

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФГБОУ ВПО «КЕМЕРОВСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности»

Попова Е.А.

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

Учебное пособие для студентов направления
20.05.01 «Пожарная безопасность» всех форм обучения

Кемерово 2015

УДК 614.84 (075)

ББК 38.96я7

П 58

Рецензенты:

А.С. Розанов, майор внутренней службы, преподаватель-методист (специальных дисциплин) цикла специальных дисциплин ФГБОУ ДПО «Учебный центр федеральной противопожарной службы по Кемеровской области»,

Г.К. Яппарова, канд. техн. наук, доц. кафедры аэрология, охрана труда и природы, Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва

*Рекомендовано редакционно–издательским советом
Кемеровского технологического института
пищевой промышленности*

Попова, Е.А.

П 58 Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебное пособие / Е.А. Попова; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2015. – 128 с.

ISBN

Рассмотрены программные вопросы дисциплины «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре» для студентов направления 20.05.01 «Пожарная безопасность» всех форм обучения

УДК 614.84 (075)

ББК 38.96я7

ISBN

© КемТИПП, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1 Основные свойства строительных материалов и процессы, происходящие в них в условиях пожара.....	6
1.1 Общие понятия дисциплины.....	6
1.2 Виды строительных материалов и их классификация..	7
1.3 Факторы, влияющие на поведение строительных материалов в условиях пожара.....	8
1.4 Основные свойства строительных материалов.....	10
2 Методы определения показателей пожарной опасности строительных материалов.....	14
2.1 Свойства пожарной опасности материалов.....	14
2.2 Горючесть.....	17
2.3 Воспламеняемость.....	21
2.4 Распространение пламени по поверхности.....	24
2.5 Дымообразующая способность.....	28
2.6 Токсичность продуктов горения.....	32
Вопросы.....	39
3 Каменные материалы и их поведение в условиях пожара.....	39
3.1 Общие сведения о каменных строительных материалах.....	39
3.2 Поведение каменных материалов, отдельных минералов, горных пород и бетонов при нагревании.....	43
4 Древесина, её пожарная опасность.....	47
4.1 Строение древесины и применение в строительстве...	47
4.2 Термическое разрушение древесины.....	49
4.3 Характеристики пожарной опасности древесины.....	51
5 Металлы, их поведение в условиях пожара и способы повышения стойкости.....	52
5.1 Общие сведения о металлических строительных материалах.....	52
5.2 Поведение металлов при нагреве.....	56
6 Полимерные материалы, их пожарная опасность.....	59
6.1 Общие сведения о пластмассах и применение их в	

строительстве.....	59
6.2 Поведение пластмасс в условиях пожара.....	61
7 Пожарно-техническая классификация строительных материалов, конструкций и зданий.....	64
7.1 Пожарно-техническая классификация строительных материалов, конструкций, зданий и сооружений.....	65
7.2 Пожарно-техническая классификация строительных конструкций.....	68
7.3 Пожарно-техническая классификация зданий.....	76
8 Огнестойкость строительных конструкций.....	83
8.1 Огнестойкость деревянных конструкций.....	83
8.2 Огнестойкость металлических конструкций.....	86
8.3 Огнестойкость железобетонных конструкций.....	89
9 Огнезащита строительных материалов и конструкций	94
9.1 Общая характеристика средств огнезащиты.....	94
9.2 Огнезащита деревянных конструкций.....	99
9.3 Огнезащита металлических конструкций.....	102
9.4 Огнезащита каменных конструкций.....	103
10 Устойчивость зданий, сооружений в условиях пожара.....	105
Список литературы, использованной при подготовке учебного пособия.....	108

ВВЕДЕНИЕ

Одной из базовых дисциплин для становления инженера пожарной безопасности является дисциплина «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре».

Дисциплина «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре» изучает закономерности поведения строительных конструкций, зданий в условиях пожара; пожарную опасность строительных материалов; пожарную опасность и огнестойкость строительных конструкций; методы определения основных показателей; способы повышения огнестойкости и снижения пожарной опасности строительных материалов и конструкций; пожарно-техническую классификацию строительных материалов, конструкций, зданий и сооружений.

Пособие «Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре» предназначено для студентов очной и заочной форм обучения, обучающихся по направлению 20.05.01 «Пожарная безопасность». Учебное пособие включает в себя обязательный для усвоения студентами материал в соответствии с разработанной и утверждённой рабочей программой.

Список литературы включает в себя действующие законодательные документы, учебные и справочные издания.

При изучении материала дисциплины полезно вести индивидуальный словарь с записями незнакомых терминов и определений. В качестве самостоятельной работы студентам рекомендуется чтение и конспектирование дополнительной литературы по курсу.

Для закрепления теоретического материала дисциплины учебным планом предусмотрен ряд практических работ и выполнение курсовой работы [24].

Пособие может быть использовано в качестве дополнительного материала для студентов направления 20.03.01 «Техносферная безопасность», изучающих дисциплину «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

1 Основные свойства строительных материалов и процессы, происходящие в них в условиях пожара

1.1 Общие понятия дисциплины

Одним из минимально необходимых требований к зданиям и сооружениям является – пожарная безопасность (№ 384–ФЗ [37]). Здание или сооружение должно быть спроектировано и построено таким образом, чтобы в процессе его эксплуатации исключалась возможность возникновения пожара, обеспечивалось предотвращение или ограничение опасности задымления здания или сооружения при пожаре и воздействия опасных факторов пожара (ОФП) на людей и имущество.

Реализуется указанное требование:

1) сохранением устойчивости здания или сооружения, а также прочности несущих строительных конструкций в течение времени, необходимого для эвакуации людей и выполнения других действий, направленных на сокращение ущерба от пожара;

2) обоснованием принимаемых значений характеристик огнестойкости и пожарной опасности элементов строительных конструкций и систем инженерно-технического обеспечения.

Строительный материал (СМ) – разнообразные природные и искусственные материалы для строительства и ремонта зданий и сооружений.

Строительная конструкция (СК) – часть здания или сооружения, выполняющая определённые несущие, ограждающие и (или) эстетические функции.

Здание – результат строительства, представляющий собой объёмную 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.

Сооружение – результат строительства, представляющий собой объёмную, плоскостную (поля, дорожки, спортивные и игровые площадки и др.) или линейную (линии связи, сети и

др.) 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.

Устойчивость объекта защиты при пожаре – свойство объекта защиты сохранять конструктивную целостность и (или) функциональное назначение при воздействии ОФП и вторичных проявлений опасных факторов пожара.

1.2 Виды строительных материалов и их классификация

Чтобы легче ориентироваться в многообразии строительных материалов, их классифицируют по назначению, исходя из условий работы материалов в сооружениях или по технологическому признаку, учитывая вид сырья, из которого получают материал и способ изготовления.

По назначению материалы можно условно разделить на две группы: конструкционные и специального назначения.

Конструкционные материалы применяются в основном для несущих конструкций, различают следующие:

1. природные каменные материалы;
2. неорганические вяжущие;
3. искусственные каменные, получаемые:
 - а) омоноличиванием с помощью вяжущих веществ (бетон, железобетон, растворы);
 - б) спеканием (керамические материалы);
 - в) плавлением (стекло);
4. металлы (сталь, чугун, алюминий, сплавы);
5. полимеры и пластмассы;
6. древесные;
7. композиционные (асбестоцемент, стеклопластик).

Строительные материалы специального назначения, необходимые для защиты конструкций от вредных воздействий среды или повышения эксплуатационных свойств и создания комфорта, следующие:

1. теплоизоляционные;

2. акустические;
3. гидроизоляционные, кровельные, герметизирующие;
4. отделочные;
5. антикоррозионные;
6. огнеупорные;
7. материалы для защиты от радиации и др.

1.3 Факторы, влияющие на поведение строительных материалов в условиях пожара

Поведение строительных материалов в условиях пожара – комплекс физико-химических превращений, приводящих к изменению состояния и свойств материалов под влиянием интенсивного высокотемпературного режима.

На рис. 1 представлена обобщённая схема, в которой перечислены основные факторы, процессы и последствия, которые могут характеризовать поведение различных материалов в условиях пожара. Для понимания изменений в структуре материала при пожаре, необходимо изучать материал: его происхождение, сущность технологии изготовления, состав, начальную структуру и свойства. В процессе эксплуатации в обычных условиях на материал воздействуют внешние факторы: область применения (для облицовки пола, потолка, стен; внутри помещения с нормальной средой, с агрессивной средой, снаружи помещения и т.п.); влажность воздуха (чем она выше, тем выше влажность пористого материала); различные нагрузки (чем они выше, тем тяжелее материалу сопротивляться их воздействию); природные воздействия (солнечная радиация, температура воздуха, ветер, атмосферные осадки и т. п.).

Перечисленные внешние факторы влияют на долговечность материала (ухудшение его свойств в течение времени при нормальной эксплуатации). Чем они интенсивнее воздействуют на материал, тем быстрее изменяются его свойства, разрушается структура. При пожаре, помимо перечисленных, на материал воздействуют и значительно более агрессивные факторы, такие, как: высокая температура окружающей среды; продолжитель-

ность нахождения материала под воздействием высокой температуры; воздействие огнетушащих веществ; воздействие агрессивной среды. В результате воздействия на материал внешних факторов пожара в материале могут протекать негативные процессы. Прогрессирующее развитие негативных процессов в материале ведет к отрицательным последствиям (рис. 1).

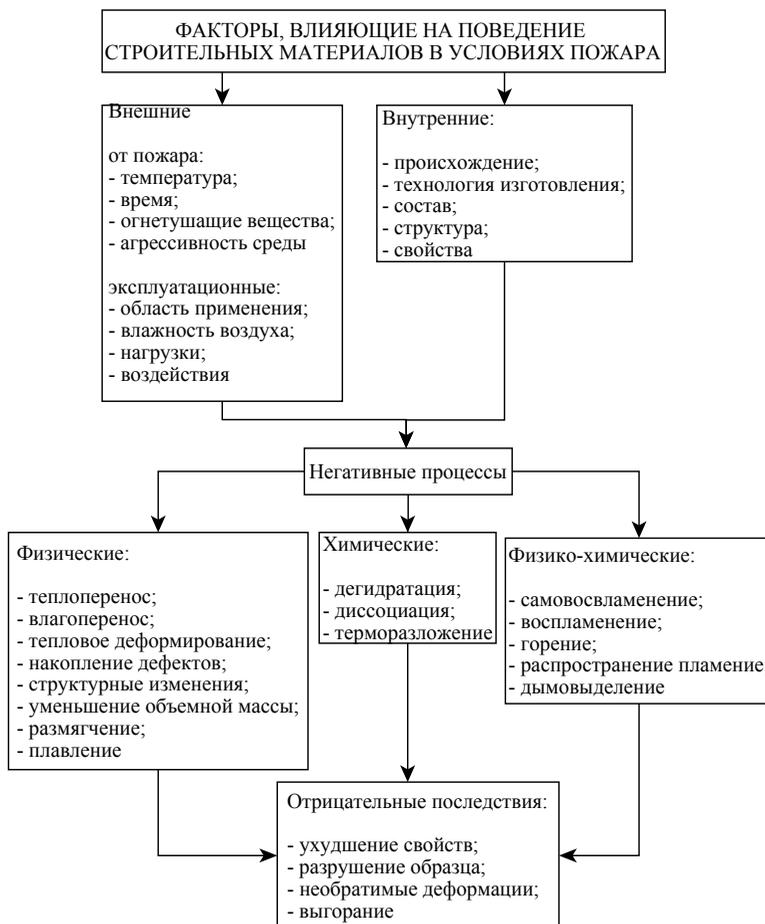


Рис. 1 Закономерности поведения строительных материалов в условиях пожара

1.4 Основные свойства строительных материалов

Каждый материал обладает комплексом различных свойств, определяющих область его применения и возможность сочетания с другими материалами. Свойствами называют способность материалов реагировать на воздействие внешних и внутренних факторов: силовых, влажностных, температурных и др. Все свойства материалов взаимосвязаны. Числовые показатели свойств определяют экспериментально или расчетом.

Применительно к изучению и объяснению характера поведения строительных материалов в условиях пожара выделяют следующие свойства: физические; механические; теплофизические; характеризующие пожарную опасность материалов.

Физические свойства выражают способность материалов реагировать на воздействие физических факторов: гравитационных, влажностных и др.

Истинная плотность – масса единицы объёма абсолютно плотного материала: $\rho = m/V$, кг/м³ (диапазон значений 300–7850). Средняя плотность, или объёмная масса – масса единицы объёма материала в естественном состоянии (с трещинами, порами, пустотами): $\rho_0 = m/V$, кг/м³ (диапазон значений 12–7850). Для большинства СМ: $\rho > \rho_0$, но для стекла, металла и жидкостей: $\rho = \rho_0$.

Пористость P , % – степень заполнения образца материала порами: $P = (V_{II}/V) \cdot 100 \% = (1 - \rho_0/\rho) \cdot 100 \%$, где V_{II} – объём материала с порами, м³; V – истинный объём материала, м³. Величина пористости у различных материалов колеблется от 0 до 96 %, таблица 1.

Таблица 1

Показатели физических свойств

Материал	ρ_0 , кг/м ³	ρ , кг/м ³	P , %
Бетон лёгкий	500–1800	2600	40–84
Бетон тяжёлый	1800–2500	3000	17–40
Дуб	700–900	1600	42–55
Красный кирпич	1600–2500	3000	17–40
Сосна	400–600	1550	61–74
Сталь	7800	7800	0
Стекло	2500	2500	0

Гигроскопичность – свойство пористого материала поглощать водяные пары из воздуха и удерживать их. Определяется как масса влаги к массе образца в сухом виде, %, кг/кг (диапазон значений 0,1...120). Она зависит от температуры воздуха, его относительной влажности, парциального давления парогазовой смеси, вида, количества и размера пор.

Водопоглощение W , % – способность материала впитывать воду из воды (диапазон значений 0,1...120). Характеризуется количеством воды, поглощаемой сухим материалом, погруженным полностью в воду на сутки, и выражается в % от массы или объёма: $W = (m_g/m) \cdot 100 \% = ((m_{ен} - m)/m) \cdot 100 \%$, где m_g – масса воды в порах образца, кг; m – масса образца после сушки, кг; $m_{ен}$ – масса образца после насыщения водой, кг.

Водопроницаемость – способность пористого материала пропускать воду под давлением. Характеризуется количеством воды, прошедшей в течение 1 часа через 1 м² площади испытуемого материала при заданном давлении воды 1 МПа. Сталь, стекло – водонепроницаемы.

Паро- и газопроницаемость, м/с, оценивают по количеству водяного пара (воздуха), которое проходит через слой материала толщиной 1 м, площадью 1 м² в течение 1 ч при разности давлений у противоположных поверхностей образца 10 Па.

Механические свойства отражают способность материалов сопротивляться действию нагрузок, возникающих от силовых, тепловых, усадочных и других факторов.

Твёрдость – сопротивление материала царапанию. Это свойство важно при обработке, а также при использовании его для полов, дорожных покрытий. Для металлов твёрдость оценивается по баллам шкалы Бринелля (диапазон значений 1–10 НВ), а для каменных материалов по шкале минералов Мбоса (тальк, гипс, кальцит, флюорит, апатит, полевой шпат, кварц, топаз, корунд, алмаз).

Прочность – свойство материала сопротивляться разрушению под действием напряжений, возникающих от нагрузки (сжатие, растяжение, изгиб, удар). Прочность СМ характеризуется пределом прочности (примерный диапазон значений 0,05–1800 МПа), таблица 2. Предел прочности σ , МПа, – напряжение,

соответствующее нагрузке, вызывающей разрушение образца материала: $\sigma = F/S$, где F – разрушающая сила, Н; S – площадь поперечного сечения образца до испытания, м².

Таблица 2

Прочность некоторых материалов

Материал	Предел прочности, МПа		
	при сжатии	при растяжении	при изгибе
Бетон обыкновенный	5–30	0,6–2	–
Гранит	400–600	1550	61–74
Древесина:			
вдоль волокон	50	130	100
поперек волокон	6,5	6,5	75
Кирпич глиняный	7,5–30	–	1,5–3,5
Сталь	380–450	380–450	–
Стеклопластик	420	450–470	410–460

Деформативность – развитие деформаций при силовых воздействиях. Деформация – изменение размеров и формы материалов под нагрузкой без изменения массы.

Упругость – обратимая деформация, свойство материала восстанавливать после снятия нагрузки свою первоначальную форму и размеры; оценивается коэффициентом пропорциональности между напряжением и деформацией, МПа (диапазон значений 50–400000).

Пластичность – необратимая деформация, свойство материала изменять свою форму под нагрузкой без появления трещин и сохранять эту форму после снятия нагрузки.

Теплофизические свойства характеризуют поведение материалов при воздействии на них тепла.

Теплопроводность – способность материала проводить тепловой поток за счет разности температур на поверхности образца. Характеризуется коэффициентом теплопроводности λ , Вт/(м·К), который равен количеству тепла Q в 1 Дж, проходящему через стенку из данного материала толщиной δ в 1 м, площадью S в 1 м² за время τ 1 с, при разности температур T_1 , T_2 на противоположных поверхностях стены в 1 К: $\lambda = Q \cdot \delta / [S \cdot (T_1 - T_2) \cdot \tau]$, таблица 3. Коэффициент теплопроводности зависит от многих факторов: химического состава; пористости (уменьшается с увеличением количества пор); температуры; влажности

материала (возрастает с увлажнением, $\lambda_{\text{воды}}$ в 25 раз больше $\lambda_{\text{воздуха}}$).

Теплоёмкость – способность материала поглощать при нагревании определённое количество тепла. Характеризуется коэффициентом теплоёмкости c , Дж/(кг·К) – это количество теплоты Q в 1 Дж, необходимое для нагревания m 1 кг материала на T_1, T_2 1 К: $c=Q/[m \cdot (T_1-T_2)]$, таблица 3. Теплоёмкость возрастает с увеличением влажности, $C_{\text{воды}} = 4,2 > C_{\text{воздуха}} = 0,97$.

Таблица 3

Показатели теплофизических свойств

Материал	λ , Вт/(м·К)	c , Дж/(кг·К)
Бетон тяжёлый	1,0–1,5	0,8
Гранит	3,0–3,5	0,8
Древесина	0,24	2,51
Кирпич глиняный	0,8–0,9	0,8
Сталь	58	0,42

Температуропроводность – скорость изменения температуры материала при нагревании (охлаждении). Характеризуется коэффициентом температуропроводности a , м²/с: $a=\lambda/(c \cdot \rho_0)$. Для упрощения расчета прогрева бетона, используют постоянный приведенный коэффициент температуропроводности a_{red} , вычисленный при $t=450$ °С и учитывающий влияние влажности w на скорость прогрева (будет применяться в расчетах при дальнейшем изучении дисциплины): $a_{\text{red}} = \lambda / [(c + 0,012w) \cdot \rho_0]$.

Морозостойкость, циклы, – способность материала, насыщенного водой, выдерживать многократное попеременное замораживание и оттаивание без признаков разрушения и значительного снижения прочности (диапазон значений 15–3000).

Огнеупорность – свойство материала противостоять длительному воздействию высоких температур не деформируясь и не разрушаясь.

Свойства пожарной опасности СМ определяются пожарно-техническими характеристиками:

1) горючесть – способность СМ к самостоятельному горению без воздействия внешнего теплового источника;

2) воспламеняемость – способность к началу пламенного горения под действием источника зажигания;

3) распространением пламени по поверхности – способность распространять пламя по поверхности после воспламенения материала;

4) дымообразующей способностью – способность выделять дым при горении СМ в режимах тления и пламенного горения;

5) токсичностью продуктов горения – характеризует опасность воздействия продуктов горения СМ на организм человека.

Для оценки степени пожарной опасности строительных материалов используют количественные показатели (раздел 2 пособия).

2 Методы определения показателей пожарной опасности строительных материалов

2.1 Свойства пожарной опасности материалов

Разделение СМ по пожарной опасности основывается на их свойствах и способности к образованию ОФП.

Пожарная опасность СМ характеризуется следующими свойствами (показателями):

- 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) и негорючие (НГ).

Строительные материалы относятся к *негорючим* при следующих значениях параметров горючести, определяемых экспериментальным путём: прирост температуры – не более 50 °С, потеря массы образца – не более 50 %, продолжительность устойчивого пламенного горения – не более 10 с. Строительные материалы, не удовлетворяющие хотя бы одному из указанных значений параметров, относятся к горючим. Для негорючих строительных материалов другие показатели пожарной опасности не определяются и не нормируются.

Горючие строительные материалы подразделяются на следующие группы:

1) слабогорючие (Г1), имеющие температуру дымовых газов не более 135°C , степень повреждения по длине испытываемого образца не более 65 %, степень повреждения по массе испытываемого образца не более 20 %, продолжительность самостоятельного горения 0 с;

2) умеренногорючие (Г2), имеющие температуру дымовых газов не более 235°C , степень повреждения по длине испытываемого образца не более 85 %, степень повреждения по массе испытываемого образца не более 50 %, продолжительность самостоятельного горения не более 30 с;

3) нормальногорючие (Г3), имеющие температуру дымовых газов не более 450°C , степень повреждения по длине испытываемого образца не более 85 %, степень повреждения по массе испытываемого образца не более 50 %, продолжительность самостоятельного горения не более 300 с;

4) сильногорючие (Г4), имеющие температуру дымовых газов более 450°C , степень повреждения по длине испытываемого образца не более 85 %, степень повреждения по массе испытываемого образца не более 50 %, продолжительность самостоятельного горения более 300 с.

По *воспламеняемости* горючие строительные материалы (в том числе напольные ковровые покрытия) в зависимости от величины критической поверхностной плотности теплового потока (КППТП) подразделяются на следующие группы:

1) трудновоспламеняемые (В1), имеющие величину КППТП более 35 кВт/м^2 ;

2) умеренновоспламеняемые (В2), имеющие величину КППТП не менее 20, но не более 35 кВт/м^2 ;

3) легковоспламеняемые (В3), имеющие величину КППТП менее 20 кВт/м^2 .

По скорости *распространения пламени по поверхности* горючие строительные материалы (в том числе напольные ковровые покрытия) в зависимости от КППТП подразделяются на следующие группы:

1) нераспространяющие (РП1), имеющие величину КППТП более 11 кВт/м^2 ;

- 2) слабораспространяющие (РП2), имеющие величину КППТП не менее 8, но не более 11 кВт/м²;
- 3) умереннораспространяющие (РП3), имеющие величину КППТП не менее 5, но не более 8 кВт/м²;
- 4) сильнораспространяющие (РП4), имеющие величину КППТП менее 5 кВт/м².

По *дымообразующей способности* горючие строительные материалы в зависимости от значения коэффициента дымообразования подразделяются на следующие группы:

- 1) с малой дымообразующей способностью (Д1), имеющие коэффициент дымообразования менее 50 м²/кг;
- 2) с умеренной дымообразующей способностью (Д2), имеющие коэффициент дымообразования не менее 50, но не более 500 м²/кг;
- 3) с высокой дымообразующей способностью (Д3), имеющие коэффициент дымообразования более 500 м²/кг.

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

- 1) малоопасные (Т1);
- 2) умеренноопасные (Т2);
- 3) высокоопасные (Т3);
- 4) чрезвычайно опасные (Т4).

Методы испытаний по определению классификационных показателей пожарной опасности СМ устанавливаются нормативными документами по пожарной безопасности:

- 1) горючесть по ГОСТ 30244–94 «Методы испытаний на горючесть» [3];
- 2) воспламеняемость по ГОСТ 30402–96 «Метод испытания на воспламеняемость» [7];
- 3) способность распространения пламени по поверхности ГОСТ Р 51032–97 «Метод испытания на распространение пламени» [10];
- 4) дымообразующая способность по 2.14.2 и 4.18 ГОСТ 12.1.044–89* «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» [2];
- 5) токсичность продуктов горения по 2.16.2 и 4.20 ГОСТ 12.1.044–89* «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения» [2].

2.2 Горючесть

Суть метода – создание температурных условий, способствующих горению, и оценка поведения СМ в этих условиях. По показателю горючести выделяют 2 метода (I, II).

Метод I применяют для однородных строительных материалов (древесина, пенопласт, древесно-стружечные плиты). Для слоистых материалов (однородные с огнезащитой, гипсокартонные листы, бумажно-слоистые пластики) метод может использоваться в качестве оценочного, при этом испытания проводят для каждого слоя.

Установка для испытаний (рис. 2) состоит из печи в теплоизолирующей среде; конусообразного стабилизатора воздушного потока; защитного экрана, обеспечивающего тягу; держателя образца и устройства для введения держателя образца в печь; станины, на которой монтируют печь.

Печь – труба из огнеупорного цементного материала, на поверхности которой расположен никель-хромовой электронагревательный элемент (рис. 3). Нижнюю часть печи соединяют с конусообразным стабилизатором воздушного потока. Стабилизатор изготавливают из листовой стали толщиной 1 мм.

Для наблюдения за пламенным горением образца над печью на расстоянии 1 м под углом 30° устанавливают зеркало площадью 300 мм².

Держатель образца изготавливают из нихромовой или жаропрочной стальной проволоки. Основанием держателя является тонкая сетка из жаропрочной стали.

Для измерения температуры используют термопары никель-хром или никель-алюминий с защитным кожухом из нержавеющей стали диаметром 1,5 мм. Термопару для измерения температуры в образце следует устанавливать так, чтобы её горячий спай находился в геометрическом центре образца.

Для каждого испытания изготавливают пять образцов цилиндрической формы: диаметр 45 мм, высота 50 мм. В верхней части образца следует предусматривать отверстие диаметром 2 мм для установки термопары в геометрическом центре образца.

Образцы кондиционируют в вентилируемом термошкафу при температуре $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ в течение 20 – 24 ч и охлаждают в эк-

сикаторе. Перед испытанием каждый образец взвешивают, определяя его массу с точностью до 0,1 г.

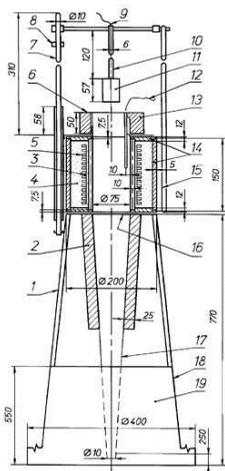
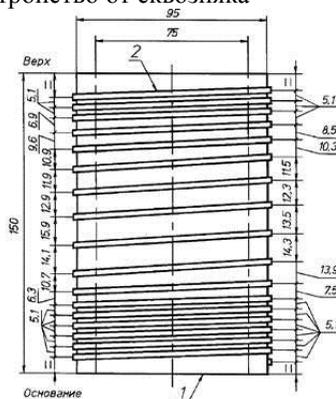


Рис. 3. Обмотка печи
1 – огнеупорная труба; 2 –
нихромовая лента

Рис. 2. Общий вид установки
(метод I)

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 или аналогичного материала; 16 – уплотнение; 17 – стабилизатор потока воздуха; 18 – листовая сталь; 19 – защитное устройство от сквозняка



При подготовке установки к испытаниям удаляют держатель образца из печи и устанавливают печную термопару.

Нагревательный элемент печи подключается к источнику питания. Регулировкой напряжения устанавливается стабильный температурный режим в печи. (745–755 °С в течение 10 мин)

Держатель с образцом и термопарами (в центре и на по-

верхности) вводится в печь. Испытание прекращают через 30 мин при условии достижения температурного баланса: показания каждой из трех термопар изменяются не более чем на 2 °С за 10 мин. Если по истечении 30 мин температурный баланс не достигается испытание продолжают с интервалом 5 мин.

Фиксируют конечные показания термопар в печи, в центре и на поверхности образца, а также продолжительность испытания. 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 m_n , г;
- массу образца после испытания m_k , г;
- начальную температуру печи $T_{п.н}$, °С;
- максимальную температуру печи $T_{п.м}$, °С;
- конечную температуру печи $T_{п.к}$, °С;
- максимальную температуру в центре образца $T_{ц.м}$, °С;
- конечную температуру в центре образца $T_{ц.к}$, °С;
- максимальную температуру поверхности образца $T_{п.о.м}$, °С;
- конечную температуру поверхности образца $T_{п.о.к}$, °С;
- продолжительность устойчивого пламенного горения образца t_r , с.

Для каждого образца рассчитывают прирост температуры в печи, в центре и на поверхности образца и определяют среднюю арифметическую величины (по пяти образцам).

Метод II применяют для всех однородных и слоистых горючих строительных материалов, в том числе используемых в качестве отделочных и облицовочных, а также лакокрасочных покрытий.

Установка для испытания (рис. 4) состоит из камеры сжигания, системы подачи воздуха в камеру сжигания, газоотводной трубы, вентиляционной системы для удаления продуктов сгорания.

Стальные стенки камеры теплоизолируются минераловат-

ными плитами. В камере сжигания устанавливают держатель образцов, источник зажигания, диафрагму. Переднюю стенку камеры сжигания оборудуют дверцей с остекленными проёмами для наблюдения.

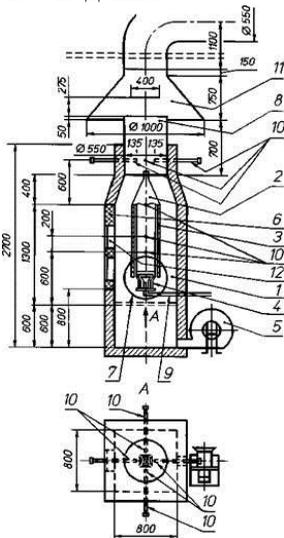


Рис. 4. Общий вид установки (метод II)

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

Источником зажигания является газовая горелка, состоящая из четырех отдельных сегментов. Система подачи воздуха состоит из вентилятора, ротаметра и диафрагмы, и должна обеспечивать поступление воздуха в количестве $10 \text{ м}^3/\text{мин}$ температурой не менее $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Система удаления продуктов сгорания состоит из зонта, насоса, воздуховода и газопроводной трубы с четырьмя термопарами для измерения температуры отходящих газов.

Для каждого испытания изготавливают 12 образцов длиной 1000 мм, шириной 190 мм. Толщина образцов должна соответствовать толщине материала, применяемого в реальных условиях. Если толщина материала более 70 мм, толщина образцов должна быть 70 мм.

При изготовлении образцов экспонируемая поверхность не должна подвергаться обработке. Для испытания лакокрасочных, отделочных и облицовочных покрытий образцы изготавливают в сочетании с негорючей основой (асбестоцементные листы толщиной 10). Толщина лакокрасочных покрытий должна

иметь не менее четырех слоёв.

Для каждого материала проводится три испытания по четыре образцов одновременно.

Образцы взвешивают, помещают в держатель и вводят в камеру сжигания. Включают измерительные приборы, подачу воздуха, вытяжную вентиляцию, источник зажигания, закрывают дверцу камеры. Продолжительность воздействия на образец пламени от источника зажигания составляет 10 мин. При наличии пламени или признаков тления фиксируют продолжительность самостоятельного горения (тления). Испытание считают законченным после остывания образцов до температуры окружающей среды.

При обработке результатов рассчитывают:

- температуру дымовых газов T , $^{\circ}\text{C}$;
- продолжительность самостоятельного горения $t_{c,2}$, с;
- степень повреждения (сколы, сажа, спекание, усадка и др.) по длине S_L , %;
- степень повреждения по массе S_m , %.

Полученные результаты округляют до целых чисел.

Материал относят к группе горючести в соответствии с таблицей 4.

Таблица 4

Группы горючести СМ

Группы горючести материалов	Параметры горючести			
	Температура дымовых газов T , $^{\circ}\text{C}$	Степень повреждения по длине S_L , %	Степень повреждения по массе S_m , %	Продолжительность самостоятельного горения $t_{c,2}$, с
Г1	≤ 135	≤ 65	≤ 20	0
Г2	≤ 235	≤ 85	≤ 50	≤ 30
Г3	≤ 450	> 85	≤ 50	≤ 300
Г4	> 450	> 85	> 50	> 300

2.3 Воспламеняемость

Суть метода состоит в определении параметров воспламеняемости материала при заданных стандартом уровнях воздействия на поверхность образца лучистого теплового потока и пламени от источника зажигания.

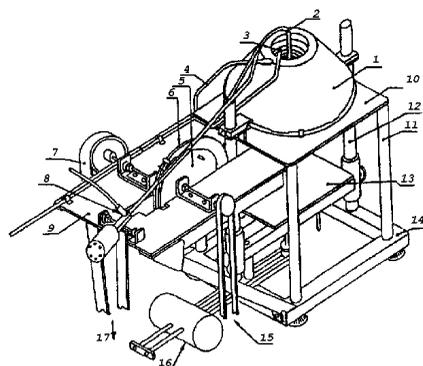


Рис. 5. Общий вид установки для испытаний на воспламеняемость
 1 – радиационная панель с нагревательным элементом; 2 – подвижная горелка; 3 – вспомогательная стационарная горелка; 4 – силовой кабель нагревательного элемента; 5 – кулачок с ограничителем хода для ручного управления подвижной горелкой; 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

Параметрами воспламеняемости материала являются критическая поверхностная плотность теплового потока (КППТП) и время воспламенения.

Для испытаний изготавливают 15 образцов квадратной формы 165x165 мм. Толщина образцов должна составлять не более 70 мм. При каждой величине ПТПП испытания проводят на трех образцах.

Экспонируемая поверхность образцов не обрабатывается, но при наличии гофры, рельефа, тиснения обрабатывают до плоской поверхности.

Образцы отделочных и облицовочных материалов, а также для испытания лакокрасочных покрытий и кровельных материалов, изготавливают в сочетании с негорючей основой (асбестоцементные листы толщиной 10 мм). Лак, краску наносят на основу не менее чем в четыре слоя.

Перед испытанием образцы кондиционируют до достиже-

ния постоянной массы при температуре 23°C и относительной влажности 50 %. 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.

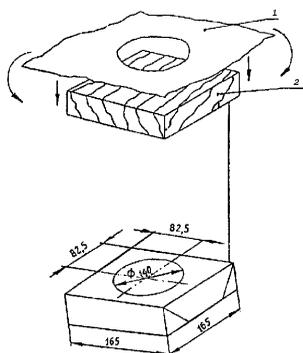


Рис. 6. Подготовка образца к испытанию
1 – алюминиевая фольга; 2 – образец

нарная горелка, подвижная горелка с механизированной и ручной системой перемещения).

Образец для испытания оборачивают листом алюминиевой фольги (толщиной 0,2 мм), в центре которого вырезано отверстие диаметром 140 мм. При этом центр отверстия в фольге должен совпадать с центром экспонируемой поверхности образца (рис. 6).

Установка оборудуется защитным экраном и вытяжным зонтом.

Образец для испытания помещают в держатель, устанавливают его на подвижную платформу и производят регулировку противовеса. После этого держатель с образцом для испытания заменяют держателем с образцом-имитатором.

Включают электропитание и по регулирующему термоэлектрическому преобразователю задают установленную при калибровке величину термоЭДС, соответствующую ПТПП 30 кВт/м^2 . Установку выдерживают в этом режиме не менее 5 мин.

Помещают экранирующую пластину на защитную плиту,

Общий вид установки для испытаний на воспламеняемость приведен на рис. 5.

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).

заменяют образец – имитатор на истинный образец, включают механизм подвижной горелки, удаляют экранирующую пластину и включают регистратор времени. Время проведения этих операций должно составлять не более 15 с.

По истечении 15 мин или при воспламенении образца испытание прекращают.

Если при испытании было зафиксировано воспламенение (устойчивое пламенное горение, которое продолжалось до очередного воздействия на образец пламени от источника зажигания), то устанавливают – 20 кВт/м², если нет, то 40 кВт/м². Если при ППТП 20 кВт/м² зафиксировано воспламенение, уменьшают величину ППТП до 10 кВт/м² и повторяют операции. Если при ППТП 40 кВт/м² воспламенение отсутствует, устанавливают величину ППТП 50 кВт/м² и повторяют операции.

В зависимости от результатов испытаний величину ППТП увеличивают на 5 кВт/м² (при отсутствии воспламенения) или уменьшают на 5 кВт/м² (при наличии воспламенения) и повторяют операции на двух образцах.

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.

Горючие строительные материалы в зависимости от величины КППТП подразделяют на три группы, таблица 5.

Таблица 5

Группы воспламеняемости строительных материалов

Группа воспламеняемости материала	КППТП, кВт/м ²
B1	35 и более
B2	От 20 до 35
B3	Менее 20

2.4 Распространение пламени по поверхности

Суть метода – исследование способности СМ распространять пламя по поверхности под действием внешнего лучистого теплового потока (ИКИ) после локального воспламенения

участка поверхности от источника зажигания.

Для испытания изготавливают 5 образцов материала размером 1100 x 250 мм. Для анизотропных материалов изготавливают 2 комплекта образцов (например, по утку и по основе).

Образцы для стандартного испытания изготавливают в сочетании с негорючей основой (асбестоцементные листы толщиной 10 или 12 мм). Образцы кондиционируют при температуре 20 ± 5 °С и относительной влажности 65 ± 5 % не менее 72 ч.

Схема установки для испытаний на распространение пламени приведена на рис. 7. Установка состоит из следующих основных частей: испытательная камера с дымоходом и вытяжным зонтом; источник лучистого теплового потока (радиационная панель); источник зажигания (газовая горелка); держатель образца и устройство для введения держателя в испытательную камеру (платформа).

Установку оборудуют приборами для регистрации и измерения температуры в испытательной камере и дымоходе, величины поверхностной плотности теплового потока (ППТП), скорости потока воздуха в дымоходе.

Испытательную камеру и дымоход (рис. 7) изготавливают из листовой стали толщиной от 1,5 до 2 мм и облицовывают изнутри негорючим теплоизоляционным материалом толщиной не менее 10 мм.

Переднюю стенку камеры оборудуют дверцей со смотровым окном из термостойкого стекла. Размеры смотрового окна должны обеспечивать возможность наблюдения за всей поверхностью образца. Дымоход соединяется с камерой через проём. Над дымоходом устанавливают зонт вытяжной вентиляции.

Радиационная панель имеет следующие размеры: длина 450 мм; ширина 300 мм. Электрическая мощность радиационной панели должна составлять не менее 8 кВт. Угол наклона радиационной панели (рис. 7) к горизонтальной плоскости должен составлять 30° .

Источником зажигания является газовая горелка с диаметром выходного отверстия 1,0 мм, обеспечивающая формирование факела пламени длиной от 40 до 50 мм. Конструкция горелки должна обеспечивать возможность её вращения относительно горизонтальной оси. При испытании пламя газовой го-

релки должно касаться точки «ноль» («0») продольной оси образца (рис. 8).

Платформу для размещения держателя образца изготавливают из жаропрочной или нержавеющей стали. Держатель образца изготавливают из жаропрочной стали толщиной $(2,0 \pm 0,5)$ мм и оснащают приспособлениями для крепления образца.

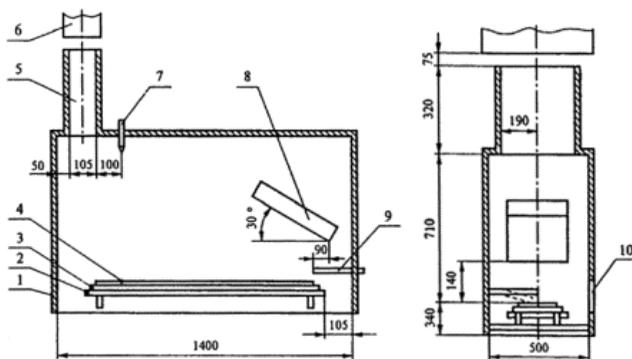


Рис. 7. Установка для испытаний на распространение пламени

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

Цель калибровки состоит в установлении требуемых величин ППТП в контрольных точках калибровочного образца (рис. 8, L1 $9,1 \pm 0,8$; L2 $5,0 \pm 0,4$; L3 $2,4 \pm 0,2$) и распределении ППТП по поверхности образца при скорости потока воздуха в дымоходе $(1,22 \pm 0,12)$ м/с.

Калибровку проводят на образце, изготовленном из асбестоцементных листов толщиной от 10 до 12 мм (рис. 8).

Для измерения температуры в камере (рис. 7) используют термоэлектрический преобразователь с диапазоном измерения от 0 до 600 °С. Для измерения ППТП используют водоохлаждаемые приёмники теплового излучения с диапазоном измерения от 1 до 15 кВт/м². Для измерения и регистрации скорости потока воздуха в дымоходе используют анемометры с диапазоном измерения от 1 до 3 м/с.

После подготовки установки к испытаниям, открывают дверцу камеры, зажигают газовую горелку и располагают её так,

чтобы расстояние между факелом пламени и экспонируемой поверхностью составляло не менее 50 мм. Устанавливают образец в держатель, фиксируют его положение с помощью приспособлений для крепления, помещают держатель с образцом на платформу и вводят в камеру. Закрывают дверцу камеры и включают секундомер. После выдержки в течение 2 мин приводят пламя горелки в контакт с образцом в точке «0», расположенной по центральной оси образца. Оставляют факел пламени в этом положении в течение 10 мин. По истечении этого времени возвращают горелку в исходное положение.

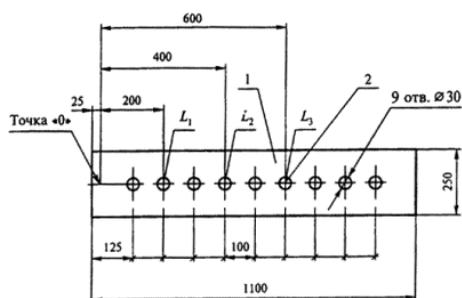


Рис. 8. Калибровочный образец
1 – калибровочный образец; 2 – отверстия для измерителя теплового потока

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. В процессе испытания фиксируют время воспламенения и продолжительность пламенного горения.

После окончания испытания открывают дверцу камеры, выдвигают платформу, извлекают образец.

Испытание каждого последующего образца проводят после охлаждения держателя образца до комнатной температуры.

Измеряют длину поврежденной части образца по его продольной оси для каждого из пяти образцов. Измерения проводят с точностью до 1 мм.

Повреждением считается выгорание и обугливание материала образца в результате распространения пламенного горения.

ния по его поверхности. Оплавление, коробление, спекание, вспучивание, усадка, изменение цвета, формы, нарушение целостности образца (разрыва, сколы поверхности и т.п.) повреждением не являются.

Длину распространения пламени определяют как среднее арифметическое значение по длине поврежденной части пяти образцов. Величину КППТП устанавливают на основании результатов измерения длины распространения пламени.

При отсутствии воспламенения образцов или длине распространения пламени менее 100 мм следует считать, что КППТП материала составляет более 11 кВт/м².

В случае принудительного гашения образца по истечении 30 мин испытания величину ППТП определяют по результатам измерения длины распространения пламени на момент гашения и условно принимают эту величину равной критической. Для материалов с анизотропными свойствами при классификации используют наименьшую из полученных величин КППТП.

Горючие строительные материалы в зависимости от величины КППТП подразделяют на четыре группы распространения пламени, таблица 6.

Таблица 6

Группы материалов по распространению пламени

Группа распространения пламени по поверхности		КППТП, кВт/м ²
РП1	нераспространяющие	11,0 и более
РП2	слабораспространяющие	от 8,0, но менее 11,0
РП3	умереннораспространяющие	от 5,0, но менее 8,0
РП4	сильнораспространяющие	менее 5,0

2.5 Дымообразующая способность

Суть метода определения коэффициента дымообразования заключается в определении оптической плотности дыма, образующегося при горении или тлении известного количества испытуемого вещества или материала, распределенного в заданном объеме.

Установка для определения коэффициента дымообразования (рис. 9) включает в себя следующие элементы.

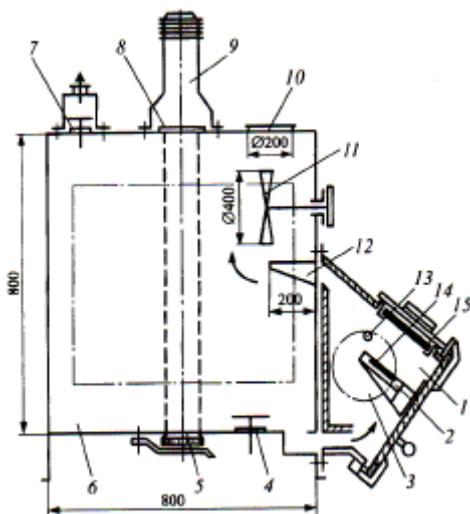


Рис. 9. Установка для определения дымообразования

1 – камера сгорания; 2 – держатель образца; 3 – окно из кварцевого стекла; 4, 7 – клапаны продувки; 5 – приёмник света; 6 – камера измерений; 8 – кварцевое стекло; 9 – источник света; 10 – предохранительная мембрана; 11 – вентилятор; 12 – направляющий козырек; 13 – запальная горелка; 14 – вкладыш; 15 – электроннагревательная панель

Камера сгорания вместимостью $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, выполненная из нержавеющей стали. Внутренняя поверхность камеры теплоизолирована асбосилитовыми плитами толщиной 20 мм и покрыта алюминиевой фольгой толщиной 0,2 мм. В камере сгорания установлены электроннагревательная панель и держатель образца. Электроннагревательную панель размерами (120x120) мм монтируют на верхней стенке камеры под углом 150 к горизонтали. Электроспираль панели изготавливается из проволоки марки Х20Н80–Н диаметром 0,8 – 1,0 мм.

Держатель образца размерами (100x100x20) мм крепят на дверце камеры сгорания. В держателе установлен вкладыш из асбосилита размерами (92x92x20) мм, в центре которого имеется углубление для размещения лодочки с образцом (углубление во вкладыше должно быть таким, чтобы нагреваемая поверхность образца находилась на расстоянии 60 мм от электроннагревательной панели).

Над держателем образца установлена запальная газовая горелка, представляющая собой трубку из нержавеющей стали внутренним диаметром 1,5 – 2,0 мм.

В камере сгорания имеются верхнее и нижнее отверстия

сечением (30x160) мм, соединяющие её с камерой измерений.

Камера измерений размерами (800x800x800) мм, изготовленная из нержавеющей стали, имеет в верхней стенке отверстия для возвратного клапана продувки, источника света и предохранительной мембраны. На боковой стенке камеры установлен вентилятор с частотой вращения 5 с^{-1} . На передней стенке камеры имеется дверца с уплотнением из мягкой резины по периметру. В днище камеры должны быть отверстия для приёмника света и возвратного клапана продувки.

Фотометрическая система, состоящая из источника и приёмника света. Источник света (гелий-неоновый лазер мощностью 2 – 5 мВт) крепят на верхней стенке камеры измерений, приёмник света (фотодиод) расположен в днище камеры. Между источником света и камерой измерений устанавливают защитное кварцевое стекло, нагреваемое электроспиралью до температуры 120–140 °С.

Фотометрическая система должна обеспечивать измерение светового потока в рабочем диапазоне светопропускания от 2 до 90 % с погрешностью не более 10%.

Для испытаний готовят 10–15 образцов исследуемого материала размером (40x40) мм и фактической толщиной, но не более 10 мм (для образцов пенопластов допускается толщина до 15 мм). Лакокрасочные и пленочные покрытия испытывают нанесенными на ту же основу, которая принята в реальной конструкции. Если область применения лаков и красок неизвестна, то их испытывают нанесенными на алюминиевую фольгу толщиной 0,2 мм.

Подготовленные образцы перед испытаниями выдерживают при температуре $(20 \pm 2) \text{ }^{\circ}\text{C}$ не менее 48 ч, затем взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Образцы должны характеризовать средние свойства исследуемого материала.

Проверку режимов работы установки проводят с помощью стандартного образца. При этом значения коэффициента дымообразования (D_m) должно быть в пределах: режим тления (без инициирующего пламени) $D_m = 360 \pm 20 \text{ м}^2/\text{кг}$; режим горения (с инициирующим пламенем) $D_m = 120 \pm 8 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Испытание образцов проводят в двух режимах: в режиме тления и в режиме горения с использованием газовой горелки

(длина пламени горелки 10–15 мм).

Включают электропитание установки в таком режиме, чтобы плотность теплового потока, падающего на образец, составляла 35 кВт/м^2 . Контролируют плотность падающего теплового потока с помощью теплоприёмника типа Гордона с погрешностью не более 8 %.

Включают источник и приёмник света. Устанавливают начальное значение светопропускания, соответствующее верхнему пределу измерений регистрирующего прибора и принимаемому за 100%.

Подготовленный образец помещают в лодочку из нержавеющей стали. Открывают дверцу камеры сгорания и без поддержки устанавливают лодочку с образцом в держатель, после чего дверцу закрывают.

Испытание прекращают при достижении минимального значения светопропускания.

В случае, когда минимальное значение светопропускания выходит за пределы рабочего диапазона или находится вблизи его границ, допускается уменьшать длину пути луча света (расстояние между источником и приёмником света) либо изменять размеры образца.

При испытаниях в режиме тления образцы не должны самовоспламеняться. В случае самовоспламенения образца последующие испытания проводят при уменьшенном на 5 кВт/м^2 значении плотности теплового потока. Плотность теплового потока снижают до тех пор, пока не прекратится самовоспламенение образца во время испытания.

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

В случае, когда не достигается начальное значение светопропускания, защитные стёкла фотометрической системы протирают диском из мягкой ткани, слегка смоченным этиловым спиртом.

В каждом режиме испытывают по пять образцов.

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

$$D_m = \frac{V}{m_0 \cdot L} \ln \frac{I_0}{I_{min}}, \quad (1)$$

где V – вместимость камеры измерения, м^3 ; L – длина пути луча света в задымленной среде, м ; m_0 – масса образца, кг ; I_0, I_{min} – соответственно значения начального и конечного светопропускания, %.

Коэффициент дымообразования – показатель, характеризующий оптическую плотность дыма, образующегося при пламенном горении или термоокислительной деструкции (тлении) определённого количества твёрдого вещества (материала) в условиях специальных испытаний.

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

Материал относят к группе дымообразующей способности в соответствии с таблицей 7.

Таблица 7

Классификация СМ по дымообразующей способности

Группа СМ по дымообразующей способности		$D_m, \text{м}^2/\text{кг}$	Принципы классификации
Д1	с малой дымообразующей способностью	50 и менее	снижением видимости в дыму допустимо пренебречь
Д2	с умеренной дымообразующей способностью	св. 50 до 500	вероятность гибели в дыму ниже, чем вероятность отравления токсичными продуктами горения
Д3	с высокой дымообразующей способностью	св. 500	вероятность гибели в дыму выше, чем вероятность отравления токсичными продуктами горения

2.6 Токсичность продуктов горения

Суть метода определения показателя токсичности 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 объёма экспозиционной камеры. Иначе суть метода определения показателя токсичности заключается в воздействии на животных продуктов горения и оценке результатов.

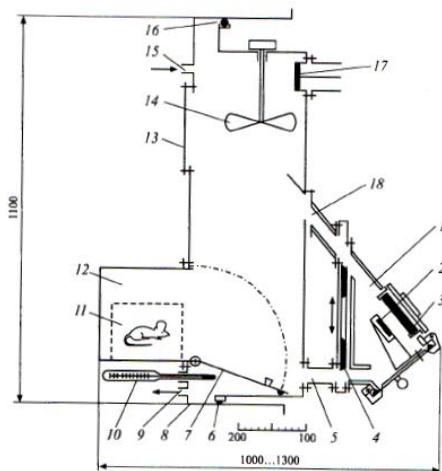


Рис. 10. Установка для определения показателя токсичности
 1 – камера сгорания; 2 – держатель образца; 3 – электронагревательный излучатель; 4 – заслонки; 5, 18 – переходные рукава; 6 – стационарная секция экспозиционной камеры; 7 – дверца предкамеры; 8 – подвижная секция экспозиционной камеры; 9, 15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

Установка для определения показателя токсичности, рис. 10. Камера сгорания вместимостью $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, соединенная с экспозиционной камерой переходными рукавами, выполнена из листовой нержавеющей стали толщиной $(2,0 \pm 0,1) \text{ мм}$. Внутренняя поверхность, камеры сгорания изолирована асбоцементными плитами толщиной 20 мм. В камере установлен экранированный электронагревательный излучатель размерами $(120 \times 120) \text{ мм}$ и держатель образца размерами $(120 \times 120 \times 25) \text{ мм}$. Излучатель представляет собой нагревательную спираль, размещенную в

трубках из кварцевого стекла и расположенную перед стальным полированным отражателем с водяным охлаждением. Он закреплен на верхней стенке камеры под углом 45° к горизонтали. Спираль излучателя сопротивлением $(22,0 \pm 0,1)$ Ом изготовлена из проволоки марки Х20Н80-Н (ГОСТ 12766.1) диаметром $(0,9 \pm 0,1)$ мм. Электропитание излучателя регулируют с помощью трансформатора и контролируют по показаниям вольтметра с погрешностью не более 0,5 В.

Держатель образца выполнен в виде металлической рамки, в которой закреплен асбоцементный поддон. Поддон имеет углубление для размещения вкладыша с образцом материала. Нагреваемая поверхность образца и поверхность электроннагревательного излучателя параллельны, расстояние между ними равно 60 мм.

На боковой стенке камеры сгорания имеется окно из кварцевого стекла для наблюдения за образцом при испытаниях.

На выходе из камеры сгорания размещены заслонки верхнего и нижнего переходных рукавов. Длина верхнего рукава 250 мм, нижнего – 180 мм, проходные сечения рукавов соответственно (160×40) мм и (160×30) мм. Внутренняя поверхность верхнего переходного рукава также облицована асбоцементными плитами.

Экспозиционная камера, состоящая из стационарной и подвижной секций. По периметру стационарной секции имеется паз для надувной резиновой прокладки с рабочим давлением не менее 6 МПа. В верхней части камеры находится четырехлопастный вентилятор перемешивания диаметром 150 мм с частотой вращения 5 с^{-1} . На боковой стенке установлен клапан продувки. На торцевой стенке подвижной секции закреплены предохранительная мембрана, предкамера, штуцеры для подключения газоанализаторов, термометр для измерения температуры в нижней части камеры. Перемещение подвижной секции позволяет изменять объём экспозиционной камеры от 0,1 до 0,2 м³.

Предкамера объёмом 0,015 м³, оборудованная наружной и внутренней дверцами и смотровым окном.

Водоохлаждаемый датчик типа Гордона ФОА–013 и регистрирующий прибор типа А 565–001–06 с диапазоном измере-

ний от 0 до 100 мВ для контроля плотности теплового потока. Погрешность измерения плотности теплового потока не должна быть более $\pm 8 \%$.

Для непрерывного контроля состава газозооушной среды в экспозиционной камере используют газоанализаторы оксида углерода (ГИАМ–5М с диапазоном измерений от 0 до 1 %, допустимой погрешностью $\pm 2\%$), диоксида углерода (ГИАМ–5М с диапазоном измерений от 0 до 5 %, допустимой погрешностью $\pm 2 \%$) и кислорода (МН 5130–1 с диапазоном измерений от 0 до 21 %, допустимой погрешностью $\pm 2 \%$).

Термометр лабораторный любого типа с диапазоном измерений от 0 до 100 $^{\circ}\text{C}$, с погрешностью не более 1 $^{\circ}\text{C}$.

При наладке установки следует определить параметры напряжения на спирали электронагревательного излучателя, при которых обеспечиваются заданные уровни плотности теплового потока. Для измерения величины падающего теплового потока водоохлаждаемый датчик ФОА–013 закрепляют на нейтральном участке держателя образца. Измерения проводят при герметизированной экспозиционной камере и открытых заслонках переходных рукавов. По результатам измерений строят график зависимости плотности падающего теплового потока (Q) от напряжения на спирали электронагревательного излучателя.

По величине плотности теплового потока определяют значение температуры испытания ($t_{исп}$), соответствующее температуре нагреваемой поверхности контрольного (негорючего) образца из асбоцемента. Для определения ($t_{исп}$) используют данные, приведенные в таблице 8.

Таблица 8

Значения температуры испытания

Q , кВт/м ²	10,0	13,5	18,0	23,0	28,0	32,5	38,0	44,0	52,5	65,02
$t_{исп}$, $^{\circ}\text{C}$	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750

Установку следует считать готовой к испытаниям материалов, если при контрольной проверке:

- значения плотности падающего теплового потока соответствуют установленным значениям напряжения на спирали электронагревательного излучателя;

- выход CO в условиях термоокислительного разложения порошковой целлюлозы (фракция 0,25–0,75) массой 2,5 г при температуре испытания 450 °С (плотность падающего теплового потока 23 кВт/м²) составляет (200±4) мг·г⁻¹;

- концентрация CO в экспозиционной камере за время выдерживания 30 мин снижается не более чем на 5 % от первоначального уровня.

Для испытаний готовят не менее 10 образцов размером (40x40) 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.

Предварительно образцы каждого материала подвергают воздействию тепловых потоков различной плотности, обеспечивающих в каждом последующем опыте повышение температуры испытания образца на 50 °С. При этом находят значение температуры испытания материала в режиме термоокислительного разложения (тления). Оно должно быть на 50 °С ниже температуры, при которой наблюдается самовоспламенение образца.

Материалы испытывают в одном из двух режимов – термоокислительного разложения или пламенного горения, а именно в режиме, способствующем выделению более токсичных смесей летучих веществ. Режим пламенного горения обеспечивается при температуре испытания 750 °С (плотность падающего теплового потока 65 кВт/м²). Критерием выбора режима основных испытаний служит наибольшее число летальных исходов в сравниваемых группах подопытных животных.

При проведении основных испытаний в установленном режиме находят ряд значений зависимости токсического действия продуктов горения от величины отношения массы образца к объёму установки. Для получения токсических эффектов ниже и выше уровня 50 % летальности изменяют объём 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.

Затравку животных проводят статическим способом. В каждом опыте используют не менее 8 белых мышей массой

(20±2) г. Продолжительность экспозиции составляет 30 мин. Температура воздуха в предкамере за время экспозиции не должна превышать 30 °С, а концентрация кислорода должна быть менее 16 % об.

Предусматривают следующий порядок проведения испытания. Нагнетают воздух в надувную прокладку до давления 0,6 МПа, проверяют заземление установки, исправность приборов и оборудования, эффективность вентиляции. Подают воду для охлаждения излучателя, после чего включают его на соответствующее напряжение. Заслонки переходных рукавов, клапан продувки, дверца камеры сгорания находятся в положении «закрыто».

Взвешенный образец материала помещают, а при необходимости закрепляют во вкладыше, имеющем комнатную температуру. Клетку с животными устанавливают в предкамере, наружную дверцу которой закрывают.

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

По достижении максимальных значений концентрации СО и СО₂ в экспозиционной камере заслонки переходных рукавов закрывают. Снимают напряжение с нагревательного элемента излучателя. Включают на 2 мин вентилятор перемешивания.

По истечении времени экспозиции животных открывают клапан продувки, заслонки переходных рукавов и наружную дверцу предкамеры. Установку вентилируют не менее 10 мин. Регистрируют число погибших и выживших животных.

В зависимости от состава материала при анализе продуктов горения определяют количественный выход оксида углерода, диоксида углерода, цианистого водорода, оксидов азота, альдегидов и других веществ. Для оценки вклада оксида углерода в токсический эффект измеряют содержание карбоксигемоглобина в крови подопытных животных.

Если масса образца принятых размеров (40x40) мм не поз-

воляет получить эффекты меньше или больше уровня летальности 50 %, допускается уменьшить размеры образца или увеличить их до (80x80) мм и толщину до 20 мм.

Полученный ряд значений зависимости летальности от относительной массы материала используют для расчета показателя токсичности H_{CL50} , г/м³. Расчет проводят с помощью пробит-анализа или других способов расчета средних смертельных доз и концентраций.

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

$$H_{CL50} = \frac{CL_{50}CO}{g_{CO}} \quad , \quad (2)$$

где $CL_{50}CO$ – среднесмертельная концентрация оксида углерода в мг/м³, которую вычисляют по уравнению $CL_{50} = 4502 + 2229/t$ (t – время экспозиции в мин); g_{CO} – 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 значение 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. Классификация материалов по значению показателя токсичности продуктов горения приведена в таблице 9.

Таблица 9

Классификация СМ по токсичности продуктов горения

Класс опасности	H_{CL50} , г/м ³ , при времени экспозиции, мин			
	5	15	30	60
Чрезвычайно опасные	до 25	до 47	до 13	до 10
Высокоопасные	25–70	47–50	13–40	10–30
Умеренноопасные	70–210	50–150	40–120	30–90
Малоопасные	св. 210	св. 150	св. 120	св. 90

Вопросы:

1 Может ли СМ с полимерной добавкой относиться к группе НГ материалов? Чем определяется граница перехода материала из группы НГ в группу Г1?

2 Означает ли, что СМ, классифицированный по результатам испытаний как слабогорючий (Г1), будет проявлять себя таковым на всех без исключения разновидностях пожаров?

3 К какой группе горючести относится СМ со следующими параметрами: $T - 125^{\circ}\text{C}$; $S_L - 75\%$; $S_m - 40\%$; $t_{c,e} - 250\text{ с}$.

4 Почему показатель токсичности H_{CL50} зависит от времени экспозиции?

5 В результате статистической обработки экспериментальных данных, полученных при испытаниях коврового покрытия на токсичность продуктов сгорания, величина показателя токсичности составила $(40,0 \pm 5,5) \text{ г/м}^3$. К какой группе токсичности в этом случае относить материал Т3 или Т2?

6 Почему скорость распространения пламени по вертикальным поверхностям в несколько раз превышает скорость распространения пламени по горизонтальным поверхностям?

7 От каких параметров зависит скорость распространения пламени по поверхности твёрдых СМ?

8 Объясните увеличение скорости распространения пламени по горизонтально ориентированным материалам при увеличении площади горения.

9 В чём состоит основная пожарная опасность дыма?

3 Каменные материалы и их поведение в условиях пожара

3.1 Общие сведения о каменных строительных материалах

Все каменные материалы можно разделить на природные и искусственные.

Природные (естественные) каменные материалы получают из горных пород путём механической их обработки (дробления, распиловки, шлифовки, полировки) или без обработки. Горные породы состоят из одного или нескольких минералов. Минералы – это неорганические природные вещества, обладающие определённым химическим составом, однородным строением и характерными физическими свойствами. К числу главных порообразующих минералов относятся кремнезём

(кварц), глинозём, алюмосиликаты, железисто-магнезиальные силикаты, карбонаты, сульфаты.

По геологическому происхождению горные породы делят на три группы:

- изверженные (или магматические, или первичные) – образовались в ходе вулканической деятельности из застывшей магмы (рис. 11);

- осадочные (или вторичные) – образовались путём разрушения первичных горных пород и остатков организмов (рис. 12);

- метаморфические (видоизмененные) – образовались путём изменения первичных и вторичных пород под влиянием высоких температур и давлений (рис. 13).

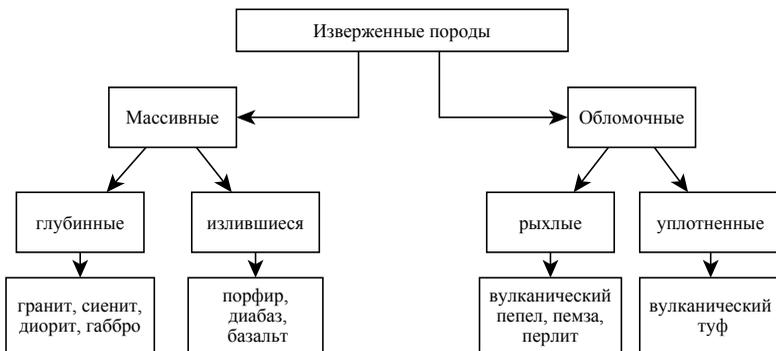


Рис. 11. Классификация изверженных горных пород

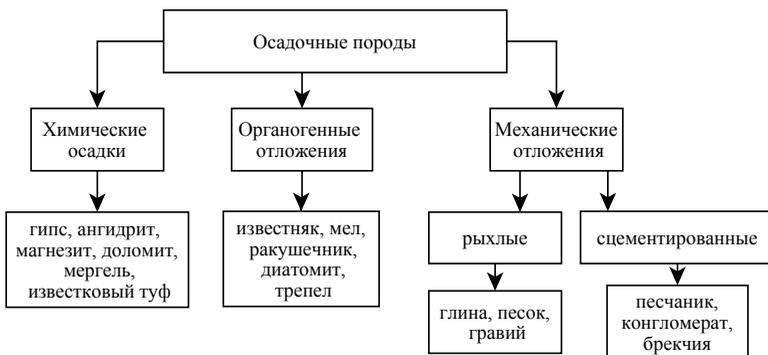


Рис. 12. Классификация осадочных горных пород



Рис. 13. Классификация осадочных горных пород

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 объёмная масса. Указанные качества определяют область применения природных каменных материалов в строительстве.

Виды природных каменных материалов:

- грубообработанные (бут, щебень, гравий, песок);
- блоки и стеновые камни;
- камни и плиты для облицовки;
- камни для гидротехнических сооружений;
- дорожные (брусчатка, плиты, бортовые камни);
- кислотоупорные изделия.

Искусственные каменные материалы бывают безобжиговые и получаемые обжигом. Первые (бетоны, железобетоны, растворы, асбестоцемент, силикатные и гипсовые изделия) получают соединением минерального вяжущего вещества, воды и заполнителя из горных пород. Вторые (керамика, стекло, шлаки, минеральные расплавы) получают путём обжига сырья из естественных каменных материалов при высоких температурах или нагрева сырья до расплавления с последующим охлаждением.

Бетон – это композиционный материал, матрицей в котором является цементный камень с включёнными в неё зёрнами мелкого и крупного заполнителя.

Вяжущие вещества (цемент) – это порошкообразные вещества, которые при затворении водой дают пластичное тесто,

способное в результате физико-химических процессов постепенно затвердевать и переходить в камневидное тело. Вяжущие делят на:

– неорганические (минеральные): гипс, воздушная и гидравлическая известь, портландцемент, жидкое стекло.

– органические: битумы, дёгти, асфальты, полимеры.

Для производства бетонных и железобетонных конструкций широко применяется портландцемент – продукт тонкого измельчения клинкера, который получают обжигом до спекания сырьевой массы (75–78 % известняка и 25–22 % глины). Стадии производства портландцемента:

- 1) добыча сырья и доставка его на завод;
- 2) подготовка сырья к обжигу (подсушивание шлама);
- 3) обжиг сырьевой смеси (получение гранул клинкера; максимальная температура обжига 1500 °С);
- 4) выдерживание клинкера на складе (1...2 недели);
- 5) измельчение клинкера в тонкий порошок;
- 6) магазинирование (вылѐживание) цемента.

Вода при создании бетона используется питьевого качества, но для массивных неармированных конструкций можно применять и морскую.

Крупный заполнитель – это гравий или щебень. Мелкий заполнитель – песок (горный или речной).

Для получения специальных характеристик бетона (морозостойкость, жаростойкость и др.) в состав вводят добавки, масса которых не должна превышать 5 % от общей массы.

Примерное весовое соотношение компонентов бетонной смеси: 1 часть цемента, 4 – щебня, 2 – песка, 1/2 – воды. Расчёт количественного состава бетона ведѐтся по марке бетона. Марка бетона – это предел прочности на сжатие образца кубика 150x150x150 мм в возрасте 28 дней. Обозначение марки бетона: буква «В» и цифра (нагрузка в МПа): от В0,5 до В120.

Выделяют группы бетонов по назначению: обычный – не предъявляют особых требований; гидротехнический – резервуары, водонапорные башни; для транспортного строительства – мосты, виадуки, эстакады; дорожный – покрытия дорог, аэродромов; жаростойкий; теплоизоляционный; коррозионно-стойкий.

Бетоны по объёмной массе делят на:

- 1) особо тяжёлый $\rho_0 > 2500 \text{ кг/м}^3$ (заполнитель – стальные опилки, железные руды, барит);
- 2) тяжёлый (обычный) $\rho_0 \text{ 2200–2500 кг/м}^3$ (кварцевый песок, щебень, гравий);
- 3) облегчённый $\rho_0 \text{ 1800–2200 кг/м}^3$ (кирпичный щебень);
- 4) лёгкий $\rho_0 \text{ 1200–1800 кг/м}^3$ (шлак, пемза, туф, перлит, керамзит);
- 5) особо лёгкий $\rho_0 < 1200 \text{ кг/м}^3$ (пенобетон, газобетон).

3.2 Поведение каменных материалов, отдельных минералов, горных пород и бетонов при нагревании

Характер поведения всех каменных материалов в условиях пожара практически одинаков, отличаются лишь количественные показатели. Специфические особенности обусловлены действием внутренних факторов, присущих анализируемому материалу (при идентичных условиях действия внешних факторов).

Мономинеральные горные породы (гипс, известняк, мрамор и др.) при нагреве ведут себя более спокойно, чем полиминеральные (гранит и др.). В начале нагрева они претерпевают свободное тепловое расширение, освобождаясь от физически связанной влаги в порах материала. Это не приводит, как правило, к снижению прочности и даже может наблюдаться её рост при спокойном удалении свободной влаги. Затем в результате действия химических процессов дегидратации (если материал содержит химически связанную влагу) и диссоциации материал претерпевает постепенное разрушение (снижение прочности практически до нуля).

Известняк – по сравнению с другими породами характеризуется равномерным и небольшим расширением при нагревании до $800 \text{ }^\circ\text{C}$. Дальнейшее повышение температуры приводит к усадке известняков из-за их разложения и выделения углекислого газа по реакции $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$. Образующаяся при этом окись кальция (воздушная известь) обладает незначительной прочностью и малой теплопроводностью. Известняк сопро-

тивляется действию высоких температур лучше, чем гранит и многие другие горные породы, содержащие кварц. При температуре 130 °С прочность повышается на 36 % по сравнению с первоначальной и остается практически постоянной до 600 °С, после чего происходит её снижение. При 750 °С прочность известняка снижается до начальной. При 900 °С и выше следует ожидать почти полной потери прочности вследствие разложения известняка.

Гипс – горная порода, состоящая из минерала того же названия. Температурное воздействие до 200 °С на гипс приводит к удалению части химически связанной воды и образованию полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, применяемого в качестве вяжущего и известного под названием строительный гипс (алебастр), прочность которого снижается вдвое при температуре 100 °С.

Полиминеральные горные породы ведут себя в основном аналогично мономинеральным, за исключением того, что при нагреве возникают значительные напряжения, обусловленные различными величинами коэффициентов теплового расширения у компонентов, входящих в состав горной породы. Это приводит к разрушению (снижению прочности) материала.

Например, минерал кварц входит в состав многих пород – гранита, песчаника и др. При температуре около 575 °С кварц скачкообразно увеличивается в объеме и растрескивается.

Прочность гранита при нагревании до 200 °С возрастает до 160 % от первоначальной. При температуре выше 200 °С начинается снижение прочности, которая, однако, при 600 °С еще равна начальной. Дальнейшее нагревание приводит к резкому падению прочности, которая при 800 °С составляет лишь 35 % первоначальной. Рост прочности при нагреве до 200 °С объясняется снятием внутренних напряжений, возникающих в граните в результате неравномерного охлаждения расплавленной магмы.

При пожаре в неорганических вяжущих веществах происходят в основном те же процессы, которые имели место при их получении из исходного сырья (природных каменных материалов) путём варки или обжига при высоких температурах. Эти

процессы приводят в итоге к снижению прочности в результате разрушения материалов.

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 и в результате ускоренного завершения кристаллизации гидроксида кальция. Выше 200...300 °С происходит накопление дефектов структуры. Поэтому прочность камня начинает снижаться. Дегидратация клинкерных минералов портландцемента происходит в диапазоне 240–1000 °С, что приводит к снижению прочности затвердевшего портландцементного камня.

Обыкновенный красный кирпич (глиняный) выдерживает температуру до 900...1100 °С; силикатный кирпич – не более 700...900 °С. После нагрева до 600 °С и последующего охлаждения силикатный кирпич, в отличие от красного, заметно снижает свою прочность и может разрушиться после некоторого времени нахождения на воздухе. Причина состоит в том, что при температуре 547 °С начинается дегидратация содержащегося в силикатном кирпиче гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$; после охлаждения свободный оксид кальция CaO постепенно гасится влагой воздуха (гашение извести), увеличиваясь в объёме в 2...3,5 раза, что и приводит к разрушению.

Каменные конструкции практически никогда не разрушаются при пожаре, наблюдаются лишь поверхностные повреждения кладки. Исчерпание огнестойкости каменных конструкций происходит вследствие недопустимого повышения температуры на необогреваемой поверхности (I). Облегчённые кирпичные кладки (в 1/4, 1/2 кирпича) прогреваются быстрее, поэтому их пределы огнестойкости оказываются меньше, чем сплошных (в 1 кирпич и более).

Поскольку бетон является композиционным материалом, его поведение при нагреве зависит от поведения цементного камня, заполнителя и их взаимодействия. Расширяющаяся влага

при температурах от 20 до 100 °С давит на стенки пор, и фазовый переход воды в пар также повышает давление в порах бетона, что приводит к возникновению напряжённого состояния, снижающего прочность. По мере удаления свободной воды прочность бетона может возрасть.

При нагреве до 200 °С образуется химическое соединение гидроксида кальция с кремнезёмом кварцевого песка (как в автоклаве для быстрого твердения бетона при повышенном давлении, температуре и влажности воздуха). В результате такого соединения образуется дополнительное количество гидросиликатов кальция. При этих же условиях происходит дополнительная гидратация клинкерных минералов цементного камня. Всё 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.

Строительные конструкции из тяжёлого бетона (железобетона) склонны к взрывообразному разрушению при пожаре. Это явление наблюдается у конструкций, материал которых имеет влагосодержание выше критической величины при интенсивном подъёме 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.

Лёгкие и ячеистые бетоны с объёмной массой ниже 1200 кг/м³ не склонны к взрывообразному разрушению. Спецификой поведения лёгких и ячеистых бетонов, в отличие от поведения тяжёлых бетонов при пожаре, является более длительное время прогрева вследствие их низкой теплопроводности.

Характерными повреждениями конструкций из бетона и железобетона при пожаре являются:

- оплавление (1500–1600 °С);
- изменение цвета (от розового (300–600 °С) до тёмно-жёлтого (св. 950 °С));

- отколы;
- оголение арматуры;
- отставание поверхностных слоёв бетона от остальной массы (высокий звук при простукивании);
- трещины в бетоне (сетка микро- и макротрещин);
- отделение арматуры от бетона (нет сцепления);
- смещение конструкции;
- прогиб.

Каменные материалы не горят в условиях пожара, но снижают свою прочность.

4 Древесина, её пожарная опасность

4.1 Строение древесины и применение в строительстве

Древесина, или ксилема (от греч. – срубленное дерево) – высокопористый продукт живой природы, отличающийся специфическим волокнистым строением, которое определяет его физико-механические свойства.

Древесина является наиболее распространенным природным полимером, состоящим из целлюлозы – высокомолекулярного углевода $(C_6H_{10}O_5)_n$ и лигнина, которые связаны друг с другом.

С физической точки зрения древесина состоит из следующих слоёв: кора – луб – камбий – заболонь – ядро – сердцевина.

Кора защищает дерево от механических повреждений и состоит из кожицы или корки, пробковой ткани и луба. Корка или кожица и пробковая ткань защищают дерево от вредных влияний среды и механических повреждений. Луб проводит питательные вещества, от кроны в ствол и корни. Камбий – тонкий кольцевой слой живых клеток. Камбий откладывает в сторону центра клетки древесины и в меньшей мере в сторону коры клетки луба. Заболонь – живые клетки, обеспечивающие перемещение питательных веществ от корней к кроне. Ядро – полностью отмершие клетки. Серцевина состоит из тонких клеток с низкой прочностью, слабо связанных между собой.

Для строительных целей используется заболонь и ядро.

Положительные свойства:

- высокая относительная прочность при небольшой плот-

ности, её величина значительно выше, чем стали, бетона, кирпича;

- малая теплопроводность – ниже, чем у стали примерно в 400 раз, в 10–12 раз меньше, чем у железобетона и в 5–7 раз ниже, чем у кирпича;

- малые температурные деформации, высокая морозостойкость;

- лёгкость добычи, богатая сырьевая база, простота обработки и скрепления (хорошо удерживает металлические крепления, надёжно склеивается);

- естественная декоративность;

- поглощает ударные нагрузки, гасит вибрацию;

- высокие звуко- и электроизоляционные качества;

- невысокая стоимость.

Древесина имеет и ряд недостатков, снижающих её строительные свойства:

- анизотропность строения приводит к существенному различию характеристик древесины (теплопроводность, прочность и т.д.) в направлении вдоль и поперёк волокон;

- наличие пороков (сучки, трещины, искривления и др.), по наличию пороков различают 1, 2, 3 сорт древесины;

- повышенная гигроскопичность и водопоглощение древесины существенно влияет на её характеристики, а также размеры и форму (коробление и растрескивание), стандартной считается влажность древесины 12%;

- склонность к гниению, повреждению насекомыми, что приводит к снижению механических свойств;

- горючесть.

В мировой практике строительной индустрии древесина находит широкое применение в качестве конструкционного материала для зданий и сооружений различного назначения: жилые, сельскохозяйственные, складские, производственные и общественные.

Наиболее широкое применение в современном строительстве нашли хвойные породы (ввиду бóльшей распространённости и лучшего качества древесины). Лиственные породы (осина, береза, ольха, липа, тополь) в основном применяются для по-

стройки временных зданий, оград. Их также используют для изготовления дверей, наличников, перегородок, опалубки при бетонных работах.

Развитие химической промышленности способствовало разработке синтетических водонерастворимых клеев, позволяющих изготавливать индустриальные клеёные деревянные конструкции (КДК). Производство новых индустриальных изделий из древесины (фанера, древесно-волоконистые плиты, древесностружечные плиты, КДК) позволяет использовать неделовую древесину и отходы лесопильных и деревообрабатывающих предприятий, что является основным источником экономии лесных материалов в строительстве. Индустриальные изделия, получаемые из отходов производства, как правило, избавлены от ряда недостатков, присущих древесине в естественном состоянии.

Индустриальные изделия можно изготовить с прочностью и другими качествами, значительно превышающими качества обычной древесины.

4.2 Термическое разрушение древесины

Малая теплопроводность древесины препятствует отводу тепла, поэтому при действии огня даже на ограниченный участок её поверхности происходит быстрый локальный нагрев. Уже при температуре материала порядка 110 °С начинается её терморазложение (разрушение структуры), которое сопровождается выделением летучих веществ, что можно обнаружить по характерному запаху. При нагревании до 120–180 °С происходит удаление свободной влаги и начинается выделение химически связанной влаги; происходит выделение негорючих продуктов CO₂ и H₂O, что сопровождается изменением цвета древесины – желтеет. При температуре 210 °С начинается пиролиз (разложение при нагреве) древесины с выделением горючих продуктов: CO, H₂ и пары органических веществ (метан, фенол, формальдегид, метиловый спирт), которые могут воспламеняться от источника зажигания. Идеальная схема разложения древесины: $(C_6H_{10}O_5)_n \rightarrow CO_2 + H_2O + C_2 + H_2$.

Образующееся пламя нагревает новые объёмы древесины

и способствует постепенному расширению горения. При температуре 230–250 °С процесс терморазложения интенсифицируется, древесина теряет способность сопротивляться действующим нагрузкам. Обугливание (карбонизация) начинается при 260–280 °С. При этих температурах пламенное горение летучих продуктов пиролиза древесины приобретает устойчивый характер. Основная масса горючих газов, содержащая до 25 % водорода и до 40 % горючих углеводородов, выделяется в температурном интервале от 350 до 450 °С. При температуре более 450 °С пламенное горение древесины переходит в беспламенное горение (тление) угля, температура которого может достигать 900 °С. За фронтом обугливания температура древесины снижается по гиперболическому закону (рис. 14).

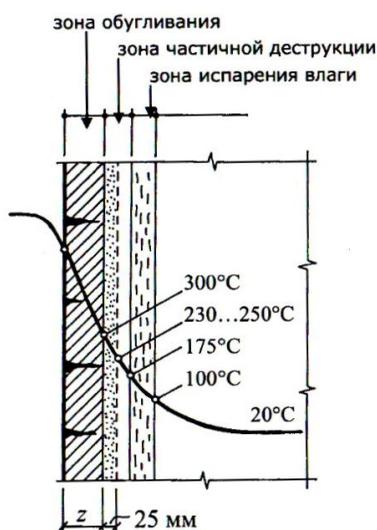


Рис. 14. Влияние температуры нагрева на свойства древесины

При достижении достаточной концентрации газообразных горючих продуктов терморазложения возможно их самовоспламенение. Древесина также самовоспламеняется при кратковременном нагреве до 330 °С; длительный нагрев (в течение 20 часов) снижает температуру самовоспламенения древесины до 160 °С. По этой причине ограничивается применение деревянных конструкций в условиях длительного нагрева (свыше 50 °С для цельной древесины и 35 °С для клеёной); древесину необходимо отделять от источников теплового излучения достаточными расстояниями или огнезащитными преградами.

Процесс горения древесины протекает в виде пламенного горения продуктов терморазложения и тления образовавшегося угольного остатка. В условиях пожара основное количество тепла выделяется в период пламенного горения (до 60 %) и ~40 % – в период тления.

Продукты разложения древесины: уголь (30–35 %), жидкий дистиллят (40–45 %), газообразные вещества (15–20 %), значительное количество дыма (наибольшее количество выделяется в режиме тления).

В условиях стандартного испытания температура обугливания на незащищённой поверхности древесины достигается уже через 3–5 мин после начала теплового воздействия. В процессе испытания обугленный слой постепенно распространяется вглубь сечения, увеличивая свою толщину z , м, (рис. 14). За фронтом обугливания находится слой «неработоспособной» древесины, прогретой до температуры 230–250 °С; его толщина в процессе нагрева составляет около 25 мм. Далее располагается слой, частично подверженный термической деструкции, зона фазового превращения влаги в пар и неповрежденная («холодная») древесина.

4.3 Характеристики пожарной опасности древесины

Пожарную опасность древесины можно охарактеризовать следующими параметрами: температура воспламенения – 250 °С; температура самовоспламенения – 350 °С; линейная скорость распространения пламени по поверхности – 1...10 мм/с (зависит от многих факторов: плотности теплового потока, породы древесины, ориентации образца в пространстве и т.д.); скорость тления – 0,6...1,0 мм/мин. Массовая скорость выгорания древесины (потеря массы в единицу времени с единицы площади) зависит от многих факторов: породы древесины, плотности, влажности, площади поверхности, интенсивности излучения и т.д.

Древесина при отсутствии специальной защиты относится пожароопасным материалам, таблица 10.

Таблица 10

Характеристики незащищенной древесины

Характеристики пожарной опасности	Группы
Горючесть	Г4
Воспламеняемость	В3
Распространение пламени по горизонтальной поверхности	РП4
Дымообразующая способность	Д3
Токсичность продуктов горения	Т3

Для древесины показатель токсичности продуктов горения составляет в среднем $35,5 \text{ г/м}^3$, по классификации ГОСТ 12.1.044–89* [2] древесину следует относить к группе высокоопасных материалов – Т3.

Для древесины сосны коэффициент дымообразования по ГОСТ 12.1.044–89*[2] составляет около $50 \text{ м}^2/\text{кг}$, что позволяет отнести её к материалам с малой – Д1 или умеренной – Д2 дымообразующей способностью. Однако при тлении этот показатель может достигать $D_m=600 \text{ м}^2/\text{кг}$, т.е. тлеющая древесина может относиться к материалам как с умеренной дымообразующей способностью – Д2, так и с высокой дымообразующей способностью – Д3. В условиях пожара снижается прочность древесины в результате её терморазложения, т.е. разрушения структуры, во вторых, при горении древесина обугливается. Изменение прочности древесины существенно зависит от потери массы материала в процессе нагрева.

Древесина всех пород при отсутствии специальной защиты относится к пожароопасным материалам.

5 Металлы, их поведение в условиях пожара и способы повышения стойкости

5.1 Общие сведения о металлических строительных материалах

В строительстве обычно применяют не чистые металлы, а сплавы. Наибольшее распространение получили сплавы на основе чёрных металлов (около 94%). Из чёрных металлов наибольшее применение находят стали, из цветных – алюминиевые сплавы.

Достоинства металлов: высокая прочность; способность к значительным пластическим деформациям, что даёт возможность обрабатывать их давлением (прокатка, ковка, штамповка, волочение); хорошие литейные свойства; свариваемость; способность работать при низких температурах и др. Недостатки металлов: имеют большую плотность, способность корродировать, деформируются при высоких температурах.

Стали представляют собой сплав железа с углеродом, при содержании последнего до 2 %. При содержании углерода более

2% сплав называется чугуном. По химическому составу стали делятся на два класса: углеродистые и легированные.

Углеродистые стали – стали, в которых кроме железа и углерода присутствуют только нормальные примеси (кремний, марганец – полезные примеси; фосфор, сера, кислород – вредные). В зависимости от содержания углерода стали делятся на низкоуглеродистые (до 0,25% углерода), среднеуглеродистые (0,25 – 0,6%) и высокоуглеродистые (более 0,6%).

Легированные стали – стали, в которых кроме нормальных примесей присутствуют (добавлены) легирующие элементы (никель, хром, вольфрам, ванадий и т.д.). Эти добавки позволяют существенно улучшить физико-механические свойства сталей (например, повышение предела текучести без снижения пластичности и ударной вязкости и др.). В зависимости от величины легирующих добавок различают стали низколегированные (до 2,5% добавок), среднелегированные (2,5 – 10%) и высоколегированные (более 10%).

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.

Цветные металлы и сплавы подразделяются по плотности на лёгкие и тяжёлые. К лёгким относятся сплавы на основе алюминия, магния, а к тяжёлым – на основе меди, никеля, олова, свинца.

Алюминий – самый распространенный металл. В земной коре содержится около 8 % алюминия и 5 % железа. Сырьём для получения алюминия являются бокситы – породы, содержащие до 65% глинозёма (Al_2O_3). Из глинозёма алюминий извлекают методом электролитической диссоциации.

Достоинства сплавов алюминия:

- высокий предел прочности (500–700 МПа);
- малая плотность (2850 кг/м³);
- высокая стойкость к коррозии;
- хороший внешний вид, не требует какой-либо окраски и отделки поверхности;
- сохранение высокой прочности при низких температу-

рах;

– нет искрообразования при ударных воздействиях, что важно во взрывоопасных помещениях.

Недостатки сплавов алюминия:

- невысокий модуль упругости (в 3 раза меньше, чем у стали);

- сложность выполнения соединений (алюминиевый сплав окисляется на воздухе и в месте шва (сварки) сильно снижается прочность из-за нагрева);

- высокий коэффициент температурного расширения (в 3 раза больше, чем у стали);

- низкая огнестойкость конструкций из алюминиевых сплавов.

Увеличение прочностных свойств алюминиевых сплавов можно достигнуть либо холодной пластической деформацией, либо термической обработкой. В основе упрочнения при пластической деформации лежит явление наклёпа (для алюминиевых сплавов используют термин нагартовка). Термическая обработка алюминиевых сплавов состоит из двух операций: закалки и старения.

Все металлы имеют кристаллическую структуру. В расплавленном состоянии атомы металлов находятся в беспорядочном движении, а при переходе в твёрдое состояние они ориентируются определённым образом в пространстве, образуя кристаллическую решетку. Строение решётки и расположение в ней атомов зависит от вида металла. Наиболее распространёнными типами кристаллической решетки являются кубическая – у железа и гексагональная – у алюминия.

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.

Все физико-механические свойства металлов и их особенности являются следствием кристаллической решетки. Высокая прочность металлов объясняется наличием сил, удерживающих атомы в определённых местах кристаллической решётки. 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.

По применению, стали подразделяются на конструкционные и инструментальные. Конструкционные стали используются для изготовления различных строительных конструкций и деталей машин, а инструментальные – для изготовления инструмента (применяются высокоуглеродистые стали). Строительные стали, являются малоуглеродистыми. Среднеуглеродистые стали, в основном применяют в машиностроении.

В строительстве сталь применяют в виде прокатных изделий, имеющих различную форму поперечного сечения (профиль). Используют сталь в строительстве для изготовления несущих конструкций: колонн, балок, ферм. Из низколегированных сталей изготавливают различные виды арматуры периодического профиля (для железобетона). Также сталь используется для изготовления оконных и дверных переплётов.

Стальные металлические конструкции: арки, балки, ригели, рамы, фермы, ворота, двери, трубы, лестницы, монорельсы, башмаки под колонны, крепёжные детали, прутки, прокатные изделия различного профиля (арматуры для железобетона).

Из алюминиевых сплавов производят уголки, швеллеры, двутавры, плоские и волнистые листы, трубы. Многообразны области применения в строительстве алюминия:

1. Чистый алюминий применяют для устройства кровли здания.
2. Из лент алюминия, переплетённых друг с другом, сооружают бесчердачные покрытия большого пролёта, затем крепят тёплую кровлю.
3. Из прокатных профилей изготавливают оконные и дверные переплёты.
4. Из проката изготавливают фермы и арки для перекрытия больших пролётов, достоинством является малый вес.
5. Сборно-разборочные сооружения различного типа (выставочные павильоны и др.).
6. Несущие конструкции верхних этажей зданий в сейсмических районах, а также в зданиях с агрессивными средами.
7. Листы из алюминиевых сплавов применяют для обли-

цовки внутренних и наружных стен.

5.2 Поведение металлов при нагреве

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, таблица 11, количество дефектов, увеличение межатомных расстояний и ослабление связей достигает такой степени, что первоначальная кристаллическая решётка разрушается. Металл переходит в жидкое состояние. В интервале температур от абсолютного нуля до точки плавления изменение объёма всех типичных металлов приблизительно одинаково 6 – 7,5 %. Увеличение подвижности атомов и расстояний между ними, а соответственно, и ослабление межатомных связей, свойственно всем металлам почти в одинаковой степени, если они нагреты до одной и той же температуры. Повышение температуры приводит к уменьшению прочности, упругости и увеличению пластичности металлов.

Таблица 11

Температуры плавления некоторых металлов

Металл или сплав	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$
Алюминий	660,4
Вольфрам	3420
Железо	1539
Кобальт	1494
Латунь	~1000
Медь	1084,5
Никель	1455
Сталь	1300–1500
Чугун	1100–1300

Чем ниже температура плавления металла или сплава, тем при более низких температурах происходит снижение прочности, например у алюминиевых сплавов – при более низких тем-

пературах, чем у сталей. При высоких температурах также происходит увеличение деформаций ползучести, которые являются следствием увеличения пластичности металлов. Чем выше величина нагружения образцов, тем при более низких температурах начинается развитие деформации ползучести и происходит разрыв образца, причём при меньших величинах относительной деформации.

Наряду с общими закономерностями, характерными для поведения металлов при нагреве, поведение сталей в условиях пожара имеет особенности, которые зависят от ряда факторов. На характер поведения оказывает влияние прежде всего химический состав стали: углеродистая или низколегированная, затем способ изготовления или упрочнения арматурных профилей: горячая прокатка, термическое упрочнение, холодная протяжка и т.п. При нагревании образцов горячекатанной арматуры из углеродистой стали (сталь Ст3, арматура классов А– I, А–II) происходит уменьшение её прочности и увеличение пластичности, что приводит к снижению пределов прочности, текучести, возрастанию относительного удлинения и сужения. При остывании такой стали её первоначальные свойства восстанавливаются.

Несколько иной характер поведения при нагревании низколегированных сталей. При нагревании до 300 °С происходит некоторое увеличение прочности ряда низколегированных сталей (25Г2с, 30ХГ2С и др.), которая сохраняется и после остывания. Следовательно, низколегированные стали при невысоких температурах даже повышают прочность и менее интенсивно теряют её с увеличением температуры благодаря легирующим добавкам. Особенностью поведения термически упрочнённой арматуры в условиях пожара является необратимая потеря упрочнения, которая вызывается отпуском стали. При нагревании до 400 °С может происходить некоторое улучшение механических свойств термически упрочнённой стали (марки 20ГС), выражаемое в повышении условного предела текучести при сохранении предела прочности. При температуре выше 400 °С происходит необратимое снижение как предела текучести, так и

предела прочности (временного сопротивления). Арматурная проволока, упрочнённая наклёпом, при нагреве также необратимо теряет упрочнение. Чем выше степень упрочнения (наклёпа), тем при более низкой температуре начинается её потеря. Причиной этого является термодинамически неустойчивое состояние кристаллической решётки, упрочнённой наклёпом стали. При повышении температуры до 300...350 °С начинается процесс рекристаллизации, в ходе которого деформированная в результате наклёпа кристаллическая решётка перестраивается в сторону нормализации

Главной особенностью алюминиевых сплавов является низкая, по сравнению со сталями, устойчивость к нагреву. Характерное для алюминиевых сплавов изменение механических свойств при действии высокой температуры, уже при 230–325 °С предел прочности и условный предел текучести снижаются в 2 раза. В условиях пожара температура может достичь этих значений менее чем за 1 минуту. При этом происходит снижение модуля упругости и увеличение относительного удлинения. Важной особенностью некоторых алюминиевых сплавов является способность восстанавливать прочность после нагревания и охлаждения, если температура нагревания не превысила 400 °С.

Наибольшей устойчивостью к действию высокой температуры обладают низколегированные стали. Несколько хуже ведут себя углеродистые стали без дополнительного упрочнения. Еще хуже – стали, упрочнённые термическим способом. Самой низкой стойкостью к действию высокой температуры обладают стали, упрочнённые наклёпом, а еще ниже – алюминиевые сплавы. Наличие нагрузки интенсифицирует деструктивные процессы в металлических сплавах в виде температурной ползучести, ускоряет время разрушения изделий и снижает температуру достижения их предельных (критических) состояний.

Лёгкие металлические конструкции (ЛМК) с применением горючих утеплителей (пенополистирол, пенополиуретан, пенопласт и др.) обладают повышенной пожарной опасностью. При возникновении очага пожара внутри здания наиболее быстро

воспламеняются участки кровельного покрытия, прилегающие к наружным стенам или несущим конструкциям каркаса. Распространению огня по конструкции кровли способствует применение рулонных гидроизоляционных материалов на битумной основе. Пламя быстро (до 20 м/мин) распространяется по покрытию, а обрушение конструкций может наступить уже через 7 мин после возгорания. При пожарах такие покрытия выгорали на площадях в несколько десятков тысяч м² за 20...25 мин с выделением большого количества токсичных продуктов горения.

Сталь и алюминиевые сплавы относятся к негорючим материалам.

6 Полимерные материалы, их пожарная опасность

6.1 Общие сведения о пластмассах и применение их в строительстве

Пластмассы – это композиционные материалы, в которых в качестве вяжущего вещества используют полимерные смолы. Состав пластмасс:

1) связующее вещество (полимеры) соединяет все другие компоненты в одно целое (смолы – битум, пек, каучук, полиэтилен, полиметилметакрилат);

2) наполнители для удешевления пластмасс и улучшения их физико-механических свойств (мрамор, гранит, тальк, слюда, диатомит, древесная мука, асбест, стекловолокно, шлаковолокно, древесный шпон; бумага, асбестовый картон, хлопчатобумажные ткани);

3) красители (пигменты) для придания декоративных качеств.

4) технологические добавки (уменьшающие дымовыделение, антипирены).

Технические преимущества пластмасс:

- снижение массы и трудоёмкости изготовления строительных конструкций;

- повышение индустриализации строительного производства и рост производительности труда;

- сокращение сроков строительства;

- сокращение расхода чёрных и цветных металлов, цемента

та и древесины.

Так, использование в строительстве лёгких конструкций с пенопластовым наполнителем приводит к снижению массы зданий в 5–7 раз, уменьшает трудоёмкость на 20–25%, сокращает срок монтажа на 20–25%.

Положительные свойства пластмасс:

- высокая механическая прочность (на растяжение до 100 МПа; на сжатие до 600 МПа, на изгиб до 140 МПа);
- высокая технологичность (штамповка, литьё и др);
- химическая стойкость (многие водо- и паронепроницаемы);
- хорошие электро-, гидро-, звуко- и теплоизоляционные свойства;
- лёгкость обработки и соединения;
- хорошие декоративные качества;
- стойкость к низким температурам;
- высокая светопропускаемость (используют для остекления);

- неограниченность сырьевых ресурсов.

Отрицательные свойства пластмасс:

- малый модуль упругости (0,1 МПа);
- большой коэффициент температурного расширения (у полиэтилена в 21 раз больше, чем у стали);
- повышенная ползучесть;
- высокая склонность к старению;
- малая теплостойкость (у большинства 40–140 °С);
- высокая пожарная опасность (см. ниже).

Область, занимаемая пластмассами в современном строительстве, достаточно широка. Номенклатура строительных материалов из пластмасс:

1. конструкционные: пенополиуретан, пенополистирол (сэндвич–панели), стеклопластики, например, стекловолокнистый анизотропный материал (СВАМ);

2. конструктивно-отделочные: листы, плитки, панели на основе поливинилхлорида (ПВХ), ДВП, ДСП;

3. отделочные: бумажно-слоистый пластик, линкруст, моющиеся обои, полистирольные, панели, плитки и звукопоглощающие элементы;

4. кровельные: стеклопластики, обработанные полиэфирными смолами на основе стекловолокна или стеклоткани;
5. теплоизоляционные: пенопласты, поропласты и сотопласты (плиты);
6. покрытие полов: ДВП, линолеум на базе поливинилхлорида, плитка ПВХ, релин;
7. погонажные изделия: на основе поливинилхлоридной смолы с наполнителями (поручни, карнизы, плинтусы, оконные переплёты, рейки, потолочный багет и плитка);
8. сантехнические изделия: трубы для водопровода;
9. плёнки: из полиэтилена и ПВХ;
10. остекление: органическое стекло (плексиглаз).

6.2 Поведение пластмасс в условиях пожара

Полимеры и пластмассы обладают низкой устойчивостью к температурным воздействиям. Прочность их интенсивно снижается при переходе из твёрдого состояния в вязкое или в связи с нарушением структуры полимера. Изменения физико-механических свойств при нагревании связаны с необратимыми процессами, и в первую очередь с термоокислительной деструкцией. А так как деструкция происходит при относительно невысоких температурах, то даже при незначительном нагревании наблюдается существенное снижение прочности и изменение других физико-механических свойств.

Практически все полимеры при нагревании теряют прочность, жёсткость и увеличивают пластичность. Временное сопротивление в зависимости от температуры интенсивно снижается. Так, у полиэтилена при нагревании его от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ оно снижается в 3 раза, а при нагревании до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – в 19 раз, у политрифторэтилена (фторопласта-3) при нагревании от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ предел прочности при растяжении снижается более чем вдвое, а при нагревании до $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – в 13 раз. При нагревании винилпласта от $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ предел прочности при растяжении снижается в 7 раз. Прочность полиметилметакрилата (оргстекла) при нагревании снижается более интенсивно, чем у других полимеров. При $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ она снижается до нуля. Вре-

менное сопротивление растяжению полиамид-6 (капрона) при нагревании от -40°C до $+100^{\circ}\text{C}$ снижается вдвое. Особенно интенсивное снижение прочности происходит при нагревании выше 100°C . Пластические массы в меньшей степени, чем полимеры обладают значительным снижением прочности при нагревании. Наиболее стабильными при повышении температуры являются свойства кремнийорганических стекловолокон (например, КМС-9). Одним из показателей термической стойкости материала служит величина потери массы при нагревании. Потеря массы только на 6–8% вызывает большую потерю прочности. Например, при нагреве до 250°C и последующей 50-часовой выдержке стекловолокнит АГ-4 теряет 8,5%, а КМС-9 – 2% своей массы. Термическая деструкция кремнийорганических стеклопластиков происходит при температуре выше $350\text{--}400^{\circ}\text{C}$, для полиэфирных стеклопластиков – при 250°C . Стекло-текстолит ФН, изготовленный на основе фенолформальдегидного полимера, совмещенного с фурфуролом, при нагревании до 250°C снижает прочность при изгибе в 2,2 раза.

Ошибочным является представление о высокой пожарной опасности всех без исключения полимерных материалов.

Разнообразие видов полимерных материалов требует строго индивидуального подхода к оценке пожарной опасности конкретного материала. Числовые значения параметров, характеризующих пожарную опасность пластмасс, зависят в первую очередь от входящего в их состав полимерного связующего, затем от вида и количества наполнителей, технологических добавок. Пожарная опасность пластмасс существенно зависит от характера огневого воздействия на материал, от особенностей его применения и условий окружающей среды.

При оценке пожарной опасности отделочных материалов следует учитывать условия их применения. Например, в исходном состоянии бумажные обои являются, безусловно, горючим легковоспламеняемым материалом, но их пожарная опасность меняется после наклеивания на бетонную или оштукатуренную поверхность. В последнем случае воспламенения бумажных обоев и распространение пламени по ним возможно только под

длительным воздействием мощного источника зажигания.

Обобщая сведения об их пожарной опасности, можно отметить, что большинство пластмасс характеризуются следующим:

1. Интенсивное снижение прочности при нагреве и низкая критическая температура (у большинства пластмасс она находится в пределах 40...60 °С).

2. Низкая температура воспламенения (260...580 °С). Полистирол загорается от действия спички в течении 15 сек.

3. Высокая скорость распространения пламени, особенно в вертикальном направлении. Например, волокнистый стеклопластик на основе фенолформальдегидной смолы в горизонтальном направлении горит со скоростью 0,05 м/мин, а в вертикальном – 4 м/мин, т.е. в 80 раз быстрее.

4. Растрескивание и каплевыведение, обусловленное низкой температурой плавления полимеров. Например, полистирол (применяется в качестве облицовочных плиток для стен, перегородок) плавится растрескивается, образует огненный дождь, что существенно усложняет обстановку на пожаре. Также опасно оргстекло, горение которого сопровождается каплевыведением.

5. Интенсивное нарастание температуры при пожаре в помещении с отделкой пластмассовыми изделиями. Это объясняется, в основном двумя причинами: во-первых, у пластмасс, как правило, высокая скорость горения (до 4 м/мин), во-вторых, большая теплота сгорания (колеблется до 10000 ккал/кг у поливинилацетат).

6. Повышенная дымообразующая способность.

7. Высокая токсичность. При термическом разложении и горении пластмасс могут выделяться следующие токсичные вещества: эфиры, кислоты, альдегиды, хлористый водород, стирол, фтористый водород, фторфосген, фенол, формальдегид, толуол, цианистый водород.

8. Высокая химическая агрессивность продуктов разложения. При разложении, например, поливинилхлорида выделяется хлористый водород, который проникая в поры бетона, способен разрушать арматуру железобетона, выводить из строя приборы, аппараты, механизмы.

7 Пожарно-техническая классификация строительных материалов, конструкций и зданий

Для установления требований к системам обеспечения пожарной безопасности Техническим регламентом 123–ФЗ [38] установлена *пожарно-техническая классификация* строительных материалов, конструкций, зданий и сооружений, предусматривающая разделение их по огнестойкости и (или) пожарной опасности.

Огнестойкость СК, зданий, сооружений – способность сопротивляться воздействию пожара и распространению его опасных факторов. *Пожарная опасность* СМ, СК и зданий – свойство, способствующее образованию опасных факторов пожара и развитию пожара.

Опасные факторы пожара (ОФП) – факторы пожара, воздействие которых может привести к травме, отравлению или гибели человека и (или) к материальному ущербу. В таблице 12 приведены ориентировочные критические значения количественных показателей ОФП, при этом они могут меняться в зависимости от степени последствий для здоровья и жизни человека и времени воздействия.

Таблица 12

Количественные показатели опасных факторов пожара

№	ОФП	Предельные величины
1	Пламя и искры	не допустимо
2	Тепловой поток	1400 Вт/м ²
3	Повышенная температура окружающей среды	более 70 °С
4	Повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	СО – 1,16·10 ⁻³ кг/м ³ ; СО ₂ – 0,11 кг/м ³ ; HCL – 23·10 ⁻⁶ кг/м ³
5	Пониженная концентрация кислорода	0,226 кг/м ³
6	Снижение видимости в дыму	20 м

К сопутствующим проявлениям ОФП относятся осколки, части разрушившихся зданий, сооружений, транспортных средств, технологических установок, оборудования и др.

7.1 Пожарно-техническая классификация строительных материалов, конструкций, зданий и сооружений

Состав показателей, по которым предъявляются требования пожарной безопасности к СМ различного назначения, приведены в таблице 13. Для напольных ковровых покрытий группа горючести не определяется. В зависимости от максимально допустимых показателей пожарной опасности СМ делятся на классы пожарной опасности, таблица 14, по которым устанавливаются ограничения применения пожароопасных материалов в зальных помещениях различной функциональной пожарной опасности и на путях эвакуации, таблицы 15, 16.

Таблица 13

Перечень показателей, необходимых для оценки пожарной опасности СМ (табл. 27, 123–ФЗ [38])

Назначение СМ	Перечень необходимых показателей в зависимости от назначения СМ				
	Г	РП	В	Д	Г
Материалы для отделки стен и потолков, в том числе покрытия из красок, эмалей, лаков	+	–	+	+	+
Материалы для покрытия полов, в том числе ковровые	–	+	+	+	+
Кровельные материалы	+	+	+	–	–
Гидроизоляционные и пароизоляционные материалы толщиной более 0,2 мм	+	–	+	–	–
Теплоизоляционные материалы	+	–	+	+	+

Таблица 14

Классы пожарной опасности СМ (табл. 3, 123–ФЗ [38])

Свойства пожарной опасности СМ	Класс пожарной опасности СМ 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

Таблица 15

Область применения декоративно-отделочных, облицовочных материалов и покрытий полов на путях эвакуации (табл. 28, 123–ФЗ [38])

Класс (подкласс) функциональной пожарной опасности здания	Этажность и высота здания	Класс пожарной опасности материала, не более указанного				
		для стен и потолков		для покрытия полов		
		Вестибюли, лестничные клетки, лифтовые холлы	Общие коридоры, холлы, фойе	Вестибюли, лестничные клетки, лифтовые холлы	Общие коридоры, холлы, фойе	
Ф1.2; Ф2.3; Ф3.1; Ф3.6; Ф4.3; Ф5.1; Ф5.3	Ф1.3; Ф2.4; Ф3.2; Ф4.2; Ф4.4; Ф5.2;	до 9 этажей или до 28 м	КМ2	КМ3	КМ3	КМ4
		более 9, но до 17 этажей или более 28 м, но до 50 м	КМ1	КМ2	КМ2	КМ3
		более 17 этажей или более 50 м	КМ0	КМ1	КМ1	КМ2
Ф1.1; Ф2.2; Ф3.4; Ф4.1	Ф2.1; Ф3.3; Ф3.5;	вне зависимости от этажности и высоты	КМ0	КМ1	КМ1	КМ2

В помещениях зданий класса Ф5 категорий А, Б и В1, в которых производятся, применяются или хранятся легковоспламеняющиеся жидкости, полы следует выполнять из негорючих материалов или материалов группы горючести Г1.

Каркасы подвесных потолков в помещениях и на путях эвакуации следует выполнять из негорючих материалов. Окрашенные лакокрасочными покрытиями каркасы из негорючих материалов должны иметь группу горючести НГ или Г1.

В спальнях и палатных помещениях, а также в помещениях зданий детских дошкольных образовательных учреждений подкласса Ф1.1 не допускается применять декоративно-отделочные материалы и покрытия полов с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ2.

Таблица 16

Область применения декоративно–отделочных, облицовочных материалов и покрытий полов в зальных помещениях, кроме покрытий полов спортивных арен и полов танцевальных залов

(табл. 29, 123–ФЗ [38])

Класс (подкласс) функциональной пожарной опасности здания	Вместимость зальных помещений, человек	Класс материала, не более указанного	
		для стен и потолков	для покрытий полов
Ф1.2; Ф2.3; Ф2.4; Ф3.1; Ф3.2; Ф3.6; Ф4.2; Ф4.3; Ф4.4; Ф5.1	более 800	КМ0	КМ2
	более 300, но до 800	КМ1	КМ2
	более 50, но до 300	КМ2	КМ3
	до 50	КМ3	КМ4
Ф1.1; Ф2.1; Ф2.2; Ф3.3; Ф3.4; Ф3.5; Ф4.1	более 300	КМ0	КМ2
	более 15, но до 300	КМ1	КМ2
	до 15	КМ3	КМ4

Отделка стен и потолков залов для проведения музыкальных и физкультурных занятий в детских дошкольных образовательных учреждениях должна быть выполнена из материала класса КМ0 и (или) КМ1.

В жилых помещениях зданий подкласса Ф1.2 не допускается применять материалы для отделки стен, потолков и заполнения подвесных потолков с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ4, и материалы для покрытия пола с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ4.

В гардеробных помещениях зданий подкласса Ф2.1 не допускается применять материалы для отделки стен, потолков и заполнения подвесных потолков с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ1, и материалы для покрытия пола с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ2.

В читальных залах не допускается применять материалы для отделки стен, потолков и заполнения подвесных потолков с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ2, и материалы для покрытия пола с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ3.

В помещениях книгохранилищ и архивов, а также в по-

мещениях, в которых содержатся служебные каталоги и описи, отделку стен и потолков следует предусматривать из материалов класса КМ0 и (или) КМ1.

В демонстрационных залах помещений зданий подкласса Ф2.2 не допускается применять материалы для отделки стен, потолков и заполнения подвесных потолков с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ2, и материалы для покрытия пола с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ3.

В торговых залах зданий подкласса Ф3.1 не допускается применять материалы для отделки стен, потолков и заполнения подвесных потолков с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ2, и материалы для покрытия пола с более высокой пожарной опасностью, чем класс КМ3.

В залах ожидания зданий подкласса Ф3.3 отделка стен, потолков, заполнение подвесных потолков и покрытие пола должны выполняться из материалов класса КМ0.

7.2 Пожарно-техническая классификация строительных конструкций

Строительные конструкции подразделяются по пределам огнестойкости и классам пожарной опасности.

Огнестойкость конструкции – способность сохранять несущие и (или) ограждающие функции в условиях пожара.

Количественной характеристикой огнестойкости конструкции является *предел огнестойкости* – время от начала огневого испытания при стандартном температурном режиме до наступления одного из нормируемых для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости.

Основными видами предельных состояний строительных конструкций по огнестойкости являются:

- потеря несущей способности из-за обрушения конструкции или возникновения недопустимых деформаций (R);
- потеря целостности в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на неотапливаемую поверхность проникают продукты горения или пламя (E);
- потеря теплоизолирующей способности из-за повыше-

ния температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных для данной конструкции значений (I).

Условные обозначения пределов огнестойкости конструкций состоят из буквенных обозначений, нормируемых для данной конструкции предельных состояний, и цифры, соответствующей времени достижения одного из этих состояний (первого по времени) в минутах.

Предел огнестойкости СК определяется как среднее арифметическое результатов испытаний 2-х образцов. При этом максимальное и минимальное значения пределов огнестойкости двух испытанных образцов не должны отличаться более чем на 20 % (от большего значения). Если результаты отличаются, то должно быть проведено дополнительное испытание, а предел огнестойкости определяется как среднее арифметическое двух меньших значений. В обозначении предела огнестойкости конструкции среднее арифметическое результатов испытаний приводится к ближайшей меньшей величине из ряда чисел: 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180; 240; 360.

Например, R 120 – предел огнестойкости 120 минут по потере несущей способности; REI 30 – предел огнестойкости 30 минут по потере несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности независимо от того, какое из трёх предельных состояний наступит ранее.

Для нормирования пределов огнестойкости несущих и ограждающих конструкций используют следующие предельные состояния (ГОСТ 30247.1 [5]):

- для колонн, балок, ферм, арок и рам – только потеря несущей способности конструкций и узлов (R);
- для наружных несущих стен и покрытий – потеря несущей способности и целостности (R; E);
- для наружных ненесущих стен (E);
- для ненесущих внутренних стен и перегородок – потеря теплоизолирующей способности и целостности (I, E);
- для несущих внутренних стен и противопожарных преград (ППП) – потеря несущей способности, целостности и теплоизолирующей способности (R, E, I).

Пределы огнестойкости СК, в том числе с огнезащитой, определяются в условиях стандартных испытаний по методи-

кам, установленным нормативными документами (ГОСТ 30247.0 [4], ГОСТ Р 53307 [15], ГОСТ Р 53308 [16] и др.).

Пределы огнестойкости СК, аналогичных по форме, материалам, конструктивному исполнению, прошедшим огневые испытания, могут определяться расчётом.

Для обеспеченности *сопоставимости* результатов испытаний различных конструкций на огнестойкость, выполненных в различных лабораториях, стандарт ГОСТ 30247.0–94 [4] предписывает проводить их при некотором условном температурном режиме, названном «стандартным».

Стандартное тепловое воздействие на конструкцию создаётся сжиганием соответствующего вида топлива в объёме испытательной печи и контролируется по изменению температуры во время испытаний t , °С по закону, заданному в виде непрерывно возрастающей логарифмической функции от времени: $t = 345 \lg(8\tau + 1) + t_0$, где t - температура в печи, соответствующая времени τ , °С; τ - время, исчисляемое от начала испытания, мин; t_0 - температура в печи до начала теплового воздействия (принимается равной температуре окружающей среды), °С, обычно $t_0 = 20$ °С.

Стандартный температурный режим в большинстве случаев не соответствует температурным режимам «реальных» пожаров, которые могут быть весьма разнообразными как по значениям температур, так и по длительности воздействия. Стандартный тепловой режим является неубывающим (рис. 15) и не отражает начальную и затухающую стадии пожара. Параметры стандартного температурного режима не учитывают реальную величину пожарной нагрузки, объём помещений и площадь проёмов в ограждениях. В США и Великобритании стандартный температурный режим определяется как «целлюлозный» пожар; он наиболее близко соответствует температурному режиму пожара в сравнительно небольших по объёму помещениях жилых и административных зданий при горении пожарной нагрузки из целлюлозосодержащих материалов (древесина, бумага, текстильные материалы).

Эквивалентная продолжительность пожара - продолжительность стандартных испытаний, воздействие которых на строительную конструкцию аналогично воздействию «реально-

го» пожара.

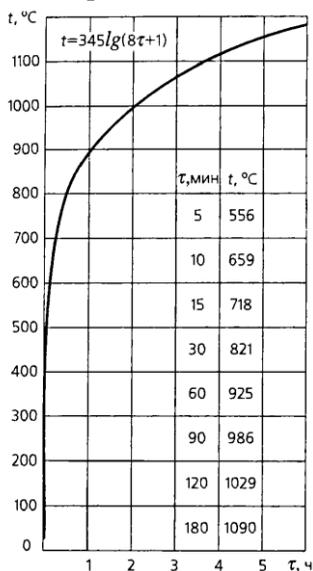


Рис. 15. Кривая стандартного температурного режима

Для реализации сопоставимости результатов огневых испытаний СК важно обеспечить не только единый режим изменения температуры газовой среды в огневой камере, но и единые условия теплообмена газовой среды с поверхностью конструкции.

В ГОСТ 30247.1 [5] приведены характеристики предельных состояний конструкций по огнестойкости несущих и ограждающих конструкций.

Потеря несущей способности (R) наступает вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций. Для изгибаемых элементов конструкций предельное состояние наступает, если прогиб

достигнет величины $L/20$ или скорость нарастания деформаций достигнет $L^2/(9000 \cdot h)$, см/мин, где L – расчётный пролёт, см; h – расчётная высота сечения конструкции, см.

Для вертикальных конструкций предельным является состояние, когда вертикальная деформация достигнет $1/100$ высоты или скорость нарастания вертикальных деформаций достигнет 10 мм/мин для образцов высотой $3 \pm 0,5$ м.

Потеря целостности (E), или потеря ограждающей способности, происходит из-за образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения и пламя.

В процессе испытания потеря целостности определяется при помощи куска ваты, который помещают в специальную металлическую рамку и подносят к месту, где возможно проникновение пламени или продуктов горения, и в течение 10 с держат на расстоянии 20...25 мм от поверхности образца. Время от начала испытаний до воспламенения или возникновения тления

со свечением ваты принимается за предел огнестойкости по признаку потери целостности (E), при этом тление без свечения не является признаком потери огнестойкости.

Потеря теплоизолирующей способности (I) определяется как следствие повышения температуры на необогреваемой поверхности до опасных значений, которое может привести к воспламенению материала в помещении, смежном с очагом пожара, и таким образом способствовать его распространению. Опасные значения температур зависят от условий эксплуатации конструкции. Для большинства несущих и ограждающих конструкций потеря теплоизолирующей способности происходит из-за повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на 140 °С, или в любой точке этой поверхности более чем на 180 °С в сравнении с температурой конструкции до испытания, или более 220 °С независимо от температуры конструкции до испытаний [5].

Для дверей шахт лифтов потеря теплоизолирующей способности происходит вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности створок двери в сравнении с температурой образца перед началом испытания в среднем более чем на 280 °С более чем на 330 °С в любой точке поверхности двери [6].

Таблица 17

Пределы огнестойкости противопожарных преград
(табл. 23, 123-ФЗ [38])

Наименование ППП	Тип ППП	Предел огнестойкости ППП	Тип заполнения проёмов в ППП	Тип тамбур-шлюза
Стены	1	REI 150	1	1
	2	REI 45	2	2
Перегородки	1	EI 45	2	1
	2	EI 15	3	2
Светопрозрачные перегородки с остеклением площадью св. 25 %	1	EIW 45	2	1
	2	EIW 15	3	2
Перекрытия	1	REI 150	1	1
	2	REI 60	2	1
	3	REI 45	2	1
	4	REI 15	3	2

Предел огнестойкости для заполнения проёмов в противопожарных преградах (ППП) наступает при потере целостности (Е), теплоизолирующей способности (I), достижения *предельной величины плотности теплового потока* на нормируемом расстоянии от необогреваемой поверхности конструкции (W) и (или) *дымогазонепроницаемости* (S), таблицы 17 и 18.

Таблица 18

Пределы огнестойкости заполнения проёмов
в противопожарных преградах (табл. 24, 123-ФЗ [38])

Наименование элементов заполнения проёмов в ППП	Тип заполнения проёмов в ППП	Предел огнестойкости
Двери (за исключением дверей с остеклением более 25 % и дымогазонепроницаемых дверей), ворота, люки, клапаны, шторы и экраны	1	EI 60
	2	EI 30
	3	EI 15
Двери с остеклением более 25 %	1	EIW 60
	2	EIW 30
	3	EIW 15
Дымогазонепроницаемые двери (за исключением дверей с остеклением более 25 %)	1	EIS 60
	2	EIS 30
	3	EIS 15
Дымогазонепроницаемые двери с остеклением более 25 %, шторы и экраны	1	EIWS 60
	2	EIWS 30
	3	EIWS 15
Двери шахт лифтов	2	EI 30 (в зданиях высотой до 28 м предел огнестойкости дверей шахт лифтов принимается E 30)
Окна	1	E 60
	2	E 30
	3	E 15
Занавесы	1	EI 60

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 по пожарной опасности подразделяются на следующие классы: непожароопасные (K0); ма-

лопожароопасные (К1); умереннопожароопасные (К2); пожароопасные (К3).

Классы пожарной опасности строительных конструкций, в том числе с огнезащитой, определяются в условиях стандартных испытаний по методикам, установленным нормативными документами (ГОСТ 30403–96 [8], ГОСТ 31251–2008 [9]), таблица 19.

Таблица 19
Порядок определения класса пожарной опасности СК
(табл. 6, 123–ФЗ [38])

Класс пожарной опасности конструкций	Допускаемый размер повреждения конструкций, см		Наличие		Допускаемые характеристики пожарной опасности поврежденного материала+		
	вертикальных	горизонтальных	теплого эффекта	горения	Группа		
					Г	В	Д
К0	0	0	отсутствует	отсутствует	–	–	–
К1	до 40	до 25	не регламентируется	отсутствует	не выше Г2+	не выше В2+	не выше Д2+
К2	св. 40, но до 80	св. 25, но до 50	не регламентируется	отсутствует	не выше Г3+	не выше В3+	не выше Д2+
К3	не регламентируется						

Примечание: знак «+» обозначает, что при отсутствии теплового эффекта не регламентируется.

Пожарная опасность конструкции характеризуется, таблица 19:

- наличием теплового эффекта от горения материалов образца, который выражается в превышении температуры в огневой и тепловой камерах по сравнению с верхними допустимыми границами температурных режимов;

- наличием пламенного горения газов, выделяющихся при термическом разложении материалов образца, продолжительностью более 5 с;

- наличием горящего расплава при продолжительности его горения более 5 с;

– размером повреждения образца в контрольной зоне (повреждением считается обугливание, оплавление и выгорание материалов на глубину более 0,2 см);

– характеристиками пожарной опасности материалов, из которых выполнена конструкция.

Для испытаний используется двухкамерная печь: в первой (огневой) камере создаётся стандартный температурный режим, а во второй (тепловой) камере размещаются контрольные датчики, применяемые при анализе результатов испытаний. Образцы конструкций испытывают в ненагруженном состоянии. Продолжительность теплового воздействия должна соответствовать минимальному требуемому пределу огнестойкости испытываемой конструкции, но не превышать 45 мин.

Условное обозначение класса пожарной опасности конструкции включает букву «К» и цифры; цифра, заключенная в скобки, обозначает продолжительность теплового воздействия при испытании образца в минутах. Например: К0(15) – конструкция класса К0 при времени теплового воздействия 15 мин. Одна и та же конструкция может принадлежать к различным классам пожарной опасности в зависимости от времени теплового воздействия.

Фактические пределы огнестойкости и классы пожарной опасности конструкций в настоящее время определяются по сертификатам испытаний, проведённых лабораториями, аккредитованными органами системы сертификации, и по согласованию с органами пожарного надзора. Для ориентировочной оценки можно использовать данные, приведённые в справочной литературе [22, 23, 25, 28].

При внедрении в практику строительства конструкций, для которых не может быть установлен предел огнестойкости или которые не могут быть отнесены к определённому классу пожарной опасности на основании стандартных огневых испытаний или расчётным путём, следует проводить огневые испытания натуральных фрагментов зданий с учётом требований стандарта ГОСТ Р 53309 [17] или комплексную расчётно-экспериментальную оценку огнестойкости или класса пожарной опасности.

В необходимых случаях допускается формировать требо-

вания к пределам огнестойкости СК объекта на основе данных об их фактической огнестойкости, полученной путём расчётов динамики развития пожара или экспериментальным путём на здании или его фрагменте с учётом эквивалентной продолжительности пожара и оценки эффективности технических решений по обеспечению огнестойкости строительных конструкций.

7.3 Пожарно-техническая классификация зданий

Здания, сооружения и пожарные отсеки подразделяются по степеням огнестойкости, классам конструктивной и функциональной пожарной опасности.

Степень огнестойкости здания – классификационная характеристика здания, отражающая способность конструкций, применяемых для его строительства, сопротивляться воздействию пожара и распространению ОФП.

Здания, сооружения и пожарные отсеки по степени огнестойкости подразделяются на I, II, III, IV и V степеней огнестойкости. Степень огнестойкости здания определяется пределами огнестойкости применяемых для его строительства конструкций, таблица 20.

Таблица 20

Соответствие степени огнестойкости и предела огнестойкости строительных конструкций зданий, сооружений и пожарных отсеков (табл. 21, 123–ФЗ [38])

Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие элементы	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и надподвалами)	Бесчердачные покрытия		Лестничные клетки	
				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						

Предел огнестойкости узлов крепления и сопряжения конструкций должен быть не ниже требуемого предела огнестойкости самих стыкуемых конструкций.

В случаях, когда минимальный требуемый предел огнестойкости конструкций (за исключением противопожарных преград) указан R 15 (RE 15; REI 15), допускается применять незащищённые стальные конструкции независимо от их фактического предела огнестойкости, за исключением случаев, когда предел огнестойкости по результатам испытаний составляет менее R 8.

К *несущим элементам* в таблице 20 относятся СК, обеспечивающие общую устойчивость и геометрическую неизменяемость несущей системы: колонны, несущие стены, ригели, связи, диафрагмы жёсткости и др., кроме прогонов, балок и ферм, так как они в таблице рассматриваются отдельно.

Например, в каркасе одноэтажного промышленного здания II степени огнестойкости колонны и связи должны иметь предел огнестойкости R 90, а стропильные фермы – только R 15, что позволяет применять незащищённые стальные конструкции. Огнестойкость заполнения проёмов (дверей, ворот, окон, люков, фонарей) не нормируется, за исключением заполнения проёмов в противопожарных преградах.

В жилых и общественных зданиях административного назначения I и II степеней огнестойкости для обеспечения требуемого предела огнестойкости несущих элементов более R 60 допускается применять только конструктивную огнезащиту (облицовка, обетонирование, штукатурка и др.).

Для ориентировочной оценки в таблице 21 приведены примерные конструктивные характеристики зданий различных степеней огнестойкости и классов конструктивной пожарной опасности.

Существующие здания могут иметь степень огнестойкости, соответствующую прежним нормативным документам (например, степень IIIа по СНиП 2.01.02–85*); при реконструкции им должна быть присвоена новая степень огнестойкости согласно действующим документам. Требования действующих документов при этом будут распространяться только на те части объекта, на которых проводится реконструкция. Например, если

работы по реконструкции не затрагивают генерального плана, то ширина проездов и противопожарных разрывов может быть сохранена в соответствии с требованиями ранее действующих норм.

Таблица 21

Примеры конструктивных решений зданий различных степеней огнестойкости и классов конструктивной пожарной опасности [21]

Примеры конструктивного решения	Степень огне-стойкости	Класс конструктивной пожарной опасности
Несущие и ограждающие конструкции из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов.	I	C0
Несущие конструкции из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона		C1
Ограждающие конструкции с применением материалов группы Г2, защищенных от огня и высоких температур, класса пожарной опасности К1 междуэтажных перекрытий в течение 60 мин, наружных стен и бесчердачных покрытий в течение 30 мин. Стены наружные с внешней стороны могут быть с применением материалов группы Г3		C2
Несущие элементы из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона, а также из стальных конструкций с огнезащитой, обеспечивающей предел огнестойкости 45.	II	C0
Ограждающие конструкции с применением листовых и плитных негорючих материалов.		C1
Несущие элементы из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона, а также из стальных конструкций с огнезащитой, обеспечивающей предел огнестойкости 45.		
Ограждающие конструкции из панелей или поэлементной сборки, выполненные с применением материалов класса Г2, имеющие требуемый предел огнестойкости и класс пожарной опасности К1 перекрытий в течение 45 мин, покрытий и стен — в течение 15 мин. Наружная облицовка стен возмож-		

на из материалов группы Г3.		
Несущие элементы из цельной или клееной древесины, подвергнутой огнезащите, обеспечивающей предел огнестойкости 45 и класс пожарной опасности К2 в течение 45 мин.		С2
Ограждающие конструкции из панелей или панельной сборки, выполненные с применением материалов класса Г2, имеющие требуемый предел огнестойкости и класс пожарной опасности К2 перекрытий в течение 45 мин, покрытий и стен — в течение 15 мин. Наружная облицовка стен возможна из материалов группы Г4		
Несущие стержневые элементы из стальных незащищенных конструкций, стены, перегородки, перекрытия и покрытия из негорючих листовых или плитных материалов с негорючим утеплителем.		С0
Несущие элементы из стальных незащищенных конструкций.	III	С1
Несущие элементы из цельной или клеёной древесины и других горючих материалов, с огнезащитой, обеспечивающей предел огнестойкости 15 и класс пожарной опасности К1 в течение 15 мин.		
Стены, перегородки, перекрытия и покрытия из негорючих листовых материалов с утеплителем из материалов групп Г1, Г2, класса пожарной опасности К1 в течение 45 мин для перекрытий и 15 мин — для стен и бесчердачных покрытий.		
Несущие элементы из цельной или клееной древесины или других горючих материалов, имеющие предел огнестойкости 15. Стены, перегородки, перекрытия и покрытия из листовых материалов и с утеплителем из материалов группы Г3		С2
Несущие и ограждающие конструкции, имеющие предел огнестойкости менее 15, с применением материалов групп Г1 и Г2.	IV	С1
Несущие и ограждающие конструкции из древесины, подвергнутой огнезащитной обработке или других материалов группы Г3		С2
Несущие и ограждающие конструкции из древесины или других материалов группы Г4		С3

Класс конструктивной пожарной опасности здания – классификационная характеристика здания, отражающая степень участия строительных конструкций в развитии пожара и

образовании ОФП.

Класс конструктивной пожарной опасности здания определяется классами пожарной опасности применяемых для его строительства конструкций, таблица 22.

Таблица 22

Минимально допустимые классы пожарной опасности СК
(табл. 22, 123–ФЗ [38])

Класс конструктивной пожарной опасности зданий, пожарных отсеков	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 ППП	Марши и площадки лестниц в лестничных клетках
С0	К0	К0	К0	К0	К0
С1	К1	К2	К1	К0	К0
С2	К3	К3	К2	К1	К1
С3	не нормируется			К1	К3

Пожарная опасность заполнения проёмов не нормируется, за исключением заполнения проёмов в ППП. Однако указаний по ограничению пожарной опасности проёмов в ППП нормы практически не содержат, за исключением требования по применению НГ материалов в конструкциях заполнения проёмов, в том числе светопрозрачных проёмов в покрытиях зданий классов конструктивной пожарной опасности С0 и С1.

Здания, сооружения, помещения и пожарные отсеки подразделяются на классы *функциональной пожарной опасности*, таблица 23, определяемые назначением и особенностями эксплуатации объектов.

Таблица 23

Классы функциональной пожарной опасности зданий
(ст. 32, 123–ФЗ [38])

Класс, подкласс	Характеристика
Ф1	здания, предназначенные для постоянного проживания и временного пребывания людей, в том числе:
Ф1.1	здания детских дошкольных образовательных учреждений, специализированных домов престарелых и инвалидов (неквартирные), больницы, спальные корпуса образовательных учре-

	зданий интернатного типа и детских учреждений
Ф1.2	гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов
Ф1.3	многоквартирные жилые дома
Ф1.4	одноквартирные жилые дома, в том числе блокированные
Ф2	здания зрелищных и культурно просветительных учреждений, в том числе:
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
Ф2.2	музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения в закрытых помещениях;
Ф2.3	то же, что Ф2.1, на открытом воздухе
Ф2.4	то же, что Ф2.2, на открытом воздухе
Ф3	здания организаций по обслуживанию населения, в том числе:
Ф3.1	здания организаций торговли
Ф3.2	здания организаций общественного питания
Ф3.3	вокзалы
Ф3.4	поликлиники и амбулатории
Ф3.5	помещения для посетителей организаций бытового и коммунального обслуживания с нерасчетным числом посадочных мест для посетителей
Ф3.6	физкультурно-оздоровительные комплексы и спортивно-тренировочные учреждения с помещениями без трибун для зрителей, бытовые помещения, бани
Ф4	здания научных и образовательных учреждений, научных и проектных организаций, органов управления учреждений, в том числе:
Ф4.1	здания общеобразовательных учреждений, образовательных учреждений дополнительного образования детей, образовательных учреждений начального профессионального и среднего профессионального образования
Ф4.2	здания образовательных учреждений высшего профессионального образования и дополнительного профессионального образования (повышения квалификации) специалистов
Ф4.3	здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов
Ф4.4	здания пожарных депо
Ф5	здания производственного или складского назначения, в том числе:
Ф5.1	производственные здания, сооружения, производственные и

	лабораторные помещения, мастерские
Ф5.2	складские здания, сооружения, стоянки для автомобилей без технического обслуживания и ремонта, книгохранилища, архивы, складские помещения
Ф5.3	здания сельскохозяйственного назначения

Классы функциональной пожарной опасности общественных зданий приведены в СП 118.13330.2011 [31].

Степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности зданий (сооружений, пожарных отсеков) устанавливаются в зависимости от их этажности, класса функциональной пожарной опасности, площади пожарного отсека и пожарной опасности происходящих в них технологических процессов (ст. 87, 123–ФЗ [38]).

Пределы огнестойкости СК должны соответствовать принятой степени огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков (ст. 87, 123–ФЗ [38]).

Класс пожарной опасности СК должен соответствовать принятому классу конструктивной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков (ст. 87, 123–ФЗ [38]).

Исходя из перечисленных положений 123–ФЗ, следует, что при назначении степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности здания учитываются:

- назначение здания, характеристики его функционального или технологического процесса (вместимость, категория по взрывопожарной и пожарной опасности);
- размеры здания (этажность, площадь пожарного отсека);
- предполагаемые конструктивные решения, определяющие огнестойкость и пожарную опасность конструкций;
- противопожарные расстояния между соседними зданиями (что особенно актуально для зданий в существующей застройке).

Среди перечисленных характеристик выбираются те, которые не могут быть изменены (поскольку приняты в соответствии с градостроительными условиями или эксплуатационной необходимостью), и по ним назначается *требуемые* степень огнестойкости и класс конструктивной пожарной опасности здания, которым соответствуют *требуемые* пределы огнестойкости

и классы пожарной опасности СК, таблицы 19, 20.

Далее, исходя из принятых конструктивных решений, определяются «фактические» пределы огнестойкости и класс пожарной опасности конструкций, которые сравниваются с требуемыми. По «фактическим» пределам огнестойкости и классам пожарной опасности конструкций можно также установить «фактическую» степень огнестойкости здания и его «фактический» класс конструктивной пожарной опасности, сравнив затем фактические показатели с требуемыми.

Если фактические показатели окажутся меньше требуемых, необходимо вносить изменения либо в конструктивное решение (довести конструкции до требуемых пределов огнестойкости и классов пожарной опасности), либо в объёмно-планировочное решение (уменьшить размер пожарного отсека, снизить этажность).

8 Огнестойкость строительных конструкций

8.1 Огнестойкость деревянных конструкций

Древесина относится к горючим материалам, таблица 10. Но по огнестойкости деревянные конструкции могут конкурировать с некоторыми железобетонными или защищёнными стальными. Пределы огнестойкости незащищённых конструкций из клеёной древесины находятся в диапазоне R 30...R45.

Причиной относительно высокой огнестойкости деревянных конструкций является защитное действие обуглившегося слоя древесины, препятствующего проникновению тепла и кислорода в зону горения, а значит, возгоранию более глубоких слоёв элемента.

Время до потери огнестойкости деревянной конструкции P_{ϕ} вследствие исчерпания несущей способности сечений её элементов складывается из времени от начала огневого воздействия до начала обугливания древесины (время задержки) τ_0 и времени $\tau_{кр}$ до момента, когда несущая способность повреждённого обугливанием опасного сечения снизится до величины действующей нагрузки: $P_{\phi} = \tau_0 + \tau_{кр}$.

Время τ_0 , таблица 24, зависит от воспламеняемости древесины, а время $\tau_{кр}$ – скорости её обугливания. Воспламеняемость

и скорость обугливания определяются единими факторами: температурой и продолжительностью нагрева; доступом кислорода; поверхностной активностью и видом древесины (клеёная или цельная).

Таблица 24

Время до начала обугливания древесины

Способ огнезащиты		Время до начала обугливания τ_0 , мин	
Без огнезащиты и при обработке антипиренами		4	
Нанесение вспучивающихся покрытий	ВДП (4 слоя)	8	
	ОФП-9 (2 слоя)	8	
Облицовка	гипсокартон	толщ. 10 мм	11
	ГКЛ	толщ. 12,5 мм	14
	асбестоцементноперлитовый лист (толщ. 10-12 мм)		15
	полужёсткая минераловатная плита (толщ. 50 мм)		30
Оштукатуривание (обмазка)	цементно-песчаная штукатурка (толщ. 20-25 мм) по металл. сетке		30
	гипсовая штукатурка	толщ. 10 мм	30
		толщ. 20 мм	60

Скорость обугливания (скорость перемещения фронта обугливания) возрастает с увеличением температуры нагрева и уменьшением размеров сечения. Чем интенсивнее движение воздуха (тяга) и больше омываемая воздухом поверхность данного объёма древесины, тем выше скорость обугливания. Вследствие меньшей поверхностной активности более твёрдая и плотная древесина обугливается медленнее, чем мягкая лёгкая. Сечения с закруглёнными углами и шлифованной поверхностью воспламеняются и обугливаются медленнее, чем сечения с острыми углами и шероховатой поверхностью.

Скорость обугливания влажной древесины меньше, чем сухой, поскольку на испарение влаги требуются затраты тепла. Клеёные элементы обугливаются медленнее, чем цельные, из-за дополнительных теплопотерь на термодеструкцию клея.

В зависимости от перечисленных факторов скорость обугливания изменяется в пределах 0,6...1,8 мм/мин. Учитывая, что влияние некоторых факторов взаимно компенсируется, скорость

обугливания допустимо принимать постоянной.

Процесс обугливания происходит последовательно, распространяясь вглубь сечения элемента, что приводит к уменьшению его размеров. После воспламенения сечение условно делят на две области – работоспособную (не снизившую прочность) и повреждённую (не способную воспринимать нагрузку). Скорость обугливания v принимают постоянной, таблица 25 [35], и зависимость глубины обугливания z от времени нагрева $\tau_{кр}$ приобретает линейный характер: $z = \tau_{кр} \cdot v$. Глубина повреждённой области z в рассматриваемый момент времени $\tau_{кр}$ составляет: $z = \tau_{кр} \cdot v + 25$, где 25 – толщина слоя необуглившейся «неработоспособной» древесины, мм (рис. 14).

Таблица 25

Скорость обугливания древесины при влажности не более 9 %

Наименьший размер сечения, мм	Скорость обугливания древесины v , мм/мин	
	клеёная	цельная
120 мм и более	0,6	0,8
менее 120 мм	0,7	1,0

Для оценки прочности древесины в деревянных конструкциях используют расчётные сопротивления R_f . Расчётные значения принимают в зависимости от напряжённого состояния и сортности древесины, таблица 26 [23].

Таблица 26

Расчётные сопротивления древесины при оценке огнестойкости

Напряжённое состояние	Обозначение	Расчётные сопротивления для сортов древесины, МПа			
		1	2	3	
Изгиб	R_{fw}	29	26	18	
Сжатие вдоль волокон	R_{fc}	26	23	16	
Растяжение вдоль волокон	R_{ft}	20	15	-	
Растяжение поперёк волокон	R_{ftt}	1,1	1,1	-	
Скалывание вдоль волокон	цельной	R_{fqs}	3,7	3,2	2,9
	клеёной	R_{fq}	1,3	1,2	1,1

Расчётные сопротивления работоспособной части сечения принимаются одинаковыми по всей её площади и равными средним значениям соответствующих прочностных характеристик при температуре 80 °С.

Напряжения в сечении σ , МПа, в заданные моменты вре-

мени (15, 30, 45 мин) определяют по формулам [23, 28], но с использованием геометрических характеристик работоспособной части сечения. По найденным значениям строится график роста напряжений во времени нагрева $\sigma(\tau)$. Пределом огнестойкости деревянной конструкции является время, при котором какое-либо напряжение достигнет соответствующего расчётного сопротивления.

8.2 Огнестойкость металлических конструкций

Сталь и алюминиевые сплавы относятся к негорючим материалам, и конструкциям на их основе, выполненным полностью из негорючих материалов, присваивается класс пожарной опасности К0 без испытаний.

Однако металлические конструкции при отсутствии специальной защиты нельзя признать огнестойкими. Предел огнестойкости незащищённых стальных конструкций составляет R6...R25, в среднем – R15; конструкций из алюминиевых сплавов – не более R6. Незащищённые стальные колонны можно применять в зданиях не выше IV степени огнестойкости, незащищённые балки и фермы – в покрытиях одноэтажных зданий не выше II степени огнестойкости или в перекрытиях зданий не выше IV степени огнестойкости (таблица 20, для конструкций с пределом огнестойкости R15).

Низкая огнестойкость металлических конструкций объясняется их большой температуропроводностью $a = \lambda / c\rho$, обусловленной высокой теплопроводностью металла λ и малой удельной теплоёмкостью c .

При действии источника тепла даже на небольшой участок поверхности металлической конструкции происходит достаточно быстрый прогрев всего её объёма. Высокая теплопроводность металла практически не вызывает температурного градиента ни по сечению, ни по длине элементов. Задержка прогрева, обусловленная тепловой инерцией металла, наблюдается в течение лишь нескольких минут.

Вследствие невысокой плотности алюминия (в 3 раза меньше, чем у стали) и более интенсивного снижения его механических свойств при нагреве огнестойкость конструкций из

алюминиевых сплавов оказывается в 2-3 раза меньше, чем аналогичных стальных.

Несущие металлические конструкции утрачивают огнестойкость вследствие нагрева до критической температуры, при которой предел текучести стали снижается до величины напряжений от внешней нагрузки. С точки зрения огнестойкости опасным местом в металлической конструкции являются сварные швы, поскольку при нагреве они разрушаются, как правило, раньше, чем основные элементы.

При оценке огнестойкости металлического каркаса здания важно учитывать совместную работу конструкций. Исчерпание огнестойкости связевых элементов может привести к потере устойчивости балок, ферм или даже всего каркаса; обрушение пролёта с одной стороны колонны может вызвать её внецентренное нагружение, снижающее огнестойкость. Пространственные металлические конструкции оказываются более огнестойкими, чем плоскостные. Исчерпание огнестойкости одного из элементов статически определимой фермы приводит к её обрушению, а в статически неопределимой структурной конструкции – к перераспределению усилий между остальными элементами. Стальная незащищённая мембрана обеспечивала предел огнестойкости R45, так как при нагреве в ней происходило снижение усилий вследствие возрастания прогибов, однако аналогичная алюминиевая мембрана обрушилась уже через 3 мин после начала стандартных испытаний [25].

Расчётный метод позволяет оценить предел огнестойкости огнезащищённых и незащищённых металлических конструкций (из стали или алюминиевых сплавов) по критерию несущей способности (R) элементов.

Температура нагрева металла в каждый момент времени τ принимается равномерно распределённой по сечению и объёму элемента. Предел огнестойкости наступает, когда предел текучести металла снизится до величины напряжений от действующей нагрузки; соответствующая этому моменту температура нагрева называется *критической*.

Изменение предела текучести металла с ростом температуры нагрева выражается безразмерным параметром γ_t , представляющим собой отношение предела текучести металла при

нагреве к его значению при нормальной температуре: $\gamma_t = \sigma_t / \sigma_0$.

Соответствующая температурная зависимость (для каждой стали или сплава) может быть представлена в графическом, табличном или аналитическом виде. Достижение критической температуры нагрева металла соответствует моменту, когда параметр γ_t снизится до уровня нагружения конструкции, который определяется как отношение фактически действующих нормальных напряжений σ к их предельной величине σ_0 .

Расчёт металлических конструкций на огнестойкость проводится при нормативных сопротивлениях материала (для стальных конструкций в качестве σ_0 принимается нормативное сопротивление стали по пределу текучести R_y , Па, [33]) на действие длительных нормативных нагрузок.

Расчёт начинается со статической задачи, в результате решения которой определяется уровень нагружения элементов γ_t (с учётом направления - растяжение, сжатие или изгиб): $\gamma_t = N / (A \cdot R_y)$, где N - расчётные усилия, воспринимаемые элементом, Н; A - площадь сечения элемента, м².

Далее по зависимости $\gamma_t - t$ определяется критическая температура нагрева металла t_{cr} , затем решением теплотехнической задачи находят время P_ϕ прогрева металла до критической температуры; это время и будет пределом огнестойкости рассматриваемой конструкции по признаку R.

В силу предпосылки о равномерности распределения температуры по объёму элемента допустимо заменить задачу прогрева сечения произвольной конфигурации задачей нагрева неограниченной пластины, одна поверхность которой имеет идеальную теплоизоляцию. Эквивалентность прогрева «реального» сечения и идеализированной пластины достигается использованием понятия приведённой толщины металла δ_{red} , которая определяется как отношение площади сечения A к обогреваемому периметру U : $\delta_{red} = A / U$. В справочных изданиях [23, 28] представлены формулы для определения приведённой толщины наиболее распространённых типов сечений (уголок, швеллер, тавр, двутавр, труба и др.), а также кривые прогрева стальных пластин с различной приведённой толщиной и различными типами огнезащиты. Если для принятого типа или толщины огнезащитного покрытия график не построен, его можно получить экспериментальным

или численным методом.

8.3 Огнестойкость железобетонных конструкций

За железобетоном традиционно признают достаточно высокую огнестойкость. В условиях стандартных испытаний предел огнестойкости плит и ригелей составляет R45...R90, у колонн несколько выше – R90...R150 (1,5...2,5 часа). Повышение предела огнестойкости железобетонных конструкций до 4...5 часов требует дополнительных затрат и, как правило, нецелесообразно. Железобетонным конструкциям, выполненным полностью из негорючих материалов, присваивается класс пожарной опасности K0 без испытаний.

Вследствие меньшей теплопроводности и более высокой термической стойкости крупного заполнителя пределы огнестойкости конструкций из тяжёлого бетона на карбонатном (известняковом) заполнителе оказываются примерно на 10 % выше, а конструкций из лёгких бетонов (керамзитобетон, перлитобетон и др.) – на 20...30% выше по сравнению с конструкциями из традиционного тяжёлого бетона на силикатном (гранитном) заполнителе.

Наиболее высокой огнестойкостью обладают конструкции, армированные обычной стержневой горячекатаной арматурой (A400). Термически и механически упрочнённые стали при нагреве снижают свои повышенные прочностные свойства быстрее, чем обычные стали. Это объясняется тем, что упрочнение вызывает некоторое изменение структуры кристаллической решётки стали, а повышение интенсивности тепловых колебаний атомов при нагреве приводит кристаллическую решётку в обычное состояние.

Применение арматуры класса A400 (A-III) увеличивает предел огнестойкости на 10 %, а класса A1000, всех классов проволочной и канатной арматуры (B500, B1200...B1500, K1400, K1500) – снижает на 10...20% (маркировка арматурной стали в [36]). Для всех видов бетона не представляет особой опасности нагрев до температуры 350 °C.

После нагрева арматуры классов A240, A300, A400, A500 до 600 °C, классов A540, A600, A800, A1000 до 400 °C, классов

B500, B1200...B1500, K1400, K1500 до 300 °С и последующего охлаждения прочностные свойства арматуры восстанавливаются практически полностью.

Механизм разрушения изгибаемых железобетонных элементов (плит, балок, ригелей и т.д.) при нагреве происходит в большинстве случаев в результате образования пластического шарнира в опасном нормальном сечении из-за снижения предела текучести продольной растянутой арматуры до величины рабочих напряжений, создаваемых внешней нагрузкой.

Температура нагрева рабочей арматуры, при которой она переходит в стадию текучести, называется *критической*; эта температура не остаётся постоянной и зависит от типа применяемой арматуры и уровня её нагружения.

Быстрое достижение растянутой арматурой критической температуры нагрева объясняется тем, что растянутая зона сечения изгибаемых элементов располагается внизу (за исключением опорных сечений неразрезных балок и плит) и наиболее сильно подвержена воздействию теплового потока, в то время как находящаяся в ней рабочая арматура защищена от нагрева лишь тонким слоем бетона. Для повышения огнестойкости рекомендуется увеличивать толщину защитного слоя бетона, а арматуру размещать по высоте в два ряда.

В балках прямоугольного и таврового сечения, а также в опорных сечениях неразрезных балок и плит сжатая зона подвергается интенсивному нагреву, что приводит к перераспределению напряжений на менее нагретые участки бетона, сокращению плеча внутренней пары сил и, как следствие, снижению несущей способности сечения. Разрушение в этом случае происходит из-за снижения несущей способности нормального сечения до величины момента от действующей нагрузки.

Для тонкостенных железобетонных элементов (многопустотные и ребристые панели, ригели и балки при ширине сечения 160 мм и менее) с недостаточным поперечным армированием (или при его отсутствии) характерно разрушение по наклонному сечению, которое происходит внезапно и гораздо раньше, чем исчерпание несущей способности нормальных сечений. Для разрушения по наклонному сечению характерно небольшое раскрытие наклонных трещин и незначительный прогиб элемента.

Для колонн характерен нагрев с четырёх сторон, при этом периферийные слои нагреваются значительно сильнее, чем внутренние, и температурный перепад по сечению может достигать 800...900 °С. В процессе нагрева происходит перераспределение напряжений с более нагретых слоёв на менее нагретые, имеющие меньшую деформативность; наружные слои бетона и рабочая арматура постепенно перестают участвовать в восприятии нагрузки.

Колонны, сжатые со случайным эксцентриситетом, могут разрушаться при нагреве как вследствие исчерпания прочности нормального сечения (при достижении предельной сжимаемости в центральном наименее нагретом участке бетона), так и вследствие потери общей устойчивости. Первый случай характерен для массивных и сильно нагруженных колонн, а второй – для более гибких и слабонагруженных. Продольная арматура в колонне, нагруженной со случайным эксцентриситетом, слабо влияет на огнестойкость, так как её нагрев приводит к перераспределению усилий с арматуры на внутренние слои бетона; огнестойкость таких колонн может быть повышена в основном за счёт увеличения размеров сечения.

С увеличением эксцентриситета сжимающего усилия огнестойкость колонн снижается, поскольку возрастает роль растянутой арматуры, защищённой от прогрева, как и в изгибаемых элементах, лишь тонким слоем бетона. Огнестойкость таких колонн может быть повышена увеличением размеров сечения и толщины защитного слоя растянутой арматуры.

Повышение процента армирования при уменьшении размеров сечения в обоих случаях приводит к снижению огнестойкости, поскольку бетон при этом заменяется менее надёжной (в отношении огнестойкости) арматурой. Косвенное же армирование в виде сеток или спиралей повышает сопротивление бетона сжатию за счёт ограничения поперечных растягивающих деформаций, однако поперечные стержни сеток способствуют более интенсивному прогреву сечения, образуя тепловые мостики.

Огнестойкость железобетонных стен может быть исчерпана как вследствие прогрева необогреваемой поверхности до недопустимой температуры (I), так и в результате разрушения (R) по арматуре или бетону нормального сечения, или наклон-

ного сечения (возле опор). При нагреве стен большой гибкости (при отношении расчётной длины к толщине $l_0/h > 16$) происходит необратимое развитие прогиба в сторону обогреваемой поверхности; при малой гибкости ($l_0/h < 16$) стена вначале деформируется с прогибом в сторону обогреваемой поверхности, а затем, когда пластические деформации нагретого бетона под нагрузкой превысят его температурное расширение, стена начинает деформироваться обратном направлении.

При нагреве стены с двух сторон предел огнестойкости не будет меньше, чем при одностороннем обогреве, но в реальной практике двухсторонний обогрев встречается очень редко.

При оценке огнестойкости отдельных конструкций следует принимать во внимание нагрузки и воздействия, возникающие в реальных условиях вследствие совместной работы этих конструкций в составе несущей системы здания.

Теснённые деформации температурного расширения конструкций приводят к возникновению дополнительного продольного сжимающего усилия – распора. В колонне усилия распора складываются с усилиями от рабочей нагрузки и могут вызывать преждевременную потерю устойчивости.

Из-за прогибов элементов перекрытия, возникающих при нагреве, часть нагрузки может передаваться на перегородки, не рассчитанные на восприятие нагрузок, что приведёт к их преждевременному разрушению.

Как отмечалось ранее, повышенное влагосодержание бетонов с плотной структурой при интенсивном росте температуры и высоком уровне силового нагружения может стать причиной их взрывообразного (хрупкого) разрушения.

Взрывообразное разрушение бетона обычно начинается уже через 5...20 минут огневого воздействия, сопровождается характерными звуковыми эффектами (лёгкими хлопками, треском различной интенсивности или «взрывом») и выражается в виде послойного, периодического откола кусков бетона толщиной 1...50 мм на площади от 1 см² до 1 м² с возможным разлётом осколков весом до нескольких килограмм на расстояние 10...20 м от конструкции.

Это негативное явление приводит к уменьшению рабочего сечения, снижению толщины защитного слоя рабочей арматуры

и быстрому наступлению предела огнестойкости конструкции по несущей способности (R) или целостности (E). Существенное снижение огнестойкости конструкций вследствие взрывообразного разрушения бетона становится особенно опасным, если оно заранее не предполагалось.

Взрывообразное разрушение бетона обусловлено гидродинамическим сопротивлением структуры бетона фильтрации пара. После начала нагрева бетона начинается испарение влаги в его поверхностном слое; некоторая её часть выходит наружу, а остальная влага конденсируется в менее прогретых внутренних слоях. Через некоторое время образуются зоны сухого и влагонасыщенного бетона, разделённые зоной испарения влаги. Если паропроницаемость бетона невелика, то испаряющейся воде трудно проникнуть как наружу (через сухой слой), так и вглубь (через влагонасыщенный слой); это приводит к повышению давления в зоне испарения. С перемещением фронта испарения вглубь сечения гидродинамическое сопротивление бетона фильтрации пара возрастает. Когда внутренние напряжения в зоне испарения превысят сопротивление бетона разряжению, значительно снизившееся при нагреве, происходит резкий откол бетона примерно на толщину высушенного слоя. Дальнейший прогрев сечения приводит к новым отколам.

Необходимо обращать внимание на опасность взрывообразного разрушения бетона в конструкциях нижних этажей и повалов многоэтажных зданий, в подземных сооружениях, а также в период возведения зданий. Хрупкое разрушение особенно опасно в конструкциях с небольшим поперечным сечением, воспринимающим значительные нагрузки.

Взрывообразное разрушение вероятно при влажности свыше 3,5 % (для тяжёлого бетона на силикатном заполнителе), 4 % (для тяжёлого бетона на карбонатном заполнителе), 5 % (для керамзитобетона). При плотности бетона менее 1250 кг/м³ взрывообразное разрушение не происходит при любой влажности.

Существующие расчётные методы огнестойкости железобетонных конструкций [23, 28] позволяют оценить предел огнестойкости конструкций по критериям:

- несущей способности (R) нормальных и наклонных се-

чений;

- теплоизолирующей способности (I) – только теплотехническим расчётом;

- целостности (E) – по стойкости бетона к взрывообразному разрушению при нагреве.

Расчёт огнестойкости железобетонных конструкций по несущей способности (R) состоит из двух частей (и соответствующего решения двух задач):

- в *теплотехнической части* устанавливается распределение температуры по сечению конструкции в процессе огневого воздействия;

- в *статической части* осуществляется оценка способности конструкций воспринимать действующую нагрузку в условиях огневого воздействия.

9 Огнезащита строительных материалов и конструкций

9.1 Общая характеристика средств огнезащиты

Одним из эффективных способов снижения ущерба от пожара является огнезащита строительных конструкций, обеспечивающая снижение пожарной опасности и повышение огнестойкости конструкций из горючих материалов и повышение огнестойкости конструкций из негорючих материалов. Использование средств огнезащиты позволяет:

- снизить вероятность возникновения пожара;

- исключить возможность распространения пожара по конструкциям;

- ослабить воздействие ОФП на людей и материальные ценности;

- расширить возможности применения различных архитектурных и проектно-конструкторских решений зданий.

Огнезащите подвергаются каменные, бетонные и железобетонные, металлические конструкции, конструкции из дерева и пластмасс, воздуховоды, электрические кабели и кабельные проходки, ткани и напольные ковровые покрытия.

Воспламенению твёрдых горючих материалов предшествует стадия термического разложения, сопровождающаяся выделением газообразных продуктов. Роль огнезащиты в этом

случае сводится к созданию на поверхности горючего материала теплоизолирующего слоя, препятствующего нагреву материала и снижающего скорость выделения газообразных продуктов. Огнезащита конструкций из негорючих материалов или конструкций, содержащих в своём составе небольшое количество горючих компонентов, предназначена для повышения фактических пределов огнестойкости до требуемых значений и ограничения пределов распространения огня по ним.

Выбор оптимального способа огнезащиты с учётом многообразия средств огнезащиты оказывается не простой задачей. При её решении необходимо учитывать:

- величину требуемых пределов огнестойкости и класс пожарной опасности применяемых конструкций;
- пожарно-технические характеристики материалов;
- вид конструкций и их ориентацию в пространстве (несущие колонны, балки, стойки, ригели, связи);
- условия эксплуатации огнезащиты (внутри помещений или на открытом воздухе, температура, влажность);
- ограничений по весу огнезащиты (например, в высотных зданиях);
- технологию проведения огнезащитных работ;
- совместимость средства огнезащиты с материалом конструкции;
- агрессивность окружающей среды по отношению к огнезащитному составу;
- эстетические требования, предъявляемые к конструкции;
- технико-экономические показатели.

Способы огнезащиты строительных конструкций представлены в таблице 27. Эффективной является комбинированная огнезащита, сочетающая преимущества различных способов.

Действие любого способа огнезащиты основано на замедлении прогрева материала за счёт создания препятствий поступающему тепловому потоку. Как правило, необходимый эффект достигается установкой между источником огня и поверхностью конструкции слоя материала с малой температуропроводностью. Действие тяжёлых огнезащитных материалов (кирпич, бетон) основывается на значительной объёмной теплоёмкости (с·р), лёгких (гипсокартон, минераловатные плиты) – на малой

теплопроводности. Кроме того огнезащитные материалы на минеральных вяжущих (гипсовых, портландцементных и др.) способствуют замедлению прогрева за счёт поглощения тепла на испарение содержащейся в их составе воды.

Таблица 27

Способы огнезащиты строительных конструкций

Вид огнезащиты	Применение огнезащиты для различных видов конструкций				
	бетонные и железобетонные	из кирпича	металлические	деревянные	лёгкие ограждения
Конструктивные методы:					
обетонирование	+	–	+	–	–
обкладка кирпичом	–	+	+	–	–
оштукатуривание	+	+	+	+	–
крупноразмерные облицовки	–	+	+	+	+
огнезащитные элементы	–	–	+	+	+
увеличение сечений элементов	+	+	+	+	+
Теплозащитные экраны из облегчённых составов:					
покрытия	+	+	+	+	+
вспучивающиеся краски	+	+	+	+	+
Химические способы огнезащиты:					
пропитка антипиренами	–	–	–	+	+
введение минеральных наполнителей	–	–	–	+	+

Преимущество *огнезащитных покрытий* состоит в возможности быстрого механизированного нанесения на защищаемую поверхности, но нанесению состава предшествует тщательная обработка поверхности: очистка от ранее нанесённых покрытий и ржавчины, обезжиривание и грунтовка. Кроме того, огнезащитные покрытия, как правило, сохраняют свою эффективность в течение лишь ограниченного срока эксплуатации

(2–4 года), а значит, периодически нуждаются в восстановлении или проведении повторной обработки.

Согласно ППР–12 [26] проверка качества огнезащитной обработки (пропитки) при отсутствии в инструкции сроков периодичности проводится не реже 2 раз в год, о чём должен быть составлен соответствующий акт с указанием даты пропитки и срока её действия.

Традиционные огнезащитные *облицовки из кирпича, бетона и цементно-песчаной штукатурки* – относятся к тяжёлым и существенно увеличивают массу конструкции. Но обетонирование и обкладка кирпичом является наиболее надёжными и долговечными способами; эти облицовки не боятся сырости и атмосферных воздействий, устойчивы к динамическим нагрузкам. Во избежание преждевременного обрушения облицовки из бетона или штукатурки её армируют сеткой; с той же целью в швах кирпичной кладки размещают стальные анкеры или хомуты.

Лёгкие огнезащитные облицовки из листовых или плитных материалов (гипсокартонных листов, полужёстких минераловатных плит, перлитофосфогелевых плит, цементновермикулитовых плит и др.) укрепляются с помощью стальных анкеров и каркаса. Минераловатная плита толщиной 5 см обеспечивает предел огнестойкости конструкции R120, однако нуждается в дополнительной декоративной облицовке.

Этого недостатка лишена широко применяемая в последнее время огнезащитная облицовка конструкций гипсокартонными листами. Два слоя гипсокартона могут обеспечить предел огнестойкости R45; 4 слоя – R90. Каждый слой гипсокартона толщиной 12 – 14 мм повышает предел огнестойкости примерно на 18...25 мин. многослойная защита более надёжна, кроме того, её предел огнестойкости выше, чем сумма пределов огнестойкости отдельных слоёв. Гипсокартонные листы крепятся к стальным направляющим из холодногнутых профилей самонарезающими винтами. Узлы примыкания облицовки к стенам, перегородкам и потолкам теплоизолируют минеральной ватой.

Огнезащитные подвесные потолки служат не только для повышения огнестойкости конструкций перекрытий и покрытий, но и для улучшения интерьера и акустических качеств по-

мещений, размещения коммуникаций и осветительных приборов. Подвесные потолки выполняются из минераловолокнистых, гипсокартонных, минераловатных и других плит по стальному каркасу. Огнезащитное действие подвесного потолка обеспечивается не только за счёт изолирующей способности облицовки, но и воздушного зазора между облицовкой и защищаемой конструкцией; увеличение зазора повышает огнезащитную эффективность. Для повышения предела огнестойкости или снижения пожарной опасности перекрытий и покрытий следует применять подвесные потолки с пределом огнестойкости не менее EI15 при классе пожарной опасности K0.

Невспучивающиеся огнезащитные покрытия представляют собой облегчённые ($200 \dots 600 \text{ кг/м}^3$) штукатурки, в которых применяют лёгкие термостойкие заполнители (вермикулит, перлит, керамзит, базальтовые волокна и др.), а в качестве связующего используется жидкое стекло, фосфатные вяжущие, гипсовые, известковые, портландцементные или полимерцементные растворы. Облегчённые штукатурки наносят по сетке вручную или механизированным способом. Толщина покрытия от 15 до 50 мм способна обеспечить предел огнестойкости от R45 до R150. По сравнению с бетоном масса штукатурки оказывается ниже в 10 раз при сохранении той же огнезащитной эффективности. Но облегчённым штукатуркам свойственно слабое сцепление с защищаемой поверхностью и малая механическая прочность, следовательно, необходимость дополнительной защиты слоем декоративного материала.

К экологически чистым (в отличие от асбеста) наполнителям относятся вермикулит и перлит – природные слоистые минералы из семейства гидрослюд. Происходящее при нагреве испарение межплоскостной воды приводит к вспучиванию минерала – первоначальный объём увеличивается более чем в 20 раз. Огнезащитный эффект достигается за счёт термостойкости и теплоизолирующей способности вспученного слоя, а также расхода тепла на испарение воды. Для устройства огнезащитных покрытий вермикулит и перлит используются как во вспученном, так и невспученном виде.

Вспучивающиеся (терморасширяющиеся) огнезащитные покрытия наносят на поверхность слоем 2...4 мм, а при дей-

ствии высокой температуры (170–250 °С) увеличиваются в объёме в 10...40 раз с образованием пористого теплоизолирующего слоя толщиной до 50 мм. По мере огневого воздействия образовавшийся пенококсовый слой постепенно выгорает и может отрываться от конструкции. в зависимости от вида и расхода состава удаётся обеспечить предел огнестойкости конструкции от R 30 до R 120.

К оборудованию для нанесения огнезащитных составов относятся: краскопульт ручного действия поршневой КРДП-3; агрегат штукатурный СО-154А; агрегат малярный СО-154; установки малярные СО-169, СО-203, СО-244; агрегат безвоздушного распыления мембранного типа МКМ-6000.

Для выбора оптимального варианта огнезащиты необходимо выполнить следующие операции:

- сформулировать требования к пределам огнестойкости и пожарной опасности конструкций и материалов;
- определить характеристики предполагаемых к использованию средств огнезащиты;
- оценить расход средств огнезащиты для достижения требуемых параметров используемых материалов и конструкций;
- рассчитать стоимость огнезащиты с учётом реализации различных вариантов средств огнезащиты и технологии её устройства.

Далее рассмотрены особенности огнезащиты отдельных материалов и конструкций.

9.2 Огнезащита деревянных конструкций

Для деревянных конструкций важно обеспечить не только требуемую огнестойкость, но и снизить показатели пожарной опасности, в первую очередь, воспламеняемость и горючесть.

Конструктивная огнезащита (штукатурки и облицовки) огнезащитные покрытия, замедляют воспламенение древесины, но не уменьшают скорости обугливания, то есть никак не препятствуют начавшемуся процессу горения. Защитный слой на поверхности древесины изолирует её от огня, замедляет прогрев до температуры воспламенения и препятствует распространению

нию пламени после воспламенения.

Для замедления воспламенения применяются также *антипирены*, огнезащитный эффект которых состоит в увеличении плотности падающего теплового потока, при котором происходит воспламенение, благодаря чему при малых значениях плотности теплового потока обеспечивается задержка воспламенения. Кроме того, обработанная антипиренами древесина не создаёт открытого пламени и не распространяет его по своей поверхности. При локальном кратковременном огневом воздействии обугливание поверхности ограничивается только площадью воздействия пламени; это облегчает тушение пожара, а в ряде случаев – исключает возможность его возникновения. При переходе пожара в развитую стадию огнезащитный эффект антипиренов незначителен.

Антипирены обычно содержат в своём составе неорганические соли фосфорной, серной или борной кислот (фосфат аммония, бура и др.) или фосфорорганические вещества. При нагревании эти компоненты разлагаются с образованием сильных кислот, в присутствии которых дегидратация древесины протекает с минимальным выделением горючих газов и с максимальным выходом угля. Пламенное горение древесины прекращается, остаётся лишь тление древесного угля.

Обработка древесины антипиренами несколько снижает воспламеняемость, дымообразующую способность и токсичность продуктов горения, но, как правило, не переводит соответствующие показатели в более высокие группы.

Антипирены применяются как в виде самостоятельных пропиточных составов (для поверхностной и глубокой пропитки), так и в комплексных огнезащитных покрытиях.

Огнезащитная эффективность пропиток и защитных покрытий определяется согласно ГОСТ Р 53292-2009 [11]. Обработанные образцы древесины подвергают огневому испытанию в течение 2 мин, затем охлаждают и взвешивают. Группу огнезащитной эффективности, таблица 28, назначают по потере массы образца: $\Delta m = [(m_1 - m_2) / m_1] \cdot 100\%$, где m_1 , m_2 – соответственно масса образца до и после испытания. В испытании участвует не менее 10 образцов; за результат принимают среднее арифметическое полученных значений потери массы.

Группы огнезащитной эффективности

Потеря массы, %	Группа огнезащитной эффективности испытанного покрытия или пропиточного состава
не более 9 %	I
более 9 %, но менее 25 %	II

Исторически первыми появились *огнезащитные обмазки* (гипсовые, известковые, известково-глиняные), их толщина составляла 10...70 мм. Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) является достаточно эффективным огнезащитным материалом, поскольку вследствие малой теплопроводности он замедляет прогрев защищаемой поверхности, выделяет при нагреве пары воды (около 20 % своей массы), поглощающих большое количество тепла (696 кДж/кг). Современный огнезащитный гипс содержит добавки (вермикулит, перлит, минеральные волокна), снижающие опасность его растрескивания при нагреве.

К началу 80-х годов XX столетия для защиты древесины были разработаны *вспучивающиеся огнезащитные покрытия* имеют значительно меньшую толщину (около 2 мм): фосфатное покрытие ОФП-9, покрытие ВПД, покрытие ВПМ-2; позднее появились составы МПВО, СГК-1 и др.

Огнезащитные обмазки и вспучивающиеся покрытия, как правило, обеспечивают I-ю группу огнезащитной эффективности, однако они не обладают достаточными эстетическими качествами, поэтому используются в основном в непросматриваемых помещениях, например, на чердаках.

Огнезащитные краски толщиной 1...10 мм могут выполнять декоративные функции, но скрывают при этом цвет и текстуру древесины. Наиболее эстетичными являются *огнезащитные лаки* толщиной до 1 мм, позволяющие сохранить привлекательный внешний вид деревянных конструкций. Огнезащитные лаки и краски вспучиваются при нагреве; их применение переводит древесину в I-ю группу огнезащитной эффективности.

Огнезащитные пропитки растворами антипиренов оказываются дешевле, чем лаки и краски. Поверхностная пропитка древесины, осуществляемая погружением, распылением или

нанесением кистью, обеспечивает, как правило, лишь II-ю группу огнезащитной эффективности. Увеличение расхода составов, а также применение глубокой пропитки древесины антипиренами под давлением позволяет обеспечить I-ю группу огнезащитной эффективности. Глубокая пропитка может снижать способность древесины к склеиванию, поэтому нежелательна для клеёных конструкций. В последнее время глубокая пропитка применяется редко по причине высокой трудоёмкости и стоимости.

Металлические соединительные элементы в узлах металлических конструкций при нагреве образуют тепловые мостики, приводящие к обугливанию древесины и нарушению сцепления, кроме того, металл быстро снижает свои механические характеристики при нагреве. По этим причинам металлические соединительные детали должны быть защищены от непосредственного действия огня. В качестве огнезащиты могут выступать накладки (из досок или гипсоволокнистых листов), штукатурки, обмазки. В зарубежной практике соединительные элементы размещают внутри сечения, болты утапливают в дерево и закрывают пробками, но эти способы вызывают ослабление сечений и увеличивают трудоёмкость работ.

9.3 Огнезащита металлических конструкций

Работы по огнезащите металлоконструкций производятся одновременно с возведением объекта.

Сравнительной характеристикой средств огнезащиты является группа огнезащитной эффективности, определяемая по ГОСТ Р 53295 – 2009 [12]. Группа огнезащитной эффективности определяется по минимальному времени достижения условной критической температуры (500°C) ненагруженного образца (двутавра № 24) в условиях его нагрева по стандартному режиму. Однако время, соответствующее группе огнезащитной эффективности, не следует отождествлять с пределом огнестойкости защищаемой конструкции, который определяется в нагруженном состоянии.

Группа огнезащитной эффективности понятие исключительно сертификационное, которое не связано с пределом огнестойкости конструкции.

Среди специальных способов огнезащиты металлов отмечают водяное охлаждение конструкций, реализуемое либо опрыскиванием их водой снаружи, либо циркуляцией воды во внутренних полостях. В последнем случае колонны и ригели каркаса здания объединяются в замкнутую сеть и заполняются водой, постоянный уровень которой поддерживается с помощью вышерасположенного резервуара. За счёт подъёма нагретой в очаге пожара воды устанавливается естественная циркуляция, которая отводит тепло от нагретых конструкций. При правильной организации процесса циркуляции и охлаждения жидкости может быть достигнута достаточно высокая огнестойкость металлических конструкций. В обычных условиях такая система может служить для поддержания параметров микроклимата в помещении.

Обеспечить некоторое продление времени сохранения свойств металлов в условиях пожара можно следующими способами:

1. Выбор изделий из металлов, более стойких к воздействию пожара, предпочтение отдаётся сталям вместо алюминиевых сплавов, причём низколегированным сталям вместо углеродистых. При выборе арматурных изделий следует предпочесть арматуру, не упрочненную наклёпом и термообработкой.

2. Специальное изготовление металлических изделий, более стойких к нагреву (тугоплавкие стали с Ni, Co).

3. Огнезащита металлоизделий (конструкций) посредством нанесения внешних теплоизоляционных слоёв.

9.4 Огнезащита каменных конструкций

В огнезащите нуждаются следующие виды железобетонных конструкций: многослойные, пустотные, ребристые, тонкослойные панели и плиты, конструкции с внешним армированием, конструкции из полимербетонов.

Снижению вероятности взрывообразного разрушения бетона способствует устройство конструктивной огнезащиты (облицовка, оштукатуривание), а также установка *противооткольной сетки* в поверхностных слоях бетона. Роль сетки заключается в дополнительном армировании поверхностного слоя бето-

на, повышающем его сопротивление растяжению. Чем меньше ячейки сетки, тем меньше и размер отколов, которые она способна предотвратить. Для удобства крепления *противооткольную сетку* при строительстве иногда располагают вплотную к основной арматуре, а защитный слой остаётся неармированным.

Для предотвращения взрывообразного разрушения бетона не следует применять бетоны с плотной структурой в помещениях с повышенной влажностью. Применение вместо гранита крупных заполнителей с более низким коэффициентом температурного расширения (известняк, базальт, диабаз, доменный шлак) снижает склонность бетона к трещинообразованию при нагреве, в том числе взрывообразному.

Обетонирование методом торкретирования (от лат. *tor* – «штукатурка» и *cret* — «уплотнённый») один из способов повышения и восстановления огнестойкости железобетонных конструкций. Суть его заключается в нанесении дополнительного или восстановлении старого слоя бетона (защитного слоя от воздействия агрессивной среды). Метод позволяет практически полностью механизировать производство работ при ремонте железобетонных конструкций с помощью высокопроизводительных машин, использовать средства малой механизации, уменьшить объём опалубочных работ, а в ряде случаев осуществлять бетонирование без опалубки. Целесообразно его применение при устройстве защитных слоёв для повышения долговечности бетонных, железобетонных и металлических конструкций и сооружений, создание огнестойких, тепло-, гидро- и звукоизоляционных покрытий. Восстановление защитного слоя бетона с помощью торкретирования производят с предварительной очисткой арматуры и бетона.

Торкретирование – метод бетонных работ, при котором бетонная смесь послойно наносится на бетонируемую поверхность под давлением сжатого воздуха при помощи торкретной установки, состоящей из цемент-пушки и компрессора. Толщина слоя за один цикл – 10-15 мм. Торкретное покрытие отличается высокой механической прочностью (40-70 МПа), плотностью, водонепроницаемостью и морозостойкостью (рис. 16).

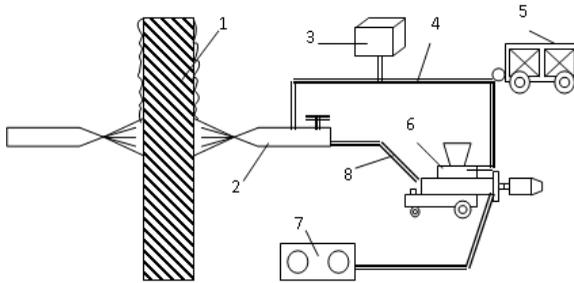


Рис. 16. Обработка поверхностного слоя конструкций с помощью торкретирования

1 - защищаемая конструкция; 2 - сопло цемент-пушки; 3 - запас воды (водопровод); 4 - шланг сжатого воздуха; 5 - компрессор; 6 - цемент-пушка; 7 - источник тока; 8 - материальный шланг

10 Устойчивость зданий, сооружений в условиях пожара

Устойчивость здания – способность его конструктивной системы сопротивляться действующим расчётным эксплуатационным нагрузкам и воздействиям в течении срока эксплуатации.



Рис. 17. Схема причин снижения устойчивости здания при пожаре

Устойчивость здания при пожаре характеризуется его степенью огнестойкости и зависит от пожарной опасности, огнестойкости конструкций, пожарной нагрузки сосредоточенной в здании, вентиляционных характеристик помещений, условий и сроков эксплуатации его конструктивной системы.

Причины потери устойчивости здания или сооружения представлены в виде схемы (рис. 17).

На устойчивость здания при пожаре влияет:

1) строительная система здания (монолитность конструкций, пожарная опасность элементов здания);

2) конструктивная система и схема здания (совместная работа элементов здания, стыки конструктивных элементов, заделка элемента на опорах, схема обогрева конструктивного элемента);

3) планировочные решения здания (интенсивность распространения огня по зданию);

4) срок и условия эксплуатации здания.

Воздействия пожаров на здания зависят от способности строительных конструкций сопротивляться воздействию пожара, то есть способности сохранять при пожаре свои несущие, ограждающие, теплоизолирующие способности.

Высокая температура в здании или сооружении при пожаре приводит к частичному или полному разрушению строительных конструкций. После пожара оценивается состояние конструкций, чтобы сделать заключение о возможности и методах их восстановления. Оценка строительных конструкций и здания в целом после пожара проводят в определённой последовательности, выполняя требования нормативных документов, таких как СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений» [32].

Конструкции, получившие дефекты и повреждения, по несущей способности и эксплуатационным свойствам могут быть отнесены к одному из следующих состояний:

состояние I - нормальное. Усилия в элементах и сечениях не превышают допустимых по расчёту. Дефекты и повреждения, препятствующие нормальной эксплуатации или снижающие несущую способность или долговечность, отсутствуют;

состояние II - удовлетворительное. По несущей способности и условиям эксплуатации соответствует состоянию I. Имеются дефекты и повреждения, которые могут снизить долговечность конструкции. Необходимы мероприятия по защите конструкции;

состояние III - непригодное к нормальной эксплуатации. Конструкция перегружена или имеются дефекты и повреждения, свидетельствующие о снижении её несущей способности. Однако на основании поверочных расчётов и анализа повреждения можно гарантировать её сохранность на период усиления (в необходимых случаях разгрузкой, установкой страховочных опор или принятием других мер безопасности);

состояние IV — аварийное. То же, что и при состоянии III, однако, на основании поверочных расчётов и анализа дефектов и повреждений нельзя гарантировать сохранность конструкций на период усиления, особенно, если возможен хрупкий характер разрушения. Необходимо вывести людей из зоны возможного обрушения, произвести немедленную разгрузку, устройство страховочных опор, ограждений и других мер безопасности.

Строительные конструкции зданий и сооружений в обычных условиях эксплуатации могут сохранять необходимые рабочие качества в течение десятков лет. Эти же конструкции при пожаре исчерпывают свой ресурс долговечности в течение всего лишь десятков минут. Следствием быстрого разрушения строительных конструкций зданий и сооружений являются весьма значительные величины социального и материального ущерба.

Список литературы, использованной при подготовке учебного пособия

1. Асеева, Р.М. Горение древесины и её пожароопасные свойства: монография / Р.М. Асеева, Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2010. – 262 с.
2. ГОСТ 12.1.044 – 89* «Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения».
3. ГОСТ 30244 – 94 «Методы испытаний на горючесть»
4. ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834–75) «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования»
5. ГОСТ 30247.1–94 «Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции».
6. ГОСТ 30247.3–2002 «Конструкции строительные. Метод испытаний на огнестойкость. Двери шахт лифтов».
7. ГОСТ 30402 – 96 «Метод испытания на воспламеняемость».
8. ГОСТ 30403–96 «Конструкции строительные. Метод определения пожарной опасности».
9. ГОСТ 31251–2008 «Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности. Стены наружные с внешней стороны».
- 10.ГОСТ Р 51032 – 97 «Метод испытания на распространение пламени».
- 11.ГОСТ Р 53292 – 2009 «Огнезащитные составы и вещества для древесины и материалов на её основе. Общие требования. Методы испытаний».
- 12.ГОСТ Р 53295 – 2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности».
- 13.ГОСТ Р 53298–2009 «Потолки подвесные. Метод испытания на огнестойкость».
14. ГОСТ Р 53303–2009 «Конструкции строительные. Противопожарные двери и ворота. Метод испытаний на дымогазопроницаемость».
- 15.ГОСТ Р 53307–2009 «Конструкции строительные. Про-

тивопожарные двери и ворота. Метод испытаний на огнестойкость».

16.ГОСТ Р 53308–2009 «Конструкции строительные. Светопрозрачные ограждающие конструкции и заполнение проёмов. Метод испытаний на огнестойкость».

17.ГОСТ Р 53309–2009 «Здания и фрагменты зданий. Метод натуральных огневых испытаний. Общие требования».

18.Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: учебник /В. Н. Демёхин и др.— М.: Академия ГПС МЧС России, 2003.— 656 с.

19.Корольченко, А. Я. Пожарная опасность строительных материалов : учеб. пособие для студ. вузов по спец. «Пожарная безопасность»/ А. Я. Корольченко, Д. В. Трушкин. –М.: Пожнаука, 2005. –232 с.

20.Корольченко, А.Я. Средства огне- и биозащиты /А.Я. Корольченко, О.Н. Корольченко – изд. 3–е, перераб. и доп. – М.:Издательство «Пожнаука», 2010. – 250 с., илл.

21. МДС 21.1–98 Предотвращение распространения пожара (пособие к СНиП 21–01–97*).

22.Милованов, А.Ф. Пособие по расчёту огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций из тяжёлого бетона /А.Ф. Милованов. – М.: ЦПП, 2008. – 103 с.

23.Мосалков, И.Л., Мальцев Г.В., Фролов А.Ю. Огнестойкость строительных конструкций. – Спецтехника, 2001. – 481 с.

24.Попова, Е.А. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре [Текст] : метод. указания по вып. курсовой работы для студ. спец. 280705 «Пожарная безопасность» всех форм обучения / Е. А. Попова ; КемГИПП, каф. безопасности жизнедеятельности. – Кемерово: КемГИПП, 2013. – 75 с.

25.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.

26.Правила противопожарного режима в РФ (Постановление Правительства РФ от 25.04.2012 г. №390). – М.: Проспект, 2012, – 80 с.

27.Ройтман В.М., Серков Б.Б., Шевкуненко Ю.Г., Сивенков А.Б., Баринаева Е.Л., Приступок Д.Н. Здания, сооружения и

их устойчивость при пожаре / Учебник под общей редакцией В.М. Ройтмана. – 2-е изд. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2013. – 366 с.

28.Ройтман, В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В. М. Ройтман.— М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001.— 382 с.

29.СНиП 21–01–97* «Пожарная безопасность зданий и сооружений».

30.Собурь, С.В. Огнезащита материалов и конструкций: учебно–справочное пособие.– 5-е изд., перераб. – М.:ПожКнига, 2014. – 256 с.

31.СП 118.13330.2011 «Общественные здания и сооружения».

32.СП 13-102-2003 «Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений».

33.СП 16.13330.2011 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*».

34.СП 2.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты».

35.СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80».

36.Строительные материалы: учебно–справочное пособие / Г.А. Айрапетов [и др.]; под ред. Г.В. Несветаева. – Изд. 4-е, перераб и доп. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 699 с.

37.Федеральный закон Технический регламент о безопасности зданий и сооружений № 384–ФЗ от 30.12.2009.

38.Федеральный закон Технический регламент о требованиях пожарной безопасности № 123–ФЗ от 22.07.2008 (в ред. 10.07.2012).

39.Фёдоров, В.С. Противопожарная защита зданий. Конструктивные и планировочные решения:уч. пособие / В.С. Фёдоров, В.И. Колчунов, В.Е. Левитский. – М.:Изд–во АСВ, 2012. – 176 с.

40.Шелегов, В.Г. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре: пособ. по изучению дисциплины. Альбом схем /В.Г. Шелегов, А.Н. Кузнецов — Иркутск: Восточно–Сибирский институт МВД России, 2000.— 122 с.

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

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

Учебное пособие для студентов направления
20.05.01 «Пожарная безопасность» всех форм обучения

Составитель:

Попова Екатерина Андреевна