

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ СТРОИТЕЛЬСТВА И ПРИРОДООБУСТРОЙСТВА**

А. В. Ижендеев

**ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ
ОТ ПОЖАРОВ**

*Учебное пособие по дисциплине «Защита зданий от пожаров»
для студентов направления
280700.62 (20.03.01) «Техносферная безопасность»*

**Благовещенск
Издательство ДальГАУ
2015**

Ижендеев, А. В. Защита металлических конструкций зданий от пожаров: Учебное пособие / А. В. Ижендеев. – Благовещенск : ДальГАУ, 2015. – 71 с.

В учебном пособии приведены краткие теоретические сведения, принимаемые во внимание при защите металлических конструкций зданий от пожаров, пример реализации такой защиты, задание к курсовому проекту по дисциплине «Защита зданий от пожаров», контрольные вопросы для проверки степени усвоения материала.

Предназначено для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению 280700.62 (20.03.01) «Техносферная безопасность».

Рецензент – А. И. Туров, канд. техн. наук, доцент кафедры строительного производства и инженерных конструкций ДальГАУ.

Печатается в соответствии с решением методического совета факультета строительства и природообустройства (Протокол № 2 от 28 октября 2014 года).

Издательство ДальГАУ

2015

ВВЕДЕНИЕ

Согласно федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 280700.62 (20.03.01) «Техносферная безопасность» студент должен:

Знать: основы проектирования технических объектов;

Уметь: идентифицировать основные опасности среды обитания человека, оценивать риск их реализации, выбирать методы защиты от опасностей и способы обеспечения комфортных условий жизнедеятельности;

Владеть: методами обеспечения безопасности среды обитания.

Выработать у студента эти знания, умения и навыки можно (в том числе) в рамках дисциплины «Защита зданий от пожаров».

В данной работе приводятся краткие теоретические сведения, которые принимают во внимание при защите металлических конструкций зданий от пожаров, подробный пример реализации такой защиты, задание к курсовому проекту по дисциплине «Защита зданий от пожаров», контрольные вопросы для проверки степени усвоения материала.

Оформление курсового проекта (пояснительной записки, листа чертежей) необходимо выполнять в соответствии с государственными стандартами и стандартами ДальГАУ.

При освоении дисциплины «Защита зданий от пожаров» студентам рекомендуется использовать фонды библиотек, информационные системы (например, «СтройКонсультант»), ресурсы сети Интернет.

При этом следует отслеживать актуальность нормативных актов и современные тенденции в области защиты зданий от пожаров, проявляющиеся и в России, и в других странах.

1 ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ. ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬ- НЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ПРЕГРАД, ЛЕСТНИЦ И ЛЕСТНИЧНЫХ КЛЕТОК, ЗДАНИЙ, СООРУЖЕ- НИЙ И ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ

1.1 Пожарная опасность строительных материалов

Пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства (статья 1 главы 1 [24]).

В таблице 1.1 приведен перечень показателей, необходимых для оценки пожарной опасности строительных материалов (таблица 27 приложения [25]).
Таблица 1.1 – Перечень показателей, необходимых для оценки пожарной опасности строительных материалов

Назначение строи- тельных материалов	Перечень необходимых показателей в зависимости от назначения строительных материалов				
	группа го- рючести	группа рас- простране- ния пламени	группа вос- пламеняе- мости	группа по дымообразу- ющей спо- собности	группа по токсичности продуктов горения
Материалы для отдел- ки стен и потолков, в том числе покрытия из красок, эмалей, ла- ков	+	—	+	+	+
Материалы для по- крытия полов, в том числе ковровые	—	+	+	+	+
Кровельные материа- лы	+	+	+	—	—
Гидроизоляционные и пароизоляционные материалы толщиной более 0,2 миллиметра	+	—	+	—	—
Теплоизоляционные материалы	+	—	+	+	+

В таблице 1.2 приведены классы пожарной опасности строительных ма-
териалов (таблица 3 приложения [25]).

Таблица 1.2 – Классы пожарной опасности строительных материалов

Свойства пожарной опасности строительных материалов	Класс пожарной опасности строительных материалов 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

Классификация строительных, текстильных и кожевенных материалов по пожарной опасности приведена в статье 13 главы 3 раздела I [25], а в таблице 2 приложения [25] приведена классификация горючих строительных материалов по значению показателя токсичности продуктов горения.

1.2 Пожарно-техническая классификация строительных конструкций, противопожарных преград, лестниц и лестничных клеток

Огнестойкость строительной конструкции – способность строительной конструкции сохранять несущие и (или) ограждающие функции в условиях пожара (подраздел 3.1 [18]).

Предел огнестойкости конструкции (заполнения проемов противопожарных преград) – промежуток времени от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного из нормированных для данной конструкции (заполнения проемов противопожарных преград) предельных состояний (пункт 31 статьи 2 главы 1 раздела I [25]).

Поясним, что противопожарная преграда – строительная конструкция с нормированными пределом огнестойкости и классом конструктивной пожарной опасности конструкции, объемный элемент здания или иное инженерное решение, предназначенные для предотвращения распространения пожара из

одной части здания, сооружения в другую или между зданиями, сооружениями, зелеными насаждениями (пункт 35 статьи 2 главы 1 раздела I [25]).

Противопожарные преграды в зависимости от способа предотвращения распространения опасных факторов пожара подразделяются на следующие типы (часть 1 статьи 37 главы 10 раздела I [25]):

- 1) противопожарные стены;
- 2) противопожарные перегородки;
- 3) противопожарные перекрытия;
- 4) противопожарные разрывы;
- 5) противопожарные занавесы, шторы и экраны;
- 6) противопожарные водяные завесы;
- 7) противопожарные минерализованные полосы.

В процессе испытания на огнестойкость в испытательных печах должен быть создан стандартный температурный режим, характеризуемый зависимостью (подраздел 6.1 [5])

$$T - T_0 = 345 \lg(8t + 1),$$

где T – температура в печи, соответствующая времени t , °C; T_0 – температура в печи до начала теплового воздействия (принимается равной температуре окружающей среды), °C; t – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

Температуры, соответствующие приведенной выше зависимости, а также допускаемые отклонения H от них средних измеренных температур сведены в таблице 1.3 (таблица 1 подраздела 6.2 [5]).

Наступление пределов огнестойкости несущих и ограждающих строительных конструкций в условиях стандартных испытаний или в результате расчетов устанавливается по времени достижения одного или последовательно нескольких из следующих признаков предельных состояний (часть 2 статьи 35 главы 10 раздела I [25] и подраздел 9.1 [5]):

- 1) потеря несущей способности, R , вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций;

2) потеря целостности, E , в результате образования в конструкциях сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя;

3) потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных значений, I , или достижения предельной величины плотности теплового потока на нормируемом расстоянии от необогреваемой поверхности конструкции (W).

Таблица 1.3 – Температуры стандартного температурного режима при испытании на огнестойкость и допускаемые отклонения от них средних измеренных температур

t , мин	$T - T_0$, °C	Допускаемое значение отклонения H , %
5	556	±15
10	659	
15	718	±10
30	821	
45	875	±5
60	925	
90	986	
120	1029	
150	1060	
180	1090	
240	1133	
360	1193	

Стандарт [6] уточняет признаки предельных состояний.

Для изгибаемых конструкций следует считать, что предельное состояние наступило, если (часть 1 приложения А [6]):

- прогиб достиг величины $L/20$ или
- скорость нарастания деформаций достигла

$$L^2 / (9000h) \text{ см/мин,}$$

где L – пролет, см; h – расчетная высота сечения конструкции, см.

Для вертикальных конструкций предельным состоянием следует считать условие, когда вертикальная деформация достигает $L/100$ или скорость нарастания вертикальных деформаций достигает 10 мм/мин для образцов высотой $(3 \pm 0,5)$ м (часть 2 приложения А [6]).

Потеря теплоизолирующей способности (I) вследствие 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 испытания (пункт 8.1.2 [6]).

Потеря целостности (E) в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя. В процессе испытания потерю целостности определяют при помощи тампона из хлопка или натуральной ваты, который помещают в металлическую рамку с держателем и подносят к местам, где ожидается проникновение пламени или продуктов горения, и в течение 10 с держат на расстоянии 20-25 мм от поверхности образца. Время от начала испытания до воспламенения или возникновения тления со свечением тампона является пределом огнестойкости конструкции по признаку потери целостности. Обугливание тампона, происходящее без воспламенения или без тления со свечением, не учитывают (пункт 8.1.3 [6]).

Предел огнестойкости для заполнения проемов в противопожарных преградах наступает при потере целостности (E), теплоизолирующей способности (I), достижении предельной величины плотности теплового потока (W) и (или) дымогазонепроницаемости (S) (часть 3 статьи 35 главы 10 раздела I [25]).

Строительные конструкции зданий и сооружений в зависимости от их способности сопротивляться воздействию пожара и распространению его опасных факторов в условиях стандартных испытаний подразделяются на строительные конструкции со следующими пределами огнестойкости (часть 1 статьи 35 главы 10 раздела I [25]):

- 1) ненормируемый;
- 2) не менее 15 минут;
- 3) не менее 30 минут;
- 4) не менее 45 минут;
- 5) не менее 60 минут;

- 6) не менее 90 минут;
- 7) не менее 120 минут;
- 8) не менее 150 минут;
- 9) не менее 180 минут;
- 10) не менее 240 минут;
- 11) не менее 360 минут.

Требования безопасности считаются выполненными, если [10, с. 68]

$$P_{\phi} \geq P_{\text{тр}},$$

где P_{ϕ} – фактический предел огнестойкости конструкции; $P_{\text{тр}}$ – требуемый предел огнестойкости конструкции, устанавливаемый условиями безопасности или нормами.

В таблице 1.4 приведены пределы огнестойкости противопожарных преград (таблица 23 приложения [25]).

Таблица 1.4 – Пределы огнестойкости противопожарных преград

Наименование противопожарных преград	Тип противопожарных преград	Предел огнестойкости противопожарных преград	Тип заполнения проемов в противопожарных преградах	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 более 25 процентов	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

В таблице 1.5 приведены пределы огнестойкости заполнения проемов в противопожарных преградах (таблица 24 приложения [25]).

Таблица 1.5 – Пределы огнестойкости заполнения проемов в противопожарных преградах

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

В таблице 1.6 приведены требования к элементам тамбур-шлюза (таблица 25 приложения [25]).

Таблица 1.6 – Требования к элементам тамбур-шлюза

Тип тамбур-шлюза	Типы элементов тамбур-шлюза		
	Перегородки	Перекрытия	Заполнение проемов
1	1	3	2
2	2	4	3

Строительные конструкции по пожарной опасности подразделяются на следующие классы (часть 1 статьи 36 главы 10 раздела I [25]):

- 1) непожароопасные (K0);

- 2) малопожароопасные (К1);
- 3) умереннопожароопасные (К2);
- 4) пожароопасные (К3).

В таблице 1.7 представлен порядок определения класса пожарной опасности строительных конструкций (таблица 6 приложения [25]). Знак "+" в этой таблице обозначает, что при отсутствии теплового эффекта не регламентируется.

Таблица 1.7 – Порядок определения класса пожарной опасности строительных конструкций

Класс пожарной опасности конструкций	Допускаемый размер повреждения конструкций, сантиметры		Наличие		Допускаемые характеристики пожарной опасности поврежденного материала		
	вертикальных	горизонтальных	теплого эффекта	горения	Группа		
					горючести	воспламеняемости	дымообразующей способности
К0	0	0	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует	отсутствует
К1	не более 40	не более 25	не регламентируется	отсутствует	не выше Г2+	не выше В2+	не выше Д2+
К2	более 40, но не более 80	более 25, но не более 50	не регламентируется	отсутствует	не выше Г3+	не выше В3+	не выше Д2+
К3	не регламентируется						

Огнестойкость и класс пожарной опасности строительных конструкций должны обеспечиваться за счет их конструктивных решений, применения соответствующих строительных материалов, а также использования средств огнезащиты (часть 1 статьи 58 главы 14 раздела I [25]).

Лестницы, предназначенные для эвакуации людей из зданий и сооружений при пожаре, подразделяются на следующие типы (часть 1 статьи 39 главы 11 раздела I [25]):

- 1) внутренние лестницы, размещаемые на лестничных клетках;

- 2) внутренние открытые лестницы;
- 3) наружные открытые лестницы.

Пожарные лестницы, предназначенные для обеспечения тушения пожара и проведения аварийно-спасательных работ, подразделяются на следующие типы (часть 2 статьи 39 главы 11 раздела I [25]):

- 1) П1 – вертикальные лестницы;
- 2) П2 – маршевые лестницы с уклоном не более 6:1.

На рисунке 1.1 изображены пожарные лестницы [10, с. 67]: а – тип П1; б – тип П2.

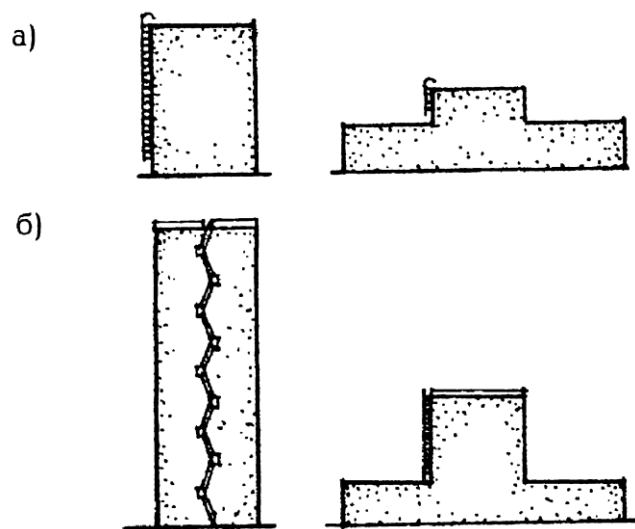


Рисунок 1.1 – Пожарные лестницы

Лестничные клетки в зависимости от степени их защиты от задымления при пожаре подразделяются на следующие типы (часть 1 статьи 40 главы 11 раздела I [25]):

- 1) обычные лестничные клетки;
- 2) незадымляемые лестничные клетки.

Обычные лестничные клетки в зависимости от способа освещения подразделяются на следующие типы (часть 2 статьи 40 главы 11 раздела I [25]):

- 1) Л1 – лестничные клетки с естественным освещением через остекленные или открытые проемы в наружных стенах на каждом этаже;
- 2) Л2 – лестничные клетки с естественным освещением через остекленные или открытые проемы в покрытии.

Незадымляемые лестничные клетки в зависимости от способа защиты от задымления при пожаре подразделяются на следующие типы (часть 3 статьи 40 главы 11 раздела I [25]):

- 1) Н1 – лестничные клетки с входом на лестничную клетку с этажа через незадымляемую наружную воздушную зону по открытым переходам;
- 2) Н2 – лестничные клетки с подпором воздуха на лестничную клетку при пожаре;
- 3) Н3 – лестничные клетки с входом на них на каждом этаже через тамбур-шлюз, в котором постоянно или во время пожара обеспечивается подпор воздуха.

На рисунке 1.2 изображены обычные и незадымляемые лестничные клетки [10, с. 65]: а – тип Л1; б – тип Л2; в – тип Н1; г – тип Н2; д – тип Н3.

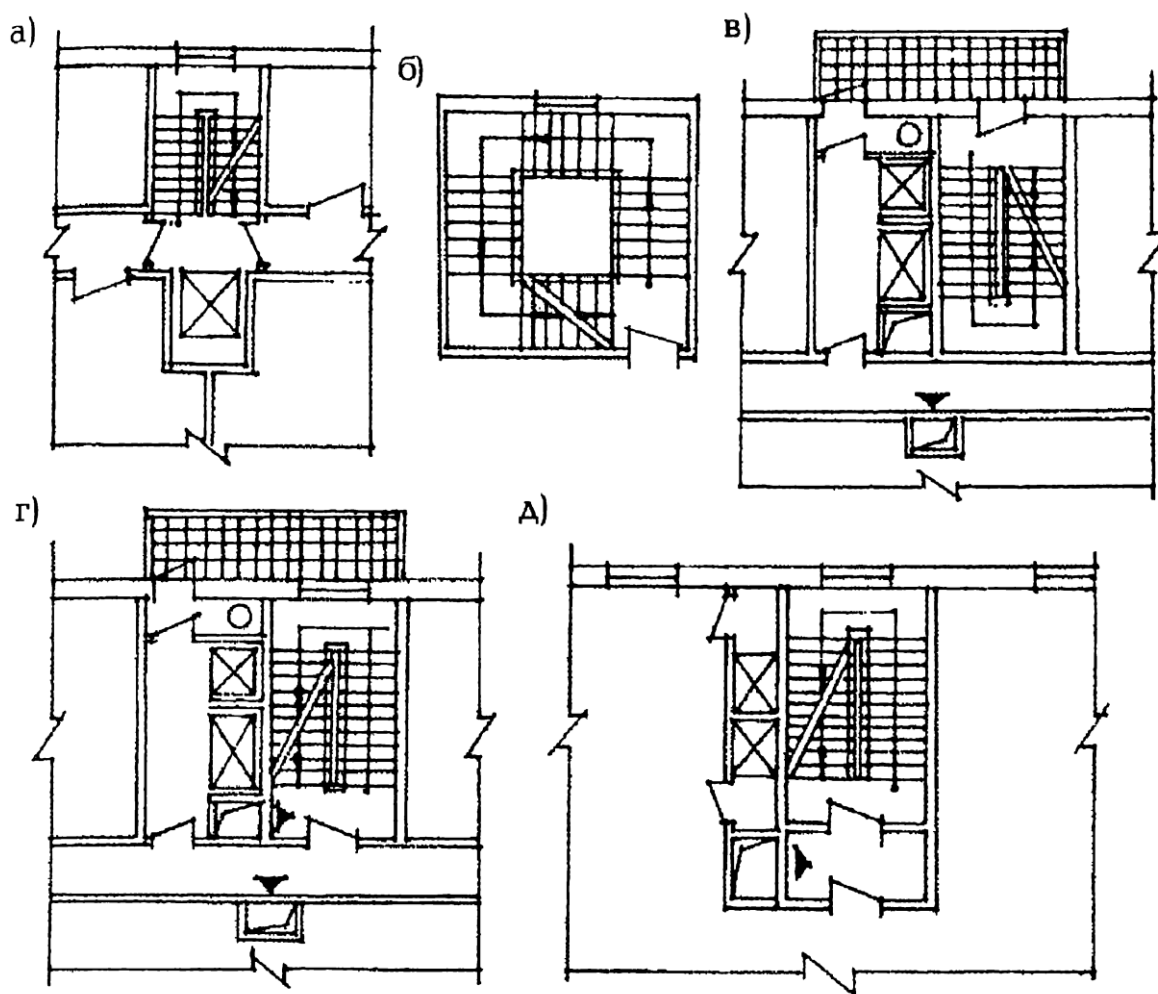


Рисунок 1.2 – Лестничные клетки

1.3 Пожарно-техническая классификация зданий, сооружений и пожарных отсеков

Классификация зданий, сооружений и пожарных отсеков осуществляется с учетом следующих критериев (статья 29 главы 9 раздела I [25]):

- 1) степень огнестойкости;
- 2) класс конструктивной пожарной опасности;
- 3) класс функциональной пожарной опасности.

Поясним, что пожарный отсек – часть здания и сооружения, выделенная противопожарными стенами и противопожарными перекрытиями или покрытиями, с пределами огнестойкости конструкции, обеспечивающими нераспространение пожара за границы пожарного отсека в течение всей продолжительности пожара (пункт 27 статьи 2 главы 1 раздела I [25]).

Класс функциональной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков – классификационная характеристика зданий, сооружений и пожарных отсеков, определяемая назначением и особенностями эксплуатации указанных зданий, сооружений и пожарных отсеков, в том числе особенностями осуществления в указанных зданиях, сооружениях и пожарных отсеках технологических процессов производства (пункт 12 статьи 2 главы 1 раздела I [25]).

Здания (сооружения, пожарные отсеки и части зданий, сооружений – помещения или группы помещений, функционально связанные между собой) по классу функциональной пожарной опасности в зависимости от их назначения, а также от возраста, физического состояния и количества людей, находящихся в здании, сооружении, возможности пребывания их в состоянии сна подразделяются на (часть 1 статьи 32 главы 9 раздела I [25]):

1) Ф1 – здания, предназначенные для постоянного проживания и временного пребывания людей, в том числе:

а) Ф1.1 – здания дошкольных образовательных организаций, специализированных домов престарелых и инвалидов (неквартирные), больницы, спальные

корпуса образовательных организаций с наличием интерната и детских организаций;

б) Ф1.2 – гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов;

в) Ф1.3 – многоквартирные жилые дома;

г) Ф1.4 – многоквартирные жилые дома, в том числе блокированные;

2) Ф2 – здания зрелищных и культурно-просветительных учреждений, в том числе:

а) Ф2.1 – театры, кинотеатры, концертные залы, клубы, цирки, спортивные сооружения с трибунами, библиотеки и другие учреждения с расчетным числом посадочных мест для посетителей в закрытых помещениях;

б) Ф2.2 – музеи, выставки, танцевальные залы и другие подобные учреждения в закрытых помещениях;

в) Ф2.3 – здания учреждений, указанные в подпункте "а" настоящего пункта, на открытом воздухе;

г) Ф2.4 – здания учреждений, указанные в подпункте "б" настоящего пункта, на открытом воздухе;

3) Ф3 – здания организаций по обслуживанию населения, в том числе:

а) Ф3.1 – здания организаций торговли;

б) Ф3.2 – здания организаций общественного питания;

в) Ф3.3 – вокзалы;

г) Ф3.4 – поликлиники и амбулатории;

д) Ф3.5 – помещения для посетителей организаций бытового и коммунального обслуживания с нерасчетным числом посадочных мест для посетителей;

е) Ф3.6 – физкультурно-оздоровительные комплексы и спортивно-тренировочные учреждения с помещениями без трибун для зрителей, бытовые помещения, бани;

4) Ф4 – здания образовательных организаций, научных и проектных организаций, органов управления учреждений, в том числе:

а) Ф4.1 – здания общеобразовательных организаций, организаций дополнительного образования детей, профессиональных образовательных организаций;

б) Ф4.2 – здания образовательных организаций высшего образования, организаций дополнительного профессионального образования;

в) Ф4.3 – здания органов управления учреждений, проектно-конструкторских организаций, информационных и редакционно-издательских организаций, научных организаций, банков, контор, офисов;

г) Ф4.4 – здания пожарных депо;

5) Ф5 – здания производственного или складского назначения, в том числе:

а) Ф5.1 – производственные здания, сооружения, производственные и лабораторные помещения, мастерские;

б) Ф5.2 – складские здания, сооружения, стоянки для автомобилей без технического обслуживания и ремонта, книгохранилища, архивы, складские помещения;

в) Ф5.3 – здания сельскохозяйственного назначения.

Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков – классификационная характеристика зданий, сооружений и пожарных отсеков, определяемая пределами огнестойкости конструкций, применяемых для строительства указанных зданий, сооружений и отсеков (пункт 44 статьи 2 главы 1 раздела I [25]).

Здания, сооружения и пожарные отсеки по степени огнестойкости подразделяются на здания, сооружения и пожарные отсеки I, II, III, IV и V степеней огнестойкости (часть 1 статьи 30 главы 9 раздела I [25]).

В таблице 1.8 приведено соответствие степени огнестойкости и предела огнестойкости строительных конструкций зданий, сооружений и пожарных отсеков (таблица 21 приложения [25]).

Таблица 1.8 – Соответствие степени огнестойкости и предела огнестойкости строительных конструкций зданий, сооружений и пожарных отсеков

Степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие стены, колонны и другие несущие элементы	Наружные не-несущие стены	Перекрытия междуэтажные (в том числе чердачные и над подвалами)	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы (в том числе с утеплителем)	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется	не нормируется

Класс конструктивной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков – классификационная характеристика зданий, сооружений и пожарных отсеков, определяемая степенью участия строительных конструкций в развитии пожара и образовании опасных факторов пожара (пункт 11 статьи 2 главы 1 раздела I [25]).

Здания, сооружения и пожарные отсеки по конструктивной пожарной опасности подразделяются на классы C0, C1, C2 и C3 (часть 1 статьи 31 главы 9 раздела I [25]).

В таблице 1.9 представлено соответствие класса конструктивной пожарной опасности и класса пожарной опасности строительных конструкций зданий, сооружений и пожарных отсеков (таблица 22 приложения [25]).

Таблица 1.9 – Соответствие класса конструктивной пожарной опасности и класса пожарной опасности строительных конструкций зданий, сооружений и пожарных отсеков

Класс конструктивной пожарной опасности здания	Класс пожарной опасности строительных конструкций				
	Несущие стержневые элементы (колонны, ригели, фермы)	Наружные стены с внешней стороны	Стены, перегородки, перекрытия и бесчердачные покрытия	Стены лестничных клеток и противопожарные преграды	Марши и площадки лестниц в лестничных клетках
C0	K0	K0	K0	K0	K0
C1	K1	K2	K1	K0	K0
C2	K3	K3	K2	K1	K1
C3	не нормируется	не нормируется	не нормируется	K1	K3

В зданиях и сооружениях должны применяться основные строительные конструкции с пределами огнестойкости и классами пожарной опасности, соответствующими требуемым степени огнестойкости зданий, сооружений и классу их конструктивной пожарной опасности (часть 1 статьи 57 главы 14 раздела I [25]).

В таблице 1.10 представлена область применения декоративно-отделочных, облицовочных материалов и покрытий полов на путях эвакуации (таблица 28 приложения [25]).

В таблице 1.11 представлена область применения декоративно-отделочных, облицовочных материалов и покрытий полов в зальных помещениях, за исключением покрытий полов спортивных арен спортивных сооружений и полов танцевальных залов (таблица 29 приложения [25]).

Должна обеспечиваться устойчивость объекта защиты при пожаре – свойство объекта защиты сохранять конструктивную целостность и (или) функциональное назначение при воздействии опасных факторов пожара и вторичных проявлений опасных факторов пожара (пункт 47 статьи 2 главы 1 раздела I [25]).

Таблица 1.10 – Область применения декоративно-отделочных, облицовочных материалов и покрытий полов на путях эвакуации

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; Ф1.3; Ф2.3; Ф2.4; Ф3.1; Ф3.2; Ф3.6; Ф4.2; Ф4.3; Ф4.4; Ф5.1; Ф5.2; Ф5.3	не более 9 этажей или не более 28 метров	КМ2	КМ3	КМ3	КМ4
	более 9, но не более 17 этажей или более 28, но не более 50 метров	КМ1	КМ2	КМ2	КМ3
	более 17 этажей или более 50 метров	КМ0	КМ1	КМ1	КМ2
Ф1.1; Ф2.1; Ф2.2; Ф3.3; Ф3.4; Ф3.5; Ф4.1	вне зависимости от этажности и высоты	КМ0	КМ1	КМ1	КМ2

Таблица 1.11 – Область применения декоративно-отделочных, облицовочных материалов и покрытий полов в зальных помещениях, за исключением покрытий полов спортивных арен спортивных сооружений и полов танцевальных залов

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 не более 800	КМ1	КМ2
	более 50, но не более 300	КМ2	КМ3
	не более 50	КМ3	КМ4
Ф1.1; Ф2.1; Ф2.2; Ф3.3; Ф3.4; Ф3.5; Ф4.1	более 300	КМ0	КМ2
	более 15, но не более 300	КМ1	КМ2
	не более 15	КМ3	КМ4

1.4 Контрольные вопросы

1. Поясните понятие «пожар».
2. Поясните понятие «степень огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков».
3. Приведите классификацию зданий, сооружений и пожарных отсеков по функциональной пожарной опасности.
4. Приведите критерий потери несущей способности (R) вертикальных конструкций при их испытании на огнестойкость.
5. Поясните понятие «пожарная лестница типа П1».
6. Поясните понятие «лестничная клетка типа Н1».
7. Поясните понятие «класс конструктивной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков».
8. Поясните понятие «устойчивость объекта защиты при пожаре».
9. Приведите классификацию строительных конструкций зданий и сооружений по пределу огнестойкости.
10. Приведите критерий потери несущей способности (R) изгибаемых конструкций при их испытании на огнестойкость.
11. Поясните понятие «пожарная лестница типа П2».
12. Поясните понятие «лестничная клетка типа Н2».
13. Поясните понятие «класс функциональной пожарной опасности зданий, сооружений и пожарных отсеков».
14. Приведите классификацию зданий, сооружений и пожарных отсеков по степени огнестойкости.
15. Перечислите признаки предельных состояний для цели определения предела огнестойкости строительной конструкции.
16. Приведите критерий потери целостности конструкций (E) при их испытании на огнестойкость.
17. Поясните понятие «лестничная клетка типа Л1».
18. Поясните понятие «лестничная клетка типа Н3».

19. Поясните понятие «предел огнестойкости конструкции (заполнения проемов противопожарных преград)».

20. Приведите классификацию зданий, сооружений и пожарных отсеков по конструктивной пожарной опасности.

21. Приведите классификацию строительных конструкций по пожарной опасности.

22. Приведите критерий потери теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных значений (I) при ее испытании на огнестойкость.

23. Поясните понятие «лестничная клетка типа Л2».

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

2.1 Факторы, определяющие поведение строительных конструкций в условиях пожара

Факторы, определяющие поведение строительных конструкций в условиях пожара [10, с. 69; 12, с. 9]: распределение нагрузки, ее величина и условия опирания конструкций; вид и количество сгораемых веществ и материалов; пожарная нагрузка; объемно-планировочные и конструктивные решения, расположение пожарной нагрузки, условия пожара; теплота пожара; тепловая нагрузка; температурный режим; теплофизические и физико-механические характеристики материалов, из которых выполнены строительные конструкции; условия нагрева и способы сочленения конструкций.

Образцы несущих и самонесущих конструкций должны испытываться под нагрузкой. Распределение нагрузки и условия опирания образцов должны соответствовать расчетным схемам, принятым в технической документации (пункт 7.2.1 [6]).

Испытательную нагрузку устанавливают из условия создания в расчетных сечениях образцов конструкций напряжений, соответствующих их проектным значениям или технической документации (пункт 7.2.1 [6]).

При определении проектных значений напряжений следует учитывать только постоянные и временные длительные нагрузки в их расчетных значениях с коэффициентом надежности, равным 1 (пункт 7.2.3 [6]).

Пожарная нагрузка – количество теплоты, которое может выделяться в помещение при пожаре (подраздел 3.12 [19]).

Удельная пожарная нагрузка – количество теплоты, которое может выделяться в помещение при пожаре, отнесенное к площади размещения находя-

щихся в помещении горючих и трудногорючих веществ и материалов (подраздел 3.15 [19]).

Пожарная нагрузка в помещении складывается из постоянной и временной пожарных нагрузок [10, с. 71].

Постоянная пожарная нагрузка является частью пожарной нагрузки, создаваемой горючими и трудногорючими веществами и материалами, входящими в состав строительных конструкций, узлов крепления и сопряжений, а также отделочных и облицовочных материалов [10, с. 71].

Временная пожарная нагрузка является частью пожарной нагрузки, создаваемой горючими и трудногорючими веществами и материалами, входящими в состав сырья, оборудования, мебели, изделий и т. п., находящихся в помещении, или, которые могут поступать в него [10, с. 71].

При пожарной нагрузке, включающей в себя различные сочетания (смесь) горючих, трудногорючих жидкостей, твердых горючих и трудногорючих веществ и материалов в пределах пожароопасного участка, пожарная нагрузка Q , МДж, определяется по формуле 21 раздела 25 [11]:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_{Hi}^p,$$

где G_i – количество i -го материала пожарной нагрузки, кг; Q_{Hi}^p – низшая теплота сгорания i -го материала пожарной нагрузки, МДж·кг⁻¹; n – количество различных материалов пожарной нагрузки.

Теплота пожара – количество тепла, выделяющееся в зоне горения в единицу времени [2, с. 4]:

$$q_{\Pi} = v_m^{abc} Q_H \beta,$$

где v_m^{abc} – массовая скорость выгорания абсолютная (масса горючего вещества, сгорающая в единицу времени); Q_H – низшая теплота сгорания материала; β – коэффициент полноты сгорания (0,75-0,9).

Тепло, выделяемое при пожаре, частично уносится с продуктами горения, а частично аккумулируется строительными конструкциями. Количество тепла,

которое аккумулируется строительными конструкциями при пожаре поверхностью площади равной 1 м^2 , принято называть тепловой нагрузкой [12, с. 9].

Температурный режим пожара – это изменение среднеобъемной температуры среды при пожаре в зависимости от времени его развития [14, с. 14].

При одной и той же пожарной нагрузке возможны различные варианты развития пожара и каждому варианту будет соответствовать своя температурно-временная зависимость [10, с. 72-73].

Например, в случае большого количества проемов температура в помещении достигает своей максимальной величины $t_{1\max}$ в течение короткого промежутка времени $\tau_{1\max}$ (стадия развития пожара). При этом снижение температуры на стадии затухания τ_{13} происходит также с большой скоростью. Продолжительность таких пожаров τ_1 небольшая. Малое количество проемов в ограждающих конструкциях способствует увеличению времени развития $\tau_{2\max}$ и затухания пожара τ_{23} , а значение максимальной температуры $t_{2\max}$ ниже, чем в первом случае. Это описанное иллюстрируется рисунком 2.1 [10, с. 73].

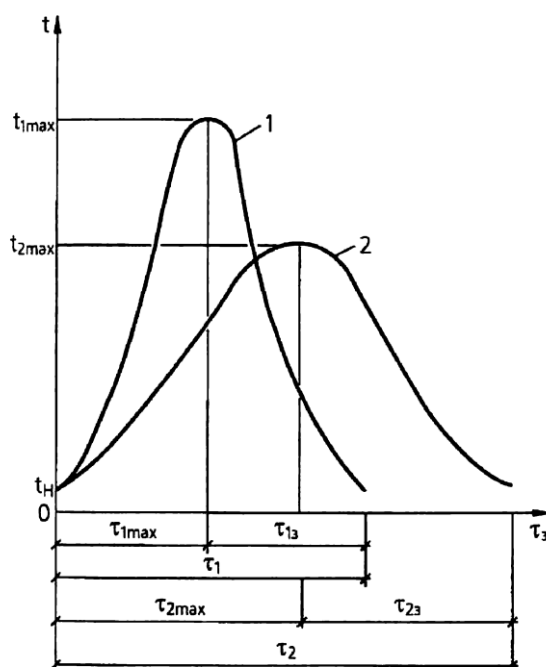


Рисунок 2.1 – Температурные режимы пожара в помещении: 1 – с большой проемностью в ограждающих конструкциях; 2 – с малой проемностью в ограждающих конструкциях

Степень повреждения конструкций в условиях пожара зависит не только от температуры пожара, но и от времени его развития и затухания. В случае малого промежутка времени в пределах стадии развития пожара строительные конструкции не всегда успевают прогреться до значения критических температур, при достижении которых они перестают удовлетворять требованиям противопожарных норм. Увеличение этого времени может способствовать достижению конструкцией своего предела огнестойкости. Необходимо отметить, что «отказ» железобетонных конструкций, находящихся в условиях пожара, может произойти не только на стадии его развития, но и на стадии затухания. Поэтому время, в течении которого происходит затухание пожара, также влияет на поведение строительных конструкций [10, с. 74-75].

Кривые изменения среднеобъемной температуры в помещении, где произошёл пожар, в зависимости от вида пожарной нагрузки, показаны на рисунке 2.2 [3].

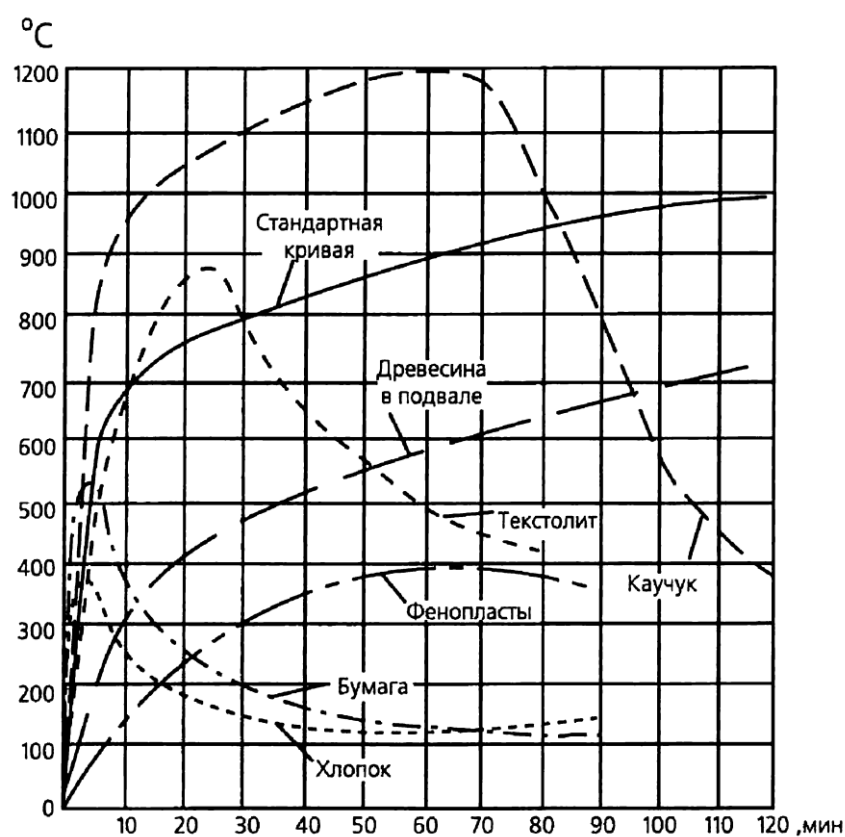


Рисунок 2.2 – Кривые изменения среднеобъемной температуры в помещении при пожаре в зависимости от вида пожарной нагрузки

2.2 Общие принципы расчета предела огнестойкости строительных конструкций

Суть расчета предела огнестойкости строительных конструкций заключается в определении времени, по истечении которого в условиях высокотемпературного воздействия при пожаре наступает одно из предельных состояний [10, с. 96].

Расчет предела огнестойкости строительных конструкций состоит из двух частей: теплотехнической и статической (прочностной) [10, с. 96].

Теплотехническая часть имеет целью определить температурное поле в расчетном сечении конструкции при действии на конструкцию температурного режима пожара. Решение теплотехнической части позволяет определить предел огнестойкости из условия наступления предельного состояния по теплоизолирующей способности, что характерно для ограждающих конструкций [10, с. 96-97].

Между нагретой при пожаре средой помещения и строительными конструкциями возникает процесс теплообмена и эти конструкции начинают прогреваться. Сначала прогреваются поверхностные слои конструкций, затем постепенно процесс прогрева распространяется вглубь сечений конструкций, т. е. температурное поле конструкций зданий и сооружений при пожаре изменяется не только в пространстве, но и во времени (является функцией времени). Тепловые процессы, протекающие в таких условиях, называются нестационарными [14, с. 19].

В статической части вычисляют несущую способность конструкции, нагреваемой при пожаре, с учетом изменения свойств материалов при высоких температурах. В общем случае схема расчета предела огнестойкости конструкции по потере ее несущей способности показана на рисунке 2.3 [10, с. 97].

На рисунке 2.3 по оси абсцисс отложено время τ нагрева конструкции, а по оси ординат несущая способность конструкции $\Phi_{tem} = N_{p,tem}(M_{p,tem})$ и величины внутренних силовых факторов в виде действующего усилия N_n (растяже-

ния, сжатия) или изгибающего момента M_n от действия нормативной нагрузки [10, с. 97].



Рисунок 2.3 – Общая схема расчета предела огнестойкости конструкции по потере ее несущей способности

Предел огнестойкости определяется при выполнении равенства (формула 2.36 [10, с. 97])

$$N_n(M_n) = \Phi_{tem}.$$

Для построения графика, изображенного на рисунке 2.3, выполняется следующая последовательность расчета [10, с. 97-98]:

- задаются отдельными моментами времени нагрева конструкции ($\tau_1, \tau_2, \dots$);
- для заданных моментов времени теплотехническим расчетом определяют температуру в расчетном сечении конструкции;
- статическим расчетом для этих же моментов времени определяют несущую способность ($\Phi_{tem1}, \Phi_{tem2}, \dots$) конструкции с учетом изменения механических характеристик материала;

- по заданным и вычисленным значениям строится график « $\tau - \Phi_{tem}$ » снижения несущей способности конструкции во времени.

Расчет предела огнестойкости строительных конструкций выполняется с учетом следующих допущений [10, с. 98]:

- расчету подвергается отдельно взятая конструкция или конструктивный элемент без учета связи с другими конструкциями, т. е. не учитывается совместная работа конструкций здания или сооружения;

- конструктивные элементы в условиях действия температурного режима, представленного в виде зависимости среднеобъемной температуры от времени, нагреваются одинаково по всей длине или высоте;

- утечками тепла по торцам конструкции пренебрегают;

- температурные напряжения в конструкции, появляющиеся в результате ее неравномерного прогрева и в силу изменения упругопластических свойств материала, не учитываются.

Для расчета предела огнестойкости металлических и железобетонных конструкций (вертикальных и горизонтальных плоских, а также изгибаемых стержневых элементов), отказ которых при пожаре наступает из-за потери несущей способности расчетного сечения (металлическая конструкция) или рабочей растянутой арматуры (железобетонная конструкция), используются методы решения статической задачи, позволяющие определить значения критической температуры t_{cr} . Определив критическую температуру, выполняют теплотехническую часть расчета по определению времени (предела огнестойкости) прогрева до значения t_{cr} [10, с. 104].

Статическая задача в этом случае может решаться без построения вспомогательных графиков и касается определения значения температуры для предельного состояния конструкции при пожаре [10, с. 104].

В отличие от металлических и железобетонных конструкций решение статической задачи по определению предела огнестойкости несущих деревянных конструкций сводится к определению предельной глубины обугливания древесины. При достижении глубины обугливания своего предельного значе-

ния напряжения в расчетном сечении деревянной конструкции становятся равными нормируемому пределу прочности древесины (расчетному сопротивлению по определению предела огнестойкости деревянных конструкций), что приводит к наступлению предельного состояния по несущей способности конструкции при пожаре [10, с. 104].

2.3 Расчетные схемы определения предела огнестойкости строительных конструкций

Возможность расчетной оценки времени наступления предельных состояний по огнестойкости можно представить в виде трех основных схем, приведенных на рисунке 2.4 [10, с. 99].

Расчетная схема 1 используется для оценки предела огнестойкости по потере теплоизолирующей способности вертикальных и горизонтальных ограждающих конструкций (перегородки, плиты перекрытий, внутренние стены). Согласно данной схемы предел огнестойкости конструкции наступит в момент времени, когда при заданных условиях высокотемпературного воздействия и теплофизических характеристиках материала температура на необогреваемой поверхности станет равной допустимому значению [10, с. 99-100].

Расчетная схема 2 используется для расчета предела огнестойкости незащищенных и защищенных металлических конструкций, а также железобетонных изгибаемых конструкций. При этом решается задача по определению времени, по истечении которого на поверхности металлических конструкций или рабочей арматуры железобетонных конструкций установится критическая температура t_{cr} . Под критической температурой понимается температура конструкции или ее элемента, при достижении которой наступает предельное состояние по несущей способности [10, с. 100].

Расчетная схема 3 используется для определения предела огнестойкости строительной конструкции по критической площади ее сечений. Существуют конструкции, предельное состояние которых при пожаре наступает в результа-

те потери их несущей способности из-за уменьшения размеров расчетного сечения. К таким конструкциям относятся, в частности, деревянные конструкции, размеры сечений которых уменьшаются в результате обугливания древесины [10, с. 100].

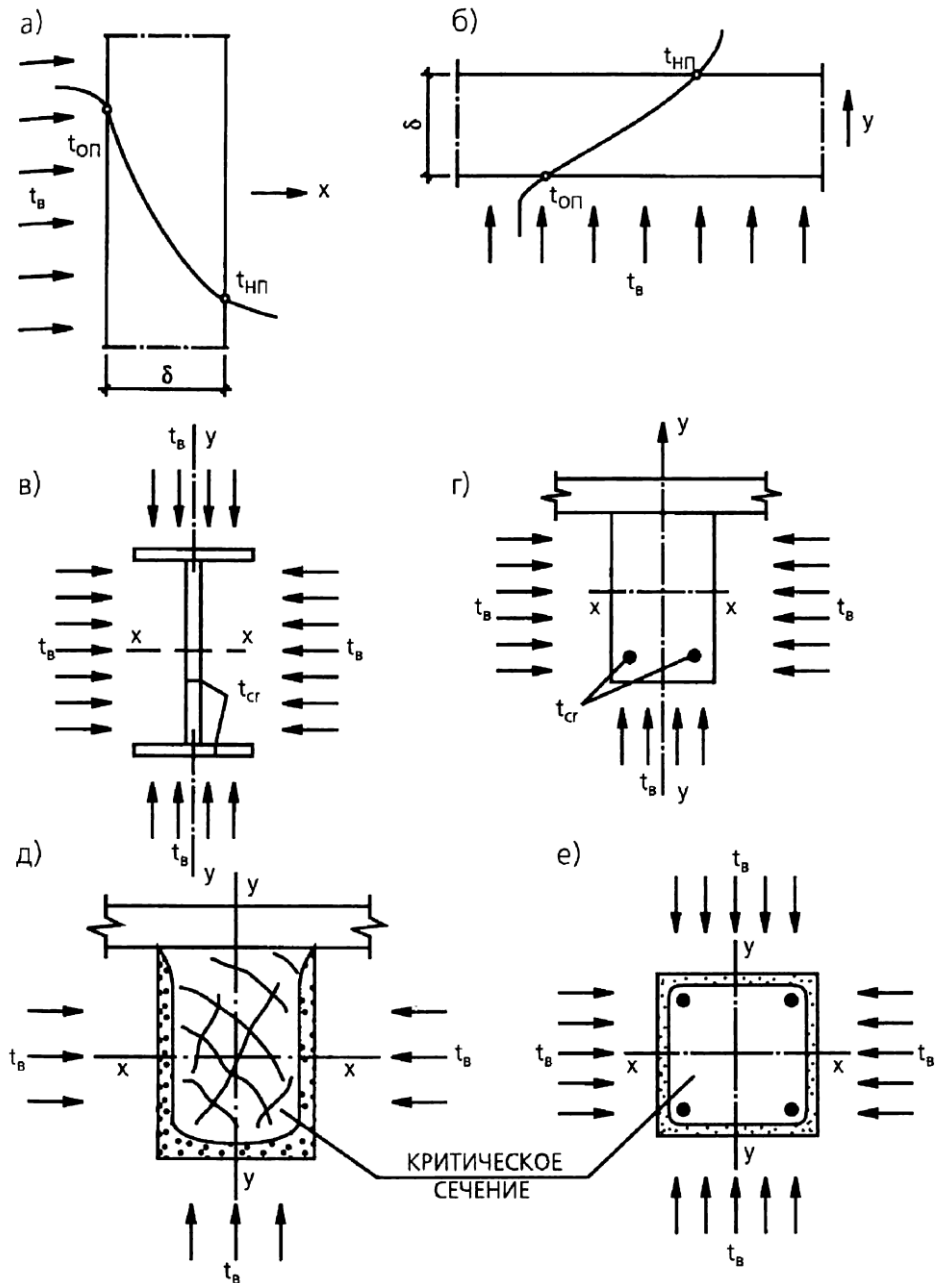


Рисунок 2.3 – Расчетные схемы по определению фактического предела огнестойкости строительных конструкций: а, б – вертикальных и горизонтальных ограждающих конструкций (расчетная схема 1); в, г – металлических и железобетонных (изгибаемых) стержней (расчетная схема 2); д, е – деревянных и железобетонных (сжатых) стержней (расчетная схема 3)

Вследствие уменьшения размеров сечения напряжения в сечении увеличиваются и при достижении этих напряжений величины предела прочности прогретой древесины конструкция утрачивает свою несущую способность [10, с. 100].

По этой же расчетной схеме определяют предел огнестойкости центрально-сжатых каменных и железобетонных конструкций. При нагревании сжатых железобетонных элементов часть сечения прогревается выше температуры, при достижении которой бетон теряет свою прочность, что способствует уменьшению размеров сечения, способного воспринимать действующие нагрузки. Уменьшение размеров сечения приводит к снижению несущей способности каменных и железобетонных конструкций при пожаре. Сечение деревянных, а также центрально-сжатых каменных и железобетонных конструкций, при достижении которого в результате действия температурного режима пожара наступает предельное состояние, называется критическим сечением, а размеры этих сечений – критическими [10, с. 100].

2.4 Контрольные вопросы

1. Перечислите факторы, определяющие поведение строительных конструкций в условиях пожара.
2. Поясните понятие «постоянная пожарная нагрузка».
3. Поясните суть теплотехнической части расчета предела огнестойкости строительной конструкции.
4. При каких величинах нагрузок происходит испытание конструкций на огнестойкость?
5. Поясните понятие «временная пожарная нагрузка».
6. Охарактеризуйте температурные режимы при пожаре в помещениях с большим и малым количеством открытых проемов в ограждающих эти помещения конструкциях.
7. Поясните понятие «пожарная нагрузка».

8. Поясните понятие «теплота пожара».

9. Поясните суть статической (прочностной) части расчета предела огнестойкости строительной конструкции.

10. Поясните понятие «удельная пожарная нагрузка».

11. Поясните понятие «тепловая нагрузка на конструкцию».

12. Изложите последовательность построения графика уменьшения несущей способности конструкции с течением времени в процессе нагрева конструкции.

3 ОГНЕСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ

3.1 Поведение металлических конструкций в условиях пожара

При пожаре могут наступать практически те же предельные состояния металлических конструкций (разрушение, потеря устойчивости формы и другие), которые наблюдаются и в случае отсутствия пожара. Поэтому изложим далее только особенности, связанные с поведением металлических конструкций именно в условиях пожара.

Большое значение коэффициента теплопроводности металла предопределяет, что теплообмен в металлической конструкции проходит интенсивно и конструкция прогревается достаточно быстро [10, с. 140].

Металлические конструкции выполнены из негорючего материала, но фактический предел их огнестойкости в среднем составляет от R10 до R15. Это объясняется достаточно быстрым снижением прочностных и деформационных характеристик металла (уменьшаются предел текучести и модуль упругости) при повышении его температуры во время пожара [10, с. 140; 14, с. 50].

Прочность стали (по пределу текучести) при нагреве (формула 3.1 [10, с. 144])

$$R_{tem} = R_{yn} \gamma_{tem},$$

где R_{yn} – нормативное сопротивление стали по пределу текучести при начальной температуре 20 °C; γ_{tem} – коэффициент, учитывающий изменение прочности стали при нагреве.

Значения коэффициента γ_{tem} приведены в таблице 3.1 (таблица 3.2 из [10, с. 145]).

Модуль упругости стали при нагреве (формула 3.6 [10, с. 145])

$$E_{tem} = E \beta_{tem},$$

где E – модуль упругости стали при начальной температуре 20 °C; β_{tem} – коэффициент, учитывающий изменение модуля упругости стали при нагреве.

Значения коэффициента β_{tem} приведены в таблице 3.2 (таблица 3.3 из [10, с. 146]).

Таблица 3.1 – Коэффициент γ_{tem}

Температура, °С	γ_{tem}	Температура, °С	γ_{tem}
20	1,00	400	0,70
100	0,99	450	0,65
150	0,93	500	0,58
200	0,85	550	0,45
250	0,81	600	0,34
300	0,77	650	0,22
350	0,74	700	0,11

Таблица 3.2 – Коэффициент β_{tem}

Температура, °С	β_{tem}	Температура, °С	β_{tem}
20	1,00	400	0,86
100	0,96	450	0,84
150	0,95	500	0,80
200	0,94	550	0,77
250	0,92	600	0,72
300	0,90	650	0,68
350	0,88	700	0,59

При температуре, превышающей 400-500 °С, у стальных конструкций интенсивно развиваются деформации температурного расширения и деформации ползучести [14, с. 18].

Значения критической температуры t_{cr} прогрева различных металлических конструкций при нормативной эксплуатационной нагрузке приведены в таблице 3.3 (таблица 2.1 из [14, с. 50]).

Таблица 3.3 – Значения критической температуры t_{cr} прогрева различных металлических конструкций при нормативной эксплуатационной нагрузке

Материал конструкции	t_{cr} , °С
Сталь углеродистая Ст3, Ст5	470
Низколегированная сталь марки 25Г2С	550
Низколегированная сталь марки 30ХГ2С	500
Алюминиевые сплавы марок АМг-6, АВ-Т1	225
Алюминиевые сплавы марок Д1Т, Д16Т	250
Алюминиевые сплавы марок В92Т	165

Большую опасность при пожаре представляют утепленные горючими материалами (например, пенополистирол, пенополиуретан) ограждающие конструкции [10, с. 140].

Распространению огня по кровельным ограждающим конструкциям способствует применение рулонных гидроизоляционных материалов на битумной основе [10, с. 140].

Наиболее быстро воспламеняются участки кровли, примыкающие к стенам здания, что способствует быстрому распространению пламени (до 20 м/мин) по всему покрытию [10, с. 140].

Разрушение балок при пожаре наблюдается в их поперечных сечениях, где действует максимальный изгибающий момент [10, с. 141].

Разрушение статически определимой балки происходит в результате образования одного пластического шарнира (рисунок 3.1 а). Статически неопределимые балки являются предпочтительными по сравнению со статически определимыми. Так двухпролетная статически неопределимая балка (рисунок 3.1 б) разрушается в условиях пожара в результате образования трех пластических шарниров и предел огнестойкости такой конструкции выше статически определимой [1].

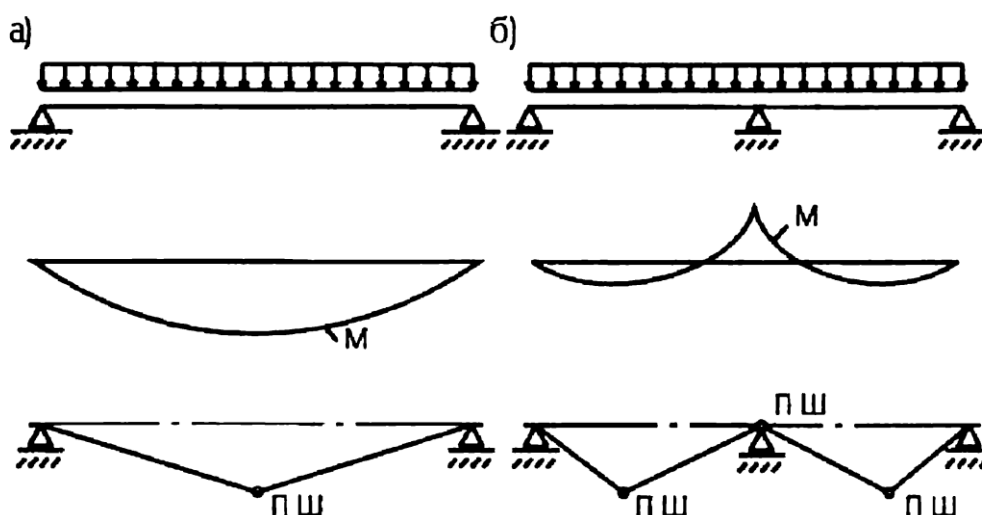


Рисунок 3.1 – Места образования пластических шарниров (ПШ) в балках:

а – статически определимой; б – статически неопределимой

При расчете фермы соединения ее стержней между собой рассматриваются как шарнирные, поэтому ферма считается статически определимой системой. Потеря несущей способности хотя бы одним из этих стержней приводит к отказу при пожаре всей конструкции [10, с. 142].

Стержни структурной конструкции, работающие на растяжение или сжатие, имеют небольшие поперечные сечения и поэтому быстро нагреваются в условиях пожара. Однако такая конструкция, в силу многократной статической неопределимости, менее чувствительна к повреждениям, чем ферма, т. е. потеря несущей способности одного или даже нескольких стержней может не привести к обрушению всей структуры [10, с. 143].

В ряде случаев колонна, работающая в обычных условиях эксплуатации как центрально-сжатая или внецентренно-сжатая с небольшим эксцентриситетом, в условиях пожара может начать работать как внецентренно-сжатый элемент с достаточно большим эксцентриситетом. Это возможно при локальном воздействии температуры пожара на конструкции покрытия или перекрытия, опирающиеся на колонны среднего ряда. Обрушение конструкций покрытия или перекрытия с одной стороны от такой колонны приводит в дальнейшем к ее работе как внецентренно-сжатой конструкции [10, с. 143].

В случае потери при пожаре несущей способности связей может произойти потеря устойчивости конструкций, которые раскреплялись этими связями.

Мембраны покрытия относятся к конструкциям, у которых при нагреве происходит уменьшение усилий. Это вызывается увеличением прогиба конструкции до $1/10$ - $1/15$ ее пролета в результате деформаций температурного расширения и ползучести стали. Поэтому огнестойкость стальной мембраны составляет 0,75-1,0 ч. Наиболее уязвимым элементом мембранного покрытия является его опорный контур. Прогиб мембраны, образовавшийся во время нагрева, является в большей своей части необратимым, т. е. после охлаждения конструкции он практически не исчезает [27].

3.2 Способы огнезащиты металлических конструкций

Увеличить предел огнестойкости металлических конструкций можно их облицовкой несгораемыми материалами, имеющими небольшое значение коэффициента теплопроводности. В качестве облицовочных материалов используют бетон, кирпич, гипсокартонные листы (ГКЛ) и другое [10, с. 161; 14, с. 51]. На рисунке 3.2 показана облицовка стальных колонн (рисунок 3.48 из [10, с. 161]).

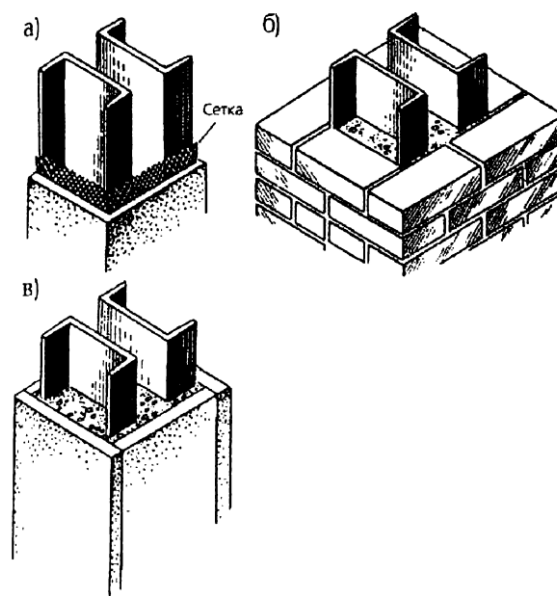


Рисунок 3.2 – Облицовка стальных колонн: а – бетоном или штукатуркой по сетке; б – кирпичом; в – плитным материалом

Облицовки из бетона и кирпича не боятся сырости, могут применяться при практически любых температурно-влажностных условиях, при наличии агрессивной среды, они устойчивы к атмосферным воздействиям и динамическим нагрузкам. Но эти способы огнезащиты связаны с трудоемкими работами (опалубочными, арматурными и другими), малопроизводительны, значительно утяжеляют каркас здания и удлиняют сроки строительства [10, с. 162].

Облицовка гипсокартонными листами значительно легче кирпичной или бетонной облицовки, индустриальна, эффективна с точки зрения огнестойко-

сти. При применении ГКЛ допускается демонтаж огнезащитной облицовки и выполнение различных работ по усилению несущих конструкций, а также повторного нанесения антикоррозионного покрытия несущих конструкций здания. Внутреннюю полость между огнезащитой и элементами несущей конструкции можно использовать для монтажа различных инженерных конструкций [10, с. 162].

Для защиты ферм и структур эффективны подвесные потолки (в том числе из ГКЛ). Непосредственная защита каждого элемента и узла этих конструкций облицовками или вспучивающимися покрытиями трудоемка и недостаточно надежна, трудно осуществима в узловых соединениях элементов конструкций. Кроме того между потолком и защищаемой конструкцией создается воздушный зазор, который дополнительно повышает ее предел огнестойкости [10, с. 168-169].

К еще одному способу увеличения предела огнестойкости (который только что упоминался) относят обмазку металлических конструкций специальными невспучивающимися и вспучивающимися при пожаре составами [10, с. 167-168; 14, с. 51].

Еще один способ увеличения предела огнестойкости – это постоянное или аварийное наполнение полых металлических конструкций водой с ее естественной или принудительной циркуляцией. Вода имеет большое значение теплоемкости, поэтому циркуляция воды внутри металлических конструкций при пожаре обеспечивает интенсивный теплообмен с поверхности металлических конструкций и значительное замедление их прогрева до критических температур [10, с. 170-171; 14, с. 51].

Если конструкции постоянно заполнены водой, то необходимы меры по борьбе с их коррозией и обеспечению их герметичности. Внутренней коррозии можно избежать с помощью добавки ингибитора коррозии [10, с. 170-171].

В некоторых случаях можно вынести несущие металлические конструкции за габариты ограждающих конструкций. Металлические колонны можно разместить снаружи, а стеновые панели прикрепить с внутренней стороны зда-

ния. Так можно исключить прямое воздействие огня на несущие металлические конструкции [10, с. 171].

3.3 Подбор огнезащиты металлических конструкций, обеспечивающей требуемый предел их огнестойкости

Рассмотрим для определенности подбор огнезащиты (определение ее толщины) стального стержня с композицией огнезащитной, выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 и клея CONLIT Glue, по методике [9].

Расчет в этом случае следует начать с определения критической температуры t_{cr} стали исследуемой конструкции, при достижении которой наступает предел огнестойкости этой конструкции, – статический расчет.

Критическая температура t_{cr} центрально-сжатого стержня определяется как наименьшая величина из двух найденных по таблице 3.4 значений в зависимости от коэффициентов γ_T (γ_{tem}) и γ_e .

Таблица 3.4 – Коэффициенты γ_T и γ_e

Температура, °C	γ_T	γ_e
20	1,00	1,00
100	0,99	0,96
150	0,93	0,95
200	0,85	0,94
250	0,81	0,92
300	0,77	0,90
350	0,74	0,88
400	0,70	0,86
450	0,65	0,84
500	0,58	0,80
550	0,45	0,77
600	0,34	0,72
650	0,22	0,68
700	0,11	0,59

Коэффициенты γ_T и γ_e вычисляются по формулам

$$\gamma_T = \frac{N_s}{AR_{yn}},$$

$$\gamma_e = \frac{N_s l_{ef}^2}{\pi^2 EI},$$

где N_s – продольная сила для расчета фактического предела огнестойкости стержня; A – площадь поперечного сечения стержня; I – осевой момент инерции поперечного сечения стержня; l_{ef} – расчетная длина стержня; R_{yn} – нормативное сопротивление стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести (начальное значение); E – модуль упругости стали (начальное значение); π – константа 3,14.

Критическая температура t_{cr} центрально-растянутого стержня определяется по таблице 3.4 в зависимости от коэффициента γ_T , вычисляемого по вышеприведенной формуле.

Критическая температура t_{cr} изгибаемого стержня определяется по таблице 3.4 в зависимости от коэффициента

$$\gamma_T = \frac{M_s}{WR_{yn}},$$

где M_s – изгибающий момент для расчета фактического предела огнестойкости стержня; W – момент сопротивления поперечного сечения стержня.

Критическая температура t_{cr} внецентренно-сжатого стержня определяется как наименьшая величина из двух найденных по таблице 3.4 значений в зависимости от коэффициентов γ_e (формула приведена ранее) и

$$\gamma_T = \frac{N_s}{R_{yn}} \left(\frac{e}{W} + \frac{1}{A} \right),$$

где e – эксцентриситет приложения продольной силы N_s .

Критическая температура t_{cr} внецентренно-растянутого стержня определяется по таблице 3.4 в зависимости от коэффициента γ_T , вычисляемого по последней формуле.

После проведения статического расчета определяют время от начала теплового воздействия до достижения критической температуры – теплотехнический расчет.

Теплотехнический расчет производится с помощью номограмм огнестойкости стальных конструкций с огнезащитной облицовкой (рисунки 3.3-3.6).

На этих номограммах по вертикальной оси откладывается время достижения критической температуры, а по горизонтальной оси – приведенная толщина металла

$$t_{red} = \frac{A}{U},$$

где A – площадь поперечного сечения стержня; U – обогреваемая часть периметра поперечного сечения стержня.

Номограммы могут использоваться для решения обратных задач: поиска минимальной толщины минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150, для обеспечения заданного предела огнестойкости, и поиска минимальной приведенной толщины металла конструкции для обеспечения заданного предела огнестойкости.

3.4 Контрольные вопросы

1. Каково значение коэффициента теплопроводности стали в сравнении с другими строительными материалами?
2. Как изменяется значение предела текучести стали при ее нагреве?
3. Как изменяется значение модуля упругости стали при ее нагреве?
4. Какие виды деформаций развиваются в нагруженной стальной конструкции при увеличении ее температуры сверх 400-500 °С?
5. Опишите поведение стальных балок в условиях пожара.
6. Опишите поведение стальных ферм в условиях пожара.
7. Опишите поведение стальных колонн в условиях пожара.
8. Опишите поведение стальных мембран покрытия в условиях пожара.
9. Опишите способы огнезащиты металлических конструкций.
10. Опишите статическую (прочностную) часть расчета предела огнестойкости металлических конструкций.
11. Опишите теплотехническую часть расчета предела огнестойкости металлических конструкций.

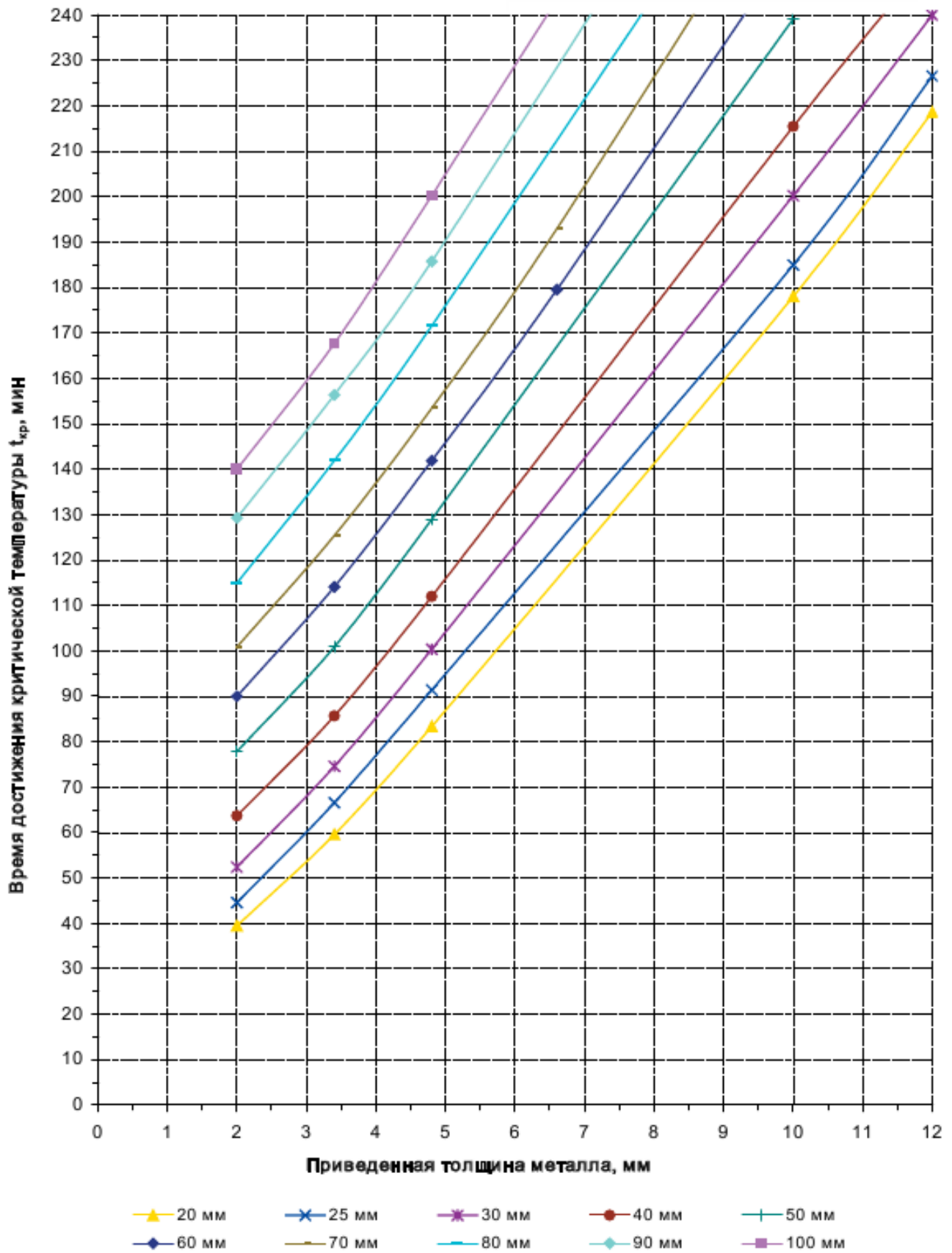


Рисунок 3.3 – Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL CONLIT SL 150 при температуре 450 °C

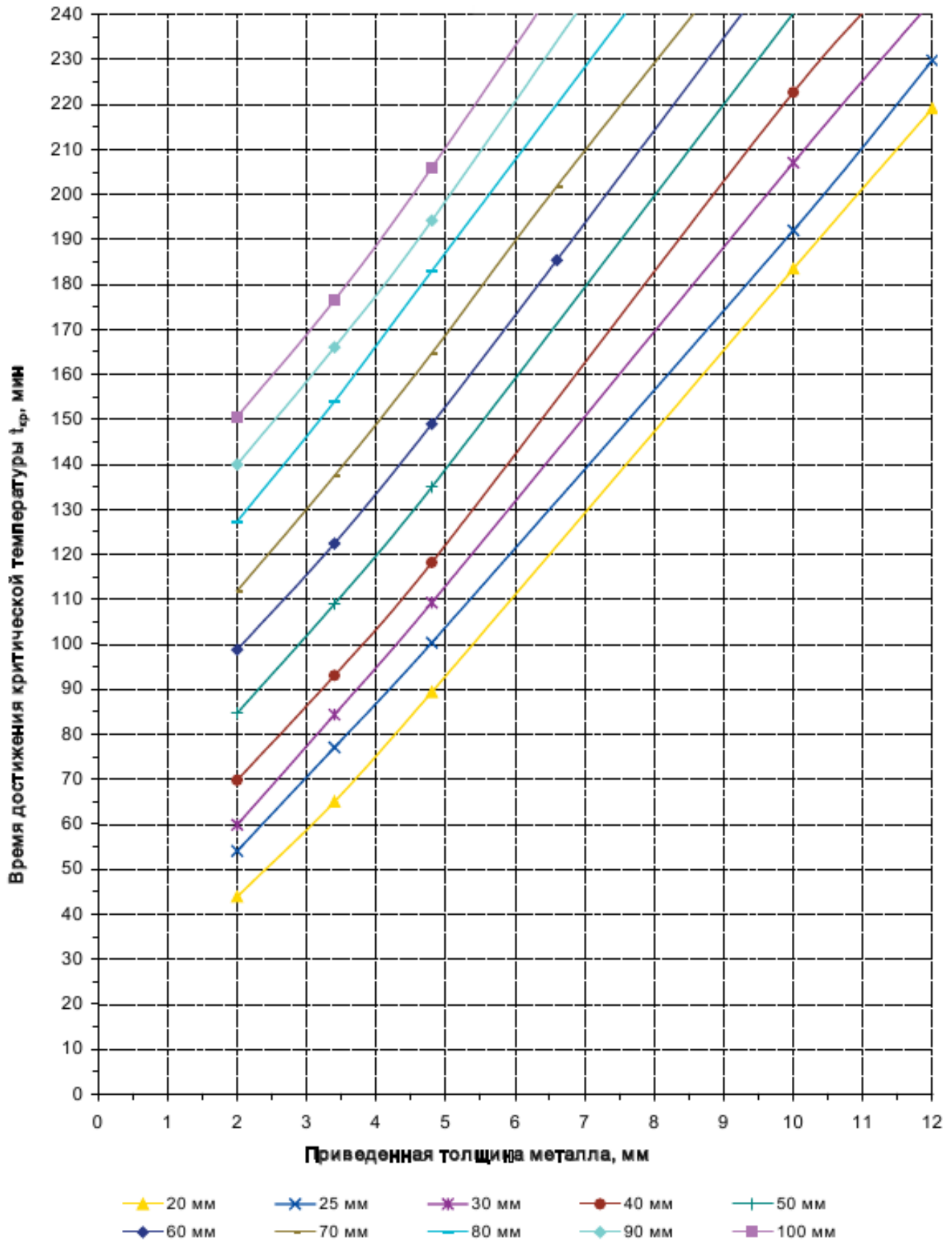


Рисунок 3.4 – Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL CONLIT SL 150 при температуре 500 °C

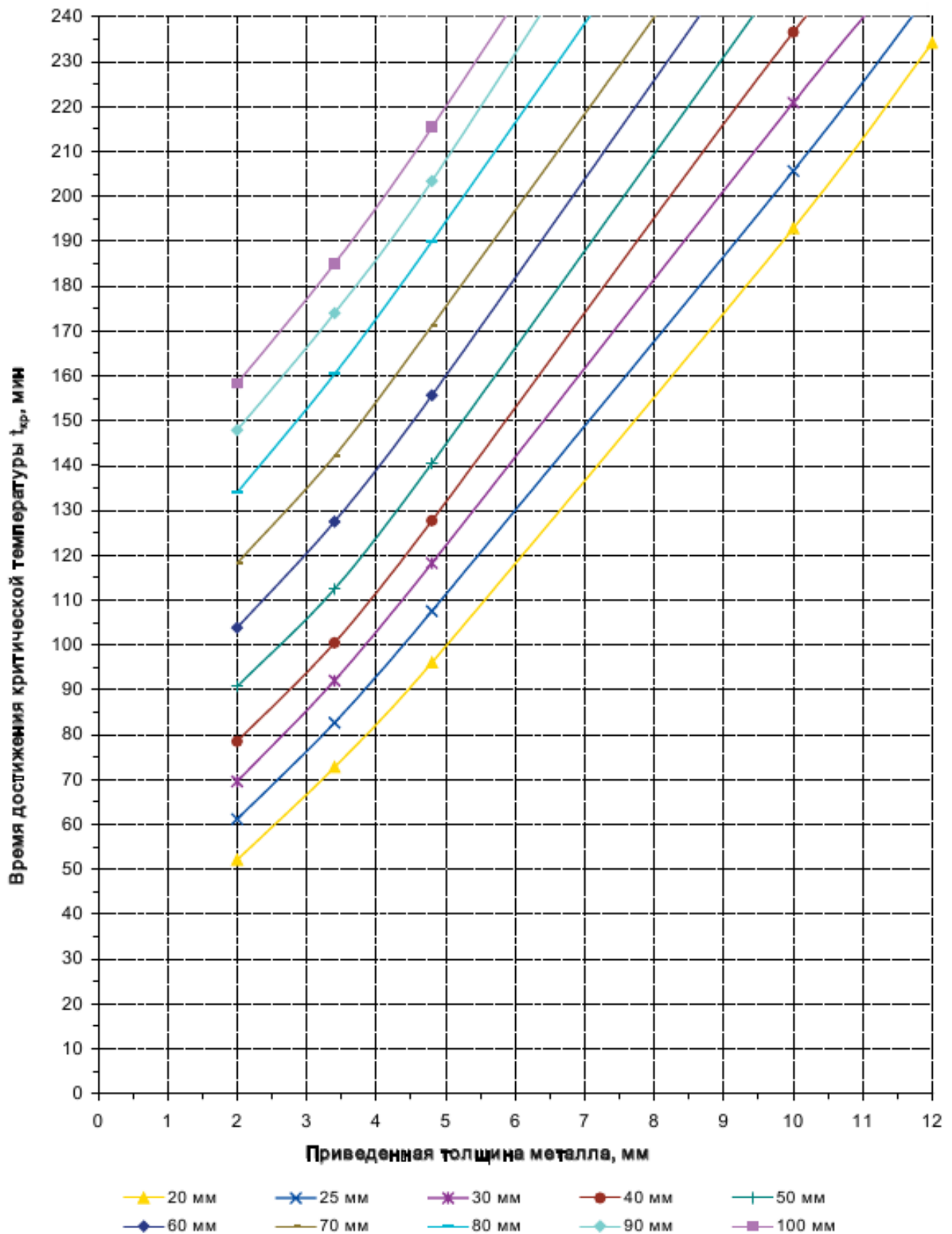


Рисунок 3.5 – Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL CONLIT SL 150 при температуре 550 °C

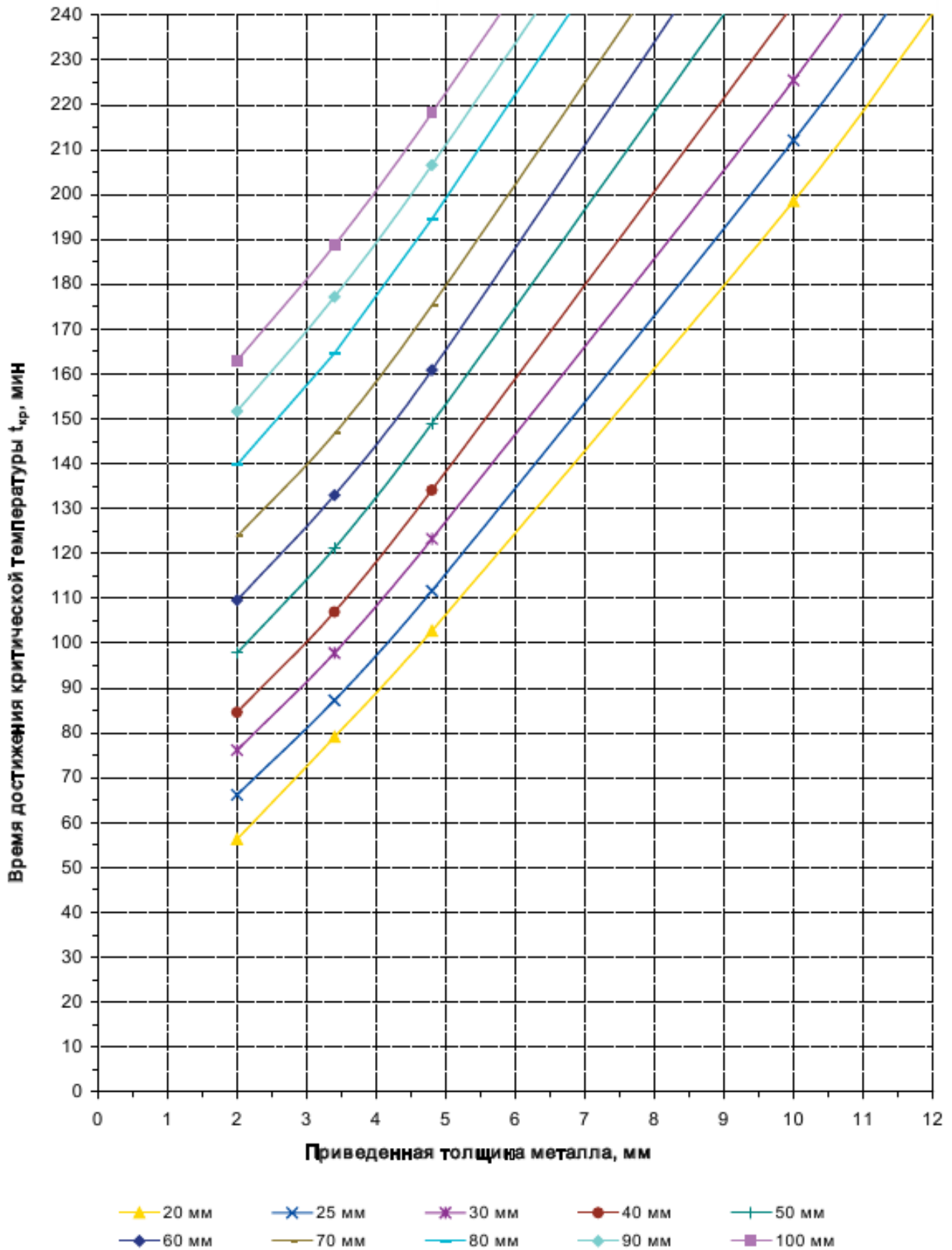


Рисунок 3.6 – Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL CONLIT SL 150 при температуре 600 °C

4 ПРИМЕР ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ОТ ПОЖАРОВ

4.1 Постановка задачи

Разработаем защиту от пожаров для металлических конструкций гостиницы, план которой на отметке 0,000 м показан на рисунке 4.1, а экспликация помещений – на рисунке 4.2.

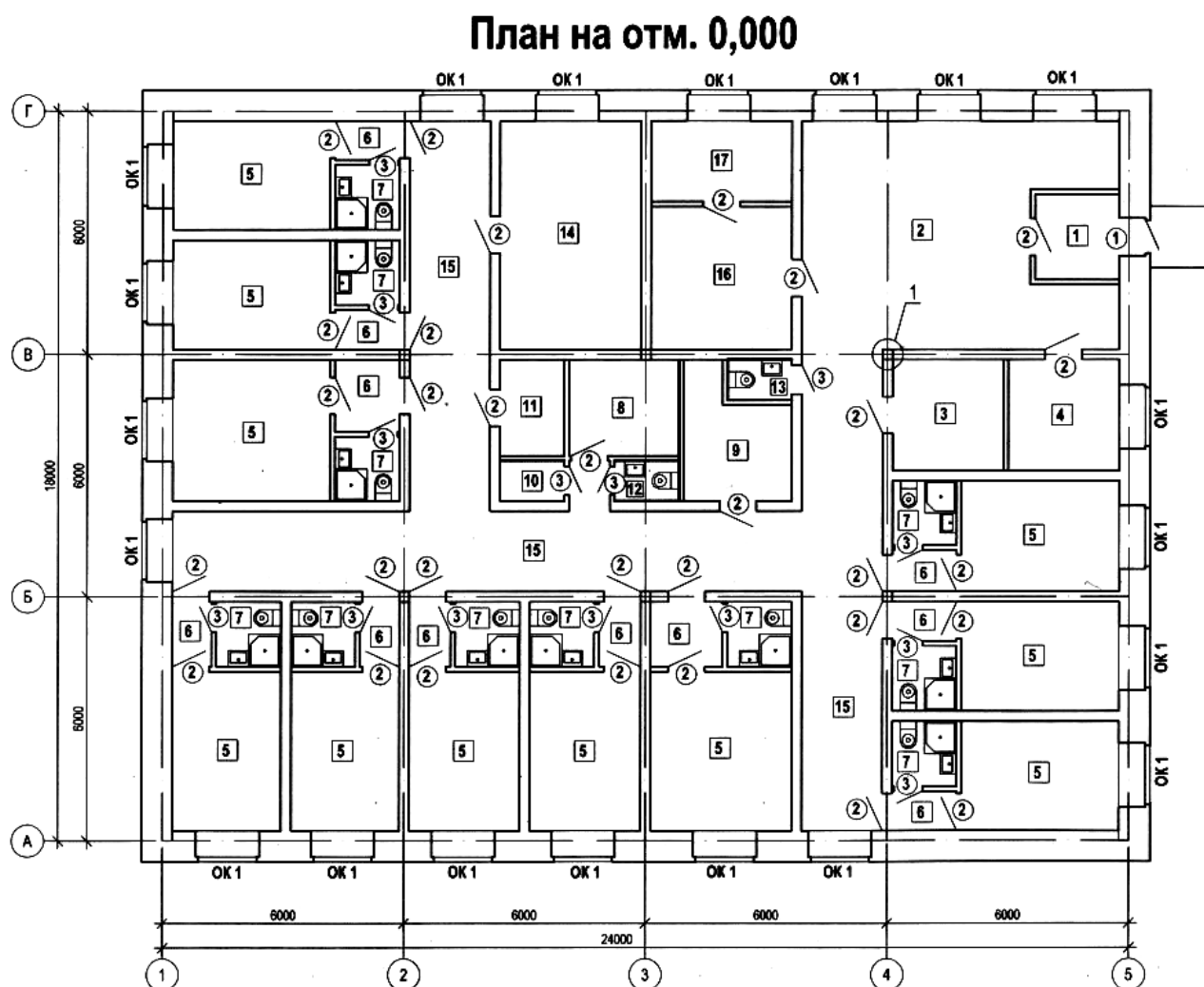


Рисунок 4.1 – План гостиницы на отметке 0,000 м

Здание одноэтажное, его месторасположение – г. Благовещенск Амурской области. Уровень ответственности здания нормальный.

Экспликация помещений

Номер помещения	Наименование	Площадь, м ²	Кат. помещения
1	Тамбур	4,00	
2	Вестибюль-гостиная	44,02	
3	Комната сушки одежды	7,28	
4	Контора	9,80	
5	Жилая комната	11,48	
6	Передняя	2,00	
7	Санитарный узел	6,40	
8	Помещение дежурного обслуживающего персонала	6,96	
9	Комната чистки и глажения одежды	4,80	
10	Кладовая грязного белья	1,60	
11	Хозяйственная кладовая	3,84	
12	Уборная	1,60	
13	Уборная	2,00	
14	Тепловой пункт	19,43	
15	Коридор	76,20	
16	Буфет	12,06	
17	Подсобное помещение буфета	6,70	

Рисунок 4.2 – Экспликация помещений гостиницы

Класс функциональной пожарной опасности здания – Ф1.2 – гостиницы, общежития, спальные корпуса санаториев и домов отдыха общего типа, кемпингов, мотелей и пансионатов (часть 1 статьи 32 главы 9 раздела I [25]).

Приняты по согласованию с заказчиком проекта степень огнестойкости здания III, класс конструктивной пожарной опасности C0.

Так как здание одноэтажное, высотой менее 6 м и площадь этажа в пределах пожарного отсека не превышает 1200 м², то согласно пункту 6.7.1 и таблице 6.9 из [18] допускается степень огнестойкости здания V и класс конструктивной пожарной опасности C1-C3.

В качестве справки, согласно пункту 6.7.25 из [18] степень огнестойкости гостиниц высотой более двух этажей должна быть не ниже III, класс конструктивной пожарной опасности C0.

Таким образом, принятые требования пожарной безопасности ко всему зданию в целом (в части степени огнестойкости и класса конструктивной пожарной опасности) не ниже предусмотренных [25] и [18].

Согласно таблице 21 приложения к [25] требуемый предел огнестойкости строительных конструкций таков:

- несущие стены, колонны и другие несущие элементы – R 45;
- наружные ненесущие стены – E 15;
- строительные конструкции бесчердачных покрытий, а именно настилы (в том числе с утеплителем) – RE 15;
- строительные конструкции бесчердачных покрытий, а именно фермы, балки, прогоны – R 15.

Внутренние стены и перегородки (в том числе из светопрозрачных материалов), отделяющие пути эвакуации, следует предусматривать из негорючих материалов с пределом огнестойкости не менее (R)EI 45 (пункт 5.3.36 [15]).

Согласно таблице 22 приложения к [25] требуемый класс пожарной опасности строительных конструкций K0 (непожароопасные).

Схема расположения металлических (стальных) колонн, балок покрытия и связей на отметке 3,520 м показана на рисунке 4.3. Колонны (K1) и балки (B1, B2) изготовлены из двутавров по [23], связи (CG1) – из спаренных уголков по [8].

У здания бесчердачная совмещенная неветилируемая крыша-покрытие по стальному профилированному листу по [4].

Схема расположения колонн, балок и связей на отм. +3,520

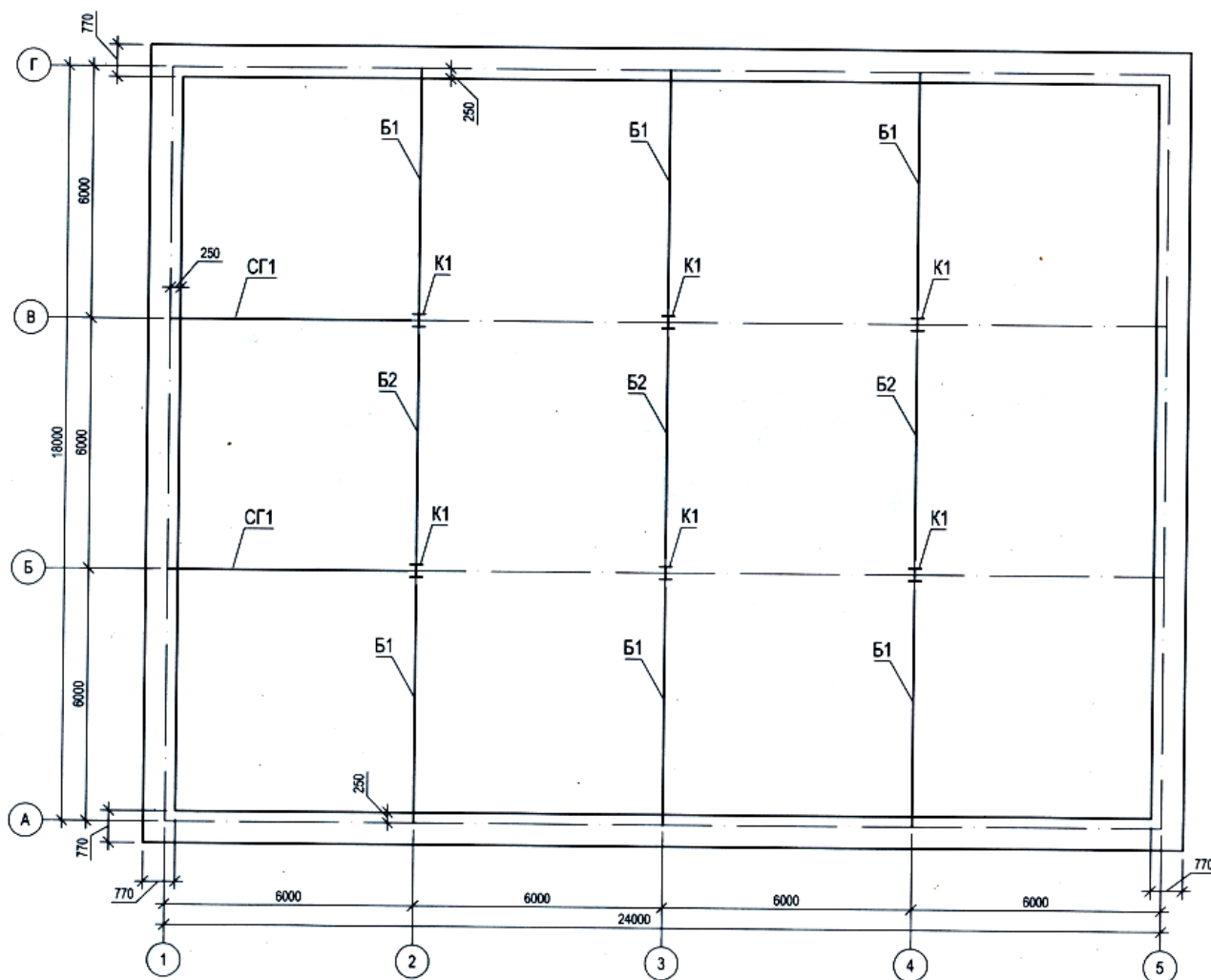


Рисунок 4.3 – Схема расположения колонн, балок
и связей на отметке 3,520 м

В данной работе требуется:

1. Произвести расчеты по тепловой защите здания.
2. Подобрать стальной профилированный лист, балку покрытия и колонну, обеспечивающие надежность строительного объекта при нормальных условиях его эксплуатации.

3. Подобрать огнезащиту стального профилированного листа, балки покрытия и колонны, обеспечивающую требуемый предел огнестойкости этих строительных конструкций.

Все недостающие данные следует принять самостоятельно.

4.2 Тепловая защита здания

Место строительства здания (г. Благовещенск Амурской области) относится к зоне влажности 2 – нормальной (приложение В из [21]).

Средняя температура наружного воздуха отопительного периода $t_{от} = -10,7$ °С (таблица 3.1 из [16]).

Продолжительность отопительного периода $z_{от} = 210$ сут (таблица 3.1 из [16]).

Расчетная температура внутреннего воздуха здания (жилая комната) $t_{в} = 20$ °С принята по минимальному значению оптимальной температуры воздуха из интервала от 20 до 22 °С согласно таблице 1 из [7] и подразделу 5.2 из [21].

Влажностный режим помещений (жилых комнат) здания в холодный период года является сухим (таблица 1 из [21] и [7]).

Условия эксплуатации ограждающих конструкций А (таблица 2 подраздела 4.4 из [21]).

Градусо-сутки отопительного периода (формула 5.2 подраздела 5.2 из [21])

$$\text{ГСОП} = (t_{в} - t_{от})z_{от} = (20 - (-10,7)) \cdot 210 = 6447 \text{ }^{\circ}\text{С} \cdot \text{сут/год}.$$

Произведем расчет тепловой защиты здания, а именно требований к наружной стене.

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции (таблица 3 подраздела 5.2 из [21])

$$R_0^{\text{тп}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,00035 \cdot 6447 + 1,4 = 3,66 \frac{\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{С}}{\text{Вт}},$$

где a и b – коэффициенты.

Коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимается равным $m_p = 1$ (подраздел 5.2 из [21]).

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции (формула 5.1 подраздела 5.2 из [21])

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} m_p = 3,66 \cdot 1 = 3,66 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{С}}{\text{Вт}}.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции должно быть не меньше нормируемого значения (подраздел 5.1 из [21]).

Примем расчетную схему стены, приведенную на рисунке 4.4, где δ_1 – толщина цементно-песчаной штукатурки, 20 мм; δ_2 – толщина кирпичной кладки из силикатного кирпича, 510 мм; δ_3 – толщина утеплителя (плиты пенополистирольные ПСБ-С по ГОСТ 15588-86), x мм; δ_4 – толщина облицовки из силикатного кирпича, 120 мм.

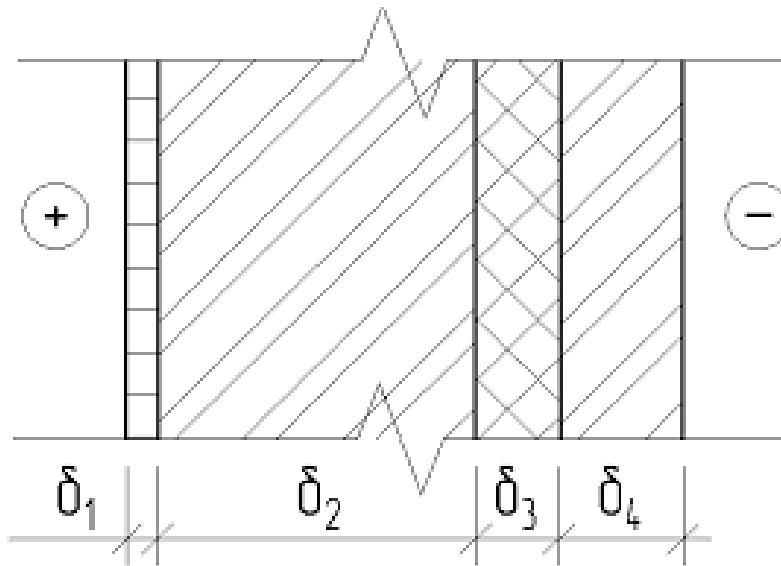


Рисунок 4.4 – Расчетная схема стены

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{С}}$ (таблица 4 из [21]).

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции $\alpha_n = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}$ (таблица 6 из [21]).

Приведенное сопротивление теплопередаче стены (формулы Е.1, Е.6 и Е.7 приложения Е из [21])

$$R_o^{\text{пр}} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{s=1}^4 \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_n} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,51}{0,76} + \frac{x}{0,040} + \frac{0,12}{0,76} + \frac{1}{23} = 1,014 + \frac{x}{0,040},$$

где λ_s – теплопроводность материала слоя (по таблице Т.1 приложения Т из [21]).

Приравнявая $R_o^{\text{пр}}$ и $R_o^{\text{норм}}$, получаем уравнение, из которого следует, что толщина $x = 0,11 \text{ м}$. С учетом стандартных размеров кирпичной кладки примем толщину полистирольных плит 140 мм.

Произведем расчет тепловой защиты здания, а именно требований к покрытию.

Базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции (таблица 3 подраздела 5.2 из [21])

$$R_o^{\text{тп}} = a \cdot \text{ГСОП} + b = 0,0005 \cdot 6447 + 2,2 = 5,42 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}.$$

Коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимается равным $m_p = 1$ (подраздел 5.2 из [21]).

Нормируемое значение приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции (формула 5.1 подраздела 5.2 из [21])

$$R_o^{\text{норм}} = R_o^{\text{тп}} m_p = 5,42 \cdot 1 = 5,42 \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}}{\text{Вт}}.$$

Примем расчетную схему покрытия, приведенную на рисунке 4.5, где 1 – стальной профилированный лист; 2 – пленка пароизоляционная ТехноНИКОЛЬ; 3 и 4 – минераловатный утеплитель ТЕХНОРУФ Н30 и ТЕХНОРУФ

В60 неизвестной заранее суммарной толщиной x ; 5 – полимерная мембрана LOGICROOF V-RP.

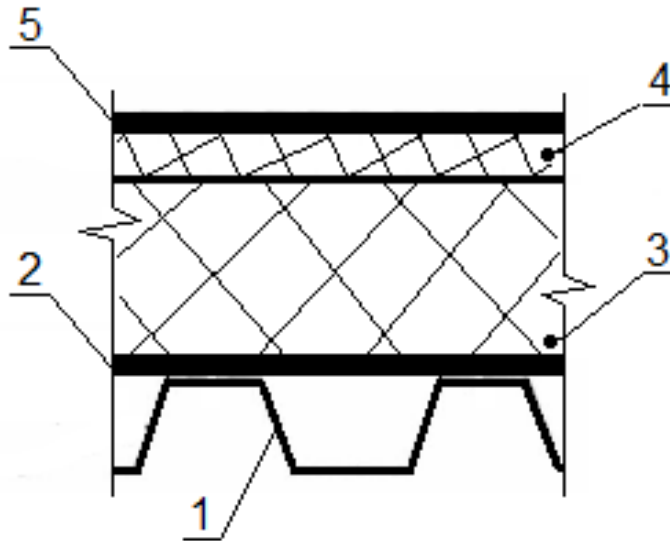


Рисунок 4.5 – Расчетная схема покрытия

Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности ограждающей конструкции $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{С}}$ (таблица 4 из [21]).

Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции $\alpha_{\text{н}} = 23 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{С}}$ (таблица 6 из [21]).

Приведенное сопротивление теплопередаче покрытия найдем (формулы Е.1, Е.6 и Е.7 приложения Е из [21]) пренебрегая всеми слоями покрытия, кроме плит минераловатных:

$$R_o^{\text{пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{s=3}^4 \frac{\delta_s}{\lambda_s} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}} =$$

$$= \frac{1}{8,7} + \frac{x}{0,041} + \frac{1}{23} = 0,158 + \frac{x}{0,041}.$$

Приравнявая $R_o^{\text{пр}}$ и $R_o^{\text{норм}}$, получаем уравнение, из которого следует, что толщина $x = 0,22 \text{ м}$.

4.3 Подбор стального профилированного листа покрытия

Нагрузки, действующие на покрытие здания, воспринимаются стальным профилированным листом по [4]. Сбор таких нагрузок приведен в таблице 4.1. При этом использован свод правил [17].

Таблица 4.1 – Сбор нагрузок на профилированный лист покрытия

Вид нагрузки	Нормативное значение (расчетное значение для предельных состояний второй группы), Н/м ²	Коэффициент надежности по нагрузке	Расчетное значение для предельных состояний первой группы, Н/м ²
1 Постоянная нагрузка			
а) вес стального профилированного листа Н114-750-0,8	125	1,05	131
б) вес пленки пароизоляционной ТЕХНИКОЛЬ	1	1,2	1,2
в) вес минераловатного утеплителя ТЕХНОРУФ Н30 толщиной 170 мм и плотностью 130 кг/м ³	221	1,2	265
г) вес минераловатного утеплителя ТЕХНОРУФ В60 толщиной 50 мм и плотностью 195 кг/м ³	98	1,2	118
д) вес полимерной мембраны LOGICROOF V-RP толщиной 2 мм и плотностью 1800 кг/м ³	36	1,2	43
е) вес плит PROMATECT подвесного потолка толщиной до 20 мм и плотностью 10,5 кг/м ² (элемент огнезащиты)	105	1,2	126
Итого постоянная нагрузка	586	—	684
2 Временная нагрузка			
2.1 Кратковременная нагрузка			
а) нагрузка от оборудования, людей, складированных материалов и изделий	500	1,3	650
б) снеговая нагрузка	560	1,4	784
Итого кратковременная нагрузка	560	—	784
2.2 Длительная нагрузка			
а) снеговая нагрузка	392	1,4	549
Итого длительная нагрузка	392	—	549
Итого постоянная и кратковременная нагрузка	1146	—	1468
Итого постоянная и длительная нагрузка	978	—	1233

Расчетный пролет профилированного листа покрытия $l_0 = 6,00$ м.

Согласно таблицы А.1 приложения А из [22] данные нагрузки может нести профилированный лист Н114-750-0,8.

4.4 Подбор стальной балки покрытия

Расчетная схема стальной балки покрытия приведена на рисунке 4.6.

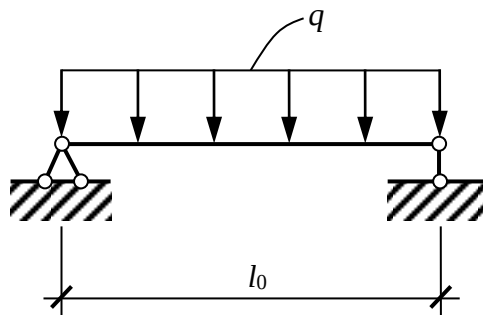


Рисунок 4.6 – Расчетная схема балки

Ширина грузовой площади балки $b=6$ м, расчетный пролет балки $l_0=6$ м (что немного больше фактического и пойдет в запас).

Равномерно распределенная нагрузка для расчета по предельным состояниям первой группы

$$q = 6 \cdot 1468 = 8808 \text{ Н/м} = 8,8 \text{ кН/м}.$$

Равномерно распределенная нагрузка для расчета по предельным состояниям второй группы (постоянная и длительная)

$$q_{ser,l} = 6 \cdot 978 = 5868 \text{ Н/м} = 5,9 \text{ кН/м (Н/мм)}.$$

Так как уровень ответственности сооружения нормальный, то коэффициент надежности по ответственности $\gamma_n = 1,0$ (статья 16 из [26]).

Максимальный изгибающий момент для расчета по предельным состояниям первой группы

$$M = \gamma_n q l_0^2 / 8 = 1 \cdot 8,8 \cdot 6^2 / 8 = 39,6 \text{ кН} \cdot \text{м} = 39,6 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Материал балки – сталь С235. Расчетное и нормативное сопротивления стали растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести (таблица В.5 приложения В из [20])

$$R_y = 225 \text{ МПа (Н/мм}^2\text{)},$$

$$R_{yn} = 235 \text{ МПа (Н/мм}^2\text{)}.$$

Коэффициент условий работы (таблица 1 из [20])

$$\gamma_c = 1.$$

Требуемый момент сопротивления поперечного сечения нетто балки при расчете на прочность балок 1-го класса следует из формулы 41 пункта 8.2.1 свода правил [20]:

$$W_{n,\min} = \frac{M}{R_y \gamma_c} = \frac{39,6 \cdot 10^6}{225 \cdot 1} = 176000 \text{ мм}^3 = 176 \text{ см}^3.$$

Примем двутавр 20Б1 по [23] с моментом сопротивления $W_x = 184,4 \text{ см}^3$.

Максимальная поперечная сила для расчета по предельным состояниям первой группы

$$Q = \gamma_n q l_0 / 2 = 1 \cdot 8,8 \cdot 6 / 2 = 26,4 \text{ кН} = 26,4 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Осевой момент инерции поперечного сечения балки [23]

$$I_x = 1844 \text{ см}^4 = 1844 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

Толщина стенки балки [23]

$$t_w = 5,5 \text{ мм}.$$

Статический момент сдвигаемой части поперечного сечения балки относительно нейтральной оси сечения [23]

$$S_x = 104,7 \text{ см}^3 = 104,7 \cdot 10^3 \text{ мм}^3.$$

Расчетное сопротивление стали сдвигу (таблица 2 из [20])

$$R_s = 0,58 \cdot R_y = 0,58 \cdot 225 = 131 \text{ МПа (Н/мм}^2\text{)}.$$

Расчет на прочность балок 1-го класса выполняют по формуле 42 пункта 8.2.1 из [20] (при действии в сечении поперечной силы):

$$\frac{Q \cdot S_x}{I_x \cdot t_w \cdot R_s \cdot \gamma_c} = \frac{26,4 \cdot 10^3 \cdot 104,7 \cdot 10^3}{1844 \cdot 10^4 \cdot 5,5 \cdot 131 \cdot 1} = 0,21 < 1.$$

Следовательно, прочность балки на действие поперечной силы обеспечена.

Исходя из эстетико-психологических требований, вертикальный предельный прогиб балки (таблица Е.1 из [17])

$$f_u = l_0 / 200 = 6000 / 200 = 30 \text{ мм}.$$

Модуль упругости стали (таблица Д.1 приложения Д из [20])

$$E = 2,06 \cdot 10^5 \text{ Н/мм}^2 \text{ (МПа)}.$$

Вертикальный прогиб балки

$$\begin{aligned} f_p &= \gamma_n \frac{5 \cdot q_{ser,l} \cdot l_0^4}{384 \cdot E \cdot I_x} = 1 \cdot \frac{5 \cdot 5,9 \cdot 6000^4}{384 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 1844 \cdot 10^4} = \\ &= 26 \text{ мм} < f_u = 30 \text{ мм}. \end{aligned}$$

Следовательно, жесткость балки обеспечена.

4.5 Подбор стальной колонны

Расчетная схема стальной колонны приведена на рисунке 4.7.

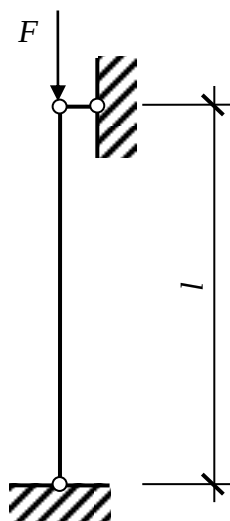


Рисунок 4.7 – Расчетная схема колонны

Длина колонны $l=3,87$ м, коэффициент расчетной длины $\mu=1$ (таблица 30 пункта 10.3.3 из [20]), расчетная длина колонны (формула 140 пункта 10.3.1 из [20])

$$l_{ef} = \mu l = 1 \cdot 3,87 = 3,87 \text{ м.}$$

Нагрузка F (продольная сила N) для расчета по предельным состояниям первой группы (величина Q взята из подраздела подбора стальной балки покрытия)

$$N = F = 2Q = 2 \cdot 26,4 \cdot 10^3 = 52,8 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Материал колонны – сталь С235. Характеристики этой стали приведены ранее.

Пусть в первом приближении гибкость стержня $\lambda=100$. Тогда условная гибкость стержня (пункт 7.1.3 из [20])

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 100 \cdot \sqrt{\frac{225}{2,06 \cdot 10^5}} = 3,3.$$

Форма поперечного сечения стержня двутавровая, тип сечения b (таблица 7 пункта 7.1.3 из [20]).

Коэффициент устойчивости при центральном сжатии $\varphi=0,582$ (таблица Д.1 приложения Д из [20]).

Требуемая площадь поперечного сечения стержня (из формулы 7 пункта 7.1.3 из [20])

$$A = \frac{N}{\varphi R_y \gamma_c} = \frac{52,8 \cdot 10^3}{0,582 \cdot 225 \cdot 1} = 403 \text{ мм}^2 = 4,03 \text{ см}^2.$$

Примем двутавр 20К1 по [23] с площадью $A=52,69 \text{ см}^2$.

Радиус инерции поперечного сечения стержня [23]

$$i_y = 4,99 \text{ см} = 49,9 \text{ мм.}$$

Гибкость стержня (приложение Б из [20])

$$\lambda = \frac{l_{ef}}{i_y} = \frac{3,87 \cdot 10^3}{49,9} = 78.$$

Условная гибкость стержня

$$\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{\frac{R_y}{E}} = 78 \cdot \sqrt{\frac{225}{2,06 \cdot 10^5}} = 2,6.$$

Коэффициент устойчивости при центральном сжатии $\varphi = 0,722$. Так как это значение больше принятого первоначально, то условие устойчивости стержня выполняется.

4.6 Подбор огнезащиты стального профилированного листа покрытия

Из решений фирмы Promat [13] подбираем огнезащиту стального профилированного листа покрытия не ниже RE 15. Такое решение приведено на рисунке 4.8 и обеспечивает защиту на уровне REI 30.

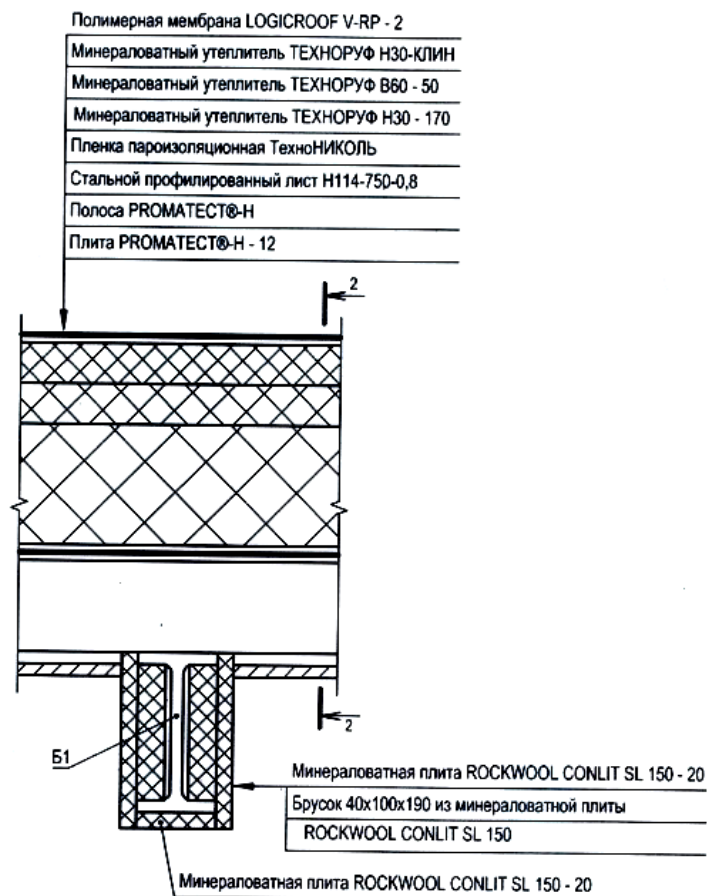


Рисунок 4.8 – Огнезащита стального профилированного листа и балки покрытия

Полоса PROMATECT®-Н крепится шурупами потайными 4,0x25 непосредственно к профилированному листу покрытия в каждой впадине гофра с шагом в ряду 300 мм.

Плиты PROMATECT® покрытия крепятся к полосе PROMATECT®-Н скобами проволочными стальными 22/10,7/1,2 с шагом 250 мм. На поперечные стыки плиты PROMATECT® тоже накладывается полоса PROMATECT®-Н.

4.7 Подбор огнезащиты стальной балки покрытия

Принимаем в качестве огнезащиты стальной балки покрытия решение компании ROCKWOOL СНГ [9], изображенное на рисунке 4.8. Требуемая толщина минераловатной плиты ROCKWOOL CONLIT SL 150 заранее не известна, будет подбираться по методике, описанной в подразделе 3.3 данной работы, и должна обеспечивать огнезащиту на уровне не ниже R 15.

Равномерно распределенная нагрузка q_s для расчета фактического предела огнестойкости балки покрытия (использованы данные таблицы сбора нагрузок на профилированный лист покрытия)

$$q_s = 6 \cdot (586 + 0,8 \cdot 560) = 6,2 \cdot 10^3 \text{ Н/м} = 6,2 \text{ кН/м}.$$

При этом учтено:

- для особых сочетаний коэффициенты сочетаний для всех кратковременных нагрузок принимаются равными 0,8 (подраздел 6.5 из [17]);
- в особых сочетаниях коэффициент надежности по нагрузке для постоянных, длительных и кратковременных нагрузок следует принимать равным единице (подраздел 4.3 из [17]);
- ширина грузовой площади составляет 6 м.

Максимальный изгибающий момент для расчета фактического предела огнестойкости балки покрытия

$$M_s = \gamma_n q_s l_0^2 / 8 = 1 \cdot 6,2 \cdot 6^2 / 8 = 27,9 \text{ кН} \cdot \text{м} = 27,9 \cdot 10^6 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Вычислим коэффициент (формула 3 раздела 2.3 из [9])

$$\gamma_{\tau} = \frac{M_s}{W_x R_{yn}} = \frac{27,9 \cdot 10^6}{184,4 \cdot 10^3 \cdot 235} = 0,64.$$

Для полученного коэффициента по таблице 1 раздела 2.2 из [9] находим, что критическая температура t_{cr} примерно равна 450 °С.

Приведенная толщина металла конструкции (формула 5 раздела 3.2 из [9])

$$t_{red} = \frac{A}{U} = \frac{27,16 \cdot 10^2}{789} = 3,4 \text{ мм},$$

где A – площадь поперечного сечения металлической конструкции; U – обогреваемая часть периметра поперечного сечения конструкции.

U подсчитана на основе сортамента [23] и таблицы 3.4 из [14] при условии, что сечение обогревается по всему периметру (в запас).

Согласно рисунку 5 из [9] для огнезащиты балки достаточно использовать минераловатные плиты ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 толщиной 20 мм. В этом случае температура 450 °С балки будет достигнута примерно за 60 минут, что больше требуемых 15 минут.

Бруски из минераловатной плиты ROCKWOOL CONLIT SL 150 закрепляются во фланцы защищаемой конструкции при помощи клея Conlit Glue.

Минераловатные плиты ROCKWOOL CONLIT SL 150 крепятся к брускам при помощи клея Conlit Glue и гвоздей.

Минераловатные плиты ROCKWOOL CONLIT SL 150 крепятся к стальным конструкциям при помощи клея Conlit Glue.

4.8 Подбор огнезащиты стальной колонны

Принимаем в качестве огнезащиты стальной колонны решение компании ROCKWOOL СНГ [9], изображенное на рисунке 4.9. Требуемая толщина минераловатной плиты ROCKWOOL CONLIT SL 150 заранее не известна, будет подбираться по методике, описанной в подразделе 3.3 данной работы, и должна обеспечивать огнезащиту на уровне не ниже R 45.

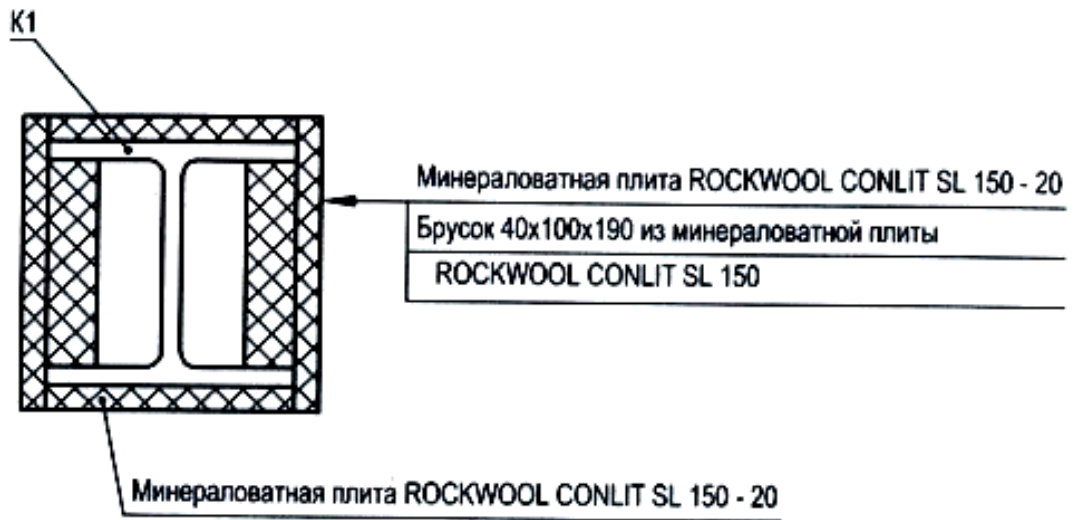


Рисунок 4.9 – Огнезащита стальной колонны

Нагрузка F_s (продольная сила N_s) для расчета фактического предела огнестойкости колонны (использованы данные таблицы сбора нагрузок на профилированный лист покрытия)

$$N_s = F_s = 36 \cdot (586 + 0,8 \cdot 560) = 37,2 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

При этом учтено:

- для особых сочетаний коэффициенты сочетаний для всех кратковременных нагрузок принимаются равными 0,8 (подраздел 6.5 из [17]);
- в особых сочетаниях коэффициент надежности по нагрузке для постоянных, длительных и кратковременных нагрузок следует принимать равным единице (подраздел 4.3 из [17]);
- грузовая площадь составляет 36 м².

Осевой момент инерции поперечного сечения колонны [23]

$$I_y = 1314 \text{ см}^4 = 1314 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

Вычислим коэффициенты (формулы 1 и 2 раздела 2.2 из [9])

$$\gamma_\tau = \frac{N_s}{AR_{yn}} = \frac{37,2 \cdot 10^3}{52,69 \cdot 10^2 \cdot 235} = 0,03;$$

$$\gamma_e = \frac{N_s l_{ef}^2}{\pi^2 EI_y} = \frac{37,2 \cdot 10^3 \cdot 3870^2}{3,14^2 \cdot 2,06 \cdot 10^5 \cdot 1314 \cdot 10^4} = 0,02.$$

Для полученных коэффициентов по таблице 1 раздела 2.2 из [9] находим значения температур и наименьшую (в нашем случае это 700 °С) принимаем за критическую температуру t_{cr} .

Приведенная толщина металла конструкции (формула 5 раздела 3.2 из [9])

$$t_{red} = \frac{A}{U} = \frac{52,69 \cdot 10^2}{1175} = 4,5 \text{ мм} ,$$

где A – площадь поперечного сечения металлической конструкции; U – обогреваемая часть периметра поперечного сечения конструкции.

U подсчитана на основе сортамента [23] и таблицы 3.4 из [14] при условии, что сечение обогревается по всему периметру.

Согласно рисунку 8 из [9] для огнезащиты колонны достаточно использовать минераловатные плиты ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 толщиной 20 мм. В этом случае температура 600 °С (наибольшая предусмотренная номограммами температура) будет достигнута примерно за 96 минут, что больше требуемых 45 минут.

Крепление огнезащиты описано в предыдущем подразделе.

5 ЗАДАНИЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ ПО ЗАЩИТЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ОТ ПОЖАРОВ

Общая постановка задачи приведена в подразделе 4.1 данной работы.

В зависимости от фамилии и имени студента выбираются:

- местонахождение здания (таблица 5.1);
- форма поперечного сечения балки (таблица 5.2);
- форма поперечного сечения колонны (таблица 5.3);
- высота этажа (таблица 5.4);
- степень огнестойкости здания (таблица 5.5).

Таблица 5.1 – Местонахождение здания

Первая буква фамилии студента	Местонахождение здания
А, Й, У, Э	Свободный
Б, К, Ф, Ю	Тында
В, Л, Х, Я	Братск
Г, М, Ц	Амурск
Д, Н, Ч	Николаевск-на-Амуре
Е, О, Ш	Астрахань
Ё, П, Щ	Волгоград
Ж, Р, Ъ	Воронеж
З, С, Ы	Тобольск
И, Т, Ь	Ерофей Павлович

Таблица 5.2 – Форма поперечного сечения балки

Вторая буква фамилии студента	Форма поперечного сечения балки
А, Г, Ё, И, Л, О, С, Ф, Ч, Ъ, Э	Двутавр типа Б по СТО АСЧМ 20-93
Б, Д, Ж, Й, М, П, Т, Х, Ш, Ы, Ю	Двутавр по ГОСТ 8239-89
В, Е, З, К, Н, Р, У, Ц, Щ, Ь, Я	Два швеллера по ГОСТ 8240-97

Таблица 5.3 – Форма поперечного сечения колонны

Первая буква имени студента	Форма поперечного сечения колонны
А, Г, Ё, И, Л, О, С, Ф, Ч, Ъ, Э	Двутавр типа К по СТО АСЧМ 20-93
Б, Д, Ж, Й, М, П, Т, Х, Ш, Ы, Ю	Труба по ГОСТ 10704-91
В, Е, З, К, Н, Р, У, Ц, Щ, Ь, Я	Профиль гнутый замкнутый квадратный по ГОСТ 30245-2003

Таблица 5.4 – Высота этажа

Вторая буква имени студента	Высота этажа, м
А, Г, Ё, И, Л, О, С, Ф, Ч, Ъ, Э	3,0
Б, Д, Ж, Й, М, П, Т, Х, Ш, Ы, Ю	3,3
В, Е, З, К, Н, Р, У, Ц, Щ, Ь, Я	3,6

Обрез фундамента находится на отметке минус 0,350 м.

Таблица 5.5 – Степень огнестойкости здания

Третья буква имени студента	Степень огнестойкости здания
А, Г, Ё, И, Л, О, С, Ф, Ч, Ъ, Э	I
Б, Д, Ж, Й, М, П, Т, Х, Ш, Ы, Ю	II
В, Е, З, К, Н, Р, У, Ц, Щ, Ь, Я	III

Студент может по согласованию с преподавателем разработать защиту от пожаров металлических конструкций другого здания.

Результатом выполнения курсового проекта является пояснительная записка (скомплектованная из листов формата А4), а также лист чертежей (формата А1).

В пояснительной записке следует произвести расчеты, аналогичные приведенным в разделе 4 данной работы.

Состав графической части курсового проекта:

- планы всех этажей, подвала (при его наличии), кровли;
- экспликация помещений;
- спецификация элементов заполнения проемов;
- схема расположения элементов металлических конструкций и ведомость элементов к ней;
- узлы (сечения, виды и др.), поясняющие огнезащиту металлических конструкций;
- примечания.

Состав графической части курсового проекта и содержание пояснительной записки могут быть скорректированы по согласованию с преподавателем.

Оформление пояснительной записки следует вести по стандарту ДальГАУ, а листа чертежей – по государственным стандартам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бартелеми, Б. Огнестойкость строительных конструкций / Б. Бартелеми, Ж. Крюппа. – М. : Стройиздат, 1985.
2. Бобков, С. А. Примеры и задачи по курсу «Физико-химические основы развития и тушения пожара» : Учеб. пособие / С. А. Бобков, А. В. Бабурин, П. В. Комраков. – М. : Академия ГПС МЧС России, 2010. – 98 с.
3. Бушев, В. П. Огнестойкость зданий / В. П. Бушев, В. А. Пчелинцев, В. С. Федоренко, А. И. Яковлев. – М. : Изд. литературы по строительству, 1970.
4. ГОСТ 24045-94 Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия.
5. ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.
6. ГОСТ 30247.1-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.
7. ГОСТ 30494-2011 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
8. ГОСТ 8509-93 Уголки стальные горячекатаные равнополочные. Сортамент.
9. Инструкция по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 ТУ 5767-029-45757203-10 и клея CONLIT Glue ТУ 2252-018-52935415-2010 / ФГУ ВНИИПО МЧС России. – М. : ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2011. – 30 с.
10. Мосалков, И. Л. Огнестойкость строительных конструкций / И. Л. Мосалков, Г. Ф. Плюснина, А. Ю. Фролов. – М. : ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. – 496 с.
11. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.

12. Общие принципы обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений / В. Ф. Голиков; 10-Пожарная часть 5-ОПО УГПС ГУВД РФ, г. Санкт-Петербург.
13. Огнезащита конструкций из профнастила. Огнезащитные потолки и облицовки / Promat.
14. Ройтман, В. М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В. М. Ройтман. – М. : Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.
15. СП 1.13130.2009 Системы противопожарной защиты. Эвакуационные пути и выходы.
16. СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная версия СНиП 23-01-99*.
17. СП 20.13330.2011 Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*.
18. СП 2.13130.2012 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
19. СП 12.13130.2009 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
20. СП 16.13330.2011 Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*.
21. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003.
22. СТО 0043-2005 Настилы стальные профилированные для покрытий зданий и сооружений. Проектирование, изготовление, монтаж.
23. СТО АСЧМ 20-93 Прокат стальной сортовой фасонного профиля. Двутавры горячекатаные с параллельными гранями полок. Технические условия.
24. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ "О пожарной безопасности".

25. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности".

26. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ "Технический регламент о безопасности зданий и сооружений".

27. Яковлев, А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А. И. Яковлев. – М. : Стройиздат, 1988.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.	
ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СТРОИТЕЛЬ-	
НЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ПРОТИВОПОЖАРНЫХ ПРЕГРАД, ЛЕСТ-	
НИЦ И ЛЕСТНИЧНЫХ КЛЕТОК, ЗДАНИЙ, СООРУЖЕНИЙ И	
ПОЖАРНЫХ ОТСЕКОВ.....	4
1.1 Пожарная опасность строительных материалов.....	4
1.2 Пожарно-техническая классификация строительных конструкций,	
противопожарных преград, лестниц и лестничных клеток.....	5
1.3 Пожарно-техническая классификация зданий, сооружений и по-	
жарных отсеков.....	14
1.4 Контрольные вопросы.....	20
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ РАСЧЕТА	
ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ	22
2.1 Факторы, определяющие поведение строительных конструкций	
в условиях пожара.....	22
2.2 Общие принципы расчета предела огнестойкости строительных	
конструкций.....	26
2.3 Расчетные схемы определения предела огнестойкости строитель-	
ных конструкций.....	29
2.4 Контрольные вопросы.....	31
3 ОГНЕСТОЙКОСТЬ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	33
3.1 Поведение металлических конструкций в условиях пожара.....	33
3.2 Способы огнезащиты металлических конструкций.....	37
3.3 Подбор огнезащиты металлических конструкций, обеспечиваю-	
щей требуемый предел их огнестойкости.....	39
3.4 Контрольные вопросы.....	41
	46

4 ПРИМЕР ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ОТ ПОЖАРОВ.....	
4.1 Постановка задачи.....	46
4.2 Тепловая защита здания.....	50
4.3 Подбор стального профилированного листа покрытия.....	54
4.4 Подбор стальной балки покрытия.....	55
4.5 Подбор стальной колонны.....	57
4.6 Подбор огнезащиты стального профилированного листа покрытия.....	59
4.7 Подбор огнезащиты стальной балки покрытия.....	60
4.8 Подбор огнезащиты стальной колонны.....	61
5 ЗАДАНИЕ К КУРСОВОМУ ПРОЕКТУ ПО ЗАЩИТЕ МЕТАЛЛИЧЕ- СКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ОТ ПОЖАРОВ.....	64
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	66

Ижгендеев Алексей Валерьевич

ЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЙ ОТ ПОЖАРОВ

*Учебное пособие по дисциплине «Защита зданий от пожаров» для студентов
направления 280700.62 (20.03.01) «Техносферная безопасность»*

В редакции составителя

Лицензия ЛР 020427 от 25.04.1997 г.

Подписано к печати 13.01.2015 г. Формат 60×90/16.

Уч.-изд.л. – 3,2. Усл.-п.л. – 4,5.

Тираж 100 экз. Заказ 13.

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии издательства ДальГАУ
675005, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86

