатель образца. Также в камере сгорания имеются верхнее и нижнее отверстия, соединяющие ее с камерой измерений.



**Рис. 13.** Схема установки для определения коэффициента дымообразования «Дым»  
1 – камера сгорания; 2 – держатель образца; 3 – окно из кварцевого стекла;  
4, 7 – клапаны продувки; 5 – приемник света; 6 – камера измерений;  
8 – кварцевое стекло; 9 – источник света; 10 – предохранительная мембрана;  
11 – вентилятор; 12 – направляющий козырек; 13 – запальная горелка; 14 – вкладыш;  
15 – электронагревательная панель

В камере измерений размерами  $800 \times 800 \times 800$  мм в верхней стенке имеются клапан продувки, источник света и предохранительная мембрана, на боковой стенке установлен вентилятор, на передней стенке имеется дверца с уплотнением, в днище камеры расположены приемник света и клапан продувки.

Фотометрическая система, состоящая из источника и приемника света обеспечивает измерение светового потока в рабочем диапазоне светопропускания от 2 до 90 % с погрешностью не более 10 %.

Для испытаний готовят 10-15 образцов размерами 40×40 мм и фактической толщиной, но не более 10 мм (для образцов пенопластов допускается толщина до 15 мм).

Подготовленные образцы перед испытанием выдерживают при температуре  $20 \pm 2$  °С не менее 48 ч, затем взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Образцы должны характеризовать средние свойства исследуемого материала.

### **Проведение испытания**

Испытание образцов проводят в двух режимах: в режиме тления и в режиме горения с использованием газовой горелки (длина пламени горелки 10–15 мм).

Последовательность действий при проведении испытания.

1. Включить электропитание установки в таком режиме, чтобы плотность теплового потока, падающего на образец, составляла 35 кВт/м<sup>2</sup>. Контролировать плотность падающего теплового потока с помощью теплоприемника типа Гордона с погрешностью не более 8 %.

2. Включить источник и приемник света. Установить начальное значение светопропускания, соответствующее верхнему пределу измерений регистрирующего прибора и принимаемому за 100 %.

3. Подготовленный образец поместить в лодочку из нержавеющей стали. Открыть дверцу камеры сгорания и без задержки установить лодочку с образцом в держатель, после чего дверцу закрыть.

Испытание прекращают при достижении минимального значения светопропускания. Допускается уменьшать длину пути луча света (расстояние между источником и приемником света) либо изменять размеры образца в случае, когда минимальное значение светопропускания выходит за пределы рабочего диапазона или находится вблизи его границ. В случае самовоспламенения образца при испытаниях в режиме тления последующие испытания проводят при уменьшенном на 5 кВт/м<sup>2</sup> значении плотности теплового потока. При этом плотность теплового потока снижают до тех пор, пока не прекратится самовоспламенение образца во время испытания.

4. По окончании испытания лодочку с остатками образца вынуть из камеры сгорания. Установку вентилировать в течение 3-5 мин, но не менее чем требуется для достижения исходного значения светопропускания в камере измерений.

Защитные стекла фотометрической системы протирают тампоном из мягкой ткани, слегка смоченным этиловым спиртом, в том случае если не достигается начальное значение светопропускания.

В каждом режиме испытывают по 5 образцов.

## Анализ результатов испытаний

Коэффициент дымообразования ( $D_m$ ) в  $\text{м}^2/\text{кг}$  вычисляют по формуле:

$$D_m = \frac{V}{L \times m} \ln \frac{T_0}{T_{\min}}, \quad (2.4)$$

где  $V$  – вместимость камеры измерения,  $\text{м}^3$ ;

$L$  – длина пути луча света в задымленной среде,  $\text{м}$ ;

$m$  – масса образца,  $\text{кг}$ ;

$T_0, T_{\min}$  – соответственно значения начального и конечного светопропускания, %.

Для каждого режима испытаний определяют коэффициент дымообразования как среднее арифметическое по результатам пяти испытаний, при этом за коэффициент дымообразования материала принимают большее значение, вычисленное для двух режимов испытания.

В соответствии с ч. 9, ст. 13 [2] горючие строительные материалы в зависимости от значения коэффициента дымообразования подразделяются на следующие группы: Д1, Д2, Д3 (табл. 9).

Таблица 9. Классификация строительных материалов по дымообразующей способности

Группа дымообразующей способности	Коэффициента дымообразования, $\text{м}^2/\text{кг}$
Д1 (малая дымообразующая способность)	менее 50
Д2 (умеренная дымообразующая способность)	от 50 до 500
Д3 (высокая дымообразующая способность)	более 500

### Испытание горючих строительных материалов для определения группы токсичности продуктов горения

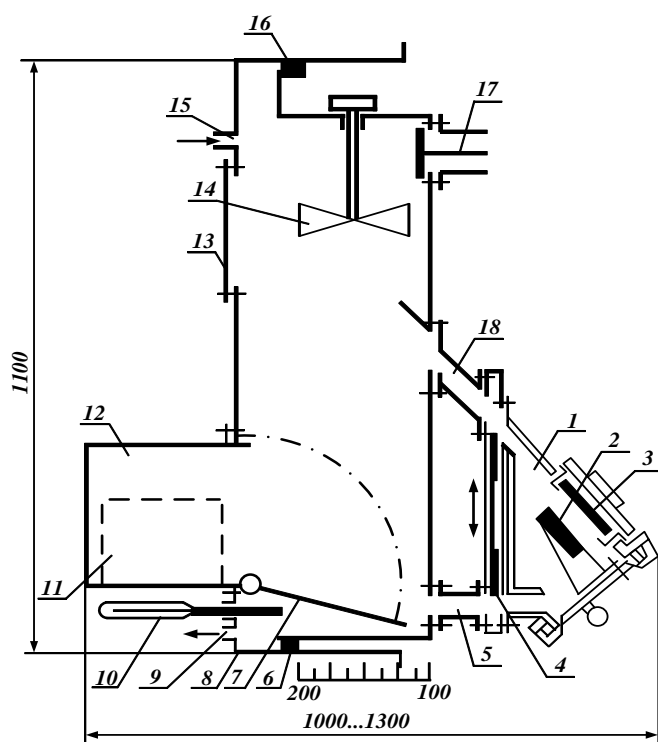
Группа токсичности продуктов горения строительных материалов устанавливается в зависимости от значения **показателя токсичности продуктов горения  $H_{CL50}$  ( $\text{г}/\text{м}^3$ )**, характеризующего отношение массы материала к объему замкнутого пространства, в котором образующиеся при горении материала газообразные продукты вызывают гибель 50 % подопытных животных (белых мышей).

Экспериментальное определение показателя токсичности продуктов горения осуществляют по п. 4.20 [6].

Сущность метода заключается в сжигании исследуемого материала в камере сгорания при заданной плотности теплового потока и выявлении зависимости летального эффекта газообразных продуктов горения от массы материала, отнесенной к единице объема экспозиционной камеры.

## Описание установки «Токсичность»

Установка включает в себя следующие элементы (рис. 14).



**Рис. 14.** Схема установки «Токсичность»

- 1 – камера сгорания; 2 – держатель образца; 3 – электроннагревательный излучатель; 4 – заслонки;
- 5, 18 – переходные рукава;
- 6 – стационарная секция экспозиционной камеры; 7 – дверца предкамеры; 8 – подвижная секция экспозиционной камеры;
- 9, 15 – штуцеры; 10 – термометр;
- 11 – клетка для подопытных животных; 12 – предкамера; 13 – предохранительная мембрана; 14 – вентилятор;
- 16 – резиновая прокладка;
- 17 – клапан продувки

Камера сгорания вместимостью  $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$  соединена с экспозиционной камерой переходными рукавами. В камере установлен экранированный электроннагревательный излучатель и держатель образца.

Держатель образца выполнен в виде металлической рамки, в которой закреплен асбоцементный поддон, который имеет углубление для размещения вкладыша с образцом материала. Для наблюдения за образцом при испытаниях на боковой стенке камеры сгорания имеется окно из кварцевого стекла.

Экспозиционная камера состоит из стационарной и подвижной секций. В верхней части камеры находится вентилятор перемешивания продуктов горения. Перемещение подвижной секции позволяет изменять объем экспозиционной камеры от 0,1 до 0,2  $\text{м}^3$ .

Предкамера для размещения клетки с мышами оборудована наружной и внутренней дверцами и смотровым окном.

Для непрерывного контроля состава газовой среды в экспозиционной камере используют газоанализаторы оксида углерода, диоксида углерода и кислорода.

Для контроля плотности теплового потока используются водоохлаждаемый датчик и регистрирующий прибор.

Для испытаний готовят не менее 10 образцов размерами 40×40 мм фактической толщины, но не более 10 мм. Образцы кондиционируют в лабораторных условиях не менее 48 ч и затем взвешивают с погрешностью не более 0,1 г. Они должны характеризовать средние свойства исследуемого материала.

### Порядок проведения испытания

При проведении основных испытаний материалы исследуют в одном из двух режимов – термоокислительного разложения (тления) и пламенного горения, а именно в режиме, способствующем выделению более токсичных смесей летучих веществ. После выбора наиболее токсичного режима находят ряд значений для построения зависимости токсического действия продуктов горения от величины отношения массы образца к объему установки. Для получения токсических эффектов ниже и выше уровня 50 % летальности изменяют объем экспозиционной камеры при постоянных размерах образцов материалов. При определении токсического эффекта учитывают гибель животных, наступившую во время экспозиции, а также в течение последующих 14 суток.

В каждом опыте используют не менее 8 белых мышей массой  $20 \pm 2$  г. Продолжительность экспозиции составляет 30 мин. В отдельных случаях по требованию заказчика время экспозиции может быть изменено в пределах от 5 до 60 мин. Температура воздуха в предкамере за время экспозиции не должна превышать 30 °С, а концентрация кислорода должна быть не менее 16 % об.

При проведении испытаний предусматривают следующий порядок.

1. Накачать воздух в надувную прокладку до давления 0,6 МПа, проверить заземление установки, исправность приборов и оборудования, эффективность вентиляции. Подать воду для охлаждения излучателя, после чего включить его на соответствующее напряжение. Заслонки переходных рукавов, клапан продувки, дверца камеры сгорания находятся в положении «закрывается».

2. Взвешенный образец материала поместить, а при необходимости закрепить во вкладыше, имеющем комнатную температуру. Клетку с животными установить в предкамере, наружную дверцу которой закрыть.

3. С момента выхода электронагревательного излучателя на стабилизированный режим (через 3 мин после включения) открыть заслонки переходных рукавов и дверцу камеры сгорания. Вкладыш с образцом без задержки поместить в держатель образца, после чего дверцу камеры сгорания быстро закрыть. Отметить время начала экспозиции животных в токсической среде.

4. По достижении максимальных значений концентрации CO и CO<sub>2</sub> в экспозиционной камере заслонки переходных рукавов закрыть. Снять напряжение с нагревательного элемента излучателя. Включить на 2 мин вентилятор перемешивания.

5. Через 30 мин с начала экспозиции животных открыть клапан продувки, заслонки переходных рукавов и наружную дверцу предкамеры. Установку вентилировать не менее 10 мин.

6. Извлечь клетку из предкамеры и зарегистрировать число погибших и выживших животных. При определении токсического эффекта учитывают гибель животных, наступившую во время экспозиции, а также в течение последующих 14 суток.

7. Если количество погибших мышей менее 50 %, уменьшают объём экспозиционной камеры, а если больше 50 % – увеличивают, и повторяют испытания до получения 50 % гибели мышей.

В случае определения показателя токсичности продуктов горения при условии кратковременной (5-20 мин) экспозиции затравку животных начинают с момента достижения максимальных значений концентрации CO и CO<sub>2</sub>, но не позднее чем через 15 мин после разложения образца.

Для оценки вклада оксида углерода в токсический эффект измеряют содержание карбоксигемоглобина в крови подопытных животных.

Если масса образца принятых размеров 40×40 мм не позволяет получить эффекты меньше или больше уровня летальности 50 %, допускается уменьшить размеры образца или увеличить их до 80×80 мм и толщину до 20 мм.

### Анализ результатов испытаний

Оценку показателя токсичности продуктов горения  $H_{CL50}$  (г/м<sup>3</sup>) проводят путем определения средней смертельной концентрации вещества, вызывающую гибель 50 % мышей. Расчет средней смертельной концентрации может производиться по методу Першина, позволяющему вычислить  $H_{CL50}$  при разных интервалах между выбранными концентрациями:

$$H_{CL50} = \frac{\Sigma[(a+b) \cdot (k-n)]}{200}, \quad (2.5)$$

где  $a, b$  – величины смежных испытанных концентраций, г/м<sup>3</sup>;

$k, n$  – соответствующие этим концентрациям частоты смертельных исходов, %.

При расчете по формуле Першина составляется специальная таблица, облегчающая проведение расчетов (табл. 10).

Таблица 10. Таблица для расчета  $H_{CL50}$  по формуле Першина

Фиксируемые характеристики		Концентрации, при которых проводится затравка мышей $H_{CL}$ , г/м <sup>3</sup>					
		...	...	...	...	...	...
погибшие мыши	число						
	%						
$(a + b)$ , г/м <sup>3</sup>							
$(k - n)$ , %							
$(a + b) \times (k - n)$							



Концентрации  $H_{CL}$  определяются по формуле:

$$H_{CL} = \frac{m}{V_{50}}, \quad (2.6)$$

где  $m$  – масса образца, г;

$V$  – объем экспозиционной камеры установки, при котором наступает гибель мышей,  $m^3$ .

При необходимости определить классификационные параметры для других значений времени экспозиции их вычисляют по формуле:

$$H_{CL50} = \frac{CL_{50}CO}{gCO}, \quad (2.7)$$

где  $CL_{50}CO$  – средняя смертельная концентрация оксида углерода в  $mg/m^3$ , которую вычисляют по уравнению:

$$CL_{50}CO = 4502 + 22292\tau^{-1}, \quad (2.8)$$

где  $\tau$  – время экспозиции, мин.

$gCO$  – уровень выделения CO при сгорании условно «эталонных» материалов: для чрезвычайно опасных – больше 360 мг/г, высокоопасных 120-360 мг/г, умеренноопасных 40-120 мг/г, малоопасных-до 40 мг/г.

Если значения  $H_{CL50}$ , полученное в результате испытания материала, близко к граничному значению двух классов, то при определении степени опасности материала принимают во внимание режим испытания, время разложения образца, данные о составе продуктов горения, сведения о токсичности обнаруженных соединений.

При содержании карбоксигемоглобина в крови подопытных животных 50 % и более считают, что токсический эффект продуктов горения обуславливается в основном действием оксида углерода.

Согласно ч. 10, ст. 13, табл. 2 [2] горючие строительные материалы в зависимости от значения показателя токсичности продуктов горения подразделяются на следующие группы: T1, T2, T3, T4 (табл. 11).

**Таблица 11. Классификация строительных материалов по токсичности продуктов горения**

Класс опасности	$H_{CL50}$ , $г/м^3$ , при времени экспозиции, мин			
	5	15	30	60
Малоопасные (T1)	более 210	более 150	более 120	более 90
Умеренноопасные (T2)	70-210	50-150	40-120	30-90
Высокоопасные (T3)	25-70	17-50	13-40	10-30
Чрезвычайно опасные (T4)	не более 25	не более 17	не более 13	не более 10

## **Темы докладов и рефератов**

1. Классификация веществ и материалов (за исключением строительных, текстильных и кожевенных материалов) по пожарной опасности.
2. Классификация строительных, текстильных и кожевенных материалов по пожарной опасности.
3. Методы определения показателей пожарной опасности строительных материалов.
4. Определение показателей пожарной опасности строительных материалов.
5. Методы исследования механических характеристик строительных материалов при их нагревании.
6. Сертификация строительных материалов по пожарной опасности.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Что понимается под пожарной опасностью веществ и материалов?
2. Какими свойствами характеризуется пожарная опасность строительных материалов?
3. На какие группы по горючести подразделяются горючие строительные материалы?
4. На какие группы по воспламеняемости подразделяются горючие строительные материалы?
5. На какие группы по дымообразующей способности подразделяются горючие строительные материалы?
6. На какие группы по скорости распространения пламени по поверхности подразделяются горючие строительные материалы?
7. На какие группы по токсичности продуктов горения подразделяются горючие строительные материалы?
8. Что является параметрами воспламеняемости при испытаниях горючих материалов на воспламеняемость?
9. На чем основана классификация строительных материалов по пожарной опасности?
10. Какая установка используется для испытаний строительных материалов на негорючесть, особенности ее конструкции?
11. В зависимости от каких параметров определяется группа горючести строительных материалов?
12. В зависимости от какого параметра устанавливают группу токсичности продуктов горения строительных материалов, как он определяется?

## Контрольные тесты главы 2

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Вариант ответа
1	Метод испытания материалов для определения их групп горючести применяют для:	однородных горючих строительных материалов
		слоистых горючих строительных материалов
		однородных и слоистых горючих строительных материалов
2	На чем основана классификация строительных, кожевенных и текстильных материалов по пожарной опасности?	на свойствах веществ и материалов и способности к образованию опасных факторов пожара или взрыва
		на свойствах веществ и материалов и способности к образованию опасных факторов пожара
		на свойствах веществ и материалов
3	Строительные материалы характеризуются:	огнестойкостью
		пожарной опасностью
		огнестойкостью и пожарной опасностью
4	По горючести строительные материалы подразделяются на:	негорючие
		трудногорючие
		горючие
5	Метод испытания на воспламеняемость устанавливается по:	ГОСТ 30244-94
		ГОСТ 30402-96
		ГОСТ Р 51032-97

## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Фёдоров В.С., Левитский В.Е., Молчадский И.С., Александров А.В.* Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций/ В.С. Фёдоров, В.Е. Левитский, И.С. Молчадский, А.В. Александров. М.: АСВ. 2009. 408 с.

### дополнительная

2. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

3. ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть».

4. ГОСТ 30402-96 «Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость».

5. ГОСТ Р 51032-97 «Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени».

6. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

### Глава 3. Поведение каменных материалов в условиях пожара

*Цель: ознакомить обучающихся с основами поведения природных и искусственных каменных строительных материалов при пожаре и воздействии высоких температур.*

#### 3.1. Основные виды и характерные свойства каменных материалов, применяемых в строительстве

Для прогнозирования и регулирования поведения каменных материалов в условиях пожара необходимо знать их происхождение (сущность технологии изготовления), состав, структуру, свойства, т.е. комплекс внутренних факторов, влияющих на поведение материала в условиях пожара. Учитывая, что ряд искусственных каменных материалов (например, тяжелый бетон) могут представлять собой композицию из неорганического вяжущего вещества и заполнителя в виде измельченной горной породы, их поведение в условиях пожара будет зависеть как от индивидуального поведения составляющих их компонентов, так и от их взаимодействия. Поэтому представляется целесообразным лишь после ознакомления с отдельными простыми материалами и их поведением в условиях пожара рассмотреть более сложные материалы – конгломераты.

Природные (естественные) каменные материалы получают из недр земли путем добычи и обработки горных пород, придавая определенную форму и рациональные размеры, но, не изменяя их внутреннего строения, состава, а, следовательно, и свойств. Горные породы состоят из породообразующих минералов.

Минералами называют неорганические природные вещества. К числу главных породообразующих минералов относятся кремнезем, глинозем, алюмосиликаты, железисто-магнезиальные силикаты, карбонаты, сульфаты.

Кремнезем ( $\text{SiO}_2$ ) встречается в виде кварца, который входит в состав горных пород (гранита, пемзы, кварцевого песка и др.).

Кварц способен при повышении температуры претерпевать модификационные (структурные) изменения.

Глинозем ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) встречается в виде корунда. Корунд имеет высокую температуру плавления ( $2020^\circ\text{C}$ ) и используется для получения высокоогнеупорных материалов. Глинозем встречается в виде химических соединений с водой, с кремнеземом и другими оксидами, например, диаспор моногидрат глинозема  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$  входит в состав бокситов, используемых как сырье для производства глиноземистого цемента и алюминия.

Алюмосиликаты – соединения глинозема и кремнезема с другими веществами образуют, в частности, полевые шпаты: калиевый полевой шпат, натриевый полевой шпат, кальциевый полевой шпат. Они встречаются в

свободном состоянии, а также входят в состав горных пород, например, гранита, базальта. Применяют полевые шпаты в качестве облицовочного камня.

Слюды – водные алюмосиликаты, например, калиевая слюда (мусковит), железисто-магнезиальная слюда (биотит). В результате окисления и гидратации биотита образовался вермикулит (гидрослюда), при нагревании и дегидратации увеличивается в объеме в 18-25 раз. Это свойство используют при производстве теплоизоляционных материалов, огнезащитной силикатной краски СКЛ. Каолинит – это водный алюмосиликат, основной компонент глин.

Железисто-магнезиальные силикаты. Представитель их – оливин, который преобразовался в серпентинит; одна из его разновидностей, хризотиласбест, имеет волокнистое строение. Хризотиласбест используют в асбестоцементной промышленности и в производстве теплоизоляционных материалов.

Карбонаты. Важнейший минерал этой группы – кальцит  $\text{CaCO}_3$ , является основой горных пород: известняка, мергеля, мрамора.

Сульфатные минералы (сульфаты). Наиболее распространенный представитель – гипс.

### **Основные виды горных пород**

Горными породами называют природные композиции минералов приблизительно постоянного минералогического и химического составов, образующие самостоятельные геологические тела, составляющие земную кору.

Различают мономинеральные горные породы, состоящие из одного минерала, и полиминеральные горные породы, состоящие из нескольких минералов.

По геологическому происхождению горные породы делятся на три группы: первичные (или изверженные), вторичные (или осадочные), метаморфические. Эти группы делятся на ряд подгрупп.

Изверженные горные породы (гранит, базальт и др.) образовались в результате вулканической деятельности из застывшей магмы. Гранит – это полиминеральная горная порода, состоящая из калиевого полевого шпата (47-50%), кварца (20-40%), слюды (5-20%).

Базальт состоит из полевых шпатов (до 50%), оливина и небольших вкраплений вулканического стекла.

При извержениях вулканов вместе с расплавленной магмой выбрасывается большое количество рыхлого и порошкообразного материала – обломочные породы, которые в свою очередь делятся на рыхлые (вулканический пепел, пемза, перлит) и уплотненные (вулканический туф).

Пемза (пористость до 80%) состоит из кремнезема (до 70%) и глинозема (до 15%).

Перлит состоит из кремнезема. При нагреве до 1000-1200 °С увеличивается в объеме в 10-20 раз, в связи с чем применяют для теплоизоляционных материалов.

Вулканический туф образовался в результате уплотнения вулканического пепла ( $\lambda = 0,21-0,33 \text{ Вт/м } ^\circ\text{C}$ ).

Осадочные горные породы образовались в результате разрушения первичных горных пород: глины, песка, гравия, песчаника, гипса, известкового туфа, мела, мергеля.

Глина образовалась из калиевого полевого шпата. Она состоит из каолинита с примесями.

Песок образовался в результате разрушения различных горных пород.

Гипс – горная порода, состоящая из минерала того же названия.

Известняк – мономинеральная горная порода, состоящая главным образом из кальцита  $\text{CaCO}_3$ .

Мергели – природная смесь известняка и глины – готовое сырье для производства портландцемента. Содержит 50-80%  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{MgCO}_3$ , от 20 до 50% глин.

Метаморфические горные породы образовались в результате изменений изверженных и осадочных горных пород под высоким давлением и температуры, имеют высокую объемную массу и прочность, например, мрамор, образовавшийся из известняков.

Достоинствами природных каменных материалов являются высокая прочность, долговечность, водостойкость и морозостойкость, хорошие декоративные качества. К недостаткам можно отнести малое временное сопротивление растяжению и изгибу, большая объемная масса. Указанные качества определяют область применения природных каменных материалов в строительстве.

### **Природные каменные материалы**

Природными каменными материалами называют материалы, полученные из различных горных пород путем механической их обработки.

Изверженные породы: граниты, базальты, сиениты, диориты, вулканические пемзы, туфы и др.

Осадочные породы: гипс, магнезит, доломит, известняк, мел, глины, пески, гравий, песчаники.

Метаморфические (видоизмененные) породы: кварциты, мраморы, глинистые сланцы.

### **Неорганические вяжущие вещества**

Неорганическими вяжущими веществами называются материалы, которые при затворении водой образуют пластичное тесто, способное в результате физико-химических процессов с течением времени затвердевать, т.е. переходить в твердое состояние. Вяжущие вещества используют для изготовления бетонов, строительных растворов, а также искусственных каменных материалов и изделий.

Воздушная известь. Является продуктом умеренного обжига кальциево-магниевого карбонатных горных пород – известняков, мела, доломитизированных и мергелистых известняков, содержащих не более 6% глинистых примесей. Применяется для строительных растворов в смеси с песком и др. заполнителями, в чистом виде.

Строительный гипс является воздушным вяжущим веществом, получаемым путём термической обработки природного гипсового камня. Природный гипсовый камень состоит из минерала гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  и примесей кварца, неолита, кальцита. Используется в штукатурных растворах, предназначенных для внутренней отделки стен и потолков. Строительные изделия – панели, блоки, вентиляционные короба, облицовочные листы и др.

Портландцементом называется гидравлическое вяжущее вещество, получаемое путём тонкого измельчения клинкера и необходимого количества двуводного гипса. Последний применяется в целях регулирования сроков схватывания цемента. Клинкер получается в результате обжига до спекания сырьевой смеси надлежащего состава, обеспечивающего преобладание в нём силикатов кальция.

Портландцемент – наиболее широко применяемое в строительстве вяжущее вещество. Добавки составляют 10-15%.

Сырьём для портландцемента являются все виды известняков, мела. Второй компонент – глина, содержащая кремнезём  $\text{SiO}_2$ , глинозём  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и окись железа  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

Подготовленную смесь обжигают и измельчают в тонкий порошок. Марки цемента: 300, 400, 500, 600. Цементный камень, являясь капиллярно-пористым, содержит влагу, имеющую различные формы связи со скелетом камня. Помимо химически связанной воды в цементном камне может быть адсорбционно-связанная вода (полусвязанная), содержащаяся в геле, а также капиллярно связанная вода (заключенная в капиллярах).

### **Силикатные материалы**

В строительстве широко используют бесцементные изделия, в качестве вяжущего известь, гипс и т.д.

Основной вид силикатного кирпича – известково-песчаный. Изготавливается путём прессования смеси молотой известки-кипелки (8-10%), кварцевого песка (90-92%) и воды (около 7% от веса сухой смеси) с последующим запариванием в автоклавах. Прессование кирпича происходит под давлением  $150-200 \text{ кг/см}^2$  и обдаётся паром (175-190 °С).

### **Керамические материалы и изделия**

Керамическими называют материалы и изделия, получаемые формованием из глин с последующим их обжигом. Температура обжига 950-1300 °С.



Все керамические материалы подразделяются на:

- пористые (водопоглощение >5%);
- плотные (водопоглощение <5%).

Глины, керамические материалы и изделия по отношению к действию высоких температур делятся на легкоплавкие (температура размягчения <1350 °С), тугоплавкие (температура размягчения 1350-1580 °С), огнеупорные (температура размягчения > 1580 °С).

Керамзитовый гравий – гранулированный вспученный материал, получаемый при ускоренном обжиге легкоплавких глин. Используется как заполнитель для лёгких бетонов.

## Бетоны

Бетонами называются искусственные каменные материалы, получаемые в результате формования затвердевания бетонных смесей, состоящих из вяжущего, воды, мелкого и крупного заполнителей, взятых в определенных, заранее рассчитанных, соотношениях.

Бетоны классифицируются по ряду признаков:

- по основному назначению – конструкционные, специальные;
- по виду вяжущего – на основе цементных, силикатных, шлаковых и других вяжущих;
- по виду заполнителей – на плотные, пористые, и со специальными заполнителями;
- по структуре – плотной, крупнопористой, поризованной, ячеистой.

Для удобства введены сокращенные наименования основных видов бетона:

- тяжелый бетон – плотной структуры, на цементном вяжущем и плотных крупных и мелких заполнителях;
- легкий бетон – на цементном вяжущем, пористом крупном и пористом или плотном мелком заполнителе.

По средней плотности (D) бетоны классифицируются на:

- особо тяжелые – со средней плотностью более 2500 кг/м<sup>3</sup>;
- тяжелые – со средней плотностью 2200-2500 кг/м<sup>3</sup>;
- облегченные – со средней плотностью 1800-2200 кг/м<sup>3</sup>;
- легкие – со средней плотностью 500-1800 кг/м<sup>3</sup>;

Прочность бетона зависит от ряда факторов, основными из которых являются время и условия твердения; вид напряженного состояния; формы и размеры образцов, длительность нагружения.

Классом бетона по прочности на осевое сжатие В (МПа) называется временное сопротивление сжатию бетонных кубов с размером ребра 150 мм, испытанных через 28 дней хранения при температуре 20 ± 2 °С по ГОСТу с учетом статической изменчивости прочности.

Бетон применяют при производстве сборных и монолитных железобетонных конструкций.

## 3.2. Особенности поведения каменных материалов в условиях пожара

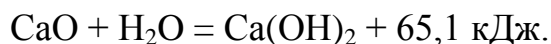
### Поведение известняка при нагревании

Известняк – мономинеральная горная порода, состоящая из минерала кальцита  $\text{CaCO}_3$ . Нагревание кальцита до  $600\text{ }^\circ\text{C}$  не вызывает значительных изменений минерала, а сопровождается лишь его равномерным расширением. Выше  $600\text{ }^\circ\text{C}$  (теоретическая температура  $910\text{ }^\circ\text{C}$ ) начинается диссоциация кальцита по реакции  $\text{CaCO}_3 = \text{CaO} + \text{CO}_2$ , в результате которой образуются углекислый газ (до 44% по массе от исходного материала) и рыхлый низкопрочный оксид кальция, что вызывает необратимое снижение прочности известняка. При испытании материала при нагреве, а также после нагрева и остывания в ненагруженном состоянии. При нагревании известняка до  $600\text{ }^\circ\text{C}$  происходит увеличение его прочности на 78% в связи с удалением физически связанной (свободной) влаги из микропор материала. Затем прочность снижается: при  $800\text{ }^\circ\text{C}$  она достигает первоначальной, а при  $1000\text{ }^\circ\text{C}$  прочность составляет всего 20% от начальной до нагрева.

Следует иметь в виду, что в процессе охлаждения большинства материалов после высокотемпературного нагрева продолжается изменение (чаще снижение) прочности. Снижение прочности известняка до первоначальной происходит после нагрева до  $700\text{ }^\circ\text{C}$  с последующим остыванием (в горячем состоянии до  $800\text{ }^\circ\text{C}$ ).

Поскольку процесс диссоциации  $\text{CaCO}_3$  протекает со значительным поглощением тепла ( $178,5\text{ кДж/кг}$ ), и образующийся при этом пористый оксид кальция обладает малой теплопроводностью, слой  $\text{CaO}$  создает на поверхности материала теплозащитный барьер, несколько замедляющий дальнейший прогрев известняка вглубь.

При контакте с водой при тушении пожара (либо влагой из воздуха после остывания материала) происходит реакция гидратации образовавшейся при высокотемпературном нагреве негашеной извести  $\text{CaO}$ . Причем эта реакция протекает и с остывшей известью



Образующийся гидроксид кальция увеличивается в объеме и является очень рыхлым и непрочным материалом, который легко разрушается.

### Поведение гранита при нагревании

Гранит – полиминеральная горная порода, состоящая из полевого шпата, кварца и слюды. Его поведение в условиях пожара будет во многом определяться поведением этих компонентов. Установлено, что график зависимости коэффициента изменения прочности гранита от температуры

можно условно разделить на несколько участков, отражающих характер проходящих в граните процессов.

После нагревания гранита до 200 °С и последующего остывания наблюдается увеличение прочности на 60%, связанное со снятием внутренних напряжений, возникших в период образования гранита в результате неравномерного охлаждения расплавленной магмы, и разницы величины коэффициентов температурного расширения минералов, составляющих гранит. Кроме того, увеличение прочности в некоторой степени также обусловлено удалением свободной влаги из микропор гранита.

При температуре выше 200 °С начинается постепенное снижение прочности, которое объясняется возникновением новых внутренних напряжений, связанных с различием коэффициентов термического расширения минералов.

Значительное снижение прочности гранита наступает выше 575 °С из-за изменения объема кварца, претерпевающего модификационное превращение ( $\beta$ -кварц в  $\alpha$ -кварц). При этом в граните невооруженным глазом можно обнаружить образование трещин. Однако, суммарная прочность гранита в рассмотренном температурном интервале еще остается высокой: при 630 °С предел прочности гранита равен начальному значению.

В диапазоне температур 750-800 °С и выше продолжается снижение прочности гранита за счет дегидратации и диссоциации минералов полевого шпата и слюды, а также модификационного превращения кварца из  $\alpha$ -кварца в  $\alpha$ -тридимит при 870 °С. При этом в граните образуются более глубокие трещины. Предел прочности гранита при 800 °С составляет всего 35% от первоначального значения. Установлено, что скорость прогрева оказывает влияние на изменение прочности гранита. Так, при быстром (одночасовом) нагреве прочность его начинает снижаться после 200 °С, в то время как после медленного (восьмичасового) – лишь с 350 °С.

Таким образом, можно сделать вывод, что известняк (мономинеральная горная порода) является более стойким к нагреванию материалом, чем гранит (полиминеральная порода). Известняк практически полностью сохраняет свою прочность после нагревания до 700 °С, гранит – до 630 °С и последующего остывания. Кроме того, известняк претерпевает значительно меньшее температурное расширение, чем гранит. Это важно учитывать при оценке поведения искусственных материалов в условиях пожара, в которые гранит и известняк входят в качестве заполнителей, например, бетона. Также следует учитывать, что после прогрева до высоких температур и последующего остывания природных каменных материалов их прочность не восстанавливается.

### **Поведение портландцементного камня при нагревании**

При нагреве портландцементного камня до 100-150 °С прочность может несколько снижаться, т.к. нагревающаяся в порах материала вода расширяется

и оказывает дополнительное давление на их стенки, что приводит к возникновению внутренних напряжений в материале, снижающих его прочность. При 200-300 °С прочность несколько увеличивается благодаря уплотнению структуры, вследствие удаления свободной воды из пор геля двухкальциевого силиката, и в результате ускоренного завершения кристаллизации гидроксида кальция. Выше 200-300 °С происходит накопление дефектов структуры, т.к. деформации гелеобразной части цементного камня и непрореагировавших с водой зерен портландцемента неодинаковы по знаку. Поэтому прочность камня начинает снижаться. При 240 °С начинается процесс дегидратации трехкальциевого гидроалюмината ( $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), а при 490-580 °С – гидроксида кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Дегидратация клинкерных минералов портландцемента происходит в диапазоне 240-1000 °С, что приводит к снижению прочности затвердевшего портландцементного камня.

Цементный камень при нагреве до 300 °С претерпевает положительные деформации, что можно объяснить температурным расширением, а до 100-150 °С – расширением влаги в его порах. Затем материал претерпевает усадку (отрицательные деформации сжатия) из-за удаления всех видов влаги из цементного камня.

### **Поведение бетона при нагревании**

Поскольку бетон является композиционным материалом, его поведение при нагреве зависит от поведения цементного камня, заполнителя и их взаимодействия. Ранее были рассмотрены по отдельности поведение при нагреве цементного камня, природных каменных материалов. Рассмотрим особенности взаимодействия компонентов бетона при нагреве. Одна из них – химическое соединение при нагреве до 200 °С гидроксида кальция с кремнеземом кварцевого песка (этому способствуют условия, аналогичные тем, что создают в автоклаве для быстрого твердения бетона: повышенное давление, температура, влажность воздуха). В результате такого соединения образуется дополнительное количество гидросиликатов кальция. Кроме того, при этих же условиях происходит дополнительная гидратация клинкерных минералов цементного камня. Все это способствует некоторому повышению прочности.

При нагреве бетона выше 200 °С возникают противоположно направленные деформации претерпевающего усадку вяжущего и расширяющегося заполнителя, что снижает прочность бетона наряду с деструктивными процессами, происходящими в вяжущем и заполнителе. Расширяющаяся влага при температурах от 20 до 100 °С давит на стенки пор. Фазовый переход воды в пар также повышает давление в порах бетона, что приводит к возникновению напряженного состояния, снижающего прочность. По мере удаления свободной воды прочность бетона может возрастать. При прогреве образцов бетона, заранее высушенных в сушильном шкафу при температуре 105-110 °С до постоянной массы, физически связанная вода

отсутствует, поэтому такого резкого снижения прочности в начале нагрева не наблюдается.

При остывании бетонов после нагрева прочность, как правило, практически соответствует прочности при той максимальной температуре, до которой образцы были нагреты. У отдельных видов бетона она несколько снижается при остывании за счет более длительного нахождения материала в нагретом состоянии, что способствовало более глубокому протеканию в нем негативных процессов. Деформативность бетона по мере прогрева увеличивается за счет увеличения его пластичности.

Строительные конструкции из тяжелого бетона (железобетона) склонны к взрывообразному разрушению при пожаре. Это явление наблюдается у конструкций, материал которых имеет влагосодержание выше критической величины при интенсивном подъеме температуры при пожаре. Чем плотнее бетон, тем ниже его паропроницаемость, больше микропор, тем он более склонен к возникновению такого явления, несмотря на более высокую прочность. Легкие и ячеистые бетоны с объемной массой ниже  $1200 \text{ кг/м}^3$  не склонны к взрывообразному разрушению.

Спецификой поведения легких и ячеистых бетонов, в отличие от поведения тяжелых бетонов при пожаре, является более длительное время прогрева вследствие их низкой теплопроводности.

### **Поведение железобетона при нагревании**

В железобетоне при высокотемпературном нагревании изменение деформационных свойств стали обуславливает особенности ее взаимодействия с бетоном. Развитие пластических деформаций ведет к уменьшению поперечного перерезу растянутой арматуры и, как следствие, к ослаблению ее контакта с бетоном. С повышением температуры железобетонных конструкций рост разницы коэффициентов температурной деформации бетона и стали вызывает дополнительные напряжения сдвига между ними. В бетоне коэффициент температурной деформации при нагревании уменьшается, а в стальной арматуре – увеличивается. Поэтому бетон, который окружает арматуру, растягивается в поперечном направлении, и в защитном слое появляются щели. При охлаждении свойства стали в значительной мере восстанавливаются, а бетона, напротив, продолжают ухудшаться из-за вторичного гашения, что определяет дополнительную потерю контакта между ними.

Свойства бетона и железобетона при влиянии высоких температур определяются поведением их составляющих: заполнителей цементного камня и стальной арматуры.

Бетон при нагревании изменяется в объеме и дает огневую усадку. Наибольшие значения огневой усадки наблюдаются при температурах порядка  $800-1200 \text{ }^\circ\text{C}$ . При нагревании появляются два вида температурных деформаций

бетона: температурное расширение (обратимая деформация) и усадка (необратимая деформация).

Наличие арматуры существенно влияет на температурные деформации железобетона. С ростом температуры нагревания арматурных сталеи изменяются их прочностные характеристики, снижается модуль упругости, увеличиваются температурные деформации, ползучесть и релаксация напряжений.

Арматурные стали характеризуются критической температурой, при нагревании выше которой под действием внешней нагрузки происходит постоянное нарастание деформаций. С ростом температуры нагревания снижается модуль упругости арматурных сталеи. Деформации стали, вызванные снижением модуля упругости и температурной ползучести, являются необратимыми.

При действии температуры снижается сцепление арматуры с бетоном. С ростом температуры происходит значительное уменьшение сцепления гладкой арматуры с бетоном. При 100 °С сцепление уменьшается почти на 30%, а при 500 °С оно нарушается полностью. Для горячекатаной арматуры периодического профиля в интервале температур до 250 °С сцепление с бетоном не снижается. При высших температурах сцепление уменьшается, а при 450 °С составляет 0,75 начального значения.

При пожаре в зданиях, где применяются бетонные и железобетонные конструкции, возможно хрупкое разрушение бетона. Разрушение бетона происходит внезапно, быстро и по этой причине является наиболее опасным.

Хрупкое разрушение бетона начинается, как правило, через 5-20 мин от начала огневого действия и проявляется как откалывание от поверхности конструкции кусков нагретого бетона в виде площадок приблизительно от 1 см<sup>2</sup> до 0,5-1 м<sup>2</sup> и толщиной от 1 мм до 5 см. Разрушение бетона может продолжаться на протяжении всего огневого действия до полного разрушения конструкции. При хрупком разрушении бетона возможен разлет кусков весом до нескольких килограммов на расстояние до 10-20 м.

Уменьшение толщины или откалывание защитного слоя несущей арматуры в железобетонных балках приводит к быстрому прогреванию этой арматуры до критической температуры (500-700 °С) и разрушению конструкции.

Поскольку бетон и железобетон являются композиционными материалами, их поведение при нагреве зависит от поведения цементного камня, заполнителя и их взаимодействия.

## **Темы докладов и рефератов**

1. Основные виды и характерные свойства каменных материалов, применяемых в строительстве.
2. Основные процессы и особенности поведения каменных материалов при нагреве.
3. Особенности влагопереноса и влияние физически и химически связанной воды на структуру каменных материалов.
4. Изменение механических и теплофизических свойств каменных материалов в процессе нагревания.
5. Совместное влияние тепловлагопереноса и механических нагрузок на поведение каменных материалов в условиях пожара.
6. Сравнительная оценка поведения различных видов каменных материалов в условиях пожара.
7. Способы повышения стойкости каменных материалов к воздействию пожара.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Что такое известняк (дайте определение)?
2. Какое явление наблюдается после нагревания гранита до 200 °С и последующего остывания (что происходит с материалом)?
3. Что такое гранит (дайте определение)?
4. Какое явление наблюдается после нагревания бетона выше 200 °С и последующего остывания (что происходит с материалом)?
5. Что такое бетон (дайте определение)?
6. Какое явление наблюдается при нагревании известняка до 600 °С (что происходит с материалом)?
7. Что такое портландцементный камень (дайте определение)?
8. Назовите достоинства природных и искусственных каменных материалов, применяемых в строительстве?
9. Назовите недостатки природных и искусственных каменных материалов, применяемых в строительстве?
10. Какие материалы называют природными каменными?
11. Что относят к осадочным горным породам?

### Контрольные тесты главы 3

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Вариант ответа
1	Мономинеральные горные породы состоят из:	из одного минерала
		из двух минералов
		из нескольких минералов
2	Известняк – это:	мономинеральная горная порода
		полиминеральная горная порода
		искусственный каменный материал
3	Гранит – это:	мономинеральная горная порода
		полиминеральная горная порода
		искусственный каменный материал
4	Бетон – это:	мономинеральная горная порода
		полиминеральная горная порода
		искусственный каменный материал
5	Является ли известняк (мономинеральная горная порода) более стойким к нагреванию материалом, чем гранит (полиминеральная порода)?	да
		нет
		оба материала имеют равную стойкость к нагреванию



## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Ройтман В.М., Серков Б.Б. Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.

2. *Киреева Ю.И.* Современные строительные материалы и изделия / Ю. И. Киреева. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 256 с.: ил.

3. *Корольченко А.Я., Трушкин Д.В.* Пожарная опасность строительных материалов. Учебное пособие. / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. М.: Пожнаука, 2005. 232 с.: ил.

4. *Основин В.Н. Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.

5. *Рыженко В.И.* Гипсокартон и другие современные строительные материалы. Технология работ / В.И. Рыженко. М.: Оникс. 2010. 224 с.: ил.

### дополнительная

6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

## **Глава 4. Поведение древесины и материалов на ее основе в условиях пожара**

*Цель: ознакомить обучающихся с основами поведения древесины и древесных материалов в условиях воздействия высоких температур, показателями пожарно-технических характеристик строительных материалов на основе древесины.*

### **4.1. Область использования древесины и материалов на ее основе в современном строительстве**

В связи с большими запасами древесины на территории нашей страны она издавна является одним из распространенных строительных материалов. Большой размах строительства требовал перехода к индустриальным методам изготовления деревянных конструкций. Наиболее выгодно применять деревянные конструкции в тех случаях, когда полностью используются такие качества древесины, как ее стойкость в агрессивной среде, малая объемная масса и возможность механизации работ по обработке древесины.

Практика применения деревянных конструкций показала, что в зданиях с агрессивной средой эти конструкции служат в 4-5 раз дольше, чем железобетонные. При этом расход металла снижается в 2-3 раза, а трудоемкость работ и сроки строительства – в 1,5 раза. Эти положительные качества древесины как конструкционного материала и определяют область применения деревянных конструкций в отечественном строительстве, в частности: строительство зданий сельскохозяйственного назначения; складов минеральных удобрений; промышленных зданий с повышенной агрессивностью среды, большепролетных зданий общественного назначения: малоэтажных, каркасных и щитовых домов.

Для производства деревянных конструкций используется, в основном, древесина сосны и ели, а клефанерные конструкции изготавливаются с применением водостойкой фанеры, выполненной из березового шпона. В зависимости от наличия пороков (трещины, сучки и т.д.) различают древесину 1-го, 2-го и 3-го сортов. К ограждающим деревянным конструкциям индустриального изготовления, применяемым в отечественном строительстве, относятся плиты покрытий и панели стен.

Однако, известно, что древесина является горючим материалом, поэтому применение деревянных конструкций увеличивает пожарную нагрузку в здании, а распространение огня по конструкциям способствует увеличению очага пожара, что затрудняет организацию его тушения и эвакуацию людей из здания. В качестве примера можно привести пожар в здании спортивного манежа «Трудовые резервы» в г. Минске, в результате которого клееные несущие конструкции потеряли свою несущую способность через 25-30 мин после начала пожара.

В связи с увеличением объемов строительства зданий с применением деревянных конструкций работники пожарной охраны уделяют большое внимание вопросам совершенствования нормирования противопожарных требований, оценки пределов огнестойкости таких конструкций и вопросам их огнезащиты.

#### 4.2. Особенности физического и химического строения древесины

Макростроение древесины рассматривают на срезе ствола дерева по трем направлениям: тангенциальному, торцовому и радиальному. Кора, защищающая дерево от механических повреждений, состоит из двух слоев – наружного (корки) и внутреннего (луба). Находящийся под лубом тонкий слой камбия состоит из живых клеток. Толстый слой древесины, находящийся за камбием, состоит из ряда тонких концентрических слоев; наружная часть их называется заболонью, внутренняя часть – ядром. Ядро состоит из отмерших клеток, заболонь – из молодых растущих клеток. Существуют породы дерева, например, береза, клен, ольха, не имеющие ядра. В центре ствола расположена сердцевина – самая слабая часть, легко крошится и загнивает. Древесиной, используемой для получения строительных изделий, являются заболонная и ядровая части ствола дерева.

Древесина имеет различные пороки (дефекты) строения, понижающие ее качество. Пороки подразделяют на первичные (на растущих деревьях) и вторичные, возникающие при хранении или эксплуатации древесины.

К первичным порокам относят: сучковатость (наличие сучков), косослой (винтообразное, косое расположение волокон в стволе), свилеватость (волнистое и путанное расположение древесных волокон), сбежистость (уменьшение диаметра ствола от комля (основания) к вершине), завиток (местное искривление годовых слоев).

Вторичные пороки древесины – это плесень и гниль, появляющиеся на древесине в результате деятельности микроорганизмов и грибов, червоточины и трещины, появляющиеся в результате усушки древесины в процессе хранения или эксплуатации.

При рассмотрении тангенциального и радиального срезов видна волокнистая структура древесины. Под микроскопом можно увидеть, что волокна древесины состоят из органических клеток.

Оболочку клеток образует в основном природное высокомолекулярное вещество целлюлоза (или клетчатка)  $(C_6H_{10}O_5)_n$ . Кроме целлюлозы в химический состав древесины входят лигнин и гемицеллюлоза:  $(C_5H_8O_4)_n$ .

Элементный состав абсолютно сухой древесины: 49-52% углерода, 13-45% кислорода, 6-6,3% водорода, 0,1-0,6% азота, 0,3-1,6% минеральных веществ. Свежесрубленная древесина содержит также 60-100% воды (по отношению к сухой массе).

Влажность древесины – способность древесины поглощать влагу, оказывает очень большое влияние на ее качество, а также на другие свойства. Определяют её по формуле:

$$Вд = \frac{(m_b - m_c)}{m_c} \times 100\%, \quad (4.1)$$

где  $m_b$  – масса образца до высушивания;

$m_c$  – масса образца после высушивания до постоянного значения.

Для древесины нормальной (стандартной) считают влажность 12%. При определении механических характеристик древесины результаты приводят для сравнения к этой величине влажности. Свободная влага состоит из той, что заполняет полости клеток, сосудов и межклеточное пространство (механическая влага), и влаги гигроскопической, находящейся в микропорах стенок клеток и сосудов. При сушке и при пожаре древесина сначала теряет механическую влагу и только после полного ее удаления начинает выделять гигроскопическую влагу. По степени влажности различают древесину свежесрубленную, имеющую влажность 35% и выше; воздушно-сухую с влажностью 15-20%; комнатно-сухую с влажностью 8-13%, а также мокрую, влажность которой больше, чем у свежесрубленной древесины и может быть больше 100% (по массе). При удалении из древесины механической влаги масса древесины меняется, но объем и линейные размеры не изменяются. При удалении гигроскопической влаги происходит уменьшение размеров и объема изделия из древесины, называемое усушкой.

Процесс, обратный усушке, называют разбуханием древесины. Этот процесс происходит при увеличении содержания в древесине гигроскопической влаги. Вследствие неоднородности строения древесина усыхает или разбухает в различных направлениях неодинаково: вдоль волокон полная линейная усушка не превышает 0,1-0,3%, в радиальном направлении она составляет от 3 до 6%, а в тангенциальном – от 7 до 12%. Усушка древесины приводит к ее короблению и появлению трещин.

Объемная масса древесины зависит от породы древесины и составляет 375-700 кг/м<sup>3</sup>. Обычно объемную массу приводят к нормальной 12%-ной влажности древесины.

### 4.3. Пожарная опасность древесины

Теплофизические свойства древесины зависят от породы дерева, объемной массы, влажности и температуры. Теплопроводность, кроме того, зависит от направления, в котором передается тепло через древесину, а коэффициент линейного теплового расширения различен для древесины вдоль и поперек волокон. Значения коэффициента теплопроводности составляют в среднем для различных пород  $\lambda = 0,17$  Вт/м×К поперек волокон и  $\lambda = 0,31$  Вт/м×К вдоль волокон. Удельная теплоемкость примерно одинакова для древесины всех пород и составляет для сухой древесины  $c = 1,7-1,9$  кДж/кг×К.

Числовые значения коэффициента линейного теплового расширения древесины составляют  $\alpha = (2,4-5,6) \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  – вдоль волокон,  $\alpha = (31-58) \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$  – поперек волокон.

Механические свойства древесины в значительной мере зависят от породы, объемной массы, влажности, возраста древесины, а также от направления действия нагрузки – вдоль или поперек волокон. Древесина вследствие волокнистого строения обладает анизотропностью и имеет довольно высокую прочность при растяжении и сжатии вдоль волокон и относительно низкую прочность поперек волокон. Временное сопротивление сжатию вдоль волокон изменяется от 34 МПа при объемной массе  $\rho_0 = 430 \text{ кг/м}^3$  до 51 МПа при  $\rho_0 = 700 \text{ кг/м}^3$ .

Прочность древесины при сжатии вдоль волокон снижается с увеличением влажности. При этом оказывает влияние только гигроскопическая влага, механическая влага практического влияния не оказывает. Временное сопротивление древесины сжатию поперек волокон составляет примерно от 0,1 до 0,3 этой величины вдоль волокон. Временное сопротивление растяжению вдоль волокон, в 2-3 раза превышает аналогичный показатель сжатия. У древесины низкая прочность на растяжение поперек волокон. Для хвойных пород она равна всего 2-5% прочности на растяжение вдоль волокон. Прочность на растяжение мало зависит от влажности, но существенно зависит от наличия пороков. Прочность при изгибе определяется теми же факторами, что при сжатии и растяжении вдоль волокон; она больше прочности при сжатии вдоль волокон в 1,5-2 раза.

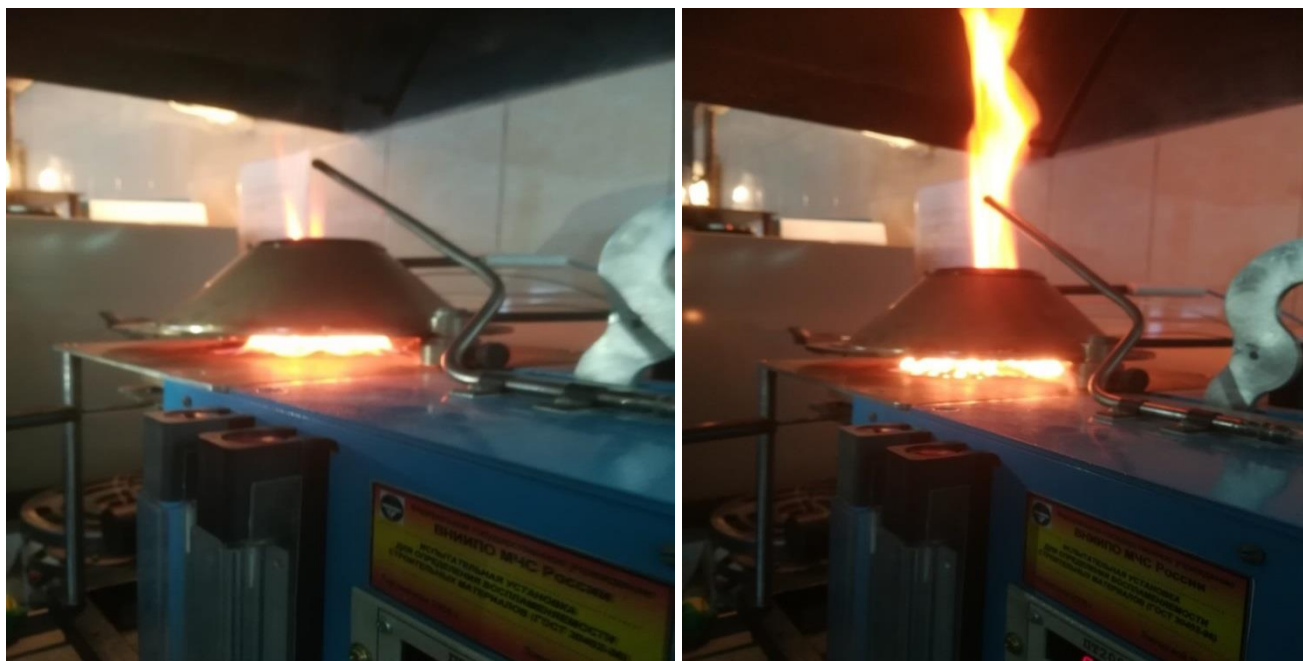
Древесина чувствительна к нагреву. Уже при температуре материала порядка 110 °С начинается ее терморазложение, которое можно разделить на несколько характерных стадий. При нагревании до 120-180 °С происходит удаление свободной влаги и затем начинается выделение химически связанной влаги, а также разложение наименее термически стойких компонентов древесины в основном с выделением  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$ . При температуре 250 °С начинается пиролиз древесины (в основном гемицеллюлозы) с выделением  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и др. Образующаяся газовая смесь уже способна к воспламенению от источника зажигания. При температуре 280-300 °С процесс терморазложения древесины интенсифицируется. Лигнин разлагается лишь при достижении 350-450 °С. При 350-450 °С продолжается пиролиз древесины и выделяется основная масса горючих газов – 40% от возможного количества. Выделяющаяся газообразная смесь состоит из 25%  $\text{H}_2$  и 40% предельных и непредельных углеводородов. При достижении достаточной концентрации газообразных горючих продуктов терморазложения возможно их самовоспламенение.

Процесс горения обычно протекает в две стадии: пламенное горение древесины (выделяется до 60% тепла) и тление образовавшегося угольного остатка (выделяется до 40% тепла). Тление происходит в результате гетерогенной реакции угольного остатка с газообразным кислородом воздуха.

Изучение термического разложения отдельных компонентов древесины (целлюлозы, лигнина и гемицеллюлозы) показало, что основные продукты перегонки (уголь, водный дистиллят, смола и газообразные продукты) – образуются из всех составных частей древесины, причем уголь и смола в наибольших количествах образуются из лигнина, а в наименьших – при разложении целлюлозы.

Термическое разложение и горение древесины на пожаре сопровождается выделением газообразных продуктов  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и других, которые могут оказывать токсическое (отравляющее) действие на организм человека. Кроме того, при тлении и горении выделяется значительное количество дыма, который представляет собой дисперсную среду, образованную твердыми и жидкими частицами продуктов неполного сгорания древесины. Он снижает видимость и препятствует дыханию человека. Основные моменты воспламенения и дымовыделения древесины (березы) представлены на рис. 15 и 16.

По классификации [1] древесина любых пород относится к горючим материалам. Модификация древесины полимерами повышает ее пожарную опасность. Пожарную опасность древесины можно охарактеризовать следующими параметрами. Температура воспламенения и самовоспламенения древесины составляют 250 и 350 °С соответственно. Линейная скорость распространения пламени по поверхности составляет 1–10 мм/с. Эта величина существенно зависит от плотности внешнего теплового потока, падающего на древесину, от породы древесины и от ориентации образца материала в пространстве. Скорость тления древесины существенно ниже скорости распространения пламени и составляет в среднем для различных пород древесины 0,6–1,0 мм/мин (0,01 мм/с).



**Рис. 15.** Момент воспламенения образца древесины при испытаниях



**Рис. 16.** Выделение горючей паровоздушной смеси при испытаниях

Массовая скорость выгорания древесины (потеря массы в единицу времени с единицы площади) в условиях пожара зависит от многих факторов: породы древесины, объемной массы, влажности, площади поверхности, интенсивности облучения и др.

Для древесины показатель токсичности продуктов горения составляет в среднем 34-37 г/м<sup>3</sup>. По классификации ГОСТ 12.1.044-89 древесину следует относить к группе высокоопасных материалов ТЗ. Токсическое действие продуктов разложения и горения древесины в основном обусловлено высоким содержанием в их составе оксида углерода.

Для древесины сосны коэффициент дымообразования по ГОСТ 12.1.044-89 составляет в среднем 48-50 м<sup>2</sup>/кг, что позволяет отнести ее к материалам с малой (Д1) или умеренной (Д2) дымообразующей способностью. Однако, при тлении этот показатель может достигать  $D_m \geq 600$  м<sup>2</sup>/кг, то есть тлеющая древесина может относиться к материалам с высокой дымообразующей способностью (Д3).

В условиях пожара снижается прочность древесины в результате ее терморазложения, т.е. разрушение структуры, во-вторых, при горении древесина обугливается. Изменение прочности древесины существенно зависит от потери массы материала в процессе нагрева. При этом происходит уменьшение и объемной массы. График на рис. 17 иллюстрирует изменение объемной массы древесины при нагревании.

Следует обратить внимание, что разложение и обугливание древесины при нагревании является главной причиной снижения прочности. В то же время уменьшение объемной массы материала за счет обугливания приводит к уменьшению теплопроводности и следовательно, тормозит прогрев древесины.

Древесина всех пород относится к горючим материалам. Модификация древесины полимерами, как правило, повышает ее пожарную опасность.

Таким образом, рассмотрение процессов разложения, воспламенения и горения древесины, а также количественных показателей пожарной опасности некоторых видов древесных материалов позволяют сделать вывод об их высокой пожарной опасности.

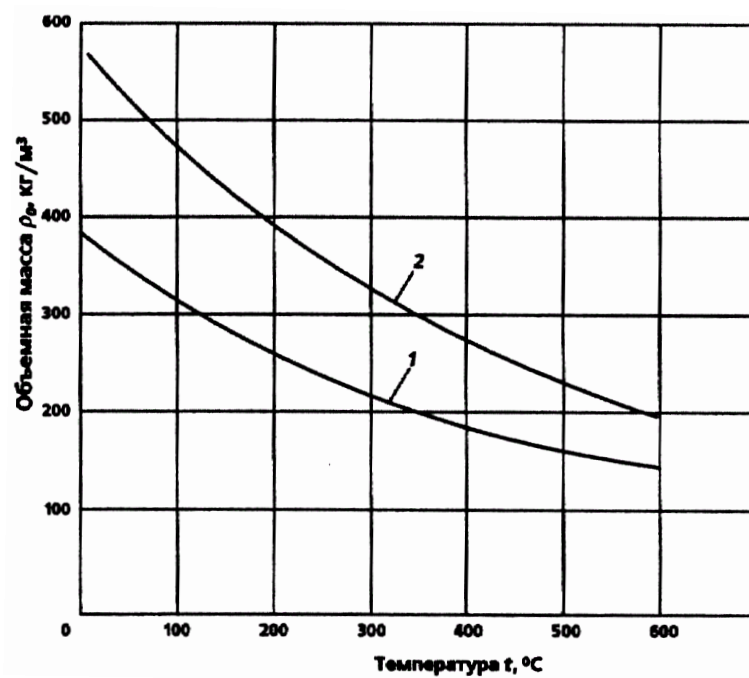


Рис. 17. Изменение объемной массы древесины при нагревании:  
1 – сосна; 2 – ель



## Темы докладов и рефератов

1. Область использования древесины и материалов на ее основе в современном строительстве.
2. Особенности физического и химического строения древесины.
3. Влияние строения древесины и ряда внешних факторов на физические, механические и теплофизические свойства древесных материалов.
4. Поведение древесных материалов при нагревании.
5. Особенности термоокислительной деструкции материалов на основе древесины.
6. Изменение механических характеристик древесины при нагревании.
7. Параметры, характеризующие пожарную опасность древесины и древесных материалов. Скорость обугливания, массовая скорость выгорания и скорость распространения пламени. Теплота сгорания. Горючесть, воспламеняемость, дымообразующая способность, токсичность продуктов горения.
8. Огнезащита древесины и изделий на ее основе.

## Вопросы для самоконтроля

1. Укажите достоинства древесины как строительного материала.
2. От каких факторов зависят теплофизические свойства древесины?
3. Линейная скорость распространения пламени по поверхности древесины составляет...
4. Укажите недостатки древесины как строительного материала.
5. Температура воспламенения и самовоспламенения древесины составляют...
6. Скорость тления древесины составляет...
7. Что называется вторичными пороками древесины? Привести примеры.
8. При какой температуре начинается пиролиз древесины?
9. От каких факторов зависят механические свойства древесины?
10. Что называется первичными пороками древесины? Привести примеры.
11. При какой температуре начинается терморазложение древесины?
12. Какие стадии характеризуют процесс горения древесины?

## Контрольные тесты главы 4

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Вариант ответа
1	Для древесины нормальной (стандартной) считают влажность	5 %
		12%
		25%
2	Линейная скорость распространения пламени по поверхности древесины составляет:	10 мм/с
		20 мм/с
		50 мм/с
3	Недостатки древесины:	горючесть
		невысокая стоимость
		наличие пороков
4	Вторичные пороки древесины:	плесень
		сучки
		гниль
5	Температура воспламенения древесины в среднем составляет	110 °С
		250 °С
		600 °С

## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Ройтман В.М., Серков Б.Б. Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.

2. *Киреева Ю.И.* Современные строительные материалы и изделия / Ю. И. Киреева. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 256 с.: ил.

3. *Корольченко А.Я., Трушкин Д.В.* Пожарная опасность строительных материалов. Учебное пособие. / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. М.: Пожнаука, 2005. 232 с.: ил.

4. *Основин В.Н. Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.

5. *Рыженко В.И.* Гипсокартон и другие современные строительные материалы. Технология работ / В.И. Рыженко. М.: Оникс. 2010. 224 с.: ил.

### дополнительная

6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

7. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

## **Глава 5. Поведение металлов и сплавов в условиях пожара**

*Цель: ознакомить обучающихся с основными видами строительных металлов и сплавов, их поведением в условиях воздействия высоких температур.*

### **5.1. Основные виды, классификация и особенности строения металлов и сплавов, применяемых в строительстве.**

В строительстве чистые металлы применяют довольно редко, более распространены сплавы. В первую очередь сплавы железа с углеродом (стали) и всевозможные алюминиевые сплавы.

#### **Стали, применяемые в строительстве**

Сталями называют сплавы железа и углерода. Содержание углерода в сталях не превышает 2%. При содержании углерода более 2% сплав называют чугуном.

Сталь получают в конверторных или мартеновских печах путем продувки кислородом расплавленного чугуна. В результате продувки происходит окисление добавок углерода, содержащихся в чугуне. После плавки сталь разливают в изложницы, где происходит остывание и кристаллизация металла. В процессе кристаллизации выделяется большое количество газов и неметаллических включений. Сталь, полученную таким способом, по степени раскисления называют кипящей. Качество такой стали невысокое. В период остывания стали можно ввести специальные раскислители – кремний, марганец, алюминий и др., которые связывают газы и успокаивают процесс кристаллизации. Полученную сталь в этом случае называют спокойной. Качество спокойной стали выше, чем кипящей. В случае неполного раскисления получают промежуточную сталь – полуспокойную.

Стали, в которых кроме железа и углерода присутствуют только нормальные примеси, называют углеродистыми.

Нормальные примеси могут быть полезными (кремний, марганец) и вредными (сера, фосфор, кислород). Содержание примесей ограничено. По содержанию углерода стали классифицируют на малоуглеродистые (0,09-0,22% углерода), среднеуглеродистые (0,25-0,5% углерода) и высокоуглеродистые (0,6-1,2% углерода). Строительные стали являются малоуглеродистыми. Среднеуглеродистые стали в основном применяют в машиностроении. Высокоуглеродистые используют для инструментов.

Стали, в которых кроме нормальных примесей присутствуют легирующие добавки, называют легированными.

По сравнению с углеродистыми, легированные стали имеют, как правило, более высокие показатели прочности, ударной вязкости, стойкости к коррозии, лучше свариваются. Недостатком легированных сталей является более высокая стоимость, чем углеродистых.

Легированные стали классифицируют в основном по следующим признакам:

1. По количеству легирующих добавок: низколегированные (количество добавок до 2,5%), среднелегированные (количество добавок от 2,5 до 10 %) и высоколегированные (количество добавок свыше 10%).

2. По назначению: конструкционные (машиностроительные и строительные стали), инструментальные, специальные (нержавеющие, кислотостойкие, жаростойкие).

По экономическим соображениям при строительстве применяют низколегированные стали.

Маркируют легированные конструкционные, в том числе и строительные стали следующим образом. Первые две цифры показывают содержание углерода в сотых долях процента. Затем следуют условные обозначения легирующих элементов. Цифра, стоящая за условным обозначением, показывает приблизительное содержание элемента в процентах. Например, сталь 18Гсп в среднем содержит 0,18% углерода и приблизительно 1% марганца. Буквы «сп» обозначают, что сталь спокойная (по способу раскисления). Сталь 20ХГ2С в среднем содержит 0,2% углерода, приблизительно 1% хрома, около 2% марганца и 1% кремния. Если количество легирующих добавок менее 0,3%, то обозначение легирующего элемента не проставляется. Буква А в конце марки означает, что сталь высококачественная. В строительстве применяют низколегированные стали: 18Г, 09Г2; 10Г2С1; 20ХГ2С и др.

В строительстве сталь применяют в виде прокатных изделий, получаемых с металлургических заводов и имеющих различную форму поперечного сечения (профиль). Каталог прокатных профилей называют сортаментом.

Используют сталь в строительстве для изготовления несущих конструкций (колонн, балок, ферм), для арматуры железобетонных конструкций, для изготовления оконных и дверных переплетов и др. Основным способом получения стальных изделий является горячая прокатка. Этим способом получают различные профили, листы, стержни, трубы. Изделия в этом случае называют горячекатанными.

Важной особенностью сталей является способность улучшать свои физико-механические свойства и, в частности, прочность в результате термической и механической обработки.

К термическим видам обработки, применяемым для строительной стали, относят закалку и отпуск. Закалка стали заключается в нагреве ее до высоких температур с последующим охлаждением в воде, масле, расплавленном свинце. Структура и свойства закаленных сталей зависят от скорости охлаждения.

Стали, прошедшие закалку, имеют повышенную прочность и твердость, однако при этом имеют склонность к хрупкому разрушению.

Отпуск стали производят с целью уменьшения внутренних напряжений, возникающих при закалке, а также для снижения хрупкости и твердости закаленной стали. Стали при этом нагревают до температуры не выше 600 °С и после изотермической выдержки постепенно охлаждают.

Проволоку изготавливают путем вытяжки (волочения). Некоторые виды арматуры периодического профиля изготавливают методом холодного сплющивания. И в том, и в другом случае, сталь упрочняется за счет наклепа. Арматуру при этом называют холоднотянутой.

### **Алюминиевые сплавы**

В чистом виде алюминий применяют редко из-за малой прочности. В строительстве все шире используют алюминиевые сплавы. Алюминиевые сплавы разделяют на две основные группы: литейные и обрабатываемые под давлением.

Литейные сплавы в строительстве применяют ограниченно, только для изготовления фасонных отливок. Представителем этих сплавов является силумин – сплав алюминия с кремнием. Обозначают литейные сплавы буквами АЛ. Цифра после букв обозначает условный номер сплава, например, АЛ2, АЛ3 и т.п.

Сплавы, обрабатываемые давлением (прокаткой, ковкой, штамповкой), делят на 2 группы.

1. Деформируемые без последующей термообработки:

а) сплавы алюминия с магнием, например, магналий.

б) сплавы алюминия с марганцем.

2. Деформируемые с последующей термообработкой:

а) сплавы алюминия с медью, магнием, кремнием и марганцем.

б) высокопрочные сплавы алюминия с цинком, магнием, кремнием и марганцем.

Достоинством алюминиевых сплавов является высокий предел прочности до 500-700 МПа при малой плотности 2850 кг/м<sup>3</sup>. Большинство алюминиевых сплавов имеют высокую стойкость к коррозии, хорошую декоративность. Сохраняют высокую прочность при низких температурах, не образуют искр при ударе.

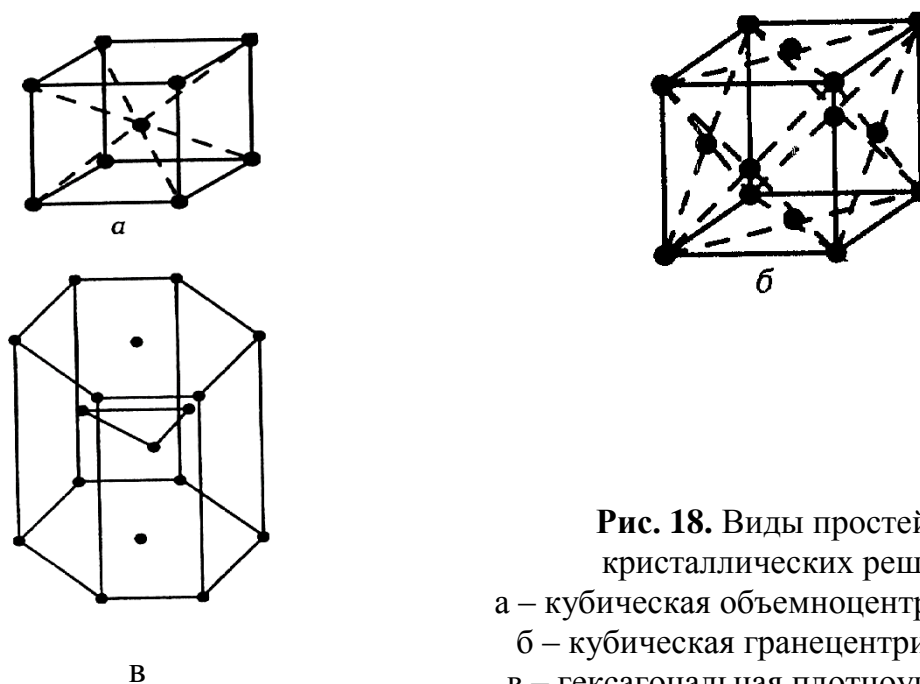
К недостаткам алюминиевых сплавов следует отнести: низкий модуль упругости (приблизительно в 3 раза меньше, чем у стали) и высокий коэффициент температурного расширения (в 3 раза больше, чем у стали).

В строительстве применяют алюминиевые листы для покрытия кровли зданий. Из алюминиевого проката изготавливают оконные и дверные переплеты.

Алюминиевые сплавы в строительстве употребляют в виде разнообразных профилей и листа. Из профилей изготавливают фермы и арки. Листы широко используют для изготовления легких навесных панелей типа «сэндвич», для облицовки стен, устройства подвесных потолков.

## 5.2. Изменение механических и теплофизических свойств металлов и сплавов при нагревании

Главной особенностью чистых металлов и сплавов является кристалличность структуры. В расплавленном состоянии атомы металлов находятся в беспорядочном движении, а при переходе в твердое состояние они ориентируются определенным образом в пространстве, образуя кристаллическую решетку. Строение решетки и расположение в ней атомов зависят от вида металла. Наиболее распространенными типами кристаллической решетки являются кубическая (у железа) и гексагональная (у алюминия) (рис. 18).



**Рис. 18.** Виды простейших кристаллических решеток  
а – кубическая объемноцентрированная;  
б – кубическая гранецентрированная;  
в – гексагональная плотноупакованная

Некоторые металлы, например, железо, могут иметь различные типы кристаллической решетки (гранецентрированный и объемноцентрированный куб). Такое явление называют полиморфностью. Способность при определенных температурах перестраивать свою кристаллическую решетку, изменяя ее тип, называют модификационными или аллотропическими превращениями.

Рассмотренные виды кристаллических решеток характерны для идеальных кристаллов. Для реальных металлов и сплавов характерно наличие различных дефектов. Дефекты бывают точечные, линейные и поверхностные. К самым простым точечным дефектам относятся вакансии и межузельные атомы.

Вакансией называется пустой узел кристаллической решетки. Межузельным атомом называется атом, перемещенный из узла в позицию между узлами (рис. 19).

Все физико-механические свойства металлов и их особенности являются следствием кристаллической структуры. Высокая прочность металлов объясняется наличием сил, удерживающих атомы в определенных местах кристаллической решетки. По мере увеличения числа дефектов прочность металла снижается до определенного значения, а затем снова может начать возрастать за счет явления наклепа.

В основе упругих деформаций лежит обратимое смещение атомов кристаллической решетки от положения равновесия. В основе пластического деформирования металлов лежит перемещение дислокаций практически при любых температурах и нагрузках. Сущностью пластического деформирования является сдвиг, в результате которого одна часть кристалла смещается по отношению к другой части. Такое смещение в идеальном кристалле происходит по плоскости (рис. 20). В металлах сдвиг происходит за счет скольжения дислокаций. Значительные пластические деформации приводят в конечном итоге к разрушению металла. Хрупкое разрушение наступает без видимых пластических деформаций.

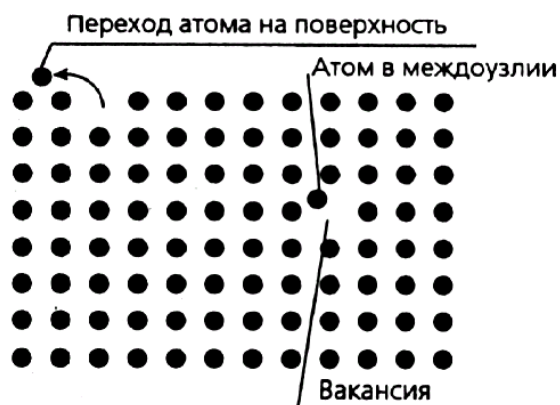


Рис. 19. Точечные дефекты в кристалле

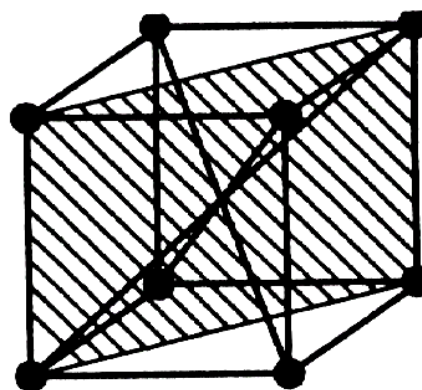


Рис. 20. Пример расположения одной из плоскостей скольжения в объемно-центрированной кубической решетке

Наличие точечных дефектов и микровключений мешает продвижению дислокаций. Кроме того, помехой для движения дислокаций служат элементы пластически деформированных кристаллических решеток. Этим объясняется явление наклепа – самоупрочнения металлов в результате пластической деформации.

Рассмотрим изменение механических и теплофизических свойств металлов и сплавов при нагревании.

Большое влияние на механические характеристики сталей оказывает содержание углерода. С повышением содержания углерода твердость стали увеличивается, а пластичность уменьшается.



При нагреве металла подвижность атомов повышается, увеличиваются расстояния между атомами и связи между ними ослабевают. Термическое расширение нагреваемых тел – признак увеличения межатомных расстояний. Большое влияние на ухудшение механических свойств металла оказывают дефекты, число которых возрастает с увеличением температуры. При температуре плавления количество дефектов, увеличение межатомных расстояний и ослабление связей достигает такой степени, что первоначальная кристаллическая решетка разрушается. Металл переходит в жидкое состояние.

В интервале температур от абсолютного нуля до точки плавления изменение объема всех типичных металлов приблизительно одинаково – 6-7,5%. Судя поэтому, можно считать, что увеличение подвижности атомов и расстояний между ними, а соответственно, и ослабление межатомных связей, свойственно почти всем металлам в одинаковой степени, если они нагреты до одной и той же гомологической температуры. Гомологическая температура – это относительная температура, выражается в долях температуры плавления ( $T_{пл}$ ) по абсолютной шкале Кельвина. Так, например, железо и алюминий при  $0,3T_{пл}$  обладают одинаковой прочностью межатомных связей, а следовательно, и одинаковой механической прочностью. По стоградусной шкале это будет: для железа 331 °С, для алюминия – 38 °С, т.е.  $\sigma_B$  железа при 331 °С равно  $\sigma_B$  алюминия при 38 °С.

Повышение температуры приводит к уменьшению прочности, упругости и увеличению пластичности металлов. Чем ниже температура плавления металла или сплава, тем при более низких температурах происходит снижение прочности. Например, для алюминиевых сплавов снижение прочности происходит при более низких температурах, чем у сталей.

При высоких температурах также происходит увеличение деформаций ползучести, которые являются следствием увеличения пластичности металлов.

При повышении температуры изменяются и теплофизические свойства металлов и сплавов.

## **Темы докладов и рефератов**

1. Основные виды и особенности металлов и сплавов, применяемых в строительстве.
2. Особенности строения сталей и алюминиевых сплавов.
3. Процессы, происходящие в металлах и сплавах при нагревании и определяющие изменение механических и теплофизических свойств.
4. Особенности поведения горячекатаной и холоднокатаной, термически упрочненной и легированной сталей в условиях пожара.
5. Особенности поведения алюминиевых сплавов в условиях пожара.
6. Способы огнезащиты металлических конструкций.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Какой материал называется сталью?
2. Как применяют алюминий в строительстве?
3. К чему приводит повышение температуры металлов?
4. Какой материал называется чугуном?
5. Как применяют сталь в строительстве?
6. Основные способы получения стальных изделий?
7. Какие стали называются углеродистыми?
8. Какие стали называются легированными?
9. Назовите достоинства и недостатки легированных сталей?
10. Назовите достоинства и недостатки алюминиевых сплавов?

## Контрольные тесты главы 5

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Ответ
1	При нагреве металла подвижность атомов повышается, увеличиваются расстояния между атомами и связи между ними:	усиливаются
		остаются прежними
		ослабевают
2	Стали, в которых кроме железа и углерода присутствуют только нормальные примеси, называют:	кипящие
		марочные
		углеродистые
3	Повышение температуры приводит к:	уменьшению прочности металлов
		увеличению прочности металлов
		не влияет на прочность металлов
4	С повышением содержания углерода твердость стали:	увеличивается
		уменьшается
		не изменяется
5	По экономическим соображениям в строительстве применяют:	низколегированные стали
		среднелегированные стали
		высоколегированные стали

## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Ройтман В.М., Серков Б.Б. Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.

2. *Киреева Ю.И.* Современные строительные материалы и изделия / Ю. И. Киреева. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 256 с.: ил.

3. *Корольченко А.Я., Трушкин Д.В.* Пожарная опасность строительных материалов. Учебное пособие. / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. М.: Пожнаука, 2005. 232 с.: ил.

4. *Основин В.Н. Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.

5. *Рыженко В.И.* Гипсокартон и другие современные строительные материалы. Технология работ / В.И. Рыженко. М.: Оникс. 2010. 224 с.: ил.

### дополнительная

6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

## Глава 6. Поведение строительных полимеров и пластмасс в условиях пожара

*Цель: ознакомить обучающихся с основными видами строительных полимеров и пластмасс, их пожарно-техническими характеристиками и поведением в условиях воздействия высоких температур.*

### 6.1. Основные виды пластмасс, применяемых в строительстве, особенности их строения и свойств

Пластмассы – это композиционные материалы, в которых вяжущим веществом служат полимерные смолы.

Полимеры – высокомолекулярные химические соединения.

Достоинства пластмасс: неограниченность сырья, возможность получения материала с заданными свойствами, высокая удельная прочность, хорошая технологичность при производстве изделий (штамповка, литье, экструзия, каландрирование), высокая химическая стойкость, хорошие электро-, гидро-, звуко- и теплоизоляционные свойства, легкость обработки и соединения, хорошие декоративные качества, стойкость к низким температурам.

Недостатки пластмасс: малый модуль упругости, большой коэффициент температурного расширения, повышенная ползучесть, способность к старению, малая теплостойкость и повышенная пожарная опасность.

Полимерные строительные материалы (строительные пластмассы) представляют сложную систему из связующего, наполнителей, красителей и технологических добавок. Связующим служат полимеры – полимеризационные и поликонденсационные. Их получают при использовании каменного угля, нефти, природного газа, извести.

По происхождению сырья полимеры бывают природные, искусственные (модифицированные) и синтетические. К природным полимерам относят битумы и пеки, натуральный каучук; к искусственным – продукты модификации целлюлозы, растительных масел, казеина; к синтетическим – получаемые (синтезируемые) искусственно (в природе не встречаются).

По отношению к нагреванию полимеры подразделяют на термопластичные и терморезистивные. Терморезистивные образуются при повышенной температуре и сохраняют структуру и твердое состояние при последующем повторном нагревании вплоть до температуры разложения. Как правило, терморезистивные полимеры имеют пространственную сетчатую структуру, обеспечивающую им повышенную термостойкость. Термопластичные полимеры способны обратимо размягчаться, плавиться и затвердевать при изменении температуры.

По составу основной цепи макромолекул полимеры делят на карбоцепные, основные цепи которых построены только из углеродных атомов, гетероцепные, в основных цепях которых кроме атомов углерода содержатся

атомы кислорода, азота, серы, фосфора, элементоорганические, содержащие в основных цепях атомы кремния, бора, алюминия, титана, никеля (элементы, не входящих в состав природных органических соединений).

Наполнитель служит для удешевления пластмасс, улучшения их физико-механических свойств. Например, стекловолокно увеличивает прочность. По виду наполнителя различают пластмассы без наполнителя (оргстекло), газонаполненные (пенопласты и поропласты), порошковые, волокнистые (стекловолокнистый пластик, асбоволокнит, древесно-волокнистые пластики), слоистые (текстолит, асботекстолит, стеклотекстолит, древесно-слоистый пластик), крошкообразные (древесно-стружечные пластики, лоскутный асботекстолит).

Красители (пигменты) вводят в пластмассы для придания декоративных качеств. Для снижения пожарной опасности пластмасс в их состав вводят антипирены – добавки, снижающие горючесть, либо уменьшающие дымовыделение, образование токсичных продуктов.

По применению в строительстве различают: материалы для полов, стеновые материалы, кровельные и гидроизоляционные, для сантехнических и погонажных изделий. В табл. 12 представлены основные виды полимеров, используемых при производстве строительных пластмасс.

*Таблица 12. Основные виды полимеров, используемые при производстве строительных пластмасс*

Наименование группы	Вид, химический состав и строение полимера	Исходные вещества	Внешний вид	Применение
<b>Класс А. Синтетические полимеры цепной полимеризации</b>				
Этиленопласты	1. Полиэтилен	Этилен – газ из попутных нефтяных	Трубы (твердые), пленки (эластичные прозрачные), жгуты (вспененные)	Канализационные коммуникации, пароизоляция, герметик
	2. Полипропилен	Пропилен – газ из попутных нефтяных	Трубы и пленки	Канализационные коммуникации, пароизоляция
	3. Полиизобутилен	Изобутилен – газ из попутных нефтяных	Каучукоподобные эластичные листы и пленки	Полы, гидроизоляция, антикоррозийная защита
Винипласты	4. Поливинилхлорид (ПХВ или ПВХ)	Кокс, известь, ацетилен) хлористый натрий, водород	Трубы; листы цветные жесткие, эластичные, пенопласт	Коммуникации, линолеум
	5. Полиперхлорвинил	Кокс, известь (ацетилен), хлористый натрий, водород	Клеи, лаки, краски, пленки, ткани.	Склеивание, окраска, облицовка, отделка

Наименование группы	Вид, химический состав и строение полимера	Исходные вещества	Внешний вид	Применение
Этинолопласты	6. Поливинилацетат	Ацетилен и уксусная кислота	Мастика, клеи, лаки, связующее для бетона	Мастичные полы, склеивание, окраска
Стиропласты	7. Полистирол	Этилен и бензол (из каменноугольной смолы)	Твердый стеклообразный цветной, пенопласт белый	Облицовочные плитки, трубы утеплитель
Акрилопласты	8. Полиметилметакрилат	Ацетилен и спирт	Прозрачные бесцветные листы	Световые фонари облицовочные плитки
<b>Класс Б. Синтетические полимеры конденсационные или ступенчатой полимеризации</b>				
Фенолопластиды	1. Фенолформальдегидная смола	Фенол (из каменноугольной смолы), формальдегид (из метана или метилового спирта)	Стекловидный материал, клеи, мастики, листы, плитки (арзамит, фаолит, фенолит)	Связующее в ДСП, ДВП, склеивание
Аминопласты	2. Мочевинноформальдегидные (карбамидные) смолы	Мочевина (аммиак, углекислый газ) и формальдегид	Стекловидный материал, клеи, пенопласт – мипора	Связующее для декоративных слоистых пластиков, склеивание, утеплитель
	3. Меламиноформальдегидные смолы	Меламин (из мочевины) и формальдегид	Стекловидный материал, клеи	Связующее для слоистых пластиков, склеивание
	4. Мочевиномеламиноформальдегидные смолы	Мочевина, меламин, формальдегид	Стекловидный материал, клеи	Связующее для слоистых пластиков, склеивание
Эфиропласты	5. Полиэфирные смолы – глифталы	Глицерин и фталевая кислота (из нафталина)	Клеи, лаки, твердая пленка	Склеивание, окраска, линолеум
	6. Ненасыщенные полиэфирные (в стироле)	Малеиновая кислота (из бензола) и двухатомные спирты (из этилена)	Стекловидный материал, клеи, лаки, замазки	Связующее для стеклопластиков склеивание, окраска
Эпоксидопласты	7. Эпоксидные смолы	Фенол и эпихлоргидрин	Стекловидный материал, клеи, замазки	Связующее для стеклопластиков склеивание, окраска, герметик

Наименование группы	Вид, химический состав и строение полимера	Исходные вещества	Внешний вид	Применение
Амидопласты	8. Полиамидные смолы	Фенол, ацетилен, азот	Ткани	Тканевые оболочки в пневматических конструкциях
Полиуретаны	9. Уретано-пласт	Спирты, диамины, гексаметиленизоцианат	Смола, пенопласт	Клей, утеплитель
Полисилоксаны	10. Кремний-органические смолы	Ферросилиций, алкил- и арилгалогениды	Смола, пенопласт	Гидрофобные пленки, утеплитель
<b>Класс В. Химически модифицированные природные полимеры</b>				
Эфиры целлюлозы	1. Целлопласты (этил-, бензил-, нитроацетилцеллюлоза)	Древесная масса, хлопок (природная клетчатка) и кислоты	Листы, лаки, краски	Линолеум, окраска, склеивание
Протеинопласты	2. Молочный казеин	Молочные продукты	Клеи	Склеивание
Полимеризованные растительные масла	3. Олифа, тунговое масло	Растительные масла	Твердая пленка	Линолеум
<b>Класс Г. Природные и нефтяные асфальты и смолы</b>				
Битумопласты	Сплавы асфальтов с битумами и пеками	Асфальты, битум, пек	Темные смолы	Асфальтовое покрытие, гидроизоляция, гидрофобизирующие добавки и пропитки

Природные, нефтяные асфальты и смолы, будучи высокомолекулярными соединениями, не являются полимерами. Плотные полимеры имеют высокую прочность – временное сопротивление растяжению – до 100 МПа, сжатию – до 600 МПа, изгибу – до 140 МПа. Теплостойкость большинства полимеров, определяемая их составом и структурой, невысокая (40-140 °С). Исключение составляют политетрафторэтилен и кремнийорганические полимеры, теплостойкость которых достигает соответственно 250 и 550 °С.

Полимеры и пластмассы обладают высокой водо- и хемостойкостью. Стойкость к влаге объясняется тем, что многие из них являются водо- и паронепроницаемыми. Химическое строение и физическая структура объясняют малую теплопроводность полимеров. Придание материалам пенистой структуры позволяет снизить их теплопроводность. Пенопласты также являются



хорошими звукоизоляторами. Коэффициент температурного расширения полимеров значителен, например у полиэтилена в 21 раз больше, чем у стали. Многие полимеры обладают высокой светопрозрачностью, например, полиметилметакрилат, который широко используют для остекления. Прочность пластмасс меняется в широком диапазоне. Так, временное сопротивление колеблется от 30 до 480 МПа. Наибольшей прочностью обладают конструкционные стеклопластики, например стекловолокнистый анизотропный материал (СВАМ) имеет временное сопротивление растяжению 450 МПа, сжатию 400 МПа, изгибу 635 МПа и срезу 150 МПа. Модуль упругости наиболее жестких пластмасс сравнительно мал – при растяжении, сжатии и изгибе не выходит за пределы  $4 \cdot 10^3$  МПа.

## 6.2. Особенности пожарной опасности строительных пластмасс

Полимеры и пластмассы не стойки к нагреву. Прочность их снижается при переходе из твердого состояния в вязкое или в связи с нарушением структуры полимеров. Это связано в первую очередь с их термоокислительной деструкцией. Практически все полимеры при нагревании теряют прочность, жесткость и увеличивают пластичность. Временное сопротивление у полиэтилена высокого давления при нагревании от  $(-60)^\circ\text{C}$  до  $(+20)^\circ\text{C}$  снижается в 3 раза, а до  $(+100)^\circ\text{C}$  – в 19 раз, у политрифторэтилена (фторопласта-3) – в 2 и 13 раз, соответственно, у винилпласта от  $0^\circ\text{C}$  до  $90^\circ\text{C}$  – в 7 раз, у полиметилметакрилата (оргстекла) при  $(+100)^\circ\text{C}$  снижается до нуля, у полиамида-6 (капрона) от  $(-40)^\circ\text{C}$  до  $(+100)^\circ\text{C}$  – вдвое. Более интенсивно прочность полимеров снижается выше  $100^\circ\text{C}$ .

Пластмассы меньше, чем полимеры снижают прочность при нагреве. Наиболее стабильно при этом ее сохраняют кремнийорганические стекловолокнистые (КМС-9). Термическая деструкция кремнийорганических стеклопластиков происходит при температуре выше  $350-400^\circ\text{C}$ , для полиэфирных стеклопластиков –  $250^\circ\text{C}$ . Стеклотекстолит ФН, изготовленный на основе фенолформальдегидного полимера, совмещенного с фурфуролом, при нагревании до  $250^\circ\text{C}$  снижает прочность при изгибе всего в 2,2 раза.

Существует мнение, что все полимеры и пластмассы чрезвычайно пожароопасны, поскольку они легко воспламеняются, интенсивно горят, при пожаре выделяют большое количество дыма и токсичных продуктов разложения и горения – это представление поверхностное. Разнообразие видов требует индивидуального подхода к оценке пожарной опасности конкретного материала. Числовые значения параметров, характеризующих пожарную опасность пластмасс, зависят, в первую очередь, от полимерного связующего, а затем от вида и количества наполнителей, технологических добавок. Практика и эксперименты показали, что пожарная опасность пластмасс зависит от характера огневого воздействия на материал, от особенностей его применения в строительстве

Ориентировочные данные по группам горючести по ГОСТ 30244-94 представлены в табл. 13.

Таблица 13. Горючесть некоторых полимерных строительных материалов

Наименование материалов и изделий	Шифр технической документации на материал
<b>А. Горючие материалы (Г3, Г4)</b>	
Плиты древесностружечные (ДСтП)	ГОСТ 10632-77
Плиты древесноволокнистые (ДВП)	ГОСТ 4598-74
Стеклопластик полиэфирный листовый	МРТУ 6-11-134-79
Стекло органическое: – конструкционное – техническое	ГОСТ 15809-70 ГОСТ 17622-72
Пластик бумажноволокнистый декоративный	ГОСТ 9590-76
Плиты теплоизоляционные из пенопласта полистирольного	ГОСТ 15583-70
Дивинилстирольный герметик	ТУ 38405-139-76
Эпоксидно-каменноугольная мастика	ТУ 21-27-42-77
Полиуретановые пенопласты: – ППУ-316 – ППУ-317	ТУ 6-05-221-359-75 ТУ 6-05-221-368-75
Поливинилхлоридный пенопласт марки: – ПВ-1 – ПВХ-1	ТУ 6-06-1158-77 ТУ 6-05-1179-75
Прокладки уплотняющие пенополиуретановые	ГОСТ 10174-72
Пленка полиэтиленовая	ГОСТ 10354-73
Пленка полистирольная	ГОСТ 12998-73
Пергамин кровельный	ГОСТ 2697-75
Рубероид	ГОСТ 10293-82
Прокладки резиновые	ГОСТ 19177-81
Фольгоизол	ГОСТ 204429-75
<b>Б. Горючие материалы (Г1, Г2)</b>	
Плиты теплоизоляционные из пенопластов на основе резольных фенолформальдегидных смол Пенопласт ФРП-1 при $\rho_0 \geq 80$ кг/м <sup>3</sup>	ГОСТ 20916-75
Эмаль ХП-799 на хлорсульфированном полиэтилене	ТУ 84-618-75
Битумно-полимерная мастика БПМ-1	ТУ 6-10-882-78
Плиты древесноминеральные	ТУ 66-16-26-83
Стеклотекстолит конструкционный	ГОСТ 10292-74
Плиты и маты теплоизоляционные из минеральной ваты на синтетическом связующем марок 50-125	ГОСТ 95573-82
Маты минераловатные прошивные	ГОСТ 21880-76
Стеклопластик рулонный на перхлорвиниловом лаке	ТУ 6-11-416-76
Листы гипсокартонные (ГКЛ)	ГОСТ 6266-81
Листы гипсоволокнистые (ГВЛ)	ТУ 21-34-8-82
Плиты цементностружечные (ЦСП)	ТУ 66-104-83
<b>В. Негорючие материалы (НГ)</b>	
Стеклопор	ТУ 21-РСФСР-2.22-74
Плиты перлитофосфогелевые теплоизоляционные	ГОСТ 21500-76

Способность распространения пламени по поверхности отделочных материалов зависит от их вида, ориентации в пространстве (пол, стена, потолок), материала основания (подложки под отделочный материал). Для каждого материала существует критическая поверхностная плотность теплового потока (КППТ), ниже которого распространение пламени не происходит (табл. 14).

*Таблица 14. Величина КППТ для некоторых материалов*

<b>Материал (положение – «стена»)</b>	<b>КППТ кВт/м<sup>2</sup></b>	<b>Группа распространения пламени</b>
Древесно-волоконистая плита	3	РП4
Масляная краска МП-21-39	3	РП4
ДБСП (ГОСТ 9590-76)	15,0	РП1
ДБСП-антипирированный (ТУ 400-1-18-84)	20,4	РП1
Бумага «Декор Дуб-59»	26	РП1

Анализ гибели людей на пожарах показал, что главная причина смерти отравление СО, так как СО выделяется в больших количествах при терморазложении и горении практически всех органических материалов, он приблизительно в 300 раз активнее, чем О<sub>2</sub>, взаимодействует с гемоглобином крови. Это приводит к образованию карбоксигемоглобина крови вместо оксигемоглобина, который является поставщиком кислорода всем участкам организма.

Показатели, охарактеризованные выше, используются для классификации строительных материалов в противопожарном нормировании. Однако полная характеристика пожарной опасности далеко не исчерпывается этими показателями. В настоящее время известен целый ряд показателей, которые также характеризуют горючесть материалов и сопутствующие явления. Эти показатели используют для сравнительной оценки материалов, а также на практике для пожарно-технических расчетов.

Наиболее широко для сравнительной оценки полимерных материалов в целом и строительных пластмасс в частности используют метод определения «предельного кислородного индекса» – КИ. По физическому смыслу предельный кислородный индекс – это минимальное содержание кислорода в воздухе, при котором еще наблюдается устойчивое диффузионное горение. Он может быть выражен в разных относительных единицах – в малых, массовых и объемных долях или в процентах.

Чем выше значение предельного кислородного индекса для материала, тем этот материал менее горюч, поскольку для поддержания устойчивого горения требуется большее количество кислорода. Числовые значения кислородного индекса некоторых полимеров, используемых в производстве строительных материалов, представлены в табл. 15.

Из этих данных видно, что подавляющее большинство материалов имеет КИ меньше, чем у фенолформальдегидной смолы (КИ = 35,0), относящейся к группе горючести материалов – Г2.

В табл. 16 приведены числовые значения теплоты сгорания для некоторых полимеров и полимерных строительных материалов.

Числовые значения низшей теплоты сгорания используют для расчета пожарной нагрузки в помещениях и температурного режима развития пожара. Массовая скорость выгорания, как и скорость распространения пламени по поверхности, главным образом зависит от вида материала и от интенсивности теплового воздействия на материал.

**Таблица 15. Кислородный индекс полимерных материалов**

Материал	КИ, %
Полиформальдегид	15,0
Полиуретановые пены	15,7
Ацетатцеллюлоза	16,0-17,0
Полиметилметакрилат	17,3
Полиэтилен	17,4
Полистирол	17,8
Целлюлоза	19,0
Эпоксидная смола	19,8
Полиамид 6,6	24-29
Фенолформальдегид	35,0
Поливинилхлорид	45-49
Политетрафторэтилен	95,0

**Таблица 16. Теплота сгорания полимерных материалов**

Наименование	Q <sub>н</sub> , МДж/кг
А. Полимеры	
Политетрафторэтилен	4,6
Поливинилхлорид	18,1
Полиамид-6	20,5
Полиэтилентерефталат	22,0
Полиметилметакрилат	26,6
Полистирол	41,4
Полиэтилен	46,4
Полипропилен	46,5
Б. Материалы	
Пенопласт на основе пенополиуретана с антипиренами	15,5
Пенопласт на основе пенополиуретана	24,0
Стеклопластик на эпоксидной основе	16,9
ДБСП (ГОСТ 9520-76)	20,3
ДБСП антипирированный	18,6
Линолеум поливинилхлоридный экструзионный	17,9
Линолеум поливинилхлоридный вспененный	23,8
Строительный войлок	20,8
Пенопласт на основе пенополиуретана ППУ-306	28,4

## Темы докладов и рефератов

1. Полимеры и пластмассы, используемые в строительстве, особенности их строения.
2. Поведение пластмасс при нагревании: термопластичность, термоактивность, изменение механических характеристик, теплостойкость, термоокислительная деструкция.
3. Предельные условия воспламенения и горения пластмасс.
4. Группы горючести пластмасс.
5. Кислородный индекс полимеров и строительных пластмасс. Кинетические параметры горения пластмасс.
6. Критический тепловой поток воспламенения и распространения пламени при горении строительных пластмасс.
7. Тепловыделение при горении строительных пластмасс
8. Дымообразование при горении строительных пластмасс. Состав продуктов термического разложения и горения.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие строительные материалы называются пластмассами?
2. Что называют полимерами?
3. Приведите достоинства и недостатки пластмасс.
4. Что входит в состав строительных пластмасс?
5. Какими бывают полимеры по происхождению сырья?
6. На какие группы подразделяются полимеры по отношению к их нагреванию?
7. Для каких целей предназначаются наполнители и красители в составе пластмасс?
8. Какие вещества добавляют в пластмассы для снижения их пожарной опасности?
9. От каких факторов зависит пожарная опасность строительных пластмасс?
10. От каких факторов зависит способность распространения пламени по поверхности отделочных материалов?

## Контрольные тесты главы 6

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Ответ
1	В целях снижения пожарной опасности пластмасс в их состав вводят:	углерод
		песок
		антипирены
2	Полимеры – это:	химические термоокислительные оксиды
		высокомолекулярные химические соединения
		низкомолекулярные химические соединения
3	По отношению к нагреванию полимеры подразделяют:	реактивные
		термопластичные
		термореактивные
4	Недостатки пластмасс:	повышенная ползучесть
		способность к старению
		высокая химическая стойкость
5	По происхождению сырья полимеры подразделяют:	природные
		синтетические
		искусственные

## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Ройтман В.М., Серков Б.Б. Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.

2. *Киреева Ю.И.* Современные строительные материалы и изделия / Ю. И. Киреева. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 256 с.: ил.

3. *Корольченко А.Я., Трушкин Д.В.* Пожарная опасность строительных материалов. Учебное пособие. / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. М.: Пожнаука, 2005. 232 с.: ил.

4. *Основин В.Н. Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.

5. *Рыженко В.И.* Гипсокартон и другие современные строительные материалы. Технология работ / В.И. Рыженко. М.: Оникс. 2010. 224 с.: ил.

### дополнительная

6. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

## **Глава 7. Теплоизоляционные, акустические, гидроизоляционные материалы и их поведение в условиях пожара**

*Цель: ознакомить обучающихся с основными видами теплоизоляционных, акустических и гидроизоляционных материалов, их пожарно-техническими характеристикам и поведением в условиях воздействия высоких температур.*

### **7.1. Основные виды теплоизоляционных и акустических материалов, применяемых в строительстве**

Теплоизоляционные материалы характеризуются малой теплопроводностью. Их используют в строительстве для снижения теплопереноса между помещением и атмосферой. Цель теплоизоляции – ограничить количество передаваемого тепла. Малая теплопроводность этих материалов обеспечивается за счет большого количества пор, заполненных воздухом, который в неподвижном состоянии является плохим проводником тепла. В группу теплоизоляционных материалов включают материалы различного химического состава – неорганические и органические, которые имеют отличительную особенность строения – высокую пористость. Акустические материалы рассматриваются в одной группе с теплоизоляционными материалами, так как они также обладают повышенной пористостью и изготавливаются из того же сырья. Поэтому в дальнейшем мы будем всю группу материалов называть теплоизоляционными. Пожарная опасность данных материалов заключается в их химическом составе. Так, органические материалы горят и могут поддерживать горение. Неорганические материалы относятся по группе горючести к негорючим материалам. Существует третий вид материалов – композиционные, в которых присутствуют неорганические и органические вещества. Их пожарная опасность зависит от количества органического связующего.

Неорганические теплоизоляционные материалы относятся по группе горючести к негорючим материалам. Однако и негорючие материалы, хотя они не горят и не поддерживают горение, но в условия пожара при высокой температуре могут изменять свою структуру, разрушаться, терять прочностные характеристики, что в свою очередь может приводить к разрушению зданий и гибели людей.

Минеральная (каменная) вата представляет собой теплоизоляционный материал, состоящий из тонких стекловидных волокон, получаемых путем распыления жидкого расплава горных пород или металлургических шлаков. Предельная температура применения 600 °С. Это один из самых пожаробезопасных теплоизоляционных материалов.

Минераловатные изделия изготавливают на основе различных связующих. Из минеральной ваты изготавливают в основном следующие виды изделий.



Минераловатные плиты изготавливают с добавкой вяжущих (смолы, битума, глины). Кроме плит, из минеральной ваты изготавливают скорлупы и маты. Горючесть минераловатных изделий зависит от вида и количества связующего вещества: негорючие (НГ) связующее (глина) или горючее связующее (битумы, смолы) при содержании до 6% по массе; горючие (Г1, Г2) – 7-15%; горючие (Г3, Г4) – более 15%.

Стекловолоконная вата. Получают из сырья, служащего для изготовления стекла ( $\text{SiO}_2$ , сода и др.), а также из расплава стекляного боя. Стекловолоконные волокна прочнее волокон минеральной ваты, свойства аналогичны. Температура применения 450 °С. Стекловолоконную вату используют главным образом в виде матов.

Теплоизоляционные материалы ячеистой структуры – это ячеистое стекло, пенобетон и газобетон, материалы на основе вспученных горных пород – перлита и вермикулита.

Асбест – горная порода волокнистого строения из группы хризотиласбестов. Материал получают растиранием горной породы на отдельные волокна. Применяется в качестве теплоизоляционного и огнеупорного материала. Относится к негорючим материалам.

Теплоизоляционные материалы ячеистой структуры – это ячеистое стекло, пенобетон и газобетон, материалы на основе вспученных горных пород – перлита и вермикулита.

Ячеистое стекло – высокопористый (пористость 80-95%) материал, получаемый обжигом при температуре 900-1000 °С смеси стекляного порошка и газообразователя (известняк, кокс, антрацит). Температура применения 800 °С. Высокая прочность 2-5 МПа. Производится в виде блоков и плит. Предназначается главным образом для теплоизоляции ограждающих конструкций зданий. Относится к группе негорючих материалов.

Вспученный перлит – сыпучий материал, получаемый путем обжига водосодержащей горной породы при температуре 700-1250 °С. В результате быстрого нагрева перлита происходит его размягчение и параллельно превращение воды в пар, что приводит к вспучиванию и увеличению его объема до 20 раз. Температура применения 600-900 °С в зависимости от вида связующего в изделиях. Вспученный перлит применяют в сыпучем виде (песок) и в виде изделий. Относится к группе негорючих материалов.

Вспученный вермикулит – сыпучий, зернистый материал, получаемый путем обжига при температуре 800-1000 °С минерала вермикулита, представляющего собой природные водосодержащие слюды. При этом его объем увеличивается в 20 и более раз. Очень легкий – средняя плотность около 100-200 кг/м<sup>3</sup>, температура применения 1100 °С.

Применяют как наполнитель в огнезащитных красках и обмазках; также как и перлит, используется в качестве заполнителя для бетонов и штукатурных растворов.

Материалы на неорганических вяжущих – это газо- и пенобетоны, газосиликаты, гипсовые материалы.

Газо- и пенобетоны по своей природе относятся к классу искусственных каменных материалов. Изготавливаются на основе цементного и силикатного вяжущего. Отличаются способом образования пористой структуры – с помощью газо или пенообразователей. Используются в строительной практике в виде плит, блоков для утепления стен и плоских кровель, средняя плотность от 400 до 900 кг/м<sup>3</sup>. Они относятся к группе негорючих материалов, но так как они получают в результате твердения вяжущего при присоединении к нему воды, то при 600 °С из их структуры начинает испаряться химически связанная вода, происходит разрушение структуры и потеря прочности, что может привести к разрушению и обрушению строительных конструкций, которые из них изготовлены.

Гипсовые изделия получают из гипсового вяжущего, которое получают обжигом гипсовых горных пород. В основном это композиционные теплоизоляционные материалы. Используются для изготовления гипсовых листов. Это композиционные изделия в состав которых входят асбестовые волокна. Относятся к группе негорючих материалов, но также при температуре более 500 °С могут терять свою прочность.

Новый современный вид неорганических материалов – жидкие материалы на силиконовой основе (содержат кремнезем). Это сверхтонкий теплоизолятор, по консистенции напоминающий обычную краску, является суспензией, которую можно наносить на любую поверхность (1 мм материала = 50-60 мм мин. ваты). Является негорючим строительным материалом.

Пожарная опасность органических строительных материалов хорошо известна (в том числе и по печально известному случаю пожара, произошедшего в пермском ночном клубе «Хромая лошадь»). Органические материалы горючи, могут распространять пламя, обладают дымообразующей способностью. При горении выделяются ядовитые вещества, которые зависят от вида органического материала.

Наиболее пожароопасными являются утеплители на основе пенополистирола. Все материалы на основе пенополистирола по горючести относятся к классу Г3, Г4. Эти материалы относятся к легковоспламеняемым (в лучшем случае умеренновоспламеняемым), высокоопасным по токсичности продуктов горения и с высокой дымообразующей способностью Д3.

Пенополистирол при тепловом воздействии плавится, течет и поджигает все, что находится на его пути. Несколько крупных пожаров, произошедших на промышленных предприятиях, показали высокую пожарную опасность материалов на основе пенополистирола. Так, пожар в одном из популярных ночных клубов Перми «Хромая лошадь», произошел ночью 5 декабря 2009 года, погибло 156 человек. Главной причиной массовой гибели людей, отравленных продуктами горения, стал использованный при отделке помещений клуба пенополистирол, выделяющий при горении ядовитый дым.

Следующие по пожарной опасности материалы на основе пенополиуретана. Большинство марок этого материала имеют группу горючести Г3 (некоторые имеют группу Г2), группы по воспламеняемости В1, В2. Температура вос-

пламенения от 325 °С. Он горит несколько иначе, чем пенополистирол. При горении утеплителя на основе пенополиуретана в основном выделяется угарный газ, но в небольших количествах выделяется такое соединение, как цианистый водород.

Менее опасны с точки зрения горючести, но также опасны по дымообразующей способности и токсичности продуктов горения фенолрезольные, карбамидные и другие теплоизоляционные материалы.

Резольные пенопласты изготовленные из резольных фенолформальдегидных смол, относятся к группе трудногорючих. В виде плит они применяются для теплоизоляции наружных ограждений, фундаментов и перегородок при температуре поверхности не выше 130 °С.

Карбамидный пенопласт применяется при температурах от -50 °С до +120 °С. Из всех применяемых в строительстве пенопластов только он относится к группе горючести Г2. Группа дымообразующей способности Д1.

Древесноволокнистые плиты (ДВП) изготавливают из отходов древесины путем формования и пропитки синтетическими смолами. Плиты горючи (Г4). ДВП по токсичности продуктов тлеющего горения относится к высокоопасным материалам (группа материалов Т3), дымообразующую способность Д2. Токсичность и дымообразующая способность зависят от вида и количества смолы для пропитки.

Древесно-стружечные плиты (ДСП) изготавливают путем горячего прессования древесных стружек, пропитанных полимерным связующим. Плиты горючи (Г4).

Фибролит получают из древесной стружки и цементного вяжущего. Фибролит при средней плотности  $> 300 \text{ кг/м}^3$  горюч (Г3). Токсичность и дымообразующая способность определяет древесная стружка.

Торфоплиты. Сырьем служит молодой, еще не перегнивший торф, с большим количеством мха. Плиты получают горячим прессованием. Вяжущего материала для скрепления волокон торфа не требуется, т.к. при температуре 120-150 °С содержащиеся в торфе воскообразные вещества склеивают волокна торфа и переходят в нерастворимое состояние. Они горючи (Г4) – горят открытым пламенем и интенсивно переугливаются, что затрудняет тушение пожара.

Строительный войлок изготавливают из шерсти с добавлением льняной пакли и клеящих веществ. Материал горюч (Г3-Г4). Чаще горит не открытым пламенем, а интенсивно тлеет, выделяя удушливый дым. Понижение горючести достигается пропиткой его глиняным раствором.

Использование теплоизоляционных материалов позволяет:

- создать необходимый микроклимат в помещении;
- уменьшить толщину и массу стен и других ограждающих конструкций,
- снизить расход основных конструктивных материалов;
- уменьшить транспортные расходы и снизить стоимость строительства.

Акустические материалы – материалы, предназначенные для снижения уровня «шумового загрязнения» в помещении. Они подразделяются на звукопоглощающие материалы и звукоизоляционные прокладочные материалы.

Звукопоглощающие материалы применяются в основном в звукопоглощающих облицовках производственных помещений и технических устройств, требующих снижения уровня шумов (промышленные цехи, машинописные бюро, установки вентиляции и кондиционирования воздуха и др.), а также для создания оптимальных условий слышимости и улучшения акустических свойств помещений общественных зданий (зрительные залы, аудитории, радиостудии и пр.). Звукопоглощающая способность материалов обусловлена их пористой структурой и наличием большого числа открытых сообщающихся между собой пор, максимальный диаметр которых обычно не превышает 2 мм (общая пористость должна составлять не менее 75% по объёму). Большая удельная поверхность материалов, создаваемая стенками открытых пор, способствует активному преобразованию энергии звуковых колебаний в тепловую энергию вследствие потерь на трение. Эффективность звукопоглощающих материалов оценивается коэффициентом звукопоглощения, равным отношению количества поглощённой энергии к общему количеству падающей на материал энергии звуковых волн.

Звукопоглощающие материалы имеют волокнистое, зернистое или ячеистое строение и могут обладать различной степенью жёсткости (мягкие, полужёсткие, твёрдые). Мягкие звукопоглощающие материалы изготавливаются на основе минеральной ваты или стекловолокна с минимальным расходом синтетического связующего (до 3% по массе) или без него. К ним относятся маты или рулоны с объёмной массой до  $70 \text{ кг/м}^3$ , которые обычно применяются в сочетании с перфорированным листовым экраном (из алюминия, асбестоцемента, жёсткого поливинилхлорида) или с покрытием пористой плёнкой. Коэффициент звукопоглощения этих материалов на средних частотах (250-1000 Гц) от 0,7 до 0,85.

К полужёстким материалам относятся минераловатные или стекловолоконистые плиты размером (мм)  $500 \times 500 \times 20$  с объёмной массой от 80 до  $130 \text{ кг/м}^3$  при содержании синтетического связующего от 10 до 15% по массе, а также древесноволокнистые плиты с объёмной массой  $180\text{-}300 \text{ кг/м}^3$ . Поверхность плит покрывается пористой краской или плёнкой. Коэффициент звукопоглощения полужёстких материалов на средних частотах составляет 0,65-0,75. В эту же группу входят звукопоглощающие плиты из пористых пластмасс, имеющие ячеистое строение (пенополиуретан, полистирольный пенопласт и др.).

Твёрдые материалы волокнистого строения изготавливаются в виде плит размером (мм)  $300 \times 300 \times 20$  на основе гранулированной или суспензированной минеральной ваты и коллоидного связующего (крахмальный клейстер, раствор карбоксиметилцеллюлозы). Поверхность плит окрашена и имеет различную фактуру (трещиноватую, рифлёную, бороздчатую). Объёмная масса  $30\text{-}400 \text{ кг/м}^3$ , коэффициент звукопоглощения на средних частотах 0,6-0,7. Разновидность твёрдых материалов – плиты и штукатурные растворы, в состав которых входят пористые заполнители (вспученный перлит, вермикулит, пемза) и белые или цветные портландцементы. Применяются также звукопоглощающие плиты, в которых древесная шерсть связана цементным раствором (т.н. акустический

фибrolит). Выбор материала зависит от акустического режима, назначения и архитектурных особенностей помещения.

Звукоизоляционные прокладочные материалы применяются в виде рулонов или плит в конструкциях междуэтажных перекрытий, во внутренних стенах и перегородках, а также как виброизоляционные прокладки под машины и оборудование. Характеризуются малым значением динамического модуля упругости, как правило, не превышающим  $1,2 \text{ Мн/м}^2$  ( $12 \text{ кгс/см}^2$ ), при нагрузке  $20 \text{ Мн/м}^2$  ( $200 \text{ кгс/м}^2$ ). Упругие свойства скелета материала и наличие воздуха, заключённого в его порах, обуславливают гашение энергии удара и вибрации, что способствует снижению структурного и ударного шума. Различают звукоизоляционные прокладочные материалы, изготовляемые из волокон органического или минерального происхождения (древесноволокнистые плиты, минераловатные и стекловолокнистые рулоны и плиты толщиной от 10 до 40 мм, объёмная масса  $30\text{-}120 \text{ кг/м}^3$ ), а также из эластичных газонаполненных пластмасс (пенополиуретан, пенополивинилхлорид, латексы синтетических каучуков), выпускаемых в виде плит толщиной от 5 до 30 мм; объёмная масса эластичного пенополиуретана  $40\text{-}70 \text{ кг/м}^3$ , пенополивинилхлорида  $70\text{-}270 \text{ кг/м}^3$ . В ряде случаев для целей звукоизоляции применяются штучные прокладки из литой или губчатой резины.

Эффективность звукоизоляционных материалов оценивается коэффициентом звукоизоляции, равным отношению энергии, проникающей через ограждение, к падающей на поверхность. Чем больше замкнутых пор в материале, тем выше его звукоизоляционные свойства.

Акустические материалы позволяют:

- улучшить эксплуатационные условия в зданиях;
- сэкономить значительное количество строительных материалов;
- резко снизить массу конструкций, составляющих здание;
- снизить затраты на сооружение зданий;
- повысить степень индустриализации строительных работ.

Органические материалы горючи, могут распространять пламя, обладают дымообразующей способностью. При горении выделяются ядовитые вещества, которые зависят от вида органического материала.

## **7.2. Гидроизоляционные материалы на битумных и дегтевых вяжущих**

Гидроизоляционные материалы представляют большой класс строительных материалов, куда входят кровельные материалы и герметики. Герметики служат для герметизации стыков между панелями зданий и должны сочетать в себе гидроизоляционные, тепло и звукоизоляционные свойства. Гидроизоляционные материалы должны не пропускать воду, т.е. быть плотными. Способность образовывать плотные пленки есть у органических полимерных материалов, поэтому большинство гидроизоляции выполнено из органических материалов и представляет пожарную опасность.

Основные требования, предъявляемые к гидроизоляционным материалам:

1. Полная водонепроницаемость;
2. Долговечность, базирующаяся на гнилостойкости;
3. Свойства, обеспечивающие сохранение сплошности материала при различных внешних механических воздействиях (прочность, деформативность и т.д.);
4. Технологичность;
5. Экономичность.

Битумы представляют собой соединения углеводородов. Различают битумы природные и нефтяные. Природный битум в чистом виде встречается редко, чаще он содержится в породах горных пород известняков, песчаников. В строительстве в основном используют нефтяные битумы – окисленные остатки после перегонки нефти. Битумные материалы являются горючими (Г3-Г4). Они бывают жидкие (пропитки), пластично вязкие (мастики) и рулонные. Температура вспышки не менее 240 °С; минимальная температура самовоспламенения 300 °С. Кроме того, битумы при нанесении на шлаковату склонны к самовозгоранию.

Кроме группы горючести у гидроизоляционных материалов необходимо определять группу воспламеняемости и группу распространения пламени. Например, у рулонных материалов группа воспламеняемости – умеренновоспламеняемые (В2), легковоспламеняемые (В3); группа распространения пламени – РП1-РП4 в зависимости от вида материала.

Иногда битумное вяжущее комбинируют с полимерным. Обычно это увеличивает группу распространения пламени материала.

Дегтевые вяжущие – к этой группе относят сырые дегти, дегтевые масла и пеки. Сырые дегти – это жидкие продукты сухой перегонки каменного и бурого угля, торфа, древесины. На основе дегтя изготавливают эмульсии и лаки (Кузбаслак), дегтевые мастики. Мастики всех видов содержат наполнители минеральные и органические. По пожарной опасности они не отличаются от битумных материалов: группа горючести Г4, умеренновоспламеняемые В2, группа распространения пламени РП2.

Кроме органических веществ битума или дегтя гидроизоляционные материалы изготавливаются на основе синтетических полимеров. Это пленочные или листовые материалы. Все они являются горючими материалами группы Г4 с быстрым распространением пламени по поверхности. Наиболее благоприятными, с точки зрения пожарной безопасности, являются гидроизоляционные мембраны, относящиеся к группе горючести Г2.

### **Способы защиты теплоизоляционных, акустических, гидроизоляционных материалов от термического и огневого воздействия**

Органические теплоизоляционные материалы представляют большую пожарную опасность при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. Неорганические материалы, хоть и относятся к группе негорючих материалов,

также могут выдерживать только определенный температурный интервал, после которого они разрушаются. Поэтому в настоящее время все исследования и разработки направлены на повышение термостойкости и снижения пожарной опасности неорганических и органических материалов.

Вне зависимости от типа, полимерные строительные материалы нельзя перевести в разряд негорючих, но возможно снизить их пожарную опасность. Для этого применяются антипирены – различные вещества, которые способствуют снижению показателей пожарной опасности (горючести, воспламеняемости и скорости распространения пламени по поверхности).

Для снижения пожарной опасности органических теплоизоляционных материалов применяются антипирены, добавляемые непосредственно в их состав (тетрабромпарахлорид, хлорпарафины, триоксид сурьмы, гексабромэтан и др.).

## **Темы докладов и рефератов**

1. Теплоизоляционные материалы, используемые в строительстве, особенности их строения.
2. Акустические материалы, используемые в строительстве, особенности их строения.
3. Гидроизоляционные материалы, используемые в строительстве, особенности их строения.
4. Неорганические теплоизоляционные материалы и их поведение в условиях пожара.
5. Органические теплоизоляционные материалы и их поведение в условиях пожара.
6. Пожарная опасность органических теплоизоляционных материалов.
7. Пожарная опасность органических гидроизоляционных материалов.
8. Способы огнезащиты теплоизоляционных, акустических, гидроизоляционных строительных материалов.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Какие строительные материалы называются теплоизоляционными?
2. Какие строительные материалы называются гидроизоляционными?
3. Какие строительные материалы называются акустическими?
4. Какую отличительную особенность строения имеют теплоизоляционные материалы?
5. Приведите примеры неорганических теплоизоляционных материалов.
6. Приведите примеры органических теплоизоляционных материалов.
7. На какие группы подразделяются акустические строительные материалы?
8. Приведите примеры акустических материалов.
9. От каких факторов зависит пожарная опасность теплоизоляционных, акустических и гидроизоляционных материалов.
10. В каких целях в строительстве используются герметики?
11. Что представляют собой битумы?
12. Какие существуют способы защиты теплоизоляционных, акустических и гидроизоляционных материалов от термического и огневого воздействия?



## Контрольные тесты главы 7

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Ответ
1	Теплоизоляционные материалы характеризуются:	<div data-bbox="959 327 1331 394">малой теплопроводностью</div> <div data-bbox="959 394 1331 472">высокой теплопроводностью</div> <div data-bbox="959 472 1331 551">повышенной пористостью</div>
2	Минеральная (каменная) вата представляет собой:	<div data-bbox="959 566 1331 633">теплоизоляционный материал</div> <div data-bbox="959 633 1331 712">гидроизоляционный материал</div> <div data-bbox="959 712 1331 757">акустический материал</div>
3	Акустические строительные материалы подразделяются на:	<div data-bbox="959 768 1331 801">звукопоглощающие</div> <div data-bbox="959 801 1331 835">звукоизоляционные</div> <div data-bbox="959 835 1331 880">звукоотражающие</div>
4	Какие вещества называют антипиренами?	<div data-bbox="959 891 1331 958">снижающие пожарную опасность</div> <div data-bbox="959 958 1331 1037">повышающие пожарную опасность</div> <div data-bbox="959 1037 1331 1115">снижающими себестоимость</div>
5	К способам снижения пожарной опасности теплоизоляционных материалов относят:	<div data-bbox="959 1133 1331 1200">добавление в состав щебня</div> <div data-bbox="959 1200 1331 1279">добавление в состав азотной кислоты</div> <div data-bbox="959 1279 1331 1357">добавление в состав антипиренов</div>

## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Акулова М.В., Емелин В.Ю., Никифоров А.Л., Наконечный С.Н.* Поведение теплоизоляционных строительных материалов в условиях пожара: Учебное пособие / М.В. Акулова, В.Ю. Емелин, А.Л. Никифоров, С.Н. Наконечный. Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России. 2013. 100 с., ил.
2. *Ройтман В.М., Серков Б.Б., Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.
3. *Киреева Ю.И.* Современные строительные материалы и изделия / Ю. И. Киреева. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 256 с.: ил.
4. *Корольченко А.Я., Трушкин Д.В.* Пожарная опасность строительных материалов. Учебное пособие. / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. М.: Пожнаука, 2005. 232 с.: ил.
5. *Основин В.Н., Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.
6. *Рыженко В.И.* Гипсокартон и другие современные строительные материалы. Технология работ / В.И. Рыженко. М.: Онискс. 2010. 224 с.: ил.

### дополнительная

7. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

## РАЗДЕЛ 2. ПОВЕДЕНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

### Глава 8. Объемно-планировочные решения и конструктивные схемы зданий

*Цель: ознакомить обучающихся с основными особенностями объемно-планировочных решений зданий различного функционального назначения.*

#### 8.1. Общие принципы объемно-планировочных решений зданий

Рассмотрим первоначально термины «помещение», «здание» и «сооружение» и их определения в соответствии с [5].

1) Помещение – часть объема здания или сооружения, имеющая определенное назначение и ограниченная строительными конструкциями.

2) Здание – результат строительства, представляющий собой объемную строительную систему, имеющую надземную и (или) подземную части, включающую в себя помещения, сети инженерно-технического обеспечения и системы инженерно-технического обеспечения и предназначенную для проживания и (или) деятельности людей, размещения производства, хранения продукции или содержания животных.

3) Сооружение – результат строительства, представляющий собой объемную, плоскостную или линейную строительную систему, имеющую наземную, надземную и (или) подземную части, состоящую из несущих, а в отдельных случаях и ограждающих строительных конструкций и предназначенную для выполнения производственных процессов различного вида, хранения продукции, временного пребывания людей, перемещения людей и грузов.

Объемно-планировочным решением здания называется объединение помещений избранных размеров и формы в единую композицию. Из определения следует, что при разработке объемно-планировочного решения оперируют определенным составом помещений, которые в определенном порядке размещают в объеме здания.

Основой объемно-планировочного решения является происходящий в здании процесс. По характеру процессы весьма разнообразны. Это может быть производственный процесс, основанный на определенной технологии, или процесс обучения и воспитания детей, происходящий по определенному режиму; это может быть процесс, связанный с бытом или отдыхом людей и т.д.

От характера процесса зависят количество участвующих в нем людей, необходимое для его организации оборудование, требуемое благоустройство и другие элементы. Совокупность элементов, составляющих процесс, определяет габариты и форму помещений, способы их взаимосвязи и порядок размещения в объеме здания. Процессы отличаются не только по характеру, но и по сложности организации. Функциональный процесс, происходящий в жилом доме,

отличается от протекающих в большинстве общественных зданий функционально-технологических процессов, складывающихся зачастую из нескольких сливающихся воедино процессов (например, процесс подготовки и организации театрального действия и зрелищный процесс в театре) или существовать параллельно (например, работа зрительного зала, кружковых, библиотеки в доме культуры).

В целях создания оптимального объемно-планировочного решения функциональные процессы приводят в определенную систему, которая устанавливает как должны быть взаимосвязаны между собой отдельные помещения или группы родственных по назначению помещений, обеспечивающих последовательность развития процесса. Графически система взаимосвязей помещений может быть представлена в виде функциональной (технологической) схемы, на которую условно в виде прямоугольников или квадратов наносят помещения и указывают связь между ними.

Набор размещаемых в зданиях типов помещений ограничен. Это основные, вспомогательные, обслуживающие и коммуникационные помещения. К последним относятся входные узлы, коридоры, галереи, переходы, холлы, лестничные клетки.

Объединение помещений в единую композицию в объеме здания осуществляется по схеме, которая называется планировочной. Планировочная схема разрабатывается при проектировании любого здания, поэтому число схем не ограничено. Но в любой из них можно найти элементы четырех основных планировочных схем: коридорной (галерейной), секционной, анфиладной, зальной (рис. 21).

В коридорной схеме помещения относительно небольших размеров объединяют коридором и располагают относительно него с одной (двух) сторон или по периметру. Такая схема применяется при проектировании общежитий, гостиниц, больниц, домов отдыха, жилых домов.

В галерейной схеме (вариант коридорной схемы) помещения располагают по одну сторону открытой в окружающую среду галереи. Схема получила распространение при проектировании гражданских зданий в районах с жарким климатом.

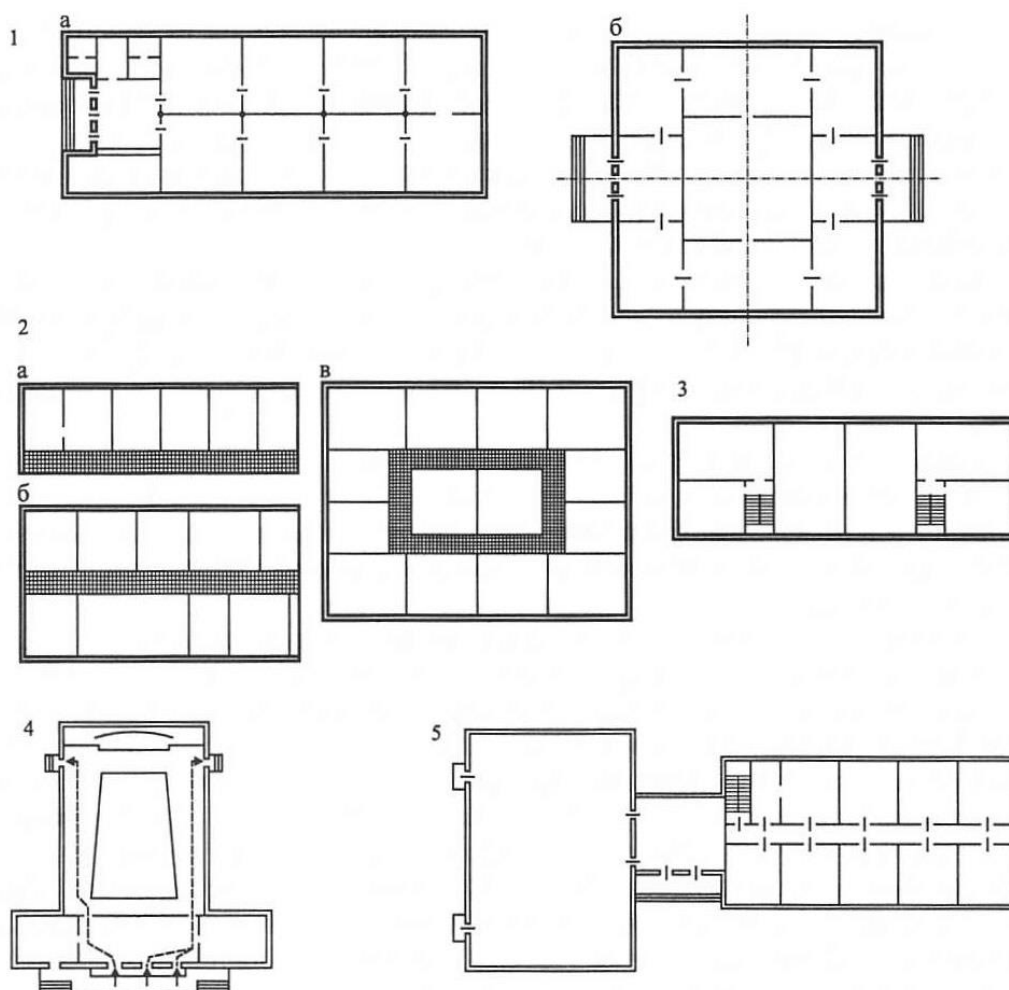
Секционная схема, представляющая собой сочетание изолированных и, как правило, одинаковых по планировке отсеков-секций, является основной при проектировании жилых домов.

Анфиладная схема, в которой помещения, расположенные один за другим, соединяются через дверные проемы, размещаемые, как правило, на одной оси, находит применение при проектировании музеев, выставочных залов, некоторых магазинов.

При зальной схеме имеется одно помещение больших размеров (зальное), которое располагают обычно в центре здания, и помещения меньших размеров, которые группируют вокруг зального. Одно- или многозальная планировочная схема используется при проектировании театров и кинотеатров, рынков, торго-

вых центров, спортивно-зрелищных предприятий, промышленных и сельскохозяйственных объектов.

В большинстве случаев планировочные схемы комбинируются из двух-трех основных. Такие схемы называют смешанными.



**Рис. 21.** Объемно-планировочные схемы зданий: 1 – анфиладная: а – протяженная, б – центрическая; 2 – с горизонтальными коммуникациями: а – галерейная, б – коридорная, в – коридорно-кольцевая; 3 – с вертикальными коммуникациями (секционная); 4 – зальная; 5 – комбинированная

Высокие темпы строительства могут быть обеспечены только при интенсивном использовании индустриальных методов возведения зданий, монтажа их из унифицированных типовых конструкций заводского изготовления. Возможность применения данного метода обеспечивается лишь в том случае, если параметры строительных конструкций соответствуют планировочным параметрам здания: шагу несущих конструкций, пролету, высоте этажа.

Для достижения требуемого соответствия в параметрах при проектировании зданий и разработке строительных конструкций применяется единая модульная система (ЕМС), основной принцип которой заключается в кратности

конструктивных и планировочных параметров единой величине – модулю. В качестве основного модуля (М) принята величина, равная 100 мм.

## 8.2. Конструктивные системы и схемы зданий

Возведенные здания должны быть прочными, экономичными, огнестойкими. Эти свойства зависят от конструкций, разработку которых начинают с решения принципиального вопроса конструирования – выбора конструктивной системы здания. Что же такое конструктивная система здания?

В процессе строительства и эксплуатации здание испытывает на себе действие многочисленных нагрузок, отличающихся по величине, направлению, характеру действия и месту приложения. Конструкции, участвующие в восприятии нагрузок, называют несущими. К вертикальным несущим конструкциям относятся фундаменты, стены, отдельные опоры, а к горизонтальным – перекрытия и покрытие. Размещаясь в объеме здания в определенном сочетании, несущие конструкции образуют пространственную систему, способную воспринимать все действующие на здание силовые нагрузки и воздействия и обеспечивать его прочность, жесткость и устойчивость. Эта система и называется конструктивной системой здания.

Понятие конструктивная система является обобщенной конструктивно-статической характеристикой здания, не зависящей от материалов, из которых оно возводится, и способа возведения.

Восприятие и передача нагрузок осуществляется конструкциями по следующей схеме.

Вертикальные несущие конструкции воспринимают действующие на здание вертикальные нагрузки (от собственной массы, оборудования, снега и др.) и передают их основанию.

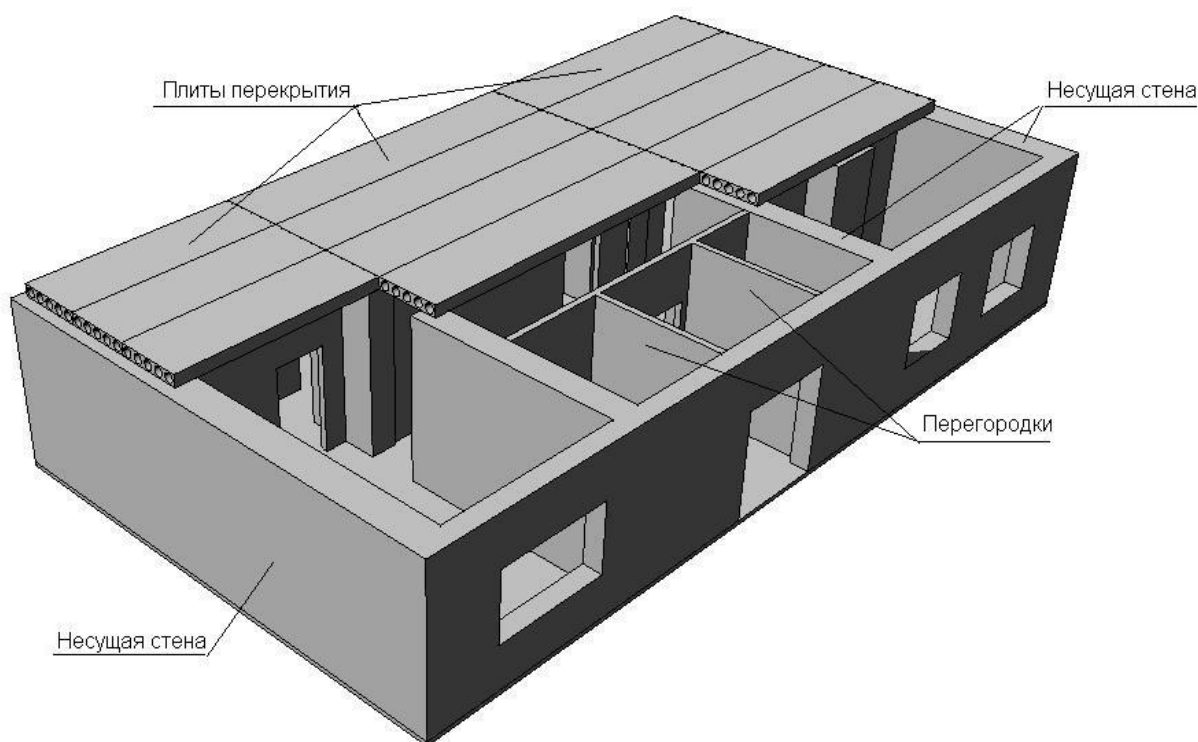
Горизонтальные несущие конструкции воспринимают горизонтальные (ветровая, сейсмическая и др.) нагрузки и поэтажно вместе с собственной массой передают их вертикальным несущим конструкциям. Существует несколько способов передачи горизонтальных нагрузок. Горизонтальные нагрузки могут быть равномерно распределены между вертикальными несущими конструкциями, либо передаваться на специальные вертикальные элементы жесткости (диафрагмы, связи, стволы жесткости). Возможно и промежуточное решение с распределением горизонтальных нагрузок в различных пропорциях между вертикальными несущими конструкциями и элементами жесткости.

Горизонтальные несущие конструкции зданий массового строительства, как правило, однотипны и обычно представляют собой железобетонные диски. В отличие от горизонтальных, вертикальные несущие конструкции разнообразны. К ним относятся плоскостные элементы (стены, диафрагмы жесткости), стержневые элементы сплошного сечения (стойки каркаса), объемно-пространственные элементы высотой в этаж (объемные блоки), внутренние объемно-пространственные полые стержни на высоту здания в виде стволов

(ядер) жесткости, внешние объемно-пространственные несущие конструкции на высоту здания в виде тонкостенной оболочки замкнутого сечения.

Тип вертикальной несущей конструкции определяет тип конструктивной системы здания. Различают основные, комбинированные и смешанные конструктивные системы. Основных систем пять: бескаркасная (стенная), каркасная, объемно-блочная, ствольная и оболочковая. Выбор конструктивной системы при проектировании основан на объемно-планировочных, архитектурно-композиционных и экономических требованиях.

Бескаркасная (стенная) конструктивная система является основной в проектировании зданий мелкоячеистой объемно-планировочной структуры: квартирных жилых домов, общежитий, гостиниц, спальных корпусов домов отдыха, больниц и др. (рис. 22).



**Рис. 22.** Бескаркасная (стенная) система

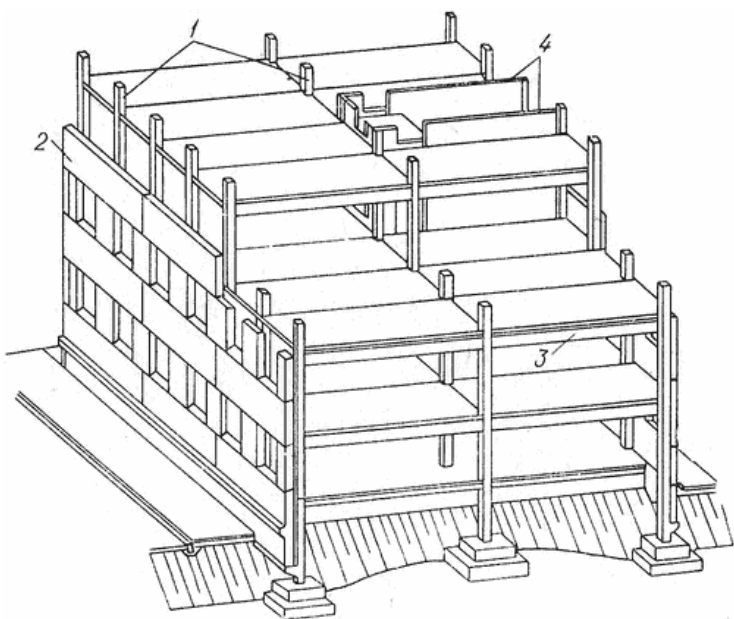
Стены воспринимают все вертикальные, а через перекрытия и все горизонтальные нагрузки, действующие на здание. Система включает три варианта конструктивной схемы. Общим для всех вариантов схем является способ восприятия горизонтальных нагрузок.

Каркасная конструктивная система является основной в проектировании производственных и сельскохозяйственных зданий, а также общественных и жилых зданий повышенной этажности (рис. 23). По сравнению с бескаркасной эта система имеет ряд преимуществ. Так, замена протяженных несущих стен на редко расставленные колонны обеспечивает значительное снижение массы здания и максимальную свободу планировочного решения. Основным преимуще-

ством полнокаркасных зданий является четкое разграничение функций между каркасом, воспринимающим все нагрузки и стенами, являющимися только ограждениями.

Вертикальные несущие конструкции в каркасной схеме – стержневые (колонны). Их соединения с горизонтальными несущими элементами (ригелями, балками, фермами) могут быть жесткими и шарнирными. Способ соединений определяет характер работы каркасов под нагрузкой. Исходным для всех типов каркасов является рамный.

Объемно-блочная конструктивная система применялась, в основном, при проектировании жилых зданий (рис. 24). В этой системе вертикальными несущими элементами служат объемные блоки, включающие в себя комнату или даже квартиру. Блоки устанавливаются друг на друга столбами на всю высоту здания с передачей вертикальной нагрузки от вышележащих блоков нижележащим по контуру, двум противоположным сторонам или углам блоков. Соединенные друг с другом столбы блоков образуют достаточно прочную и жесткую структуру, способную воспринимать все вертикальные и горизонтальные нагрузки, действующие на здание.



**Рис. 23.** Каркасная система

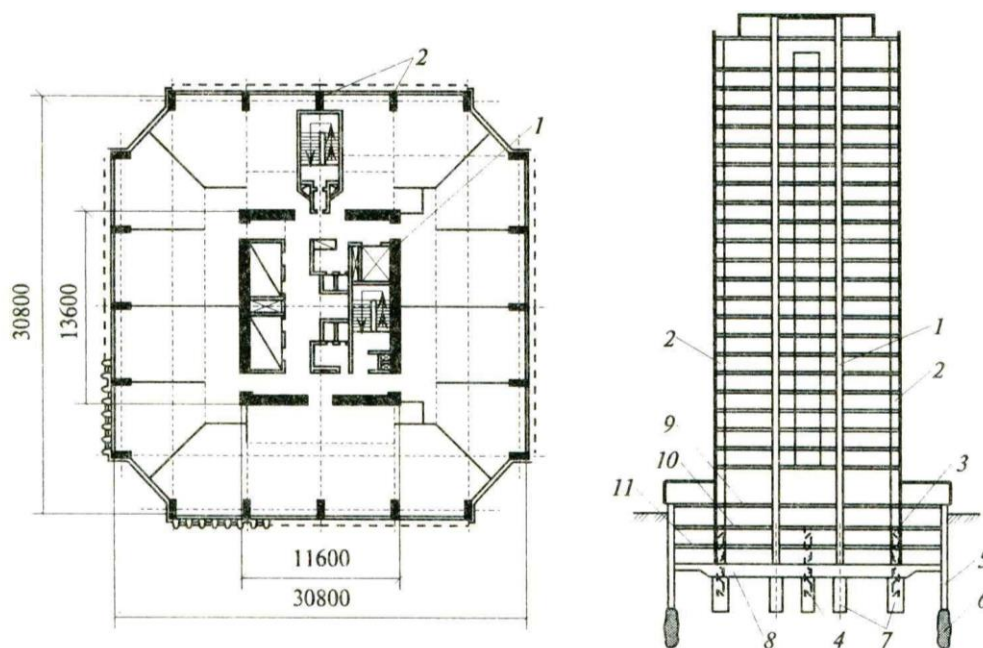


**Рис. 24.** Объемно-блочная конструктивная система

Ствольная конструктивная система – нетрадиционная система, используемая при проектировании высотных жилых и общественных зданий башенного типа (рис. 25). Вертикальным несущим элементом, воспринимающим все вертикальные и горизонтальные нагрузки, является жесткий сердечник – ствол центрального лестнично-лифтового узла, площадь которого составляет 10-25% площади здания. Стены стволов монтируют из отдельных панелей, жестко соединенных друг с другом и с фундаментом, либо выполняют монолитными.



Применяются перекрытия консольного типа. Система допускает устройство подвешенных этажей.



**Рис. 25.** Пример здания со ствольной системой

Оболочковая конструктивная система или система с несущими наружными объемно-пространственными жесткостными конструкциями используется редко – в зданиях высотой до 100 и более этажей (рис. 26). В основном варианте системы несущая часть здания представляет собой наружную оболочку – вертикальную пространственную замкнутую конструкцию, жестко заделанную в фундамент или в конструкции подземных этажей, которая воспринимает все вертикальные и горизонтальные нагрузки на здание. Поперечную жесткость оболочки обеспечивают жесткие конструкции перекрытий. Конструкции оболочек разнообразны. Наиболее часто применяется оболочка в виде безраскосной пространственной рамы из стоек и поэтажных ригелей.



**Рис. 26.** Оболочковая конструктивная система

Рамные конструкции оболочек рекомендуется использовать в зданиях высотой не более 80-ти этажей. В более высоких зданиях жесткость рамной конструкции для восприятия больших ветровых нагрузок может оказаться недостаточной, поэтому конструкцию заменяют на связевую решетчато-раскосную. Такая конструкция оболочки используется в зданиях высотой до

110 этажей и представляет собой пространственную ферму, поставленную вертикально. Горизонтальные элементы фермы располагают с шагом в 10-16 этажей. В плоскости этих этажей делают жесткий дискростверк, который служит опорой для отдельной части здания, вставляемой, как блок, в каждую ячейку фермы, ограниченную ростверками. Оболочки выполняются в зданиях высотой до 55-ти этажей из железобетона, а в зданиях большей высоты – из металла.

Наряду с основными конструктивными системами широко применяются комбинированные конструктивные системы, в которых вертикальные несущие конструкции компонуются из разнотипных элементов – стержневых и плоскостных.

В системе с неполным каркасом в качестве вертикальных несущих конструкций используются стены и стойки каркаса, между которыми с помощью жестких перекрытий распределяются действующие на здание вертикальные и горизонтальные нагрузки. Система применяется в двух вариантах: с несущими наружными стенами и внутренним каркасом или с наружным каркасом и внутренними несущими стенами. На сочетании стержневых и плоскостных вертикальных несущих конструкций основана каркасно-связевая система (каркасно-диафрагмовая, каркасно-дискровая).

Наряду с основными и комбинированными применяются смешанные конструктивные системы, основанные на сочетании в здании по его высоте или протяженности двух или нескольких конструктивных систем. В зданиях со смешанной системой возможен, например, переход от бескаркасной (стеновой) системы в типовых этажах к каркасной системе в первых или верхних этажах здания.

В пределах одной конструктивной системы пространственное положение вертикальных несущих конструкций может меняться. Вариант конструктивной системы по признаку размещения в пространстве (продольного, поперечного, перекрестного) вертикальных несущих конструкций называется конструктивной схемой здания.

Различают бескаркасную и каркасную конструктивные схемы.

Бескаркасные конструктивные схемы:

1) С продольными несущими стенами (наружными и внутренними). Традиционна в проектировании зданий малой, средней и повышенной этажности. Схему применяют при проектировании жилых и общественных зданий различного назначения (свобода планировочных решений в зданиях).

2) С поперечными несущими стенами (наружными и внутренними). Менее гибкая в планировочном отношении. Часто ее применяют при строительстве жилых зданий, реже – массовых типов общественных зданий (детских учреждений, школ и т.п.).

3) С несущими продольными и поперечными стенами (наружными и внутренними). Для этой схемы характерно отсутствие гибкости в планировочном отношении. Область ее применения – только жилые здания. Распространена в проектировании многоэтажных зданий, а также зданий, строящихся в сложных геологических условиях, а также в сейсмически опасных районах.

Каркасные конструктивные схемы:

1) Продольный каркас (с продольными ригелями) – применяют в жилых домах квартирного типа и массовых общественных зданиях сложной планировочной структуры, например, в зданиях школ.

2) Поперечный каркас (с поперечными ригелями) – применяется в многоэтажных зданиях с регулярной планировочной структурой (общежития, гостиницы).

3) Безригельный каркас – используют как в многоэтажных промышленных, так и в гражданских зданиях.

4) Каркас с перекрестным расположением ригелей – выполняют чаще всего монолитным и используют в многоэтажных промышленных и общественных зданиях.

## **Темы докладов и рефератов**

1. Общие принципы объемно-планировочных решений зданий.
2. Виды объемно-планировочных решений гражданских, промышленных и сельскохозяйственных зданий.
3. Виды планировочных схем зданий.
4. Конструктивные системы зданий.
5. Конструктивные схемы зданий.
6. Особенности объемно-планировочных решений гражданских зданий.
7. Особенности объемно-планировочных решений производственных зданий.
8. Особенности объемно-планировочных решений сельскохозяйственных зданий.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Что называют объемно-планировочным решением здания?
2. Что называют планировочной схемой здания?
3. Назовите основные планировочные схемы зданий.
4. Что называют конструктивной системой здания?
5. Что определяет тип конструктивной системы здания?
6. Назовите основные конструктивные системы зданий.
7. Что называют конструктивной схемой здания?
8. Какие элементы здания относятся к вертикальным несущим конструкциям?
9. Какие элементы здания относятся к горизонтальным несущим конструкциям?
10. Где в строительстве применяется каркасная конструктивная система?
11. Какая планировочная схема здания является наименее пожароопасной, а какая наиболее?

## Контрольные тесты главы 8

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Ответ
1	Основой объемно-планировочного решения является:	количество пребывающих в здании людей оснащенность средствами первичного пожаротушения происходящий в здании процесс
2	Объединение помещений избранных размеров и формы в единую композицию в объеме здания называется:	конструктивной схемой здания объемно-планировочным решением здания коммуникационными помещениями
3	Какие конструкции называют несущими?	транспортирующие грузы (конвейерные ленты) ограждающие помещения от внешних воздействий участвующие в восприятии нагрузок
4	Назовите типы конструктивных систем здания:	каркасная, натяжная, продольная бескаркасная, каркасная, объемно-блочная, ствольная и оболочковая каркасная, натяжная, продольная, ствольная и оболочковая
5	К гражданским зданиям относят:	жилые и общественные здания производственные и жилые здания сельскохозяйственные и производственные здания

## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Ройтман В.М., Серков Б.Б. Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.

2. *Основин В.Н. Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.

3. *Козачун Г.У.* Типы жилых зданий / Г.У. Козачун. Ростов на Дону: Феникс. 2011. 400 с.: ил.

### дополнительная

4. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

5. Федеральный закон от 30.12.2009 N 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".

## Глава 9. Несущие и ограждающие строительные конструкции. Типы и конструкции лестниц

*Цель: ознакомить обучающихся с понятием несущих и ограждающих строительных конструкций, их видами и многообразием; классификацией лестниц, их типами.*

### 9.1. Несущие и ограждающие строительные конструкции, их пожарная опасность

Несущие строительные конструкции – это совокупность конструкций здания или сооружения, которые, статически взаимодействуя, выдерживают нагрузки, обеспечивают прочность и устойчивость постройки. Остальные конструкции здания называют ограждающими (самонесущими). Основные конструкции, принимающие нагрузки, возникающие в здании, составляют несущий остов, то есть совокупность горизонтальных (перекрытия) и вертикальных (стены, столбы, стойки, колонны и т.д.), и иногда наклонных конструктивных элементов. Кроме остова к несущим конструкциям причисляют фундаменты (принимают нагрузки несущего остова и распределяют их на основание здания, например, на несущий грунт), лестницы, крышу (плоскую крышу иногда относят к перекрытиям).

Нагрузки, которым должны противодействовать несущие конструкции, делятся на:

- постоянные: собственный вес конструкций зданий и сооружений, давление грунта на стены подвала, а также стационарных ограждающих конструкций, отделочных и др. материалов;
- временные (длительные и кратковременные): нагрузки от веса людей, мебели, стационарного оборудования, имущества, находящегося в здании стационарно (жидкости, сыпучие вещества, газы), длительные температурные, снеговые и ветровые воздействия;
- специальные (особые): нагрузки от взрывов, аварий, осадки и просадки грунтов, сейсмического воздействия, вибрации оборудования и др.

Требования, предъявляемые к несущим конструкциям:

1. Технические (эксплуатационные) – восприятие и передача нагрузок при сохранении прочности, надёжности и долговечности;
2. Экономические – соответствие эксплуатационных требований минимально необходимой стоимости;
3. Технологические – согласованность с технологией изготовления;
4. Эстетические – архитектурная выразительность;
5. Экологические – охрана окружающей среды.

Вертикальные несущие конструкции воспринимают все виды воздействий и нагрузок, возникающих в процессе эксплуатации здания, и через фундаменты передают их на грунт. Вертикальные опоры являются определяющим

признаком для классификации несущих остовов по типам. Известны два типа вертикальных опор: стержневые (колонны или стойки каркаса), плоскостные (стены). Можно также отнести к несущим опорам объемные тела типа пилонов, т. е. такие элементы, у которых все три генеральных размера примерно одного порядка, но подобные опоры встречаются крайне редко.

Так, стена независимо от того, сложена ли она из бревен, выполнена ли из кирпича или из сборных панелей, всегда рассматривается как плоскостной элемент, один размер которого (толщина) значительно меньше других генеральных размеров.

Исходя из такого определения, различают два основных типа несущего остова зданий: каркасный и стеновой (бескаркасный). Третий – комбинированный (или смешанный), состоящий из различных сочетаний стержневых и плоскостных вертикальных элементов (стоек каркаса и стен). Необходимо отметить и существование таких несущих остовов, в которых вертикальные опоры вообще отсутствуют, а наклонная конструкция покрытия опирается непосредственно на фундамент (арки, треугольные рамы и т. п.). Такие сооружения, применяемые в строительстве складов, ангаров и т. п. называют шатровыми.

Вся совокупность конструктивных элементов несущего остова многоэтажных зданий в каждом отдельном случае объединена между собой вполне определенным образом, образуя в пространстве единство закономерно расположенных частей, т. е. систему, которую называют конструктивной. Так называют способ размещения несущих горизонтальных и вертикальных конструкций в пространстве, их взаимное расположение, способ передачи усилий и т. п.

Ограждающие конструкции зданий и сооружений – строительные конструкции (стены, перекрытия, покрытия, заполнения проёмов, перегородки и т.д.), ограничивающие объём здания (сооружения) и разделяющие его на отдельные помещения. Основное назначение ограждающих конструкций – защита (ограждение) помещений от температурных воздействий, ветра, влаги, шума, радиации и т.п. В чём состоит их отличие от несущих конструкций, воспринимающих силовые нагрузки? Это отличие условно, т.к. часто ограждающие и несущие функции совмещаются в одной конструкции (стены, перегородки, плиты перекрытий и покрытий и др.). Ограждающие конструкции разделяют на внешние (или наружные) и внутренние. Внешние служат, главным образом, для защиты от атмосферных воздействий, внутренние – в основном для разделения внутреннего пространства здания и звукоизоляции.

По способу изготовления различают ограждающие конструкции сборные (монтируемые из готовых элементов заводского изготовления) и возводимые на месте строительства. В последнем случае для кирпичных, бетонных и железобетонных ограждающих конструкций применяют термин «монолитные». В зависимости от конструктивного решения ограждающие конструкции подразделяют на простые и комплексные (составные). Простые («однослойные») ограждающие конструкции выполняют из одного материала или из однородных штучных изделий (кирпичные стены, легкобетонные панели, гипсовые перегородки и т.п.). Комплексные («многослойные») ограждающие конструкции со-



стоят из нескольких элементов или слоев, например несущих, изоляционных, отделочных.

Среди ограждающих конструкций особое значение придаётся наружным стенам, определяющим архитектурный облик здания; часто материал стен характеризует и конструктивный тип здания (крупноблочное, крупнопанельное, деревянное (рубленое или щитовое), кирпичное). Стены выполняют также роль вертикальных диафрагм жёсткости.

Эксплуатационные качества наружных ограждающих конструкций должны соответствовать местным климатическим характеристикам и обеспечивать необходимые санитарно-гигиенические и комфортные условия в помещениях. К внутренним ограждающим конструкциям предъявляются требования надлежащей изоляции от воздушных и ударных шумов, от тепла и влаги смежных помещений. Ограждающие конструкции должны обладать высокой прочностью, жёсткостью, устойчивостью, огнестойкостью. Необходимо также, чтобы фактура, цвет и др. декоративные качества поверхностей ограждающих конструкций отвечали назначению зданий и помещений, способствовали достижению их архитектурной выразительности.

Основные тенденции развития современного ограждающих конструкций: преимущественное использование сборных крупноразмерных конструкций индустриального изготовления с высокой степенью заводской готовности, в том числе крупных стеновых панелей (офактуренных и остеклённых), укрупнённых комплексных перекрытий с готовым полом, объёмных элементов (блоков) с отделкой всех поверхностей; совершенствование конструкций сборных элементов и их соединительных узлов с целью снижения трудоёмкости изготовления и монтажа ограждающих конструкций и здания в целом; снижение веса ограждающих конструкций; использование для изготовления ограждающих конструкций местных строительных материалов.

Требования, предъявляемые к ограждающим конструкциям:

- 1) соответствие местным климатическим характеристикам;
- 2) обеспечение санитарно-гигиенических и комфортных условий в помещениях;
- 3) обеспечение надлежащей шумо-, тепло- и гидроизоляции;
- 4) обладание высокой прочностью, жёсткостью, устойчивостью, огнестойкостью;
- 5) наличие декоративных качеств поверхности (фактура, цвет и др.).

Рассмотрим каркасную систему зданий. Слово «каркас» происходит от франц. «carcasse», означающего «скелет». Главная особенность конструкции каркасного дома – разделение функций несущей способности здания (ее выполняет каркас) и утепления (современные теплоизоляционные, звукоизоляционные, ветрозащитные материалы).

## **Особенности каркасной технологии**

1. Быстрота возведения. Основным преимуществом каркасных домов является высокая скорость возведения. В отличие от кирпичных, деревянных, бетонных зданий, на возведение которых требуется от года до нескольких лет, на изготовление каркасного дома от заказа до полной готовности нужно до 1,5 месяцев, а монтаж каркаса осуществляется всего за 1-2 недели. Применяя каркасную технологию, строители выигрывают в скорости возведения зданий, ведь их, как конструктор, собирают непосредственно на строительной площадке. Убыстряет строительство и отсутствие таких трудоемких и требующих высокой квалификации процессов, как рытье глубокого фундамента, возведение кирпичных стен, монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных перекрытий.

2. Фундаменты. Одним из главных плюсов каркасного дома является его небольшой вес: он в несколько раз легче кирпичного и намного легче деревянного. Применение каркасов на основе деревянных элементов или легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) существенно снижает толщину и вес стен и перекрытий, что позволяет применять более легкие фундаменты. Фундамент может быть монолитной плитой, столбчатым или свайно-винтовым. Он будет достаточно прочным и сможет выдержать наличие каминов и печей.

3. Теплоизоляция. Каркасные стены, собранные по всем правилам, обладают низкой теплопроводностью. В качестве утеплителя таких домов применяют в основном пенополистирол, пенополиуретан, минеральную или базальтовую вату, иногда – эковату.

4. Надежность. Качество каркасного жилья специалисты оценивают как высокое – 90% всего технологического процесса проходит в заводских условиях. Проект будущего дома просчитывают на компьютере, благодаря чему все его элементы подогнаны точнее, чем при обычном строительстве.

5. Возможность свободной планировки внутреннего пространства является большим достоинством каркасного домостроения. Конструкция внутренних перегородок такова, что можно не ограничиваться простыми прямыми линиями, а использовать всю фантазию. Ограничений по форме и размерам проемов не существует, при этом создание абсолютно гладких и вертикальных поверхностей стен и перекрытий обеспечивает машиностроительная точность конструкций, в отличие от кирпичных, деревянных или панельных домов. Высокая несущая способность каркаса позволяет делать множество оконных проемов любых размеров, при желании комнаты могут быть буквально залиты светом.

## **Недостатки каркасной технологии**

Среди недостатков каркасных домов называют ограничение высоты до четырех этажей. Увеличение этажности приводит к значительному усложнению каркаса и снижению его надежности. Есть мнение, что каркасный дом «дышит» хуже, чем кирпичный или деревянный, поэтому в нем необходима система вен-

тиляции, а еще лучше – климат-контроля. Этот пункт расходов увеличивает стоимость такого жилья.

## Типы каркасов

В современном строительстве применяют основные типы каркасов: железобетонные, деревянные и металлические. У каждого такого типа есть свои преимущества и недостатки.

1. Деревянные каркасы. Дерево уже много веков является одним из самых популярных строительных материалов. Его главные преимущества – доступность, простота обработки, довольно высокая прочность, низкая теплопроводность, малый вес. Дерево – это экологически чистый и дешевый материал, оно отлично пилится, гвоздится, легко в работе.

Недостатки дома на основе деревянного каркаса очевидны и связаны непосредственно с этим материалом. Древесина, во-первых, легко воспламеняется, во-вторых, подвержена действию насекомых-вредителей, в-третьих, постепенно гниет. Однако современные средства защиты позволяют снизить эти риски. Используя современные материалы, можно достаточно эффективно защитить свой деревянный дом или отдельные конструкции от неблагоприятных факторов окружающей среды и воздействия огня. Ни одно из этих средств не дает 100% гарантии от пожара, т. к. не делает дерево абсолютно негорючим. Нанесение специальных составов предотвращает воздействие биологических и атмосферных факторов, однако покрытие необходимо периодически возобновлять.

2. Металлические каркасы. К главным преимуществам данных каркасов относится то, что они выдерживают большие нагрузки и очень долговечны. Поскольку стальные каркасы являются безусадочными, их использование предотвращает возникновение трещин в стенах, сделанных из материалов, подобных гипсокартону. Коттеджи, при строительстве которых применялись металлические каркасы, могут быть отделаны с использованием любых облицовочных материалов.

Металлокаркас возводится легко, быстро и технологично. Его элементы соединяют между собой с помощью обычных саморезов или заклепок. Не менее важное достоинство металлокаркаса – стабильность его геометрии при любых погодных условиях. Деревянный каркас имеет свойство неравномерно высыхать или набухать от влаги и при этом выгибаться, увеличиваться или уменьшаться в размерах. Металлический каркас остается неизменным в течение долгих лет. Он прочен и жесток, не дает усадок, не скрипит, что характерно для деревянного аналога. К тому же оцинкованная сталь устойчива к коррозии.

Недостаток металлического каркаса в том, что его стоимость примерно в два раза выше, чем деревянного. Так же предел огнестойкости металлических конструкций ниже, чем у деревянных конструкций.

3. Железобетонные каркасы. В современном строительстве железобетонные каркасы выполняют в основном сборными из унифицированных типовых конструкций заводского изготовления. Основными типами многоэтажных железобетонных каркасов являются стоечно-балочный, безбалочный и с межферменными этажами. Предел огнестойкости у железобетонных конструкций больше, чем у деревянных и металлических конструкций. Железобетон получил широкое распространение в строительстве благодаря его положительным свойствам: долговечности, стойкости против атмосферных воздействий, высокой сопротивляемости к динамическим нагрузкам и др.

## **9.2. Типы и конструкции лестниц. Лестницы и лестничные клетки**

Лестница – функциональный и конструктивный строительный элемент, обеспечивающий вертикальные связи между этажами здания. Наиболее часто этот термин ассоциируется с лестницей как элементом здания, сооружения. К частным случаям лестниц можно отнести лестницы служебных машин (например, пожарной), трапы судов, самолётов и вертолётов, верёвочные лестницы, садовые стремянки, эскалаторы и пр.

Огражденное со всех сторон помещение, в котором размещается лестница, называется лестничной клеткой. Лестницы состоят из маршей и площадок. Марши состоят из косоуров (деревянные косоуры называются тетивами), ступеней, перил и поручней. Лестничная площадка состоит из площадной балки и плиты.

### **Конструктивные элементы лестниц**

Любая лестница состоит из наклонных маршей и горизонтальных лестничных площадок (этажных и промежуточных). Ступени одного марша могут опираться на наклонные плиты (плитный марш) или на наклонные балки – рёбра (ребристый марш). Рёбра располагаются под ступенями (косоур), либо ступени врезаются в боковую поверхность балок (тетива).

Ширина лестничного марша для основных лестниц в зданиях обычно составляет 90-135 см в зависимости от классификации здания и назначения лестницы. Число ступенек в одном марше не должно превышать 18. После 18 ступенек должна быть предусмотрена площадка.

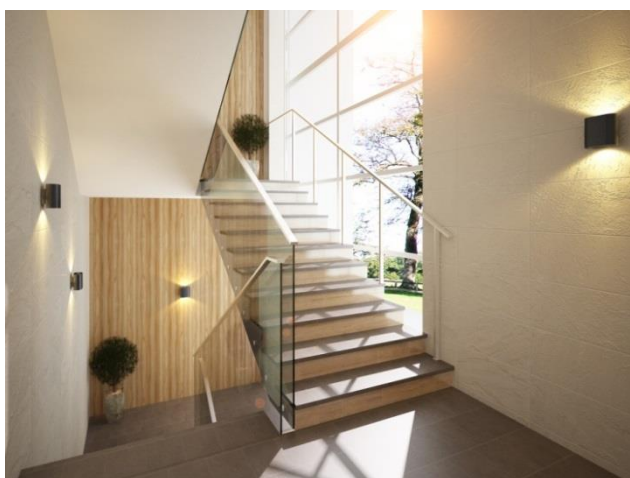
Главной задачей перил является обеспечение безопасности передвижения по лестнице. Стандартное ограждение состоит из поручня и вертикальных опорных балясин. Пространство между ними заполняется согласно требованиям интерьера. Это могут быть: параллельные прокиды, вертикальные стойки, стеклянные экраны или экраны из перфорированной стали, резное дерево, а также ручная ковка, или ковка из типовых штампованных элементов. Существует два способа крепления ограждения к лестнице: непосредственно на ступень либо к торцу ступени с помощью специальных креплений.

Основные требования, предъявляемые к лестницам:

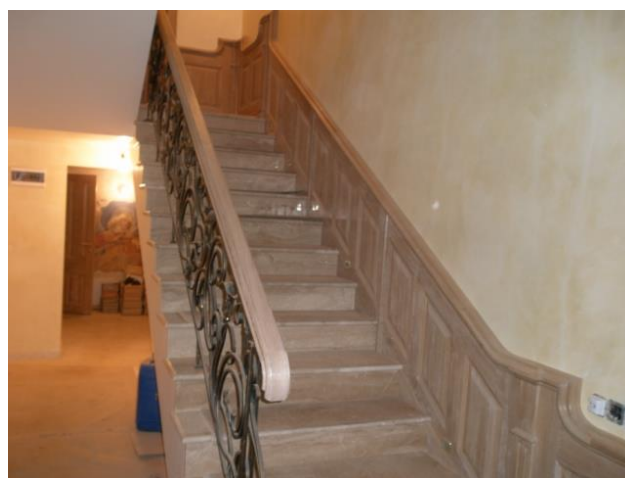
- Прочность, устойчивость, долговечность;
- индустриальность;
- архитектурная выразительность;
- пожарная безопасность;
- удобство при передвижении;
- достаточная пропускная способность.

Лестничная клетка – пространство внутри здания, сооружения, как правило, с остекленными или открытыми наружными проемами, предназначенное для размещения лестниц (рис. 27).

Лестничный марш – это конструктивный элемент, который опирается на две соседние лестничные площадки и соединяет их (рис. 28).



**Рис. 27.** Пример лестничной клетки



**Рис. 28.** Лестничный марш

Лестничный марш должен быть:

- 1) безопасным;
- 2) удобным;
- 3) прочным.

Лестничный марш связывает между собой площадки. В качестве площадки может служить часть пола, примыкающего к лестничному маршу.

Лестничный пролет – свободное пространство, ограниченное лестничными маршами и лестничными площадками (рис. 29).

Промежуточная лестничная площадка – площадка, расположенная между этажами.



**Рис. 29.** Лестничный пролет

Этажная лестничная площадка – площадка, расположенная на одном уровне с этажом.

Ширина лестничной площадки – расстояние, измеряемое в плане между передней кромкой фризовой ступени и ограничивающими площадку строительными элементами.

### **Пожарно-техническая классификация лестниц и лестничных клеток [4]**

1. Лестницы, предназначенные для эвакуации людей из зданий и сооружений при пожаре, подразделяются на следующие типы:

- 1) внутренние лестницы, размещаемые на лестничных клетках;
- 2) внутренние открытые лестницы;
- 3) наружные открытые лестницы.

2. Пожарные лестницы, предназначенные для обеспечения тушения пожара и проведения аварийно-спасательных работ, подразделяются на следующие типы:

- 1) П1 – вертикальные лестницы;
- 2) П2 – маршевые лестницы с уклоном не более 6:1.

Лестничные клетки в зависимости от степени их защиты от задымления при пожаре подразделяются на следующие типы:

- 1) обычные лестничные клетки:

Л1 – лестничные клетки с естественным освещением через остеклённые или открытые проёмы в наружных стенах на каждом этаже;

Л2 – лестничные клетки с естественным освещением через остеклённые или открытые проёмы в покрытии;

- 2) незадымляемые лестничные клетки:

Н1 – лестничные клетки с входом на лестничную клетку с этажа через незадымляемую наружную воздушную зону по открытым переходам;

Н2 – лестничные клетки с подпором воздуха на лестничную клетку при пожаре;

Н3 – лестничные клетки с входом на них на каждом этаже через тамбур-шлюз, в котором постоянно или во время пожара обеспечивается подпор воздуха.

## Темы докладов и рефератов

1. Новые технологии в современном строительстве зданий.
2. Железобетонные каркасы: виды, элементы.
3. Деревянные каркасы: виды, элементы.
4. Металлические каркасы: виды, элементы.
5. Перекрытия и крыши: виды, элементы.
6. Лестницы и лестничные клетки: виды, элементы.
7. Наружные и внутренние стены: виды, элементы.
8. Общие сведения об основаниях и фундаментах.
9. Типы несущих каркасов и их элементы.
10. Стены и перегородки: назначение, классификация и функциональные требования.
11. Типы и конструкции перекрытий.
12. Полы: типы и устройство.
13. Крыши и покрытия: назначение, типы, функциональные требования и их конструкции, конструктивные решения совмещенных покрытий.
14. Типы и конструкции лестниц, предназначенных для эвакуации людей из здания: назначение, пожарно-техническая классификация, функциональные требования.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие функции выполняют строительные конструкции?
2. В чем состоит главная особенность конструкции каркасного дома?
3. Какие элементы здания относятся к вертикальным несущим конструкциям?
4. Какие элементы здания относятся к горизонтальным несущим конструкциям?
5. Назовите преимущества каркасной технологии.
6. Назовите недостатки каркасных домов.
7. Сравните пределы огнестойкости железобетонных, металлических и деревянных конструкций.
8. Назовите главные преимущества металлических каркасов.
9. Назовите главные преимущества деревянных каркасов.
10. Перечислите основные конструктивные элементы лестниц.
11. В соответствии с каким нормативным документом осуществляется пожарно-техническая классификация лестниц и лестничных клеток?
12. Какие лестницы предназначены для эвакуации людей при пожаре?

## Контрольные тесты главы 9

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Ответ
1	По размещению в пространстве строительные конструкции подразделяются на:	вертикальные
		меридианные
		горизонтальные
2	Основное назначение несущих конструкций	восприятие и распределение силовых нагрузок
		защита помещений от температурных воздействий, влаги, шума
		снижение нагрузки на грунт
3	Основное назначение ограждающих конструкций	восприятие и распределение силовых нагрузок
		защита помещений от температурных воздействий, влаги, шума
		снижение нагрузки на грунт
4	Классификация незадымляемых лестничных клеток в зависимости от способа защиты от задымления при пожаре	Н1, Н2
		Н1, Н2, Н3
		П1, П2, П3
5	Классификация лестниц, предназначенных для обеспечения тушения пожара и проведения аварийно-спасательных работ	П1, П2
		Н1, Н2, Н3
		Н1, Н2



## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Ройтман В.М., Серков Б.Б. Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.

2. *Основин В.Н. Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.

3. *Козачун Г.У.* Типы жилых зданий / Г.У. Козачун. Ростов на Дону: Феникс. 2011. 400 с.: ил.

### дополнительная

4. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

## **Глава 10. Пожарно-техническая классификация строительных конструкций, зданий и сооружений**

*Цель: ознакомить обучающихся с пожарно-технической классификацией строительных конструкций, зданий и сооружений.*

### **10.1. Пожарно-техническая классификация строительных конструкций**

#### **Классификация строительных конструкций по огнестойкости**

В соответствии со статьями 34 и 35 главы 10 «Пожарно-техническая классификация строительных конструкций» [5] определяются цели и классификация строительных конструкций по огнестойкости:

Строительные конструкции классифицируются по огнестойкости для установления возможности их применения в зданиях, сооружениях и пожарных отсеках определенной степени огнестойкости или для определения степени огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков.

Строительные конструкции классифицируются по пожарной опасности для определения степени участия строительных конструкций в развитии пожара и их способности к образованию опасных факторов пожара.

Строительные конструкции зданий, сооружений и строений в зависимости от их способности сопротивляться воздействию пожара и распространению его опасных факторов в условиях стандартных испытаний подразделяются на строительные конструкции со следующими пределами огнестойкости:

- 1) ненормируемый;
- 2) не менее 15 минут;
- 3) не менее 30 минут;
- 4) не менее 45 минут;
- 5) не менее 60 минут;
- 6) не менее 90 минут;
- 7) не менее 120 минут;
- 8) не менее 150 минут;
- 9) не менее 180 минут;
- 10) не менее 240 минут;
- 11) не менее 360 минут.

Пределы огнестойкости строительных конструкций определяются в условиях стандартных испытаний. Наступление пределов огнестойкости несущих и ограждающих строительных конструкций в условиях стандартных испытаний или в результате расчетов устанавливается по времени достижения одного или последовательно нескольких из следующих признаков предельных состояний:

- 1) потеря несущей способности (R);
- 2) потеря целостности (E);

3) потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных значений (I) или достижения предельной величины плотности теплового потока на нормируемом расстоянии от необогреваемой поверхности конструкции (W).

Предел огнестойкости для заполнения проемов в противопожарных преградах наступает при потере целостности (E), теплоизолирующей способности (I), достижении предельной величины плотности теплового потока (W) и (или) дымогазонепроницаемости (S).

Методы определения пределов огнестойкости строительных конструкций и признаков предельных состояний устанавливаются нормативными документами по пожарной безопасности.

Условные обозначения пределов огнестойкости строительных конструкций содержат буквенные обозначения предельного состояния и группы (например, R 120, REI 30 и т.д.). Например, R 120 означает, что предел огнестойкости данной конструкции определен по потере несущей способности и составляет 120 мин; REI 30 – предел огнестойкости по потере несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности независимо от того, какое из этих предельных состояний наступило ранее, составляет 30 мин.

При нормировании пределов огнестойкости строительных конструкций, как правило, используются следующие характерные для строительных конструкций предельные состояния:

– для колонн, балок, ферм, арок и рам предельным состоянием является потеря несущей способности конструкции и её узлов (R);

– для несущих наружных стен и покрытий – потеря несущей способности и целостности (R, E);

– для ненесущих внутренних стен и перегородок – потеря теплоизолирующей способности и целостности (E, I);

– для несущих внутренних стен и перекрытий – потеря несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности (R, E, I);

– для светопрозрачных конструкций – потеря теплоизолирующей способности (I, W).

### **Классификация строительных конструкций по пожарной опасности**

В соответствии со статьей 36 главы 10 [5] определяется классификация строительных конструкций по пожарной опасности.

Строительные конструкции по пожарной опасности подразделяются на следующие классы:

- 1) непожароопасные (K0);
- 2) малопожароопасные (K1);
- 3) умереннопожароопасные (K2);
- 4) пожароопасные (K3).

Класс пожарной опасности строительных конструкций определяется в соответствии с таблицей 1 ГОСТ 30403-2012 [7].

Численные значения критериев отнесения строительных конструкций к определенному классу пожарной опасности определяются в соответствии с методами, установленными нормативными документами по пожарной безопасности.

**Таблица 17. Порядок определения класса пожарной опасности строительных конструкций (Таблица 1 ГОСТ 30403-2012 [7])**

Класс пожарной опасности конструкций	Допускаемый размер повреждения конструкций, мм		Наличие		Допускаемые характеристики пожарной опасности поврежденного материала+		
	вертикальных	горизонтальных	теплого эффекта	горения	Группа		
					горючести	воспламеняемости	дымообразующей способности
K0	0	0	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует
K1	не более 400	не более 250	не регламентируется	отсутствует	не выше Г2+	не выше В2+	не выше Д2+
K2	более 400, но не более 800	более 250, но не более 500	не регламентируется	отсутствует	не выше Г3+	не выше В3+	не выше Д2+
K3	не регламентируется						

Примечание. Знак "+" обозначает, что при отсутствии теплового эффекта не регламентируется.

### Классификация противопожарных преград

В соответствии со статьей 37 главы 10 «Пожарно-техническая классификация строительных конструкций» [5] определяется классификация противопожарных преград.

Противопожарные преграды в зависимости от способа предотвращения распространения опасных факторов пожара подразделяются на следующие типы:

- 1) противопожарные стены;
- 2) противопожарные перегородки;
- 3) противопожарные перекрытия;
- 4) противопожарные разрывы;
- 5) противопожарные занавесы, шторы и экраны;
- 6) противопожарные водяные завесы;
- 7) противопожарные минерализованные полосы.

## **10.2. Пожарно-техническая классификация зданий и сооружений**

Классификация зданий, сооружений и пожарных отсеков осуществляется с учетом следующих критериев:

- 1) степень огнестойкости;
- 2) класс конструктивной пожарной опасности;
- 3) класс функциональной пожарной опасности.

### **Классификация зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков по огнестойкости**

Здания и сооружения по степени огнестойкости подразделяются на здания, сооружения I, II, III, IV и V степеней огнестойкости.

Степень огнестойкости зданий и сооружений – классификационная характеристика, определяемая пределами огнестойкости конструкций, применяемых для строительства указанных зданий, сооружений.

Порядок определения степени огнестойкости зданий, сооружений устанавливается статьей 87 [5].

Степень огнестойкости зданий, сооружений должна устанавливаться в зависимости от их этажности, класса функциональной пожарной опасности, площади пожарного отсека и пожарной опасности происходящих в них технологических процессов.

Пределы огнестойкости строительных конструкций должны соответствовать принятой степени огнестойкости зданий и сооружений (ст. 30, 87, табл. 21) [5]. Требуемая степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков устанавливается в зависимости от их этажности, класса функциональной пожарной опасности, площади пожарного отсека и пожарной опасности происходящих в них технологических процессов по нормативным документам пожарной безопасности (с применением [6]).

По известным значениям фактических пределов огнестойкости и классов пожарной опасности строительных конструкций с помощью табл. 18 (табл. 21 [5]) легко определить фактические значения степени огнестойкости (однако в реальной практике в них обычно не возникает необходимости).

### **Классификация зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков по конструктивной пожарной опасности**

Здания, сооружения по конструктивной пожарной опасности подразделяются на классы С0, С1, С2 и С3.

Класс конструктивной пожарной опасности объекта – классификационная характеристика, определяемая степенью участия строительных конструкций в развитии пожара и образовании опасных факторов пожара.

Класс конструктивной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков должен устанавливаться в зависимости от их этажности, класса

функциональной пожарной опасности, площади пожарного отсека и пожарной опасности происходящих в них технологических процессов.

Класс пожарной опасности строительных конструкций должен соответствовать принятому классу конструктивной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков (ст. 31, 87, таблица 22 [5]).

**Таблица 18. Соответствие степени огнестойкости и предела огнестойкости строительных конструкций зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков (Таблица 21 приложения к [5])**

Степень огнестойкости зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные не несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется

**Таблица 19. Соответствие класса конструктивной пожарной опасности и класса опасности строительных конструкций зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков (Таблица 22 приложения к [5])**

Класс конструктивной пожарной опасности здания	Класс пожарной опасности строительных конструкций				
	Несущие стержневые элементы (колонны, ригели, фермы)	Наружные стены с внешней стороны	Стены, перегородки, перекрытия и бесчердачные покрытия	Стены лестничных клеток и противопожарные преграды	Марши и площадки лестниц в лестничных клетках
C0	K0	K0	K0	K0	K0
C1	K1	K2	K1	K0	K0
C2	K3	K3	K2	K1	K1
C3	Не норм.	Не норм.	Не норм.	K1	K3

## **Классификация зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков по функциональной пожарной опасности**

Класс функциональной пожарной опасности зданий и сооружений – классификационная характеристика зданий, сооружений, определяемая назначением и особенностями эксплуатации указанных зданий, сооружений, в том числе особенностями осуществления в указанных зданиях, сооружениях технологических процессов производства.

При определении класса функциональной пожарной опасности зданий и сооружений следует исходить из их целевого назначения (ст. 32 [5]).

### **Классификация зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков по функциональной пожарной опасности**

1. Здания (сооружения, строения, пожарные отсеки и части зданий, сооружений, строений – помещения или группы помещений, функционально связанные между собой) по классу функциональной пожарной опасности в зависимости от их назначения, а также от возраста, физического состояния и количества людей, находящихся в здании, сооружении, строении, возможности пребывания их в состоянии сна подразделяются на:

1) Ф1 – здания, предназначенные для постоянного проживания и временного пребывания людей, в том числе:

а) Ф1.1 – здания детских дошкольных образовательных учреждений, специализированных домов престарелых и инвалидов (неквартирные), больницы, спальные корпуса образовательных учреждений интернатного типа и детских учреждений;

б) Ф1.2 – гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов;

в) Ф1.3 – многоквартирные жилые дома;

г) Ф1.4 – многоквартирные жилые дома, в том числе блокированные;

2) Ф2 – здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений, в том числе:

а) Ф2.1 – театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами, библиотеки и другие учреждения с расчетным числом посадочных мест для посетителей в закрытых помещениях;

б) Ф2.2 – музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения в закрытых помещениях;

в) Ф2.3 – здания учреждений, указанные в подпункте "а" настоящего пункта, на открытом воздухе;

г) Ф2.4 – здания учреждений, указанные в подпункте "б" настоящего пункта, на открытом воздухе;

3) Ф3 – здания организаций по обслуживанию населения, в том числе:

а) Ф3.1 – здания организаций торговли;

б) Ф3.2 – здания организаций общественного питания;

в) Ф3.3 – вокзалы;

- г) Ф3.4 – поликлиники и амбулатории;
  - д) Ф3.5 – помещения для посетителей организаций бытового и коммунального обслуживания с нерасчетным числом посадочных мест для посетителей;
  - е) Ф3.6 – физкультурно-оздоровительные комплексы и спортивно-тренировочные учреждения с помещениями без трибун для зрителей, бытовые помещения, бани;
  - ж) Ф3.7 – объекты религиозного назначения.
- 4) Ф4 – здания научных и образовательных учреждений, научных и проектных организаций, органов управления учреждений, в том числе:
- а) Ф4.1 – здания общеобразовательных учреждений, образовательных учреждений дополнительного образования детей, образовательных учреждений начального профессионального и среднего профессионального образования;
  - б) Ф4.2 – здания образовательных учреждений высшего профессионального образования и дополнительного профессионального образования (повышения квалификации) специалистов;
  - в) Ф4.3 – здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов;
  - г) Ф4.4 – здания пожарных депо;
- 5) Ф5 – здания производственного или складского назначения, в том числе:
- а) Ф5.1 – производственные здания, сооружения, строения, производственные и лабораторные помещения, мастерские;
  - б) Ф5.2 – складские здания, сооружения, строения, стоянки для автомобилей без технического обслуживания и ремонта, книгохранилища, архивы, складские помещения;
  - в) Ф5.3 – здания сельскохозяйственного назначения.



## Темы докладов и рефератов

1. Поведение зданий и сооружений при пожарах.
2. Аналитический обзор отечественных и зарубежных результатов испытаний натуральных фрагментов зданий с различными конструктивными схемами.
3. Классификация строительных конструкций по огнестойкости.
4. Классификация строительных конструкций по пожарной опасности.
5. Противопожарные преграды. Назначение и виды противопожарных преград, тенденции в области их размещения и конструирования.
6. Показатели пожарно-технических характеристик строительных конструкций: предел огнестойкости, класс пожарной опасности.
7. Фактическая и требуемая пожарно-технические характеристики строительных конструкций, предъявляемые Техническим регламентом.
8. Методы экспериментальной и теоретической оценки пожарно-технических характеристик строительных конструкций.
9. Методика экспертизы строительных конструкций.
10. Современные системы нормирования пожарно-технических характеристик зданий и строительных конструкций.
11. Сущность основных методов определения требуемой огнестойкости зданий и конструкций, предлагаемых различными исследователями.
12. Основные факторы, влияющие на величины фактической огнестойкости зданий и строительных конструкций.
13. Методы определения фактической огнестойкости конструкций с учетом влияния различных факторов.
14. Пожарно-техническая характеристика зданий: огнестойкость, пожарная опасность.
15. Показатели пожарно-технических характеристик зданий по огнестойкости и пожарной опасности: степень огнестойкости, класс конструктивной пожарной опасности.
16. Фактическая и требуемая пожарно-технические характеристики здания, предъявляемые Техническим регламентом.

## Вопросы для самоконтроля

1. С какой целью строительные конструкции классифицируются по огнестойкости?
2. Дайте определение предела огнестойкости конструкции.
3. На какие классы подразделяются строительные конструкции по пожарной опасности?
4. В чем измеряется предел огнестойкости строительных конструкций?
5. Назовите признаки предельных состояний строительных конструкций.
6. Дайте определение понятия огнестойкости строительных конструкций.
7. С какой целью строительные конструкции классифицируются по пожарной опасности?

8. Перечислите нормируемые значения пределов огнестойкости строительных конструкций здания и сооружений

9. Чем характеризуются строительные конструкции в соответствии с пожарно-технической классификацией строительных конструкций?

10. Какие здания относятся к классу функциональной пожарной опасности Ф1?

11. Какие здания относятся к классу функциональной пожарной опасности Ф5?

12. От чего зависит степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности зданий, сооружений, строений?

13. При каком условии здание или сооружение удовлетворяет по огнестойкости требованиям пожарной безопасности?

### Контрольные тесты главы 10

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Ответ
1	Классификация строительных конструкций по пожарной опасности:	K1, K2, K3
		K0, K1, K2, K3
		K1, K2, K3, K4
2	R 120 – предел огнестойкости строительной конструкции по потере:	целостности
		несущей способности
		теплоизолирующей способности
3	Классификация зданий, сооружений, строений и пожарных отсеков по конструктивной пожарной опасности:	K1, K2, K3, K4
		KO1, KO2, KO3
		C0, C1, C2, C3
4	Классификация зданий и сооружений осуществляется с учетом следующих критериев:	степень огнестойкости
		класс конструктивной пожарной опасности
		класс функциональной пожарной опасности
5	Строительные конструкции характеризуются:	огнестойкость и пожарной опасностью
		огнестойкостью
		пожарной опасностью

## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Фёдоров В.С., Левитский В.Е., Молчадский И.С., Александров А.В.* Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций/ В.С. Фёдоров, В.Е. Левитский, И.С. Молчадский, А.В. Александров. М.: АСВ. 2009. 408 с.
2. *Ройтман В.М., Серков Б.Б. Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.
3. *Козачун Г.У.* Типы жилых зданий / Г.У. Козачун. Ростов на Дону: Феникс. 2011. 400 с.: ил.

### дополнительная

4. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80)/ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1985. – 56 с.
5. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
6. СП 2.1.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
7. ГОСТ 30403-2012 «Конструкции строительные. Метод испытаний на пожарную опасность».

## **Глава 11. Поведение несущих и ограждающих железобетонных, металлических, деревянных строительных конструкций в условиях пожара**

*Цель: ознакомить обучающихся основными несущими и ограждающими железобетонными, металлическими и деревянными строительными конструкциями и их поведением в условиях пожара.*

### **11.1. Поведение железобетонных строительных конструкций в условиях пожара**

Рассмотрим наиболее распространенные железобетонные строительные конструкции – плиты, балки и колонны.

#### **Железобетонные плиты**

Плиты – плоские элементы, толщина которых  $h_p$  значительно меньше длины  $l_p$  и ширины  $b_p$ . С использованием плит и балок выполняют плоские перекрытия и покрытия, сборные и монолитные, а также сборно-монолитные.

Железобетонные плиты перекрытия изготавливаются, как правило, из тяжелых бетонов, по прочности на сжатие марка В15 или В20, а по морозостойкости – F50, а также из легких конструкционных или силикатных бетонов, имеющих плотную структуру. Пустотные плиты армируются каркасами из стали А-III или предварительно напряженными каркасами с классом стали А-IV. Железобетонные плиты перекрытия, как пустотные, так и ребристые, производятся с расчетом максимальной нагрузки, которая не должна превышать 6 кПа без учета веса самой плиты.

Ребристые и пустотные плиты перекрытия предназначены для монтажа в неагрессивной среде и в стандартных температурных условиях с нормальной влажностью. Классифицируются плиты перекрытий по нескольким основным параметрам, таким как тип опирания плиты на конструкцию, по размерам плиты, по диаметру отверстий и их количеству. Конструктивные особенности плит перекрытия полностью зависят от требований проектной документации строящегося объекта и могут быть согласованы с заводом-изготовителем при возникновении дополнительных нестандартных условий. В любом случае, железобетонные плиты перекрытия изготавливаются строго по расчетным размерам и с шагом любой длины.

Плиты могут быть сплошными гладкими и ребристыми, а по числу пролётов – однопролётными и многопролётными.

Плиты в зданиях и сооружениях выполняют одновременно ограждающие и несущие функции. В зависимости от местоположения плит для них будут различные предельные состояния по огнестойкости. Так, для плит покрытий предельным состоянием по огнестойкости является только потеря несущей

способности (R). Для плит перекрытий предельными состояниями могут быть R, E, I, т.е. по потере несущей (R), теплоизолирующей (E) способностей и по потере целостности (I).

Многочисленные огневые испытания показывают, что предельным состоянием огнестойкости для большинства плит перекрытий в современных зданиях является предельное состояние по потере несущей способности. Это объясняется тем, что благодаря конструктивной особенности сборных элементов перекрытия, отдельно выполняющих функции пола, звукоизоляции, несущей части и потолка, другие предельные состояния по огнестойкости в большинстве случаев не успевают полностью проявиться за кратковременный период воздействия пожара. Испытания плит на огнестойкость, проводимые по стандартному температурному режиму, подтверждают это.

### **Железобетонные балки**

Железобетонные балки могут быть однопролетными и многопролетными, а по способу изготовления – сборными, монолитными и сборно-монолитными.

Поперечные сечения балок обычно бывают прямоугольные, тавровые, двутавровые и трапецевидные.

Высота балок  $h$  колеблется в пределах от  $1/10$  до  $1/20$  их пролета. Ширина прямоугольных поперечных сечений  $b$  назначается в пределах  $(0,3-0,5)h$ . В целях унификации высота балок назначается кратной 50 мм, если она не более 600 мм, и кратной 100 мм при больших размерах.

Характерными сечениями предварительно напряженных балок являются тавровое и двутавровое.

В поперечном сечении балки рабочую арматуру размещают в растянутой зоне сечения в один, два и более рядов с такими зазорами, чтобы можно было произвести плотную укладку бетона, что достигается значением основных размеров зазоров и защитных слоев.

Продольную рабочую арматуру в балках укладывают согласно эпюрам изгибающих моментов в растянутых зонах, где она должна воспринимать растягивающие усилия, возникающие при изгибе конструкций под действием нагрузок.

Суммарная площадь сечения продольной рабочей арматуры  $A_s$ , определяемая по расчету, должна составлять в изгибаемых элементах не менее 0,05% площади бетона рабочего сечения, т.е. от площади, исчисляемой для прямоугольного сечения как произведение его ширины  $b$  на рабочую высоту сечения  $h_0 = h - a$  (где  $h$  – высота сечения;  $a$  – расстояние от равнодействующей усилий в стержнях арматуры до растянутой грани сечения). Для продольного армирования применяют стержни периодического профиля диаметром от 12 до 32 мм.

Исследования натуральных пожаров, а также изучение результатов экспериментов показывают, что поведение железобетонных балок в условиях пожара обусловлено факторами, аналогичными для плоских плит. Однако непосредственное сравнение поведения балок и плит неправомерно. Это объясняется

тем, что балочные конструкции в условиях пожара обогрываются с трех сторон. Кроме того, отличительной особенностью балок по сравнению с плоскими конструкциями является наличие арматуры в сжатой зоне. При двух- и трехмерном потоке тепла сечения элементов прогреваются интенсивнее, чем при одномерном, особенно углы балок. Во всех случаях происходит нагревание сжатой зоны бетона, что влияет на прочность и деформативность бетона и арматуры сжатой зоны.

### **Железобетонные колонны**

Поведение сжатых железобетонных колонн в условиях пожара зависит от схемы обогрева, размеров поперечного сечения, величины эксцентриситета приложения внешней нагрузки, коэффициента и вида армирования, а также эффективной работы защитного слоя бетона.

В процессе пожара по сечению колонн наблюдается перепад температур порядка 800-1000 °С с наименьшей температурой в центре сечения. Поэтому фактическая прочность бетона по сечению колонн изменяется от первоначальной величины при 20 °С до нуля при критической температуре и выше. Это и определяет поведение колонн в условиях пожара.

Неравномерность прогрева вызывает перераспределение напряжений по сечению колонны. Температурные напряжения возрастают при увеличении температурного перепада между средней частью сечения колонны и поверхностью ее обогрева (20-30 мин). В начальный период обогрева наблюдается удлинение колонн. Устойчивость колонны в начальной стадии пожара не снижается в связи с тем, что сечение колонны сохранено и в средней части несколько разгружено.

Дальнейшее развитие пожара приводит к прогреву защитного слоя бетона до 600-800 °С. Это приводит к уменьшению температурных напряжений в сечении колонны. Наиболее прогретые части сечения бетона и рабочая арматура у поверхности колонны разгружаются за счет развития температурной ползучести, усадки, снижения прочности и деформативности. Это вызывает увеличение напряжений в центре сечения колонны, слабо нагретый бетон сохраняет прочность и упругость.

После 1-1,5 часа огневого воздействия колонны начинают укорачиваться. Спустя 2-3 часа высота нагретых колонн примерно равна их высоте в нагруженном состоянии до пожара. Нагруженные слои бетона и рабочая арматура, нагретые до температуры выше 600 °С, теряют прочность и в дальнейшей работе практически участия не принимают. Колонна ведет себя аналогично бетонной. Колонны укорачиваются с возрастающей скоростью до момента их обрушения.

Характер разрушения железобетонных колонн с продольной гибкой и косвенной арматурой отличается от характера разрушения элементов только с продольным армированием.

Колонны с продольным армированием разрушаются под действием огня с отпаданием защитного слоя, выпучиванием рабочей арматуры и раздроблением бетона в ядре сечения, как правило, в средней части по высоте.

Наступление предельного состояния колонн с косвенной арматурой характеризуется не выпучиванием продольной рабочей арматуры, а пластическим течением образцов. Скорость прогрева бетона по сечению колонн размером 30x30 см с косвенным армированием в течение 2,5 часов такая же, как и у элементов с гибкой арматурой. Однако в дальнейшем она вырастает и к моменту разрушения колонн с косвенным армированием ядро сечения прогревается до 450-500 °С, в то время как у элементов с гибкой арматурой – до 150 °С. Критическая температура бетона на границе ядра сечения выше, а поэтому огнестойкость косвенно армированных элементов в 1,5-2 раза выше, чем у колонн с гибкой арматурой.

В практике современного строительства все более широкое применение находят колонны из высокопрочного бетона. Проведенные огневые испытания колонн из высокопрочного бетона на крупном заполнителе из гранита, армированных вязаными каркасами с симметричным расположением четырех продольных стержней из арматуры класса А-III (марка стали 35ГС), диаметром 12 и 18 мм, позволили установить следующее.

Предел огнестойкости колонн наступал в результате исчерпания прочности на сжатие бетона, температура которого в центре сечения составляла 150-170 °С, а по боковым граням – 900-950 °С.

Предел огнестойкости этих колонн зависел и от уровня предварительного нагружения, с увеличением которого предел огнестойкости колонн уменьшается.

С уменьшением процента армирования от 1,13 до 0,52 предел огнестойкости колонн из высокопрочного бетона увеличивается на 14%.

Косвенное армирование увеличивает огнестойкость колонн. Средний предел огнестойкости колонн с косвенным армированием на 19% больше, чем у колонн без косвенного армирования.

Разрушение колонн происходило при сравнительно малых деформациях, что свидетельствует о низкой деформативности высокопрочного бетона в условиях пожара.

Внецентренно-сжатые колонны работают на сжатие с изгибом аналогично железобетонным балкам.

## **11.2. Поведение металлических строительных конструкций в условиях пожара**

### **Металлические балки**

С помощью металлических балок в многоэтажных зданиях гражданского и промышленного назначений перекрывают пролеты от 6 м до 18 м, а в одноэтажных промышленных зданиях используются несущие балки покрытий про-

летом до 24 м. Кроме этого металлические балки применяются для путей под мостовые краны подвесного транспортного оборудования, а также в качестве несущих элементов эстакад, рабочих площадок и других сооружений. В статической схеме различают балки разрезные и неразрезные. Неразрезные балки и однопролетные балки с жесткой заделкой в опорных частях менее металлоемки, но менее экономичны в изготовлении и при монтаже.

По типу сечений стальные балки бывают прокатными и составными, а алюминиевые балки могут быть прессованными и составными. При пролетах до 6 м целесообразно применять стальные балки из гнутых профилей швеллерного или коробчатого сечения.

Наиболее экономичными являются прокатные балки в виде двутавра и швеллера, которые применяются в качестве несущих элементов покрытий и перекрытий, ригелей фахверка, подкрановых балок для кранов небольшой грузоподъемностью. Расчет таких балок для эксплуатации условий выполняют по предельным состояниям первой и второй групп. При этом для ряда случаев при расчете на прочность сечения, где действует максимальный изгибающий момент, учитывается развитие пластических деформаций. В сечении, где действует максимальная поперечная сила, необходима проверка прочности стенки балки на срез от касательных напряжений. В зависимости от назначения балок прогиб конструкций не должен превышать  $1/200$ - $1/600$  их пролета.

Кроме этого, для прокатных балок характерна потеря их общей устойчивости. При этом происходит кручение балки, отклонение ее поясов в плане. Потеря общей устойчивости балки исключается в том случае, если действующая на нее нагрузка передается через железобетонные плиты, а также плоский стальной или профилированный настил, прикрепленные сваркой или болтами (жесткое соединение) к сжатому поясу балки вдоль всей ее длины. Однако из-за ограниченности сортамента прокатных и прессованных балок для восприятия больших нагрузок применяют балки составного сечения.

Система несущих балок, образующих покрытие или перекрытие зданий, а также используемая для создания рабочих площадок, называется балочной клеткой.

В практике строительства применяют следующие балочной клетки: упрощенные, нормальные и усложненные.

При действии на балку высоких температур при пожаре даже на ограниченную часть ее поверхности, сечение конструкции, вследствие высокой теплопроводности металла, быстро прогревается до одинаковой температуры. При этом снижается предел текучести и модуль упругости стали. Обрушение прокатных балок наблюдается в сечении, где действует максимальный изгибающий момент. При использовании таких балок в балочной клетке из-за преждевременного выхода из строя стального настила, жестко прикрепленного к балкам, наблюдается потеря их общей устойчивости. Потеря общей устойчивости прокатных балок происходит и в случае шарнирного опирания на них стального настила. Исчерпание несущей способности балок составного сечения происходит в зоне действия максимального изгибающего момента, потери общей



устойчивости конструкции из-за обрушения связей в виде настила или второстепенных балок балочной клетки, а также потери местной устойчивости стеной балки или свесов сжатых полок. Разрушение конструкции может наблюдаться в сварных, болтовых или заклепочных соединениях элементов составного сечения от действия сдвигающих усилий.

Разрушение статически определимой балки происходит в результате образования одного пластического шарнира. Статически неопределимые балки являются предпочтительными по сравнению со статически определимыми. Так, двухпролетная статически неопределимая балка разрушается в условиях пожара в результате образования трех пластических шарниров и предел огнестойкости такой конструкции выше статически определимой. Условия опирания балок также влияет на значение ее предела огнестойкости. Заделка стальной балки в железобетонные или каменные стены стесняет температурные деформации вдоль ее длины.

### **Металлические фермы**

Основными несущими конструкциями покрытия являются стропильные фермы. Фермой называют решетчатую сквозную конструкцию, состоящую из отдельных прямолинейных стержней, которые соединяются между собой в узлах. В зависимости от конструктивной схемы здания фермы могут опираться на несущие стены, стальные или железобетонные колонны. С помощью стропильных ферм покрываются пролеты 18, 24, 36, 42, 48 м при шаге конструкций 6, 9 и 12 м. В отдельных случаях с помощью ферм перекрываются пролеты до 120 м, если продольный шаг колонн больше расстояния между стропильными рамами (шаг ферм), то в этом случае часть стропильных ферм опирается на подстропильные фермы. Фермы используются не только в качестве конструкции покрытия, но и в качестве подкрановых и связевых конструкций. Фермы применяются в сооружениях, характеризующихся значительной величиной (до 120 м) перекрываемого пролета (ангары, вокзалы, спортивные залы, стадионы и т.д.), в конструкциях эстакад и трубопроводов. С использованием ферм выполняются башни, мачты, опоры и т.д.

Конструкция покрытия по фермам может быть с применением прогонов или беспрогонной. В первом случае по верхним поясам ферм (в местах узловых соединений элементов верхнего пояса) укладываются стальные прогоны, на которые опираются ограждающие кровельные конструкции. При шаге ферм 6 м используются прогоны из прокатных двутавров и швеллеров, а при шаге ферм 12 м прогоны выполняют из гнутых швеллеров.

Во втором случае кровельные конструкции в виде железобетонных панелей или стального настила непосредственно укладываются на верхи пояса ферм. В основном фермы работают на изгиб от действия внешней вертикальной нагрузки, как правило, приложенной в узлах. При этом верхние пояса работают на сжатие, нижние – на растяжение, а элементы решетки (раскосы, стойки) в

зависимости от сочетания действующих внешних нагрузок – на растяжение или сжатие.

В своей плоскости ферма является жесткой конструкцией, а устойчивость ее элементов из плоскости фермы обеспечивается системой связей и элементами покрытия.

Воздействие температуры пожара на ферму приводит к истощению несущей способности ее элементов и узловых соединений этих элементов. Потеря несущей способности в результате снижения прочности металла характерна для растянутых и сжатых элементов поясов и решетки конструкции. Сжатые элементы верхнего пояса и решетки могут потерять свою несущую способность в результате потери устойчивости в плоскости и из плоскости фермы. Повреждение при пожаре ограждающего покрытия или связей между фермами приводит к потере устойчивости сжатых элементов верхнего пояса из плоскости фермы на нераскрепленном участке.

При расчете фермы соединения ее элементов между собой рассматриваются как шарнирные, поэтому ферма считается статически определимой конструкцией. Поэтому потеря несущей способности хотя бы одним элементом приводит к отказу при пожаре всей конструкции.

### **Металлические колонны**

Колонны служат для передачи эксплуатационной нагрузки от вышерасположенных конструкций покрытия и перекрытия через фундаменты на грунт. Колонна состоит из трех основных частей: оголовка, на которой опираются вышележащие конструкции; стержня, воспринимающего нагрузки; базы, передающей давление колонны на фундамент.

Металлические колонны изготавливаются из стали. Алюминиевые сплавы из-за их низкого модуля упругости применяются для нагруженных колонн в сборно-разборных зданиях.

Различают колонны с постоянным и переменным (ступенчатым) по высоте сечением; сплошным и сквозным сечением, а по способу изготовления – сварные и клепаные. Колонна, принимающая усилие от нагрузок, приложенное в центре тяжести сечения, называется центрально-сжатой. Если продольная сила совпадает с центром тяжести сечения или к стержню приложены поперечные нагрузки (ветер, тормозные усилия от крана), то кроме сжатого возникает поперечный изгиб и колонна, работающая на внецентренное сжатие, называется внецентренно-сжатой. Выбор типа колонны определяют минимальным расходом металла и наименьшей трудоемкости изготовления. Сплошные и сквозные колонны, имеющие стержни постоянного сечения, наиболее распространены при центральной сжатии. При этом сплошные колонны применяют при больших нагрузках и небольших высотах, а сквозные – при больших высотах.

Истощение несущей способности стальных колонн, находящихся в условиях пожара, может наступить в результате потери: прочности стержнем конструкции; прочности или устойчивости элементами соединительной решетки, а

также узлов крепления этих элементов к ветвям колонны; устойчивости отдельными ветвями на участках между узлами соединительной решетки в колоннах сквозных сечений, местной устойчивости стенки и свесов сжатых полков колонны составного двутаврового сечения, общей устойчивости колонны.

Внецентренное сжатие, по сравнению с центральным, является более невыгодным видом загрузки, которое отрицательно сказывается на огнестойкости конструкции. Необходимо отметить, что в ряде случаев колонна, работающая как центрально-сжатая, в условиях пожара может быть подвергнута воздействию внецентренно приложенной силы сжатия. Обрушение возможно при локальном воздействии температуры пожара на конструкции покрытия или перекрытия, опирающиеся на колонны среднего ряда. Обрушение конструкций покрытия или перекрытия с одной стороны такой колонны приводят в дальнейшем к ее работе как внецентренно-сжатой конструкции.

Колонны являются элементами плоских рам или пространственного каркаса, шарнирно или жестко соединенных с опирающимися на них конструкциями. В случае жестких соединений колонны с ригелем, ее работа зависит от поведения конструкции ригеля при пожаре. Ввиду наличия в здании системы внутренних помещений, очаг пожара в начальной его стадии оказывается локализованным, и поэтому воздействует ограниченное число несущих элементов конструкций.

### **11.3. Поведение деревянных строительных конструкций в условиях пожара**

#### **Деревянные арки**

Деревянные арки являются в настоящее время наиболее распространенными основными несущими конструкциями деревянных покрытий зданий различного назначения. Они применяются в покрытиях производственных промышленных, сельскохозяйственных и общественных зданий, имеющих пролеты 12-80 м. В практике зарубежного строительства применяются деревянные арки с пролетами до 100 м и более. Их изготавливают путем склеивания надежными синтетическими клеями гнутых и прямых клеедеревянных элементов значительных длин и сечений требуемой несущей способности. Конструкции клеедеревянных арок являются простыми, состоят из минимального числа элементов. Существенное значение имеет также архитектурная выразительность деревянных арочных покрытий. К достоинствам деревянных арок из клеедеревянных элементов следует также отнести их повышенный предел огнестойкости и достаточно длительное сопротивление загниванию и разрушению в химически агрессивных средах.

Арки стрельчатого очертания применяют в покрытиях пролетом до 45-60 м. Распор в таких конструкциях передается непосредственно на железобетонные опоры. Примером использования трехшарнирных арок кругового очертания пролетом 63 м в строительстве зданий общественного назначения является

крытый ледовый стадион на 1500 зрителей в г. Архангельске. Арки стрельчатого очертания нашли широкое применение при строительстве складов минеральных удобрений.

### Деревянные рамы

Дощатоклееными рамами в зданиях различного назначения перекрываются пролеты от 12 до 30 м. В строительстве применяются двухшарнирные и трехшарнирные рамы. Среди различных типов двухшарнирных рам наибольшее распространение получили рамы с жестко закрепленными в основание стойками. Высота стоек таких рам может превышать 4 м.

К трехшарнирным рамам, используемым в строительстве, относятся: рамы из прямолинейных элементов и гнутоклееные рамы. Гнутоклееные рамы изготавливаются из досок толщиной 16-25 мм после фрезерования с радиусом гнутья 2-4 м и высотой стоек до 3,5 м, что обеспечивает условия их перевозки транспортом. Гнутоклееные рамы пролетом 58 м были использованы при строительстве крытого дворца спорта на 4000 мест в Твери. Трехшарнирные рамы из прямолинейных элементов были запроектированы для строительства крытой ледовой площадки пролетом 30 м в Центральном парке культуры и отдыха в Москве.

Распор рам в основном передается на железобетонное основание, реже стальной затяжкой, расположенной в основании пола одноэтажных или перекрытиях многоэтажных зданий.

Предел огнестойкости арок и рам выше, чем у ферм, что объясняется более мощными размерами сечения их элементов. Исчерпание несущей способности этих конструкций при огневом воздействии может наступить из-за потери прочности клееных элементов в сечениях, где действует максимальный изгибающий момент, а также за счет потери устойчивости плоской формы сечений в результате обрушения связей или элементов ограждения, выполняющих роль связей.

Кроме этого, как показал пожар в здании легкоатлетического манежа «Трудовые резервы» в г. Минске, отказ арок и рам может произойти из-за потери несущей способности узлов. В условиях пожара более опасными являются арки, в которых распор воспринимается стальной затяжкой, обладающей низким пределом огнестойкости.

При оценке пределов огнестойкости арок и рам необходимо учитывать, что деревянные элементы этих конструкций работают в условиях сложного сопротивления от совместного действия нормальной силы сжатия и изгибающего момента. В арках максимальный момент возникает в сечениях, расположенных в 1/4 пролета конструкции, от совместного действия на всем пролете постоянной нагрузки (собственный вес арки и вес ограждающих конструкций) и снеговой нагрузки, расположенной на половине или части пролета. Максимальный момент в рамах наблюдается в зоне их карнизов при совместном действии постоянной и снеговой нагрузок на всем пролете конструкции.

## 11.4 Способы снижения пожарной опасности строительных материалов и повышения огнестойкости строительных конструкций

### Строительные материалы и конструкции на основе древесины

Древесина является строительным материалом, обладающей высокой пожарной опасностью. Пожарная опасность обусловлена высокими показателями горючести (сильногорючий, Г4), воспламеняемости (легковоспламеняемый, В3), группа по скорости распространения пламени по поверхности РП3-РП4, по дымообразующей способности Д2-Д3, по токсичности продуктов горения Т3 (высокоопасные). При горении древесины, происходит её термическое разложение с выделением пожароопасных продуктов горения, и, как следствие, происходит потеря массы древесины. По этой причине строительные конструкции из древесины со временем теряют свою прочность и несущую способность, что в конечном итоге вызывает её разрушение.

В настоящий момент используют следующие способы снижения пожарной опасности древесины и материалов на её основе:

- химический;
- поверхностный;
- конструктивный;
- проектировочный (подбор необходимых сечений элементов, позволяющих обеспечить требуемую огнестойкость).

Суть конструктивного способа защиты заключается в изолировании поверхности древесины от источника тепла и препятствии термического разложения древесины и воспламенению продуктов её разложения путем применения различных огнезащитных конструкций. Этот способ включает в себя следующие методы:

- 1) Облицовка деревянных конструкций теплоизолирующими плитами.
- 2) Облицовка гипсокартонными листами.
- 3) Применение подвесных потолков
- 4) Заполнение внутренних полостей конструкции негорючими материалами.

Вторым способом является обработка различными огнезащитными покрытиями (пастами, обмазками, штукатурки, лаками, красками). Они выполняют газоизолирующую функцию, препятствуя выходу продуктов разложения из древесины и проникновению к ним кислорода воздуха. В результате затрудняется образование горючей смеси в газовой фазе, вызванной продуктами термического разложения древесины. Применяются гипсовые штукатурки, специальные огнезащитные краски и др.

Под химическим способом понимается снижение пожарной опасности древесины путем использования антипиренов. Антипирены (от греч. «anti» – приставка, означающая противодействие, и «pyr» – огонь) – вещества, понижающие горючесть материалов органического происхождения. Механизм защит-

ного действия антипиренов носит комплексный характер и обусловлен следующими процессами:

1) Термическое разложение антипиренов под действием пламени с поглощением тепла и выделением негорючих газов, понижаю концентрацию кислорода;

2) Изменение термического разложения материала в сторону образования негорючих газов и трудногорючего коксового остатка;

3) Ингибированием процессов окисления, протекающих в газовой и конденсированных фазах;

4) Образование на поверхности материала теплозащитного слоя пенококса, который обладает высокопористой структурой, низким коэффициентом теплопроводности и, таким образом, изолирует материал от внешнего источника тепла, препятствуя его нагреву;

5) Изменение направления реакций разложения в предпламенной области в сторону образования сажеподобных продуктов.

К антипиренам предъявляется ряд требований. Они должны совмещаться с материалом, не ухудшать его механических и физических характеристик, быть нетоксичными, уменьшать дымообразование и не должны выделять при горении токсичных веществ. Желательно, чтобы антипирены были бесцветны, стойкими к атмосферным воздействиям и обладали высокими диэлектрическими показателями.

Наиболее распространены антипирены на основе гидроксида алюминия  $Al(OH)_3$ , соединения бора, фосфора, высокохлорированные парафины  $C_{20}-C_{25}$ , сурьмы, карбонаты и сульфаты аммония, соли ванадия, молибдена, церия.

Обработка деревянных изделий антипиренами возможна двумя способами: поверхностная и глубокая. Сущность первого способа заключается в нанесении на поверхность материала краски или раствора, содержащего антипирены. При втором способе изделие пропитывают раствором антипирена в специальных пропиточных ваннах, в результате чего антипирен проникает вглубь древесины.

На отечественном рынке в основном присутствуют составы комплексного действия, объединяющие как огнезащитную функцию антипиренов, так и биозащитную функцию антисептиков. Это связано с необходимостью комплексной защиты древесины как от биоразрушителей, так и от возгорания. Кроме того, некоторые соединения, используемые в качестве антипиренов, проявляют и биозащитные свойства.

Критерием оценки защитного действия огнезащитных средств согласно ГОСТ 16363-98 «Средства огнезащитные для древесины. Методы определения огнезащитных свойств» является огнезащитная эффективность. Огнезащитная эффективность характеризуется потерей массы обработанного защитным составом образца древесины при двухминутном огневом испытании.

К составам I группы относят средства, для которых потеря массы при огневом испытании составляет не более 9%.

Для средств, имеющих II-ю группу огнезащитной эффективности потеря массы при огневом испытании должна составлять не более 25%.

При потере массы более 25% считается, что средство не обеспечивает огнезащиты древесины.

### **Металлические изделия и конструкции**

Во время пожара, при температурах выше 500 °С металлические конструкции, могут деформироваться, теряя при этом свою жесткость и несущую способность. Это может привести к обрушению тех секций, которые установлены на данной металлической конструкции. Металлические конструкции должны выдерживать высокие температуры при непосредственном контакте с огнем от 30 до 120 минут. Этого времени должно хватить для тушения пожара.

Для повышения стойкости металлических конструкций к пожару выполняется их огнезащита с применением различных огнеупорных материалов, специфика которых заключается в том, что после нанесения они образуют на поверхности металлоконструкций теплоизолирующее зеркало, которое позволяет выдержать высокую температуру в непосредственной близости от огня. Такие зеркала предотвращают нагревание металлоконструкций, тем самым дают возможность сохранять ей свои функции во время пожара в течении определенного периода времени.

К наиболее распространенным в настоящее время средствам огнезащиты металлических конструкций относят:

а) обетонирование. Огнезащита металлических конструкций при помощи бетона в отечественном строительстве применяется сравнительно часто. Применение бетонной защиты наиболее рационально в том случае, когда одновременно производится усиление ригелей, колонн или стоек, например при реконструкции зданий и сооружений;

б) облицовка из кирпича. Кирпичную облицовку наиболее часто применяют для повышения предела огнестойкости колонн и стоек. Кладку для огнезащитной облицовки выполняют из глиняного обыкновенного и силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе марки не ниже 50;

в) облицовки из теплоизоляционных плит. Наиболее перспективны на основе перлита, вермикулита и цемента, асбестоперлитцементных и полужестких минераловатных плит. Заводская толщина плит составляет около 5 см, что обеспечивает предел огнестойкости до 2 часов при условии надежного крепления плит к конструкции;

г) облицовка гипсокартонными листами. В настоящее время разработана огнезащитная облицовка из гипсокартонных листов. Конструкции выполнены применительно к многоэтажным зданиям и сооружениям со стальным несущим каркасом, с междуэтажными перекрытиями из сборных железобетонных плит или монолита. Эти конструкции значительно легче кирпичной или бетонной облицовки, индустриальны, эффективны с точки зрения огнестойкости;

д) штукатурка – рекомендуется для защиты таких металлоконструкций зданий, как колонны, ригели, элементы связей, узлы сопряжения между элементами. Использование цементно-песчаной штукатурки обусловлено такими достоинствами, как недефицитность материалов для приготовления состава, простота изготовления, возможность механизированного нанесения, обеспечение значительного предела огнестойкости защищаемой конструкции;

е) огнезащитные составы. Одним из перспективных способов огнезащиты металлических конструкций являются высокоэффективные составы, которые наносят на поверхность конструкции сравнительно тонким слоем. Эти составы могут быть невспучивающиеся и вспучивающиеся. К современным материалам огнезащиты строительных конструкций относят лаки, краски, эмали. Они задерживают воспламеняемость и снижают скорость распространения пламени по поверхности. Во время возгорания эти материалы поглощают тепло, выделяют ингибиторные газы, ускоряют образование коксового слоя, высвобождают воду. Вспучивающиеся огнезащитные составы состоят из полимерного вяжущего и наполнителей (антипирены, газообразователи, жаростойкие вещества и стабилизаторы вспененного угольного слоя). При вспучивании и одновременному обугливание происходит образование мелкоячеистого по структуре слоя, обладающего низкой теплопроводностью, в результате чего резко замедляется прогрев металлических конструкций. Вспучивающиеся краски при нагревании вздуваются и увеличиваются в объеме от 10 до 40 раз. Невспучивающиеся при воздействии на них температуры не увеличиваются;

ж) огнестойкие подвесные потолки являются эффективным средством повышения огнестойкости металлических конструкций покрытий и перекрытий. Особенно целесообразны для огнезащиты ферм и структур.

ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций» регламентирует порядок испытания огнезащитных покрытий [5].

Согласно ГОСТ Р 53295-2009 огнезащитные составы по времени наступления критического состояния подразделяются на 7 групп (табл. 20):

*Таблица 20. Группы огнезащитной эффективности средств огнезащиты металлических строительных конструкций*

<b>Номер группы</b>	<b>Время до наступления критической температуры, мин</b>
1	Не менее 150
2	Не менее 120
3	Не менее 90
4	Не менее 60
5	Не менее 45
6	Не менее 30
7	Не менее 15



## **Темы докладов и рефератов**

1. Виды изгибаемых железобетонных конструкций и особенности их поведения в условиях пожара.
2. Виды сжатых железобетонных конструкций и особенности их поведения в условиях пожара.
3. Виды растянутых железобетонных конструкций и особенности их поведения в условиях пожара.
4. Виды металлических несущих конструкций.
5. Виды деревянных несущих конструкций.
6. Особенности поведения рамных конструкций в условиях пожара
7. Резонансные пожары зданий, выполненных из металлических строительных конструкций.
8. Резонансные пожары зданий, выполненных из деревянных строительных конструкций.

## **Вопросы для самоконтроля**

1. Железобетонные плиты: конструктивные особенности, поведение в условиях пожара.
2. Железобетонные балки: конструктивные особенности, поведение в условиях пожара.
3. Железобетонные колонны: конструктивные особенности, поведение в условиях пожара.
4. Металлические балки: конструктивные особенности, поведение в условиях пожара.
5. Металлические фермы: конструктивные особенности, поведение в условиях пожара.
6. Металлические колонны: конструктивные особенности, поведение в условиях пожара.
7. Деревянные арки: конструктивные особенности, поведение в условиях пожара.
8. Деревянные рамы: конструктивные особенности, поведение в условиях пожара.
9. Деревянные фермы: конструктивные особенности, поведение в условиях пожара.

## Контрольные тесты главы 11

№ вопр	Вопрос (определение понятия)	Ответ
1	Железобетонная конструкция, толщина которой значительно меньше длины и ширины	колонна
		плита
		балка
2	Конструктивные способы повышения огнестойкости железобетонных конструкций	увеличение толщины защитного слоя бетона
		применение теплоизолирующих покрытий
		проливка кипяченой водой
3	Изгибаемые железобетонные конструкции	плиты
		колонны
		балки
4	Для железобетонных плит перекрытий предельным состоянием по огнестойкости является	потеря несущей способности
		потеря теплоизолирующей способности
		потеря целостности
5	Железобетонные плиты в зданиях и сооружениях могут выполнять функции	ограждающие
		несущие
		ничего не выполняют

## Список рекомендуемой литературы

### основная

1. *Фёдоров В.С., Левитский В.Е., Молчадский И.С., Александров А.В.* Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций / В.С. Фёдоров, В.Е. Левитский, И.С. Молчадский, А.В. Александров. М.: АСВ. 2009. 408 с.
2. *Ройтман В.М., Серков Б.Б. Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.
3. *Основин В.Н. Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.

### дополнительная

4. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
5. ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций».

## Ответы на контрольные тесты по темам 1–11

№ темы	Номер вопроса	Правильный ответ
1	1	теплоёмкость
	2	водопоглощение
	3	дегидратация
	4	теплоперенос
	5	плотность пористость
2	1	однородных и слоистых горючих строительных материалов
	2	на свойствах веществ и материалов и способности к образованию опасных факторов пожара
	3	пожарной опасностью
	4	негорючие горючие
	5	ГОСТ 30402-96
3	1	из одного минерала
	2	мономинеральная горная порода
	3	полиминеральная горная порода
	4	искусственный каменный материал
	5	да
4	1	12%
	2	10 мм/с
	3	горючесть наличие пороков
	4	плесень гниль
	5	250°C
5	1	ослабевают
	2	углеродистые
	3	уменьшению прочности металлов
	4	увеличивается
	5	низколегированные стали
6	1	антипирены
	2	высокомолекулярные химические соединения
	3	термопластичные термореактивные
	4	повышенная ползучесть способность к старению
	5	природные синтетические искусственные
7	1	малой теплопроводностью
	2	теплоизоляционный материал

№ темы	Номер вопроса	Правильный ответ
	3	звукопоглощающие звукоизоляционные
	4	снижающие пожарную опасность
	5	добавление в состав антипиренов
8	1	происходящий в здании процесс
	2	объемно-планировочным решением здания
	3	участвующие в восприятии нагрузок
	4	бескаркасная, каркасная, объемно-блочная, ствольная и оболочковая
	5	жилые и общественные здания
9	1	вертикальные горизонтальные
	2	восприятие и распределение силовых нагрузок
	3	защита помещений от температурных воздействий, влаги, шума
	4	Н1, Н2, Н3
	5	П1, П2
10	1	К0, К1, К2, К3
	2	несущей способности
	3	С0, С1, С2, С3
	4	степень огнестойкости класс конструктивной пожарной опасности класс функциональной пожарной опасности
	5	огнестойкость и пожарной опасностью
11	1	плита
	2	увеличение толщины защитного слоя бетона
	3	плиты балки
	4	потеря несущей способности потеря теплоизолирующей способности потеря целостности
	5	ограждающие несущие

## Список литературы, рекомендуемый для самостоятельного изучения

1. *Ройтман В.М., Серков Б.Б., Евтушенко Ю.Г.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник для вузов / под ред. В.М. Ройтмана. 2-е изд., перераб и доп. М.: Академия ГПС МЧС России. 2013. 364 с.
2. *Киреева Ю.И.* Современные строительные материалы и изделия / Ю. И. Киреева. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 256 с.: ил.
3. *Корольченко А.Я., Трушкин Д.В.* Пожарная опасность строительных материалов. Учебное пособие. / А.Я. Корольченко, Д.В. Трушкин. М.: Пожнаука, 2005. 232 с.: ил.
4. *Основин В.Н., Шуляков Л.В., Основина Л.Г.* Справочник современных строительных материалов и конструкций / В.Н. Основин, Л.В. Шуляков, Л.Г. Основина. Ростов на Дону: Феникс. 2010. 423 с.: ил.
5. *Рыженко В.И.* Гипсокартон и другие современные строительные материалы. Технология работ / В.И. Рыженко. М.: Оникс. 2010. 224 с.: ил.
6. *Козачун Г.У.* Типы жилых зданий / Г.У. Козачун. Ростов на Дону: Феникс. 2011. 400 с.: ил.
7. *Фёдоров В.С., Левитский В.Е., Молчадский И.С., Александров А.В.* Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций/ В.С. Федоров, В.Е. Левитский, И.С. Молчадский, А.В. Александров. М.: АСВ. 2009. 408 с.
8. *Акулова М.В., Емелин В.Ю., Никифоров А.Л., Наконечный С.Н.* Поведение теплоизоляционных строительных материалов в условиях пожара: Учебное пособие / М.В. Акулова, В.Ю. Емелин, А.Л. Никифоров, С.Н. Наконечный. Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России. 2013. 100 с., ил.
9. *Наконечный С.Н., Винокуров М.В., Булгаков В.В.* Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебное пособие / С.Н. Наконечный, М.В. Винокуров, В.В. Булгаков. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2016. 134 с.
10. Пособие по определению пределов огнестойкости конструкций, пределов распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов (к СНиП II-2-80)/ЦНИИСК им. Кучеренко. – М.: Стройиздат, 1985. – 56 с.
11. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
12. СП 2.1.13130.2012. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
13. ГОСТ 30244-94 «Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть».
14. ГОСТ 30402-96 «Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость».
15. ГОСТ Р 51032-97 «Материалы строительные. Метод испытания на распространение пламени».
16. ГОСТ 12.1.044-89 «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».

*Учебное издание*

**МИХАЛИН Владимир Николаевич  
ВИНОКУРОВ Михаил Владимирович  
НАКОНЕЧНЫЙ Сергей Николаевич  
ШАБУНИН Сергей Александрович  
АКУЛОВА Марина Владимировна**

## **ЗДАНИЯ, СООРУЖЕНИЯ И ИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ПОЖАРЕ**

**Учебное пособие для курсантов, студентов и слушателей  
образовательных организаций МЧС России**

*Текстовое электронное издание*

Подготовлено к изданию 27.12.2019 г.  
Формат 60×84 1/16. Усл. печ. л. 9,7. Уч.-изд. л. 9,0. Заказ № 51

Отделение организации научных исследований  
научно-технического отдела  
Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России  
153040, г. Иваново, пр. Строителей, 33