

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НИЖЕГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»

Кафедра «Производственная безопасность, экология и химия»

ОГНЕСТОЙКОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Учебно – методическое пособие к выполнению практической работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для подготовки бакалавров всех направлений и форм обучения



Нижний Новгород 2024

Составители: О.В. Маслеева, И.Г. Трунова

УДК 628.93:658.2 (075.5)

Огнестойкость строительных конструкций: учебно – метод. пособие к выполнению практической работы по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» для подготовки бакалавров всех направлений и форм обучения / НГТУ им. Р.Е. Алексеева; сост.: Маслеева О.В. Трунова И.Г. Н. Новгород, 2024. – 22 с.

Изложены краткие сведения из теории, задание к работе и порядок ее выполнения, указания к составлению отчета.

Редактор Э.Б. Абросимова

Подп. к печ.2024. Формат 60x84/16. Бумага газетная.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ .

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева.
Типография НГТУ. 603950. Н. Новгород, ул. Минина, 24.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

- изучить категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности;
- научиться определять предел огнестойкости строительных конструкций;
- выполнить расчет предела огнестойкости.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Пожар – неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Статистика показывает, что наиболее часто происходящими чрезвычайными ситуациями природного и техногенного характера являются пожары. В начале XXI столетия на Земле ежегодно регистрируется около 7 млн пожаров, при которых гибнет около 70 тыс. человек.

До настоящего времени остаются высокими риски возникновения пожаров на производствах, в технологических процессах которых используются пожаро- и взрывоопасные вещества и материалы. С учетом современных тенденций увеличения этажности и площадей жилых, общественных и административных зданий возрастают риски воздействия опасных факторов пожара на людей.

Опасными факторами пожара являются:

- пламя и искры;
- тепловой поток;
- повышенная температура окружающей среды;
- повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения;
- пониженная концентрация кислорода;
- сниженная видимость в дыму.

СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» устанавливает категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности.

Категории помещений определяются, исходя из вида находящихся в помещениях горючих веществ и материалов, их количества и пожароопасных свойств, а также, исходя из объемно-планировочных решений помещений и характеристик проводимых в них технологических процессов.

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д. Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности принимаются в соответствии с табл. 1.

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
А повышенная взрыво- пожароопасность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа. Природный газ, ацетилен, водород, бензин, ацетон.
Б взрыво- пожароопасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси. Мучная пыль, сахарная пудра, керосин.
В1-В4 пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с кислородом воздуха только гореть. Деревообрабатывающие цехи; трансформаторные подстанции; малярные цехи, в которых применяются масляные краски; библиотеки.
Г умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются в качестве топлива. Литейные, плавильные, кузнечные и сварочные цехи; цехи горячей прокатки металлов; цехи горячей штамповки, котельные.
Д пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии. Механические цеха холодной обработки металлов.

Классификация зданий и помещений по взрывопожарной и пожарной опасности применяется для установления требований пожарной безопасности, направленных на предотвращение возможности возникновения пожара и обеспечение противопожарной защиты людей и имущества в случае возникновения пожара.

Противопожарная защита должна достигаться применением следующих способов:

- средств пожаротушения;
- автоматических установок пожарной сигнализации и пожаротушения;
- основных строительных конструкций и материалов с нормированными показателями пожарной опасности;

- устройств, обеспечивающих ограничение распространения пожара;
- своевременного оповещения и эвакуации людей с помощью технических средств, включая автоматические;
- средств коллективной и индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара.

СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» устанавливает требования по обеспечению огнестойкости зданий и сооружений.

Строительные материалы и конструкции различаются пожарной опасностью и огнестойкостью.

Строительные конструкции могут быть выполнены из каменных материалов, бетона или железобетона, стали и дерева.

Железобетонные и каменные конструкции. В результате воздействия пожара поверхностные слои бетона и рабочая арматура теряют свои эксплуатационные свойства, что приводит к снижению несущей способности конструкции (рис. 1). Основными параметрами, которые оказывают влияние на предел огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций являются: вид бетона, вяжущего и заполнителя; класс арматуры; тип конструкции; форма поперечного сечения; размеры элементов; условия их нагрева; величина нагрузки и влажность бетона

Металлические конструкции. Сталь является негорючим материалом, но отличается высокой теплопроводностью. Это приводит к быстрому нагреву металлических конструкций и интенсивному развитию температурных деформаций, и обрушению. Фактический предел огнестойкости стальных конструкций в среднем составляет 15 мин (рис. 2).

Деревянные конструкции обладают повышенной пожарной опасностью. При 280-300°C древесина воспламеняется и начинает интенсивно гореть. При этом скорость распространения огня по деревянным конструкциям превышает 0,8 м/мин. Причиной обрушения деревянных элементов конструкций во время пожара является обугливание части сечения, что приводит к уменьшению рабочего сечения и при достижении предела прочности происходит обрушение (рис. 3).

Пожарная опасность строительных конструкций определяется степенью их участия в развитии пожара, в образовании его опасных факторов и зависит от пожароопасности материалов.

По горючести вещества и материалы подразделяются на следующие группы:

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

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



Рис. 1. Железобетонные конструкции



Рис. 2. Металлические конструкции



Рис. 3. Деревянные конструкции

Классификация строительных материалов по пожарной опасности основывается на их свойствах и способности к образованию опасных факторов пожара.

Пожарная опасность строительных материалов характеризуется следующими свойствами:

- горючесть (слабогорючие, умеренногорючие, нормальногорючие, сильногорючие материалы);
- воспламеняемость (трудновоспламеняемые, умеренновоспламеняемые, легковоспламеняемые материалы);
- способность распространения пламени по поверхности (нераспространяющие, слабораспространяющие, умереннораспространяющие, сильнораспространяющие);
- дымообразующая способность (с малой дымообразующей способностью, с умеренной дымообразующей способностью, с высокой дымообразующей способностью);
- токсичность продуктов горения (малоопасные, умеренноопасные, высокоопасные, чрезвычайно опасные).

К основным строительным конструкциям относят фундаменты, стены, отдельные опоры, перегородки, перекрытия, крыши, лестницы, окна, двери, ворота, световые и светоаэрационные фонари.

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

Предел огнестойкости строительных конструкций определяется в условиях стандартных испытаний или в результате расчетов по времени (в минутах) от начала огневого испытания или расчетного воздействия при стандартном температурном режиме до наступления одного или последовательно нескольких нормируемых для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости.

Показателем огнестойкости является предел огнестойкости конструкции, который в соответствии с ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» устанавливается в минутах до наступления одного из предельных состояний:

R – потеря несущей способности;

E – потеря целостности;

I – потеря теплоизолирующей способности.

Потеря несущей способности – обрушение или деформация конструкции, при наступлении которых исключается возможность ее дальнейшей эксплуатации (рис. 4).

Потеря целостности – образование в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые проникают продукты сгорания или пламя (рис. 5).

Потеря теплоизолирующей способности – повышение температуры на необогреваемой поверхности конструкции более, чем на 140°C или в любой точке поверхности более, чем на 180°C по сравнению с температурой конструкции до испытания (рис. 6).

На рис. 4 для сравнения показаны эквивалентные величины теплопроводности различных строительных материалов. Чем ниже теплопроводность, тем выше теплоизолирующая способность.



Рис. 4. Эквивалентные величины теплопроводности строительных материалов



Рис. 5. Потеря несущей способности



Рис. 6. Потеря целостности



Рис. 7. Потеря теплоизолирующей способности

Для производственных зданий степень огнестойкости, высоту зданий и площадь этажа в пределах пожарного отсека для производственных зданий в зависимости от категории по взрывопожарной и пожарной опасности следует принимать в соответствии с табл. 2.

Класс конструктивной пожарной опасности зданий – классификационная характеристика зданий, определяемая степенью участия строительных конструкций в развитии пожара и образовании опасных факторов пожара. Все конструкции условно делят на 4 класса, которые обозначаются буквой «С» и цифровым маркером:

- С0 – минимальный уровень, присваивается объектам, возведенным из негорючих материалов, устойчивых к тепловому разрушению;
- С1 – объекты с элементами из слабовоспламеняющихся материалов;
- С2 – здания и сооружения с использованием материалов категории слабогорючие и умеренногорючие;

- С3 –класс объектов, возведенных из материалов без градации требований к пожарной опасности.

Таблица 2

Степень огнестойкости зданий

Категория зданий	Допустимая высота здания, м	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Площадь этажа в пределах пожарного отсека зданий, м ²		
				одноэтажных	двухэтажных	многоэтажных
А	36	I, II	С0	Не огр.	5200	3500
	24	III	С0	7800	3500	2600
	-	IV	С0	3500	-	-
Б	36	I, II	С0	Не огр.	10 400	7800
	24	III	С0	7800	3500	2600
	-	IV	С0	3500	-	-
В	48	I, II	С0	Не огр.	25 000	10 400
	24	III	С0, С1	25 000	10 400	5200
	18	IV	С0, С1	25 000	10 400	-
	18	IV	С2, С3	2600	2000	-
	12	V	Не норм.	1200	600	-
Г	54	I, II	С0	Не ограничивается		
	36	III	С0	Не огр.	25 000	10 400
	30	III	С1	Не огр.	10 400	7800
	24	IV	С0	Не огр.	10 400	5200
	18	IV	С1	6500	5200	-
Д	54	I, II	С0	Не ограничивается		
	36	III	С0	Не огр.	50 000	15 000
	30	III	С1	Не огр.	25 000	10 400
	24	IV	С0, С1	Не огр.	25 000	7800
	18	IV	С2, С3	10 400	7800	-
	12	V	Не норм.	2600	1500	-

Класс конструктивной пожарной опасности здания в зависимости от класса пожарной опасности строительных конструкций указан в табл. 3.

Таблица 3

Класс конструктивной пожарной опасности зданий

Класс конструктивной пожарной опасности здания	Класс пожарной опасности строительных конструкций			
	Несущие стержневые элементы (колонны, фермы)	Наружные стены	Стены, перегородки, перекрытия	Стены лестничных клеток
С0	К0	К0	К0	К0
С1	К1	К2	К1	К0
С2	К3	К3	К2	К1
С3	Не нормируется	Не нормируется	Не нормируется	К1

Пожарная опасность строительных конструкций определяется степенью их участия в развитии пожара, в образовании его опасных факторов и зависит от пожароопасности материалов. По этому признаку различают четыре класса пожароопасности:

1. непожароопасные К0;
2. малопожароопасные К1;
3. умереннопожароопасные К2;
4. пожароопасные К3.

Всего имеется пять степеней огнестойкости. Конструктивные характеристики строительных конструкций.

I степень. Применяют несущие и ограждающие конструкции из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов.

II степень. Применяют как несущие и ограждающие конструкции из естественных или искусственных каменных материалов, бетона или железобетона, так и несущие стальные конструкции с конструктивной и поверхностной огнезащитой, однако допускается применять незащищенные стальные конструкции.

III степень. Применяют бетонные, железобетонные, каменные несущие конструкции, в которых применяются ограждения с деревянными перекрытиями. Для огнестойкого покрытия применяют трудногорючие плиты и листовые материалы, штукатурку. Каркасные здания, при строительстве которых используется незащищенная сталь. Ограждения делают из профилированного стального листа.

IV степень. Применяются незащищенные стальные конструкции и незащищенные деревянные конструкции, при обеспечении требуемого предела огнестойкости в течение 15 мин. Защита от высоких температур обеспечивается покрытием из плитки или штукатурки.

V степень. Пределы огнестойкости строительных конструкций не нормируются. Состоят только из сгораемых материалов.

Пределы огнестойкости строительных конструкций приведены в табл. 4 и должны соответствовать принятой степени огнестойкости зданий.

Указанные в табл. 4 пределы огнестойкости (число после буквы) соответствуют времени достижения одного или последовательно нескольких признаков предельных состояний: *R* – потеря несущей способности; *E* – потеря целостности; *I* – потеря теплоизолирующей способности вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции до предельных значений. Например, *R 120* означает, что через 120 мин произойдет потеря несущей способности строительных конструкций.

Фактически пределы огнестойкости определяются испытанием в специальных печах, в которых реализуется температурный режим, характеризуемый аналитической зависимостью вида

$$t_c = 345 \cdot \lg(8 \cdot \tau + 1) + t_0, \quad (1)$$

где τ – время горения, мин;

$t_0 = 20^\circ\text{C}$ – начальная температура.

Таблица 4

Предел огнестойкости строительных конструкций

Степень огнестойкости зданий	Предел огнестойкости строительных конструкций, не менее		
	Несущие элементы здания (стены, колонны)	Наружные ненесущие стены	Перекрытия междуэтажные
I	R 120	E 30	REI 60
II	R 90	E 15	REI 45
III	R 45	E 15	REI 45
IV	R 15	E 15	REI 15
V	Не нормируется		

Также предел огнестойкости может быть исправлен расчетным путем, который проводится по потере несущей способности и по прогреву необогреваемой поверхности конструкции. Время воздействия пожара, по истечении которого температура на необогреваемой поверхности достигает недопустимого уровня, или несущая способность снизится до величины действующих на конструкцию рабочих нагрузок или прогиб ее достигает недопустимого уровня, характеризует расчетную огнестойкость конструкции.

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА

При расчете конструкции на огнестойкость решают теплофизическую и прочностные задачи. Результаты решения теплофизической задачи служат исходными данными для решения прочностной задачи огнестойкости.

В инженерных расчетах используют следующие данные:

- характеристика распределения тепла в конструкции;
- коэффициент теплопроводности λ ;
- коэффициент теплоемкости C ;
- коэффициент температуропроводности α ;
- приведенный коэффициент температуропроводности $\alpha_{пр}$;
- коэффициент прогрева необогреваемой поверхности α_0 ;
- коэффициент передачи тепла лучеиспусканием $\alpha_{л}$;

- коэффициент теплоотдачи в момент наступления предела огнестойкости α_t .

По перечисленным параметрам можно рассчитать предел огнестойкости строительной конструкции.

Предел огнестойкости строительной конструкции производится в следующем порядке.

Плотность бетона в сухом состоянии

$$\rho = \frac{100 \cdot \rho_H}{100 + U_H}, \text{ кг/м}^3, \quad (3)$$

где ρ_H – плотность бетона, кг/м³;

U_H – влажность бетона, %.

Коэффициент теплопроводности λ_t при заданной температуре

$$\lambda_t = \lambda_0 - A \cdot t, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}, \quad (4)$$

где λ_0 – коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °С);

A – коэффициент;

t – расчетная температура, °С.

Коэффициент теплоемкости C_r при заданной температуре

$$C_r = C_0 + B \cdot t, \text{ Дж/(кг} \cdot \text{°C)}, \quad (5)$$

где C_0 – коэффициент теплоемкости, Дж/(кг · °С),

B – коэффициент,

t – расчетная температура, °С.

Коэффициент температуропроводности

$$\alpha_{пр} = \frac{3,6 \cdot \lambda_t}{(C_r + 0,05 \cdot U_H) \cdot \rho}, \text{ м}^2/\text{ч} \quad (6)$$

λ_t – коэффициент теплопроводности при заданной температуре, Вт/(м · °С);

C_r – коэффициент теплоемкости при заданной температуре, Дж/(кг · °С);

U_H – влажность бетона, %;

ρ – плотность бетона в сухом состоянии, кг/м³.

Коэффициент теплоотдачи в начале прогрева необогреваемой поверхности стены

$$\alpha_0 = 1,51 + 5,77 \cdot S, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}), \quad (7)$$

S – степень черноты необогреваемой поверхности.

Коэффициент теплоотдачи тепла лучеиспусканием

$$\alpha_{\text{л}} = 11,44 \cdot S, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}), \quad (8)$$

S – степень черноты необогреваемой поверхности.

Коэффициент теплоотдачи в момент наступления предела огнестойкости

$$\alpha_t = 8,14 + \alpha_{\text{л}}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}), \quad (9)$$

$\alpha_{\text{л}}$ – коэффициент теплоотдачи тепла лучеиспусканием, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}$.

Коэффициент теплоотдачи необогреваемой поверхности стены

$$\alpha^* = \frac{\alpha_0 + \alpha_t}{2}, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}) \quad (10)$$

где α_0 – коэффициент теплоотдачи в начале прогрева необогреваемой поверхности стены, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}$,

α_t – коэффициент теплоотдачи в момент наступления предела огнестойкости, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}$.

Критерий B

$$B = \frac{\alpha^* \cdot (d + K\sqrt{\alpha_{\text{пр}}})}{\lambda_t}, \quad (11)$$

где α^* – коэффициент теплоотдачи необогреваемой поверхности стены, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{C}$;

d – толщина стены, м;

K – коэффициент, принимается по табл. 5;

$\alpha_{\text{пр}}$ – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{ч}$.

Таблица 5

Выбор коэффициента K в зависимости от плотности материала

Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	100	500	1000	1500	2000	2450
Коэффициент K	0,46	0,50	0,55	0,58	0,60	0,65

Предел огнестойкости строительной конструкции

$$\tau_0 = \frac{2,3 \cdot (d + K\sqrt{\alpha_{\text{пр}}})^2}{\alpha_{\text{пр}} \cdot \mu^2} \cdot \lg \frac{A_i}{\frac{t_{\text{пр}}}{1250 - t_{\text{н}}} - \frac{1}{1 + B}}, \text{ ч} \quad (12)$$

d – толщина стены, м;

K – коэффициент, принимается по табл. 5;

$\alpha_{\text{пр}}$ – коэффициент температуропроводности, м²/ч;

μ – коэффициент, принимается по табл. 15 в зависимости от значения критерия B ;

A_i – коэффициент, принимается по табл. 15 в зависимости от значения критерия B ;

$t_{\text{н}}$ – начальная температура стены, °С;

B – критерий (расчет в соответствии с формулой (11)).

4. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

Для заданного варианта (табл. 12, 13):

- определить категорию заданного помещения по взрывопожарной и пожарной опасности (табл. 1);
- определить необходимый предел огнестойкости строительной конструкции исходя из категории помещения по взрывопожарной и пожарной опасности, высоты здания, количества этажей и площади этажа;
- выполнить расчет предела огнестойкости для сплошной несущей бетонной стены из условия, при котором на необогреваемой при пожаре поверхности температура не превышала $t_{\text{пр}} = 160^\circ\text{С}$.

Принять расчетную температуру $t = 450^\circ\text{С}$.

Обозначение марок бетона:

Г – бетон из гравийной крошки;

И – бетон с известняковым наполнителем;

П – бетон с песчаным наполнителем;

К – бетон с керамическим наполнителем.

Теплотехнические характеристики бетона приведены в табл. 14.

Значения величин μ и A_i выбираются из табл. 15.

5. ПРИМЕР РАСЧЕТА

Таблица 6

Исходные данные

Помещение	Литейный цех
Высота здания	36 м
Количество этажей	2
Площадь этажа	15000 м ²
Материал стены	Г – бетон с известковым наполнителем
Толщина стены	$d = 0,12$ м
Влажность стены	$U_n = 4$ %
Начальная температура стены	$t_n = 19^{\circ}\text{C}$
Степень черноты необогреваемой поверхности	$S = 0,77$
Расчетная температура	$t = 450^{\circ}\text{C}$
Температура на необогреваемой поверхности	$t_{np} = 160^{\circ}\text{C}$

Из табл.14 выписываем теплотехнические характеристики бетона.

Таблица 7

Характеристики бетона

Марка бетона	Г
Плотность материала	$\rho_n = 2200$ кг/м ³
Коэффициент теплопроводности	$\lambda_0 = 1,14$ Вт/(м ·°С)
Коэффициент теплоемкости	$C_0 = 0,71$ Дж/(кг ·°С)
Коэффициент	$A = -0,00055$
Коэффициент	$B = 0,00082$

Согласно СП 12.13130.2009 «Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности» (табл. 1) литейный цех относится к категории Г умеренная пожароопасность.

Таблица 8

Категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
Г умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени

Таблица 9

Степень огнестойкости зданий

Категория зданий	Допустимая высота здания, м	Степень огнестойкости здания	Класс конструктивной пожарной опасности здания	Площадь этажа в пределах пожарного отсека зданий, м ²		
				одно-этажных	двух-этажных	много-этажных
Г	36	III	С0		25 000	

Согласно СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты» (табл. 2) при высоте здания 36 м, количестве этажей 2, площадь этажа 15000 м² степень огнестойкости строительных конструкций должен быть не ниже III (табл. 4), класс конструктивной пожарной опасности здания – С0 (табл. 3).

III степень огнестойкости – применяют бетонные, железобетонные, каменные несущие конструкции, в которых применяются ограждения с деревянными перекрытиями. Для огнестойкого покрытия применяют трудногорючие плиты и листовые материалы, штукатурку. Каркасные здания, при строительстве которых используется незащищенная сталь. Ограждения делают из профилированного стального листа.

С0 – минимальный уровень, присваивается объектам, возведенным из негорючих материалов, устойчивых к тепловому разрушению;

Таблица 10

Предел огнестойкости строительных конструкций

Степень огнестойкости зданий	Предел огнестойкости строительных конструкций, не менее		
	Несущие элементы здания (стены, колонны)	Наружные несущие стены	Перекрытия междуэтажные
III	R 45	E 15	REI 45

Таблица 11

Класс конструктивной пожарной опасности зданий

Класс конструктивной пожарной опасности здания	Класс пожарной опасности строительных конструкций			
	Несущие стержневые элементы (колонны, фермы)	Наружные стены	Стены, перегородки, перекрытия	Стены лестничных клеток
С0	К0	К0	К0	К0

Для III степени огнестойкости предел огнестойкости несущих элементов составляет 45 мин (R 45) – минимальное время, в течение которого конструкция теряет свои несущие способности (табл. 10).

Для класса конструктивной пожарной опасности здания С0 класс пожарной опасности несущих элементов должен быть непожаропасные К0.

Рассчитаем предел огнестойкости заданных строительных конструкций.

Плотность бетона в сухом состоянии

$$\rho = \frac{100 \cdot \rho_H}{100 + U_H} = \frac{100 \cdot 2200}{100 + 4} = 2115 \text{ кг/м}^3.$$

Коэффициент теплопроводности при заданной температуре

$$\lambda_t = \lambda_0 - A \cdot t = 1,14 + 0,00055 \cdot 450 = 1,39 \text{ Вт/(м} \cdot ^\circ \text{С)}.$$

Коэффициент теплоемкости при заданной температуре

$$C_r = C_0 + B \cdot t = 0,71 + 0,00082 \cdot 450 = 1,079 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ \text{С)}.$$

Коэффициент температуропроводности

$$\alpha_{\text{пр}} = \frac{3,6 \cdot \lambda_t}{(C_r + 0,05 \cdot U_H) \cdot \rho} = \frac{3,6 \cdot 1,39}{(1,079 + 0,05 \cdot 4) \cdot 2115} = 0,0018 \frac{\text{м}^2}{\text{ч}}.$$

Коэффициент теплоотдачи в начале прогрева необогреваемой поверхности стены

$$\alpha_0 = 1,51 + 5,77 \cdot S = 1,51 + 5,77 \cdot 0,77 = 5,95 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ \text{С)}.$$

Коэффициент теплоотдачи тепла лучеиспусканием

$$\alpha_L = 11,44 \cdot S = 11,44 \cdot 0,77 = 8,81 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ \text{С)}.$$

Коэффициент теплоотдачи в момент наступления предела огнестойкости

$$\alpha_t = 8,14 + \alpha_L = 8,14 + 8,81 = 16,95 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ \text{С)}.$$

Коэффициент теплоотдачи необогреваемой поверхности стены

$$\alpha^* = \frac{\alpha_0 + \alpha_t}{2} = \frac{5,95 + 16,95}{2} = 11,45 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ \text{С)}.$$

Критерий B :

$$\alpha^* = 11,45 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ \text{С});$$

$$d = 0,12 \text{ м};$$

$$K = 0,62 \text{ по табл. 5};$$

$$\alpha_{\text{пр}} = 0,0018 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$B = \frac{\alpha^* \cdot (d + K\sqrt{\alpha_{\text{пр}}})}{\lambda_t} = \frac{11,45 \cdot (0,12 + 0,62\sqrt{0,0018})}{1,39} = 1,21.$$

Предел огнестойкости строительной конструкции

$$d = 0,12 \text{ м};$$

$$K = 0,62;$$

$$\alpha_{\text{пр}} = 0,0013 \text{ м}^2/\text{ч};$$

$$\mu = 2,087 \text{ по табл. 15};$$

$$A_i = -0,695 \text{ по табл. 15};$$

$$t_{\text{н}} = 19^\circ \text{С};$$

$$t_{\text{пр}} = 160^\circ \text{С};$$

$$B = 1,21;$$

$$\tau_o = \frac{2,3 \cdot (d + K\sqrt{\alpha_{\text{пр}}})^2}{\alpha_{\text{пр}} \cdot \mu^2} \cdot \lg \frac{A_i}{\frac{t_{\text{пр}}}{1250 - t_{\text{н}}} - \frac{1}{1 + B}};$$

$$\tau_o = \frac{2,3 \cdot (0,12 + 0,62\sqrt{0,0018})^2}{0,0018 \cdot 2,087^2} \cdot \lg \frac{-0,695}{\frac{160}{1250 - 19} - \frac{1}{1 + 1,21}} = 2,05 \text{ ч};$$

$$\tau_o = 2,05 \text{ ч} = 123 \text{ мин}$$

Для стен из бетона с известковым наполнителем предел огнестойкости составляет 123 мин.

Вывод:

Материал стен бетон с известковым наполнителем имеет предел огнестойкости 123 мин, что соответствует требованиям пожарной безопасности для литейного цеха категории Г при высоте здания 36 м, количестве этажей 2, площади этажа 15000 м² (степень огнестойкости строительных конструкций III с пределом огнестойкости 45 мин).

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 14.07.2022) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
2. СП 12.13130.2009 Свод правил. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
3. СП 2.13130.2020 Свод правил. Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты.
4. Пожарная безопасность: учебник / В. А. Пучков, Ш. Ш. Дагиров, А. В. Агафонов и др.; под общ. ред. В. А. Пучкова. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 877 с.
5. Пособие «Огнестойкость стальных несущих конструкций» / Ассоциация развития стального строительства; [Пронин Д.Г.]. – Москва: АКЦИОМ ГРАФИКС ЮНИОН, 2015. – 52 с.
6. **Ройтман, В.М.** Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / В.М. Ройтман. – Из-во Ассоциация «Пожарная безопасность и наука», 2001. – 382 с.

Таблица 12

Варианты заданий

№	Помещение	Высота здания	Количество этажей	Площадь этажа, м ²
1	Деревообрабатывающее производство. Цех по производству фанеры	18	1	1728
2	Производство водорода	12	1	1300
3	Склад ГСМ	24	1	6624
4	Цех по приготовлению древесной муки	12	1	144
5	Мукомольный завод	24	4	2450
6	Цех по приготовлению сахарной пудры	24	3	780
7	Производство мягкой мебели	24	4	2400
8	Лаборатория химического анализа	18	2	1960
9	Литейный цех	30	3	7300
10	Склады полимеров (пластмасс)	18	2	650
11	Ремонтно-механический цех	24	4	1152
12	Склад угля	18	1	14000
13	Лесопильный цех	18	1	648
14	Склад мазута	18	2	1440
15	Швейный цех	24	4	450
16	Кожевенный цех	18	3	432
17	Деревообрабатывающее производство. Склад сухих пиломатериалов	18	2	1600
18	Завод по производству силикатного кирпича	24	3	1728
19	Склады парфюмерных товаров	18	2	1456
20	Сварочно-сборочный цех	24	1	5760
21	Цех абразивных материалов	18	1	2440
22	Производство строительных бетонов	24	2	8640
23	Производство красок на основе олифы	12	1	720
24	Доменный цех	24	2	3456

Таблица 13

Варианты заданий

№	Марка бетона	Толщина стены, d , м	Влажность стены, U_H , %	Начальная температура стены, t_H , °C	Степень черноты необогреваемой поверхности, S
1	Г	0,12	4,5	18	0,87
2	И	0,14	4,0	19	0,85
3	П	0,12	3,5	20	0,84
4	К	0,14	4,5	21	0,82
5	Г	0,10	3,0	16	0,81
6	И	0,10	4,0	19	0,80
7	П	0,12	4,5	20	0,78
8	К	0,14	4,1	21	0,76
9	Г	0,16	3,5	20	0,74
10	И	0,12	4,2	19	0,72
11	П	0,16	4,4	17	0,70
12	К	0,09	4,4	18	0,68
13	Г	0,15	3,4	19	0,66
14	И	0,11	3,2	20	0,65
15	П	0,12	2,5	21	0,67
16	К	0,13	4,2	21	0,69
17	Г	0,14	3,8	20	0,71
18	И	0,15	3,3	19	0,73
19	П	0,16	2,8	18	0,75
20	К	0,16	2,6	17	0,77
21	Г	0,14	4,4	16	0,79
22	И	0,13	3,9	17	0,81
23	П	0,12	3,7	18	0,83
24	К	0,11	3,4	19	0,85

Таблица 14

Характеристики бетона

Параметр	Марка бетона			
	Г	И	П	К
Плотность материала, ρ_H , кг/м ³	2300	2200	1900	1600
Коэффициент теплопроводности, λ_0 , Вт/(м · °C)	1,20	1,14	1,05	0,42
Коэффициент теплоемкости, C_0 , Дж/(кг · °C)	0,71	0,71	0,77	0,84
Коэффициент А	-0,00035	-0,00055	-0,00058	-0,00016
Коэффициент Б	0,00084	0,00082	0,00063	0,00048

Таблица 15

Значения параметров μ и A_i

B	μ	A_i
1	2,018	-0,740
1,05	2,037	-0,726
1,1	2,055	-0,714
1,15	2,073	-0,702
1,2	2,090	-0,690
1,25	2,106	-0,679
1,3	2,121	-0,668
1,35	2,136	-0,658
1,4	2,151	-0,648
1,45	2,164	-0,639
1,5	2,178	-0,630
1,55	2,191	-0,621
1,6	2,203	-0,612
1,65	2,215	-0,604
1,7	2,227	-0,596
1,75	2,239	-0,588
1,8	2,250	-0,580
1,85	2,261	-0,573
1,9	2,271	-0,565
1,95	2,281	-0,558
2	2,291	-0,551
2,5	2,379	-0,491
3	2,451	-0,441
3,5	2,512	-0,399
4	2,565	-0,363
4,5	2,611	-0,331
5	2,653	-0,303

Категория А: насосные станции, которые занимаются перекачкой легко-воспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ); склады баллонов для горючих газов и бензина; помещения щелочных аккумуляторных и стационарных кислотных установок; водородные станции; малярные установки и кладовки, где применяют краски и растворители, имеющих температуру вспышки паров 28 °С или ниже.

Газы (ГГ). Аммиак, пропан, бутан, ацетилен.

Категория Б: цеха, занимающихся производством малярных работ с использованием красок, температура вспышки которых составляет от 28 до 61 °С; склады таких красок, насосные дизельного топлива; склады дизельного топлива; изготовлению деталей из пластических масс; участки мойки деталей, где применяют бензин и керосин; аммиачные холодильные установки.

Категория В1-В4: цехи лесопиления и деревообработки; цехи для бумажной и текстильной промышленности; различные швейные и текстильные фабрики; склады масла; трансформаторные подстанции; склады масляных красок; смазочное хозяйство заводов; малярные цехи, где применяют растворители и краски, имеющие температуру вспышки выше 61 °С; угольные эстакады; склады торфа; архивы; библиотеки.

Категория Г: кузнечные, литейные, плавильные и сварочные цехи; цехи для горячей прокатки металлов; котельные; горячей штамповкой, обжигом цементных и кирпичных заводов.

Категория Д: механические цехи, занимающиеся холодной обработкой металлов; компрессорные станции воздуха.