

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР  
СТАЛЬНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА

# КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

Технические рекомендации для проектирования



# **КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ**

Технические рекомендации  
для проектирования

# КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

Технические рекомендации  
для проектирования

Вахитова Л.Н., Калафат К.В.

**Любовь Вахитова** – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института физико-органической химии и углехимии НАН Украины, эксперт комитета по огнезащите стальных конструкций УЦСС

**Константин Калафат** – директор регионального испытательного центра безопасности строительных материалов и конструкций компании «Донстройтест», руководитель комитета по огнезащите стальных конструкций УЦСС

**Украинский Центр Стального Строительства (УЦСС)** – ассоциация участников рынка стального строительства, объединяющая ведущих производителей и дистрибьюторов стального проката, заводы по производству металлоконструкций, кровельных и фасадных систем, отраслевые проектные и научные организации, монтажные и строительные компании. Миссией УЦСС является продвижение стальных конструкций как предпочтительного материала строительства путем создания эффективных инновационных решений для клиентов.

Данная публикация не может переиздаваться, сберегаться или передаваться в любой форме и любыми средствами без предварительного письменного разрешения издателя, кроме случаев передачи в целях исследования, персонального изучения, критики или обзора, или случаев издания по лицензии УЦСС, или другого соответствующего органа лицензирования за пределами Украины. Хотя были приняты меры для обеспечения корректности данной публикации в пределах известных фактов или принятых на момент публикации практик, Украинский Центр Стального Строительства, авторы и редакторы не несут ответственности за любые ошибки или неверные толкования этой информации и за любые потери, связанные с ее использованием. Копии публикации, предоставляемые Членам УЦСС, не предназначены для продажи.

© Украинский Центр Стального Строительства, 2015

ISBN 978-617-696-371-4

Публикация содержит информацию о способах повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений путем использования традиционных строительных материалов – штукатурных смесей, каменных, бетонных, плитных изделий. Публикацию следует рассматривать в качестве технических рекомендаций по практическим правилам проектирования и монтажа стальных конструкций с заданным классом огнестойкости. В публикации приведены результаты по пределам огнестойкости стальных конструкций, защищенных строительными материалами, полученные при испытаниях систем огнезащиты в отечественных и мировых испытательных лабораториях, общепринятые конструктивные решения для проектирования пожарной безопасности.

Специалисты в области огнезащиты стальных строительных конструкций найдут рекомендации по проектированию конструктивных видов огнезащиты с использованием:

- Приведенных таблиц.
- Простых и уточненных расчетных моделей согласно Европейским строительным нормам (далее по тексту – Еврокоды).
- Доказанных огнезащитных решений.

Представленные материалы могут быть использованы проектными, строительными организациями с целью сокращения времени на поиск оптимальных способов огнезащиты, а также средств на определение пределов огнестойкости стальных конструкций. Использование уравнений, моделей и табличных данных этой публикации не избавляют от необходимости проведения огневых испытаний и других процедур, предусмотренных законодательством Украины в области пожарной безопасности.

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ</b> .....	<b>6</b>
<b>2. НОРМАТИВНЫЕ АКТЫ</b> .....	<b>8</b>
<b>3. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ</b>	
3.1. Предел огнестойкости стальных конструкций .....	11
3.2. Предел распространения огня .....	12
3.3. Пожарная опасность строительных материалов .....	12
3.4. Определение предела огнестойкости стальных конструкций .....	13
3.5. Номинальные температурные режимы .....	13
3.6. Критическая температура стали .....	14
3.7. Коэффициенты сечения металлоконструкций .....	14
3.8. Расчет огнестойкости стальных конструкций .....	17
3.9. Конструктивные противопожарные решения .....	19
<b>4. ТИПЫ ОГНЕЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ</b> .....	<b>21</b>
<b>5. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК СРЕДСТВА ОГНЕЗАЩИТЫ</b>	
5.1. Бетонные блоки, плиты, растворы .....	26
5.1.1 Стальные колонны .....	26
5.1.2 Трубобетонные колонны .....	33
5.1.3 Балки .....	39
5.1.4 Балки и колонны с частичным обетонированием .....	36
5.2. Кирпичи и камни строительные .....	37
5.2.1 Стальные колонны .....	39
5.3. Штукатурка .....	48
5.3.1 Цементно-песчаная штукатурка .....	48
5.3.2 Перлитовая (вермикулитовая) штукатурка .....	48
5.3.3 Стальные колонны .....	49
5.3.4 Балки .....	52
5.4. Гипсокартонные листы .....	54
5.4.1 Стальные колонны и балки .....	54
Приложение .....	58

# 1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

<p><b>Балки</b> горизонтально ориентированные несущие строительные конструкции, у которых ширина меньше или равна их высоте.</p>	ДСТУ Б.В.1.1-13:2007
<p><b>Колонны</b> вертикально ориентированные несущие строительные конструкции стержневой формы.</p>	ДСТУ Б.В.1.1-14:2007
<p><b>Коэффициент сечения коробчатый</b> отношение площади поверхности наименьшего прямоугольника или квадрата, который может быть описан вокруг стального профиля, к его объему.</p>	ДСТУ Б.В.1.1-17:2007
<p><b>Коэффициент сечения профильный</b> отношение площади поверхности стального профиля без огнезащитного покрытия, которая поддается огневому воздействию, к его объему.</p>	ДСТУ Б.В.1.1-17:2007
<p><b>Критическая температура конструктивного стального элемента для заданного уровня нагружения</b> температура, при которой возможно разрушение конструктивного стального элемента при равномерном температурном распределении.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010
<p><b>Критические предельные состояния</b> состояния, связанные с обрушением или с другими подобными формами разрушения несущей конструкции.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1990:2008
<p><b>Несущая способность</b> способность конструкции или элемента выдерживать установленные воздействия на протяжении соответствующего пожара в соответствии с определенным критерием.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010
<p><b>Нормируемая огнестойкость</b> способность конструкции или ее части (обычно, только элементов) выполнять требуемые функции (несущую и/или ограждающую способность) при воздействии нагрева в соответствии со стандартным температурным режимом при указанной комбинации нагрузок и в течение установленного периода времени.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010
<p><b>Огнезащита</b> снижение показателей пожарной опасности материала или повышение огнестойкости конструкции или изделия.</p>	ДСТУ 2272:2006
<p><b>Огнезащитный материал</b> какой-либо материал или комбинация материалов, которые применяются к конструктивному элементу с целью повышения его огнестойкости.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010
<p><b>Огнестойкость</b> способность конструктивной системы, ее части или отдельной конструкции выполнять требуемые функции (несущую и/или ограждающую) в течение установленной продолжительности регламентируемого пожара при заданном уровне загрузки.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010
<p><b>Пассивное огнезащитное покрытие (облицовка)</b> огнезащитное покрытие (облицовка), которое не изменяет своей физической формы во время нагрева и обеспечивает огнезащиту благодаря физическим или тепловым свойствам.</p>	ДСТУ Б.В.1.1-17:2007

<p><b>Предел огнестойкости</b> интервал времени (в часах или минутах) от начала огневого стандартного испытания образцов до возникновения одного из предельных состояний элементов и конструкций. Предельное состояние устанавливается действующими методиками.</p>	ДСТУ 2272:2006
<p><b>Предельные состояния</b> состояния, при превышении которых строительные конструкции не удовлетворяют соответствующим расчетным критериям (требованиям норм проектирования), а их эксплуатация недопустима, затруднена или нецелесообразна.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1990:2008
<p><b>Приведенная толщина металлоконструкции</b> отношение объема стального профиля без огнезащитного покрытия к площади его поверхности, которая подвергается огневому воздействию.</p>	НАПБ Б.01.012-2007
<p><b>Проектная температура</b> температура, принятая для целей проектирования, при которой стальная конструкция без огнезащитного покрытия теряет прочность под воздействием пожара.</p>	ДСТУ Б.В.1.1-17:2007
<p><b>Проектный сценарий пожара</b> определенное развитие пожара, принятое в целях проектирования.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010
<p><b>Расчетный сценарий пожара</b> определенный сценарий пожара, для которого производится расчет.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010
<p><b>Реактивное огнезащитное покрытие</b> покрытие, которое во время нагревания вследствие химических реакций значительно увеличивается в толщине и изменяет форму (вспучивается), обеспечивая огнезащиту за счет теплоизоляционного и охлаждающего эффектов.</p>	ДСТУ Б.В.1.1-17:2007
<p><b>Строительное противопожарное проектирование</b> проектирование сооружения с учетом требований противопожарной безопасности.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1990:2008
<p><b>Температурный режим пожара</b> определенное развитие пожара, принятое при проектировании.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010
<p><b>Теплоизоляционная способность</b> способность ограждающего элемента строительной конструкции, который подвергается огневому воздействию с одной стороны, ограничивать повышение температуры до определенного уровня на поверхности, которая не обогревается.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010
<p><b>Целостность</b> способность ограждающего элемента строительной конструкции, который подвергается огневому воздействию с одной стороны, предотвращать проникновение сквозь себя пламени и горячих газов, а также предотвращать возникновение пламени на стороне, не подверженной воздействию огня.</p>	ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010

## 2. НОРМАТИВНЫЕ АКТЫ

- (1) **«Кодекс гражданской защиты Украины»** регулирует отношения, связанные с защитой населения, территорий, окружающей среды и имущества от чрезвычайных ситуаций, реагированием на них, функционированием единой государственной системы гражданской защиты и определяет полномочия органов государственной власти.
- (2) **Регламент ЕС 305/2011 «Об установлении гармонизированных условий для распространения на рынке строительной продукции и отмене Директивы 89/106/ЕЕС»** конкретизирует основные требования и положения, которые необходимо предусматривать в стандартах и регламентных технических условиях на строительные конструкции и изделия, а также на методы их испытаний для обеспечения нормативного уровня пожарной безопасности. Строительные изделия должны проектироваться и возводиться так, чтобы в случае возникновения пожара:
  - несущая способность строительных конструкций сохранялась на протяжении определенного промежутка времени,
  - появление и распространение огня и дыма внутри строительного объекта были ограниченными,
  - было ограничено распространение пожара на соседние объекты,
  - люди могли оставить объект или могли быть спасены другим способом,
  - учитывалась безопасность пожарно-спасательных подразделений.
- (3) **ДБН В.1.1-7-2002 «Защита от пожара. Пожарная безопасность объектов строительства»** устанавливает пожарно-техническую классификацию строительных материалов, конструкций, противопожарных преград, наружных пожарных лестниц, лестниц и лестничных клеток, зданий и сооружений, помещений, а также общие требования по обеспечению безопасности людей в случае возникновения пожара, пожарной безопасности конструктивных и объемно-планировочных решений, оборудования зданий инженерно-техническими средствами защиты от пожара. Все здания и сооружения подразделяются на восемь степеней огнестойкости (табл. 1), которые устанавливаются в зависимости от назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности здания, его высоты (этажности), площади этажа в пределах противопожарного отсека.

**Таблица 1. Конструктивные характеристики зданий в зависимости от их степени огнестойкости**

Степень огнестойкости здания	Конструктивные характеристики
I, II	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона, железобетона с применением листовых и плитных негорючих материалов.
III	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из естественных или искусственных каменных материалов, бетона, железобетона. Для перекрытий разрешается применять деревянные конструкции, которые защищены штукатуркой или негорючими листовыми, плитными материалами, или материалами групп горючести Г1, Г2 <sup>1)</sup> . К элементам покрытий не предъявляются требования по пределу огнестойкости, распространению огня, при этом элементы чердачного покрытия из древесины должны иметь огнезащитную обработку.
IIIa	Здания преимущественно с каркасной конструктивной схемой. Элементы каркаса – из металлических незащищенных конструкций. Ограждающие конструкции – из металлических профилированных листов или других негорючих листовых материалов с негорючим утеплителем или утеплителем групп горючести Г1, Г2.
IIIб	Здания преимущественно одноэтажные с каркасной конструктивной схемой. Элементы каркаса – из древесины, которая подверглась огнезащитной обработке. Ограждающие конструкции выполняются с применением древесины или материалов на ее основе. Древесина и другие материалы группы горючести Г3, Г4 ограждающих конструкций должны быть подвергнуты огнезащитной обработке или защищены от воздействия огня и высоких температур.
IV	Здания с несущими и ограждающими конструкциями из древесины или других материалов группы горючести Г2-Г4, защищенных от воздействия огня и высоких температур штукатуркой или другими листовыми, плитными материалами. К элементам покрытий не предъявляются требования по пределу огнестойкости и пределу распространения огня, при этом элементы чердачного покрытия из древесины должны иметь огнезащитную обработку.
IVa	Здания преимущественно одноэтажные с каркасной конструктивной схемой. Элементы каркаса – из металлических незащищенных конструкций. Ограждающие конструкции – из металлических профилированных листов или других негорючих материалов с утеплителем групп горючести Г3, Г4.
V	Здания, к несущим и ограждающим конструкциям которых не предъявляются требования по пределу огнестойкости и пределу распространения огня.

1) Горючесть строительных материалов (Г) с отнесением их к соответствующей группе определяют по результатам испытаний согласно ДСТУ Б В.2.7-19-95 (ГОСТ 30244-94) «Строительные материалы. Методы испытаний на горючесть»: Г1 (низкой горючести); Г2 (умеренной горючести); Г3 (средней горючести); Г4 (повышенной горючести).

- (4) Проектирование и определение степени огнестойкости высотных зданий также осуществляется согласно ДБН В.1.1-7-2002, основные требования к системам пожарной безопасности объектов повышенной этажности изложены в п. 9 ДБН В.2.2-24:2009 «Проектирование высотных жилых и общественных зданий», а пожарная безопасность жилых многоэтажных зданий регламентируется п. 4 ДБН В.2.2-15-2005 «Жилые здания. Основные положения».
- (5) Различные степени огнестойкости зданий классифицируют в зависимости от пределов огнестойкости примененных строительных конструкций и элементов, в соответствии с табл. 2.

**Таблица 2. Минимальные значения классов огнестойкости строительных конструкций (R, E, I, мин) и максимальные значения пределов распространения огня по ним (M)<sup>1)</sup>**

Степень огнестойкости здания	Стены				Колонны	Лестничные площадки, косурь, лестницы балки, марши лестничных клеток	Перекрытия междуэтажные (в т.ч. чердачные и над подвалами)	Элементы совмещенных покрытий	
	Несущие и лестничных клеток	Самонесущие	Внешние несущие	Внутренние несущие (перегородки)				Плиты, настилы, прогоны	Балки, фермы, арки, рамы
I	REI 150 M0	REI 75 M0	E 30 M0	EI 30 M0	R 150 M0	R 60 M0	REI 60 M0	RE 30 M0	R 30 M0
II	REI 120 M0	REI 60 M0	E15 M0	EI 15 M0	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M0	RE 15 M0	R 30 M0
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормируются	
IIIa	REI 60 M0	REI 30 M0	E15 M1	EI 15 M1	R 15 M0	R 60 M0	REI 15 M0	RE 15 M1	R 15 M0
IIIб	REI 60 M1	REI 30 M1	E15, M0 E30, M1	EI 15 M1	R 60 M1	R 45 M0	REI 45 M1	RE 15, M0 RE 30, M1	R 45 M1
IV	REI 30 M1	REI 15 M1	E15 M1	EI 15 M1	R 30 M1	R 15 M1	REI 15 M1	Не нормируются	
IVa	REI 30 M1	REI 15 M1	E15 M2	EI 15 M1	R 15 M0	R 15 M0	REI 15 M0	RE 15 M2	R 15 M0
V	Не нормируются								

<sup>1)</sup> Пределы огнестойкости самонесущих стен, которые учитываются при расчетах жесткости и устойчивости здания, принимают как для несущих стен.

- (6) **ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 «Еврокод. Основы проектирования конструкций»** (EN 1990:2002, IDT) является аутентичным стандартом EN 1990 «Eurocode. Basis of structural design», содержит принципы и требования к надежности эксплуатационной пригодности и долговечности сооружений. Стандарт базируется на концепции предельных состояний, используемой совместно с методом частных коэффициентов надежности.
- (7) **ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Еврокод 1. «Воздействия на конструкции. Часть 1-2. Общие действия. Действия на конструкции во время пожара»** (EN 1991-1-2:2002, IDT) является тождественным переводом EN 1991-1-2:2002 «Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire» с технической поправкой EN 1991-1-2:2002/AC:2009. Данный стандарт определяет тепловые и механические воздействия на строительные конструкции при пожаре. Он используется совместно с частями ДСТУ-Н Б EN 1992 – ДСТУ-Н Б EN 1996 и ДСТУ-Н Б EN 1999 и Изменением №1 к ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 **Приложение НБ. Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010.**
- (8) **ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 Еврокод 3. «Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Основные положения. Расчет конструкций на огнестойкость»** (EN 1993-1-2:2005, IDT). Стандарт является тождественным переводом EN 1993-1-2:2005 «Eurocode 3: Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design» с технической поправкой EN 1993-1-2:2005/AC:2009. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 определяет основные подходы к расчету огнестойкости стальных конструкций и предназначен для использования совместно с ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 и ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010, Изменением №1 к ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 **Приложение НБ. Национальное приложение к ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010.**

- (9) **НАПБ Б.01.012-2007 «Правила по огнезащите»** содержит основные требования относительно проектирования, выполнения и приемки работ по огнезащитной обработке строительных конструкций, а также требования относительно приобретения огнезащитных средств и содержания огнезащитного покрытия. В Правилах подробно рассмотрены все этапы процедуры огнезащиты:
- проектирование огнезащитной обработки,
  - требования к Регламенту и Проекту работ по огнезащите,
  - способы и выполнение огнезащитной обработки конструкций,
  - порядок приобретения и использования огнезащитных средств,
  - порядок приемки работ по огнезащитной обработке,
  - условия эксплуатации и содержания огнезащитного покрытия.
- (10) **ДСТУ Б В.1.1-4-98\* «Защита от пожара. Строительные конструкции. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования».** Стандарт устанавливает общие требования к методам испытаний строительных конструкций на огнестойкость при номинальных температурных режимах и применяется для определения предела огнестойкости строительных конструкций.
- (11) **ДСТУ Б В.1.1-13:2007 «Защита от пожара. Балки. Метод испытания на огнестойкость»** (EN 1365-3:1999 «Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 3 Beams», NEQ) устанавливает метод испытания образцов балочных строительных конструкций (балок, ригелей, перемычек, элементов ферм, рам, арок и т.п.) на огнестойкость при температурном режиме в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. Стандарт применяется для определения предела огнестойкости балочных строительных конструкций, которые подвергаются воздействию огня с трех сторон.
- (12) **ДСТУ Б В.1.1-14:2007 «Защита от пожара. Колонны. Метод испытания на огнестойкость»** (EN 1365-4:1999 «Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 4 Columns», NEQ) устанавливает требования к методу испытания колонн на огнестойкость при номинальных температурных режимах в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. Стандарт применяется для определения предела огнестойкости колонн, выполненных из железобетона, дерева и др., а также металлических колонн с огнезащитным покрытием или облицовкой, которые могут подвергаться огневому воздействию при пожаре с четырех сторон.
- (13) **ДСТУ Б В.1.1-17:2007 «Защита от пожара. Огнезащитные покрытия для строительных несущих металлических конструкций. Метод определения огнезащитной способности»** (ENV 13381-4:2002: «Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied protection to steel members», NEQ) устанавливает требования к методу определения огнезащитной способности огнезащитных покрытий для несущих металлических конструкций, которые представляют собой стальные прокатные профили – стальные двутавры с соответствующими профильными (коробчатыми) коэффициентами сечения (приведенными толщинами) в виде балок и колонн с нанесенным на них огнезащитным покрытием. Результаты, полученные при таком методе испытаний, представляют собой зависимость предела огнестойкости металлоконструкций при широком варьировании приведенных толщин металла, толщин покрытия и критических температур потери несущей способности металлоконструкций.
- (14) **ДСТУ Б В.1.1-16:2007 «Защита от пожара. Воздуховоды Метод испытания на огнестойкость»** (EN 1366-1:1999 «Fire resistance tests for service installations – Part 1: Ducts», NEQ) устанавливает метод испытания воздуховодов на огнестойкость при огневом воздействии извне при номинальных температурных режимах согласно ДСТУ Б В.1.1-4-98\*. Стандарт применяется для определения предела огнестойкости воздуховодов, которые используются в приточно-вытяжных системах общеобменной вентиляции, в системах аварийной противодымной вентиляции, в системах кондиционирования воздуха, технологической вентиляции, в том числе газоходов различного назначения.

## 3. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

### 3.1. Предел огнестойкости стальных конструкций согласно ДСТУ Б В.1.1-4-98\*

- (1) Показателем огнестойкости конструкции является ее **предел огнестойкости**, который определяется временем (в минутах) от начала огневого испытания конструкции по стандартному температурному режиму до наступления одного из предельных состояний конструкции:
- потеря несущей способности (R),
  - потеря целостности (E),
  - потеря теплоизолирующей способности (I).

Предел огнестойкости является классификационной характеристикой строительных конструкций, определяющей область их применения. Нормируемые значения классов огнестойкости конструкций и противопожарных преград определяются в соответствии с ДБН В.1.1-7-2002, а также в отдельных строительных нормах на проектирование зданий различного функционального назначения.

- (2) **Предельное состояние по признаку потери несущей способности (R)** – это обрушение конструкций или возникновение предельных деформаций:
- а) для горизонтальных конструкций
- предельное значение прогиба

$$D=L^2/400b \text{ (мм)}$$

- предельное значение скорости нарастания деформации

$$dD/dt=L^2/9000b \text{ (мм-мин}^{-1}\text{)}$$

$L$  – длина пролета, мм;  $b$  – расчетная высота сечения конструкции, мм.

Если значение прогиба составляет не более  $L/30$ , то предельной деформацией является только предельное значение прогиба.

- б) для вертикальных конструкций
- предельное значение продольного смещения нагруженного конца конструкций

$$C=h/100 \text{ (мм)}$$

- предельное значение скорости нарастания вертикальных деформаций

$$dC/dt=3h/1000 \text{ (мм-мин}^{-1}\text{)}$$

$h$  – начальная высота, мм.

Для стальных конструкций с огнезащитными покрытиями предельным состоянием по признаку потери несущей способности может являться превышение средней температуры стального элемента над его начальной температурой на 480°C.

- (3) **Предельное состояние по признаку потери целостности (E)** – состояние, при котором выполняется одно из следующих условий:
- возгорание или тление со свечением ватного тампона, приближенного к не обогреваемой поверхности образца в местах трещин на расстоянии от 20 до 30 мм в течение промежутка времени не менее 30 с,
  - возникновение трещины, через которую можно свободно (без дополнительных усилий) ввести в печь щуп диаметром 6 мм и переместить его вдоль этой трещины на расстояние не менее 150 мм,
  - возникновение трещины (или отверстия), через которую можно свободно ввести в печь щуп диаметром 25 мм,
  - наблюдение пламени на не обогреваемой поверхности образца на протяжении промежутка времени не менее чем 10 сек.
- (4) **Предельным состоянием по признаку потери теплоизолирующей способности (I)** является превышение средней температуры на не обогреваемой поверхности над начальной средней температурой этой поверхности на 140°C или превышение температуры в произвольной точке не обогреваемой поверхности образца над начальной температурой в этой точке на 180°C.
- (5) Для нормирования пределов огнестойкости строительных конструкций используются следующие предельные состояния:
- для колонн, балок, ферм, арок и других стержневых конструкций, а также элементов лестниц (маршей, площадок) – R,
  - для элементов покрытий – R, E,
  - для наружных ненесущих стен и остекления – E,
  - для ненесущих внутренних стен (перегородок) – E, I,
  - для перекрытий и несущих и самонесущих стен – R, E, I.

Строительные конструкции в зависимости от нормированных предельных состояний по огнестойкости и предела огнестойкости делятся на классы огнестойкости.

Обозначение класса огнестойкости строительных конструкций состоит из условных буквенных обозначений предельных состояний и числа нормированного предела огнестойкости в минутах из ряда: 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180; 240; 360.

Например: Класс огнестойкости R 120 означает, что по признаку потери несущей способности значение предела огнестойкости должно быть не менее 120 мин и менее 150 мин.

Класс огнестойкости RE 60 означает, что по признакам потери несущей способности и потери целостности значение предела огнестойкости должно быть не менее 60 мин и менее 90 мин независимо от того, какое из этих двух предельных состояний наступит раньше.

Класс огнестойкости REI 30 означает, что по признакам потери несущей способности, потери целостности и теплоизолирующей способности значение предела огнестойкости должно быть не менее 30 мин и менее 45 мин независимо от того, какое из этих трех предельных состояний наступит раньше.

Если для конструкции нормируются разные пределы огнестойкости по различным предельным состояниям, обозначение класса огнестойкости состоит из двух или трех частей, разделенных между собой наклонной чертой.

Например: Класс огнестойкости R 120/EI 60 обозначает, что по признаку потери несущей способности конструкции значение предела огнестойкости должно быть не менее 120 мин, а по признаку потери целостности или теплоизолирующей способности значения предела огнестойкости должно быть не менее 60 мин, независимо от того, какое из двух последних предельных состояний наступит раньше.

Строительная конструкция, которая имеет предел огнестойкости по признаку потери несущей способности 145 мин, по признаку потери целостности 85 мин, а по потере теплоизолирующей способности 35 мин классифицируется как R 120/RE 60/REI 30.

### 3.2. Предел распространения огня

- (1) Показателем способности строительной конструкции распространять огонь является предел распространения огня (M), который определяют по методу, приведенному в Приложении Г к ДБН В.1.1-7-2002. По пределу распространения огня строительные конструкции подразделяют на три группы:
  - M0 (предел распространения огня равняется 0 см),
  - M1 (M ≤ 25 см – для горизонтальных конструкций; M ≤ 40 см – для вертикальных и наклонных конструкций),
  - M2 (M > 25 см – для горизонтальных конструкций; M > 40 см – для вертикальных и наклонных конструкций).
- (2) В случаях, когда строительная конструкция состоит только из негорючих материалов, её относят к группе M0 без проведения соответствующих испытаний.

### 3.3. Пожарная опасность строительных материалов

- (1) Строительные материалы классифицируют по показателям пожарной опасности:
  - **горючесть** (ДСТУ Б В.2.7-19-95 «Строительные материалы. Методы испытаний на горючесть»),
  - **воспламеняемость** (ДСТУ Б В.1.1-2-97 «Защита от пожара. Материалы строительные. Метод испытания на воспламеняемость»),
  - **распространение пламени по поверхности** (ДСТУ Б В.2.7-70-98 «Строительные материалы. Метод испытания на распространение пламени»),
  - **дымообразующая способность и токсичность продуктов горения** (ГОСТ 12.1.044-89 «ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения»).
- (2) Европейская классификация строительных материалов и изделий определена рядом аналогичных стандартов:
  - EN 13501-1:2007+A1:2009 «Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests»,
  - EN ISO 1182:2010 «Reaction to fire tests for building products. Non-combustibility test»,
  - EN ISO 1716:2010 «Reaction to fire tests for building products. Determination of the heat of combustion»,
  - EN 13823:2002 «Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item»,
  - EN ISO 11925-2:2010 «Reaction to fire tests. Ignitability of products subjected to direct impingement of flame. Single-flame source test»,
  - EN ISO 9239-1:2002 «Reaction to fire tests. Horizontal surface spread of flame on floor-covering systems. Determination of the burning behaviour using a radiant heat source».

### 3.4. Определение предела огнестойкости стальных конструкций

- (1) Пределы огнестойкости конструкций определяются по результатам огневых испытаний согласно национальным стандартам на соответствующие методы испытаний расчетными методами в соответствии со стандартами европейской линии проектирования Еврокодам, а также методиками, утвержденными или согласованными с центральным органом Государственной службы по Чрезвычайным ситуациям. Огневые испытания по определению предела огнестойкости несущих стальных конструкций проводят в соответствии с национальными стандартами ДСТУ Б В.1.1-4-98\*, ДСТУ Б В.1.1-13:2007, ДСТУ Б В.1.1-14:2007 и ДСТУ Б В.1.1-17:2007. В них подробно изложены требования к методам испытаний конструкций в условиях номинальных режимов развития пожара.
- (2) Предел огнестойкости стальных конструкций определяется расчетом в соответствии с требованиями ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010.

Расчет огнестойкости включает следующие этапы:

- выбор возможных расчетных сценариев пожара,
  - определение соответствующих проектных сценариев пожаров,
  - расчет повышения температуры в конструкциях (теплотехнический расчет),
  - расчет механических характеристик конструкций в условиях пожара (статический расчет).
- (3) Принятая при анализе модель конструктивной системы должна отражать ожидаемое поведение конструкции в условиях пожара.
  - (4) Воздействия на конструкции в условиях пожара классифицируются как чрезвычайные согласно п. 6.4.3.3(4) ДСТУ-Н Б EN 1990:2008.

### 3.5. Номинальные температурные режимы

- (1) Одним из основных критериев для расчета огнестойкости любой строительной конструкции является определение температурно-временной зависимости развития пожара, которая должна относиться только к одному рассматриваемому противопожарному отсеку здания, если в проектом сценарии развития пожара не указано другое. Различают номинальные и параметрические температурные режимы:
  - номинальные – общепринятые зависимости, адаптированные для классификации и подтверждения огнестойкости (стандартный температурный режим, температурный режим наружного пожара и температурный режим углеводородного пожара),
  - параметрические – зависимости, определенные на базе моделей пожара и специальных физических параметров, определяющих состояние среды в помещении при пожаре.
- (2) Для проектирования стальных конструкций в национальных нормах проектирования используют номинальные температурные режимы.
- (3) Методы моделирования реального (параметрического) пожара могут быть применены во время разработки мер по противопожарной защите зданий и сооружений.
- (4) ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 устанавливает следующие номинальные температурные режимы: стандартный температурный режим развития пожара, температурный режим внешнего пожара и режим углеводородного пожара (НС).

**Стандартный температурный режим (standard temperature-time curves)** – номинальная температурно-временная зависимость, определенная в ДСТУ Б В.1.1-4-98\* для представления модели развившегося пожара в помещении. Стандартный температурный режим определяется по формуле:

$$\Theta_g = 20 + 345 \lg(8t + 1) \quad (1)$$

$\Theta_g$  (°C) – температура среды вблизи конструкций,

$t$  (мин) – время развития пожара.

**Температурный режим наружного пожара (external fire curve)** – номинальная температурно-временная зависимость, применяемая для внешних поверхностей наружных стен, которые могут подвергаться воздействию пожара с различных частей фасада, непосредственно из помещения с ожидаемым пожаром или помещения, расположенного ниже или смежно с рассматриваемой наружной стеной. Температурный режим наружного пожара определяют по формуле:

$$\Theta_g = 660 (1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}) + 20 \quad (2)$$

**Температурный режим пожара углеводородов (hydrocarbon fire curve)** – номинальная температурно-временная зависимость для представления углеводородных пожарных нагрузок. Температурный режим углеводородного пожара описывается формулой:

$$\Theta_g = 1080 (1 - 0,325e^{-0,167t} - 0,675e^{-2,5t}) + 20 \quad (3)$$

К общепринятым номинальным режимам развития пожара также относятся: температурный режим медленно развивающегося пожара (Приложение В к ДСТУ Б В.1.1-4-98\*), модифицированная температурно-временная зависимость развития углеводородного пожара (НСМ), режимы развития пожара в автомобильных и железнодорожных тоннелях (RWS, RABT ZTV) и другие. Кривые зависимости некоторых номинальных режимов развития пожара представлены на рис. 1.

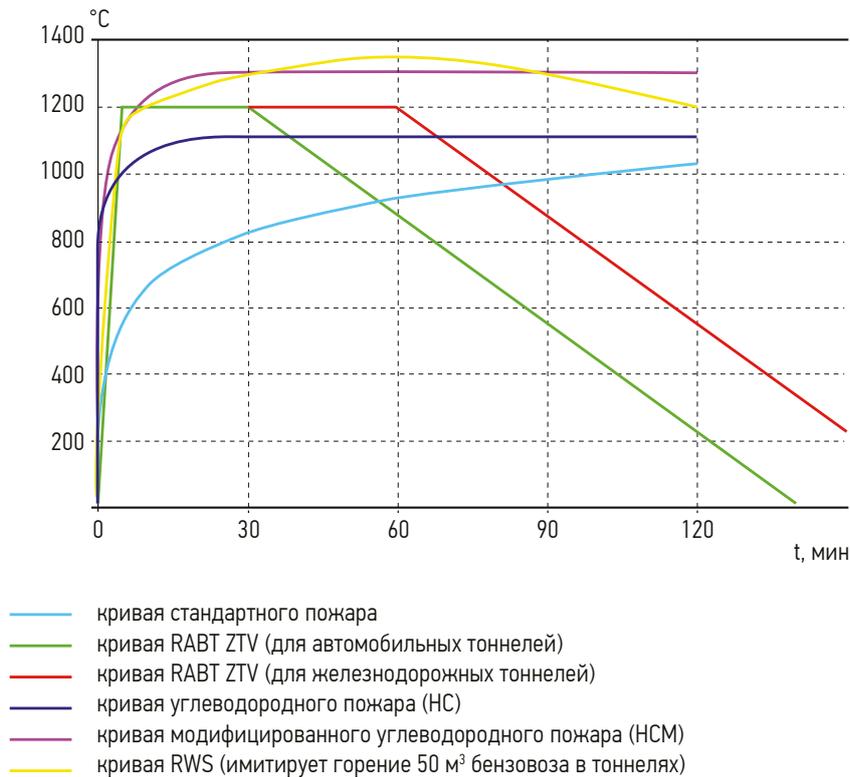


Рисунок 1. Номинальные температурно-временные зависимости развития пожаров

### 3.6. Критическая температура стали

- (1) В Украине в качестве критической (проектной) температуры стальных конструкций с огнезащитными покрытиями и облицовкой согласно ДСТУ Б В.1.1-4-98\* определена температура, которая превышает среднюю температуру стального элемента над его начальной температурой на 480°C. Имплементация в 2014 году полного объема Европейских строительных норм (Еврокодов) в Украине позволяет применять дифференцированный подход к определению критической температуры в зависимости от уровня нагружения.
- (2) **Критическая температура стали** для заданного уровня нагружения – это температура, при которой возможно разрушение конструктивного стального элемента при равномерном распределении температуры.
- (3) Высокая теплопроводность стали практически не вызывает температурного градиента внутри стальных элементов, что приводит к быстрому достижению критических температур их прогрева, когда происходит снижение прочностных (несущих) характеристик до тех величин, при которых конструкция становится неспособной выдерживать приложенную к ней внешнюю нагрузку, в результате чего наступает предельное состояние стальной конструкции по признаку потери несущей способности (R).
- (4) Критическая температура стали  $\theta_{a,cr}$  (°C), за исключением случаев, когда необходимо учитывать критерий деформации или явление устойчивости (табл. 3), при равномерном распределении температуры по конструкции, выполненной из углеродистых сталей S235-S460 согласно ДСТУ EN 10025 и всех марок согласно ДСТУ EN 10210 и ДСТУ EN 10219, в момент времени  $t$  может быть определена на основании коэффициента использования несущей способности  $\mu_o$  в момент времени  $t = 0$  с использованием следующей формулы:

$$\theta_{a,cr} = 39,19 \ln (1 / 0,9674 \mu_o^{3,833} - 1) + 482 \tag{4}$$

- (5) Ориентировочные значения критической температуры  $\theta_{a,cr}$  прогрева стальных конструкций для различных марок стали при нормативной эксплуатационной нагрузке приведены в табл. 4.

### 3.7. Коэффициенты сечения металлоконструкций

- (1) **Коэффициент сечения незащищенной стальной конструкции  $A_m/V$  (профильный коэффициент сечения)** является характеристической величиной ее сечения, равной отношению площади  $A_m$  поверхности в единице длины конструкции к ее объему  $V$  в той же единице длины.

**Таблица 3. Критическая температура  $\theta_{a,cr}$  в зависимости от значений коэффициента использования несущей способности  $\mu_0$**

$\mu_0$	$\theta_{a,cr}$ (°C)	$\mu_0$	$\theta_{a,cr}$ (°C)	$\mu_0$	$\theta_{a,cr}$ (°C)
0,22	711	0,42	612	0,62	549
0,24	698	0,44	605	0,64	543
0,26	685	0,46	598	0,66	537
0,28	674	0,48	591	0,68	531
0,30	664	0,50	585	0,70	526
0,32	654	0,52	578	0,72	520
0,34	645	0,54	572	0,74	514
0,36	636	0,56	566	0,76	508
0,38	628	0,58	560	0,78	502
0,40	620	0,60	554	0,80	496

**Таблица 4. Критические температуры стальных конструкций для различных марок стали**

Материал конструкции	$\theta_{a,cr}$ (°C)
Сталь углеродистая Ст3, Ст5	470
Низколегированная сталь 30ХГ2С	500
Низколегированная сталь 25Г2С	550
Сталь марки 10Х17Н13М2Т	700

В общем случае, когда площадь сечения стальной конструкции не изменяется по всей длине элемента, коэффициент сечения определяется как отношение периметра стальной конструкции к площади её сечения.

Стальные конструкции с высоким коэффициентом  $A_m/V$  быстрее реагируют на тепловые и огневые нагрузки и имеют более низкий предел огнестойкости. Стальные конструкции с низким коэффициентом сечения  $A_m/V$  являются более массивными и имеют большую инерцию к прогреву всего объема конструкции, вследствие чего имеют более высокий предел огнестойкости.

Примеры расчета некоторых коэффициентов сечения стальных конструкций  $A_m/V$  приведены в табл. 5.

Понятие «профильный коэффициент сечения» является идентичным понятию «коэффициент сечения незащищенной стальной конструкции» и чаще всего используется при испытаниях или проектировании средств огнезащиты для стальных конструкций.

При проведении расчетов по определению коэффициентов сечения стальных конструкций и дальнейшего расчета их предела огнестойкости необходимо учитывать только площадь (или периметр) обогреваемой поверхности стальной конструкции.

- (2) **Коробчатый коэффициент сечения стальной конструкции  $A_{mk}/V$**  – это отношение площади наименьшего прямоугольника или квадрата, которые могут быть описаны вокруг стального профиля, к его объему. Используется при проектировании огнезащитных материалов, представляющих собой конструкционные материалы (плиты, маты и т. п.). Для случаев, когда площадь сечения стальной конструкции не изменяется по всей длине элемента, коробчатый коэффициент сечения определяется как отношение периметра наименьшего прямоугольника или квадрата, которые могут быть описаны вокруг стального профиля, к площади ее сечения. При расчетах необходимо учитывать только площадь (или периметр) обогреваемой поверхности стальной конструкции.

Примеры расчетов коробчатых коэффициентов сечения стальных конструкций с огнезащитными материалами (облицовкой) приведены в табл. 6.

Таблица 5. Расчет профильных коэффициентов сечения  $A_m/V$  для незащищенных стальных конструкций

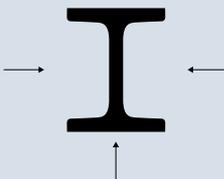
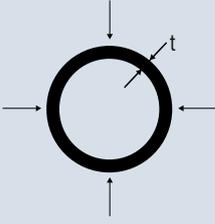
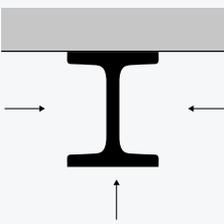
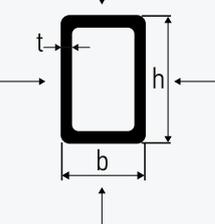
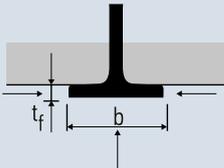
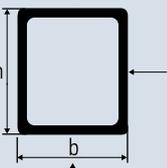
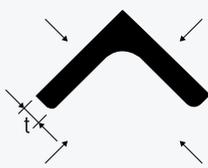
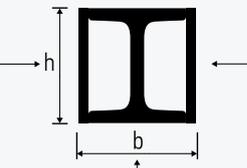
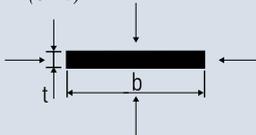
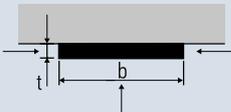
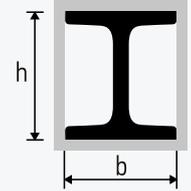
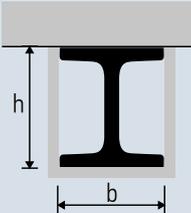
<p>Открытое сечение, подвергающееся действию огня со всех сторон:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{периметр}}{\text{площадь поперечного сечения}}$ 	<p>Трубчатое сечение, подвергающееся действию огня со всех сторон:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$ 
<p>Открытое сечение, подвергающееся действию огня с трех сторон:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{площадь, подвергающаяся огневому воздействию}}{\text{площадь поперечного сечения}}$ 	<p>Замкнутый профиль или сварное коробчатое сечение с одинаковой толщиной стенок, подвергающееся действию огня со всех сторон:</p> <p>при <math>t \ll b</math>: <math>\frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t}</math></p> 
<p>Двутавровое сечение, подвергающееся действию огня с трех сторон:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{(b+2t_f)}{(b \cdot t_f)}, \text{ при } t \ll b: \frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t_f}$ 	<p>Сварное коробчатое сечение, подвергающееся действию огня со всех сторон:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{площадь поперечного сечения}}$ <p>при <math>t \ll b</math>: <math>\frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t}</math></p> 
<p>Угловой профиль, подвергающийся действию огня со всех сторон:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2}{t}$ 	<p>Двутавровый профиль с боковым усилением, подвергающийся действию огня со всех сторон:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+h)}{\text{площадь поперечного сечения}}$ 
<p>Плоский профиль, подвергающийся действию огня со всех сторон:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b+t)}{(b \cdot t)}, \text{ при } t \ll b: \frac{A_m}{V} \approx \frac{2}{t}$ 	<p>Плоский профиль, подвергающийся действию огня с трех сторон:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{(b+2t)}{(b \cdot t)}, \text{ при } t \ll b: \frac{A_m}{V} \approx \frac{1}{t}$ 

Таблица 6. Расчет коробчатых коэффициентов сечения  $A_{mk}/V$  стальных конструкций, покрытых огнезащитным материалом

Схематический чертеж	Описание конструкции	Коэффициент сечения ( $A_{mk}/V$ )
	Полая облицовка одинаковой толщины, действие огня с четырех сторон	$\frac{2(b+h)}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$
	Полая облицовка одинаковой толщины, действие огня с трех сторон	$\frac{2h+b}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$

- (3) **Приведенная толщина металла ( $\delta$ )** – отношение площади поперечного сечения металлической конструкции  $S$  к внешней части её периметра  $P$ , который подвергается действию огня:

$$\delta = S/P \quad (5)$$

Профильный коэффициент сечения  $A_m/V$  является величиной, обратной приведенной толщине металла ( $\delta$ , мм):

$$A_m/V = (1/\delta_{пр}) \times 1000 = P/S \times 1000 \quad (6)$$

- (4) **Приведенная коробчатая толщина металла ( $\delta_k$ )** – отношение площади поперечного сечения металлической конструкции  $S$  к периметру наименьшего прямоугольника или квадрата  $P_k$ , которые могут быть описаны вокруг этой конструкции:

$$\delta_k = S/P_k \quad (7)$$

Термин «Приведенная коробчатая толщина металла» не определен ни одним национальным или европейским нормативным документом, однако все чаще встречается в публикациях и статьях, связанных с огнезащитой стальных конструкций, а также в протоколах испытаний и сертификатах соответствия на конструктивные огнезащитные материалы.

### 3.8. Расчет предела огнестойкости стальных конструкций

- (1) Стальные конструкции в реальных условиях эксплуатации могут быть:
- незащищенными,
  - защищенными огнезащитными материалами,
  - защищенные теплоотражающими экранами.
- (2) В соответствии с ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 предел огнестойкости стальных конструкций определяют, используя следующие методы:
- упрощенные методы расчета,
  - уточненные методы расчета,
  - испытания.

В Еврокоде 1 (ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010) рассмотрены тепловые и механические нагрузки на строительные конструкции в условиях пожара. Данный стандарт используется совместно с противопожарными частями стандартов ДСТУ-Н Б EN 1992 – ДСТУ-Н Б EN 1996 и ДСТУ-Н Б EN 1999, содержащими правила проектирования строительных конструкций с учетом обеспечения их огнестойкости. Стандарт определяет номинальные и параметрические (физически обоснованные) тепловые нагрузки, устанавливает принципы и правила определения тепловых и механических нагрузок, которые должны применяться совместно с другими Еврокодами.

Согласно Еврокоду 3 (ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010) упрощенные расчетные модели основываются на традиционных допущениях и являются упрощенными методами расчета конструкций на огнестойкость.

Уточненные (или продвинутые) методы расчета являются способами расчета, при которых соответствующим образом используются инженерные принципы для решения специфических прикладных задач. Уточненные расчетные модели рекомендуется использовать для воспроизведения целой конструктивной системы, части конструктивной системы или отдельной конструкции.

- (3) Для упрощенных методов расчета несущая функция стальной конструкции считается сохранившейся, если расчетное значение результата действия пожара в течение определенного времени его расчетного сценария не превышает соответствующее расчетное сопротивление стальной конструкции за это же время.

- (4) Расчетное значение действия расчетного сценария пожара определяется в соответствии с ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010. Расчетное сопротивление в определенный момент времени обычно определяется в предположении равномерного распределения температуры по площади поперечного сечения путем корректировки расчетного сопротивления при нормальной температуре с учетом изменения механических свойств конструкции при повышенных температурах.
- (5) Уточненные методы расчета должны обеспечивать реалистичный анализ конструктивной системы, подвергающейся воздействию пожара. Они включают отдельные расчетные модели для определения:
- возрастания и распределения температуры внутри конструктивных элементов (теплотехнический расчет),
  - механического поведения конструктивной системы (статический расчет).

Уточненные методы расчета могут быть использованы совместно с любой зависимостью, которая описывает режим прогрева, при условии, что известны характеристики материала для соответствующих диапазонов температур.

### 3.8.1. Расчет предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций

- (1) Для принятия решения о необходимости проведения огнезащитных работ в некоторых случаях целесообразно произвести расчет предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций (без огнезащитного покрытия).

Необходимо учесть, что согласно п.4.40 ДБН В.1.1-7-2002 в случаях, когда требование к огнестойкости стальной конструкции составляет 15 минут, допускается применять незащищенные металлические конструкции независимо от их фактического предела огнестойкости, за исключением случаев, оговоренных в НД.

- (2) Расчет огнестойкости незащищенных стальных конструкций сводится к определению прироста температуры конструкции с течением времени при номинальном температурном режиме и к дальнейшему сравнению полученных результатов со значением критической температуры стали.
- (3) Прирост температуры при ее равномерном распределении в поперечном сечении незащищенной стальной конструкции за определенный промежуток времени рассчитывают по формуле (4.25) ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010:

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \cdot \frac{A_m}{V c_a \rho_a} \cdot \dot{h}_{net} \Delta t, \quad (8)$$

где:

$k_{sh}$  – поправочный коэффициент для учета влияния теневого эффекта,

$A_m/V$  – коэффициент сечения незащищенных стальных конструкций, равный не менее  $10 \text{ м}^{-1}$ ,

$A_m$  – площадь поверхности конструкции на единицу длины,

$V$  – объем конструкции на единицу длины,

$c_a$  – удельная теплоемкость стали,

$\dot{h}_{net}$  – расчетное значение поглощенного удельного теплового потока на единицу площади,

$\rho_a$  – плотность стали равная  $7850 \text{ кг/м}^3$ ,

$\Delta t$  – промежуток времени, при этом  $\Delta t \leq 5 \text{ сек.}$

- (4) Используя выражение по определению прироста температуры незащищенной стальной конструкции при стандартном температурном режиме, были получены зависимости между коэффициентом сечения и температурой стальной конструкции в различный период времени (табл. 7).

### 3.8.2. Расчет предела огнестойкости стальных конструкций с огнезащитными материалами

- (1) Еврокод 3 (часть 1-2) позволяет рассчитать предел огнестойкости стальных конструкций с огнезащитными материалами, исходя из их теплофизических характеристик.
- (2) К огнезащитным материалам относятся любые материалы или их сочетания, примененные к строительной конструкции с целью повышения ее огнестойкости. Необходимым условием использования при расчетах характеристик огнезащитных материалов является требование, что огнезащитные материалы в условиях пожара должны не разрушаться и оставаться сцепленными с основанием.
- (3) Прирост температуры стального элемента за определенный промежуток времени для равномерного распределения температуры в поперечном сечении защищенной стальной конструкции определяют по формуле, приведенной в ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010, которая учитывает:
- коэффициент сечения стальных конструкций,
  - геометрические характеристики огнезащитного материала,
  - теплофизические характеристики огнезащитного материала,
  - теплофизические характеристики стали и т.д.

Формула расчета прироста температуры стального элемента приведена в п.3.8.1(8) настоящей публикации.

**Таблица 7. Температура незащищенных стальных конструкций при воздействии стандартного температурного режима в течение 15 – 60 мин**

Коэффициент сечения $A_m/V$	Температура стальных конструкций, °С				Коэффициент сечения $A_m/V$	Температура стальных конструкций, °С			
	15 мин	30 мин	45 мин	60 мин		15 мин	30 мин	45 мин	60 мин
20	193	428	625	735	100	564	766	890	938
30	264	551	727	831	120	604	792	893	939
40	327	634	759	899	140	634	809	895	940
50	382	689	813	922	160	655	819	896	941
60	430	720	850	931	180	671	825	897	942
70	472	734	870	934	200	682	828	897	942
80	508	741	881	936	300	708	835	899	943
90	538	752	886	937	400	717	837	900	944

### 3.9. Подходы конструктивных противопожарных решений

- (1) Противопожарное техническое проектирование должно осуществляться с использованием директивных подходов, изложенных в национальных нормативных документах, а также с применением расчетных методов согласно Еврокодов. В табл. 8 приведена краткая информация о методах и инструментах, предусмотренных законодательством Украины для проектирования различных противопожарных решений.
- (2) Простые решения для защищенных и незащищенных стальных элементов регламентированы ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 и ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:2012. Альтернативно существуют основанные на методе конечных элементов пакеты программ, которые применяют для численного моделирования развития пожаров и проектирования огнезащиты. Методы проектирования сложных стальных конструктивных схем и элементов подробно рассмотрены в Приложениях ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:2012.
- (3) Для оценки предела огнестойкости конструкций, защищенных теплоизоляционными материалами, помимо расчетных моделей Еврокодов, возможно применение метода эмпирических корреляций и теплофизический расчет. Такой подход подробно изложен в Международных строительных нормах «International Building Code. Chapter 7 – Fire and Smoke Protection Features» и использован авторами для расчета пределов огнестойкости отечественного сортамента стальных колонн и балок, защищенных строительными материалами.
- (4) Расчеты по эмпирическим уравнениям Международных строительных норм (далее по тексту – МСН) подтверждены действующей в США практикой огнезащиты путем множественных огневых испытаний согласно стандартам ASTM. Данные, накопленные при испытаниях самых разнообразных строительных конструкций на протяжении длительного времени, позволили разработать международные стандарты по огнезащитной эффективности общепринятых строительных материалов таких, как кирпичная кладка, керамическая плитка, гипсокартонные листы и различные штукатурные смеси. Эти обобщенные данные по огнезащите строительных конструкций зарегистрированы в качестве строительных норм, правил и стандартов и применяются при разработке проектов строительства в части огнезащитной обработки.
- (5) Совпадение в пределах допустимых погрешностей расчетных пределов огнестойкости защищенных стальных колонн и балок, полученных с применением Еврокодов и эмпирических уравнений, приведенных в Международных строительных нормах, действующих в США, позволяет утверждать об адекватности расчетных моделей, предлагаемых мировой практикой противопожарной защиты и является стимулом к внедрению в Украине расчетных методов проектирования огнезащиты стальных конструкций.
- (6) Проектирование типовых стальных конструкций и узлов может производиться с использованием табличных данных, в которых необходимая толщина определенного средства огнезащиты выражается как функция предела огнестойкости, коэффициента сечения стальной конструкции и её критической температуры.
- (7) Использование уравнений, моделей и табличных данных не избавляют от необходимости проведения огневых испытаний и других процедур, предусмотренных законодательством Украины в области пожарной безопасности.

Таблица 8. Подходы к противопожарному проектированию строительных конструкций

Подход	Инструментарий	Действие тепла	Действие огня	Огнестойкость
Директивный подход (методы с использованием номинальных температурных режимов)	Техническая документация	Стандартные огневые испытания: ДСТУ Б В.1.1-4-98* ДСТУ Б В.1.1-13:2007 ДСТУ Б В.1.1-14:2007 ДСТУ Б В.1.1-17:2007	Соответствующая информация может быть найдена в: <ul style="list-style-type: none"> <li>сертификатах соответствия УкрСЕПРО</li> <li>протоколах испытаний аккредитованных лабораторий;</li> <li>публикациях УЦСС</li> </ul>	
	Упрощенные расчетные модели	Стандартные расчеты в соответствии с ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2	Стальные элементы по ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2	
			Композитные элементы по ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2	
	Приложение D2, п. 4.3.4.2.2	Приложение E-F, п. 4.3.1, п. 4.3.4.2.4 п. 4.3.4.2.3		
Уточненные расчетные модели		Взаимодействие между конструктивными элементами		
		Физические модели для определения теплопередачи. Анализ методом конечных элементов	Физические модели для определения поведения конструктивных систем (зданий) при действии огня. Анализ методом конечных элементов	
Эффективный подход (методы с использованием режимов реального пожара) <sup>1)</sup>	Упрощенные расчетные модели	Параметрический пожар Локализованный пожар	Стальные элементы по ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2	
			п. 4.2.5	п. 4.2.3, п. 4.2.4
	Уточненные расчетные модели	Реальный пожар по ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2 Приложение А, F Локализованные модели Зонированные модели	Взаимодействие между конструктивными элементами	
Физические модели для определения теплопередачи. Анализ методом конечных элементов			Физические модели для определения поведения конструктивных систем (зданий) при действии огня. Анализ методом конечных элементов	

<sup>1)</sup> Согласно Национального приложения к ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2 (Изменение №1) методы моделирования реального пожара могут быть применены во время разработки мероприятий по противопожарной защите зданий.

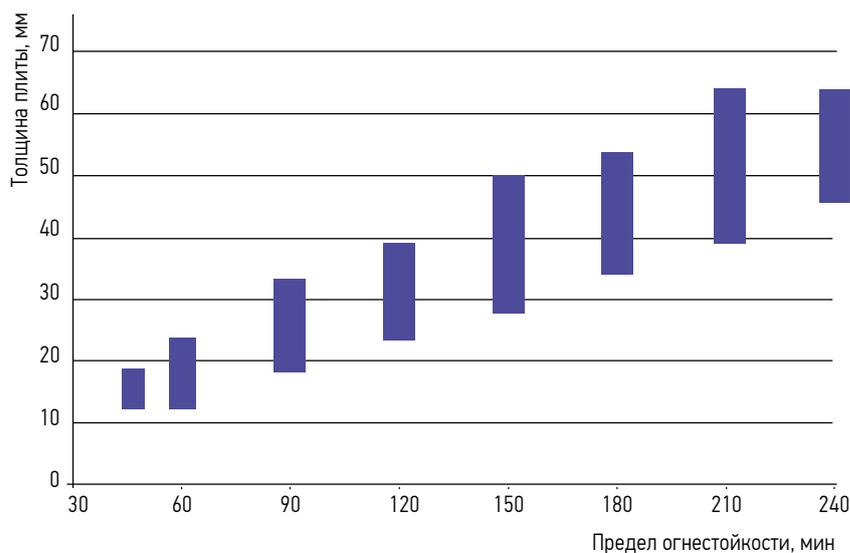
## 4. ТИПЫ ОГНЕЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

(1) Способы огнезащиты делятся на две основные группы – активные и пассивные.

**Активные способы** представляют собой адресно-аналоговые системы пожарной организации: пожарные сигнализации, автоматические системы пожаротушения: водные спринклерные установки и системы автоматического дымоудаления.

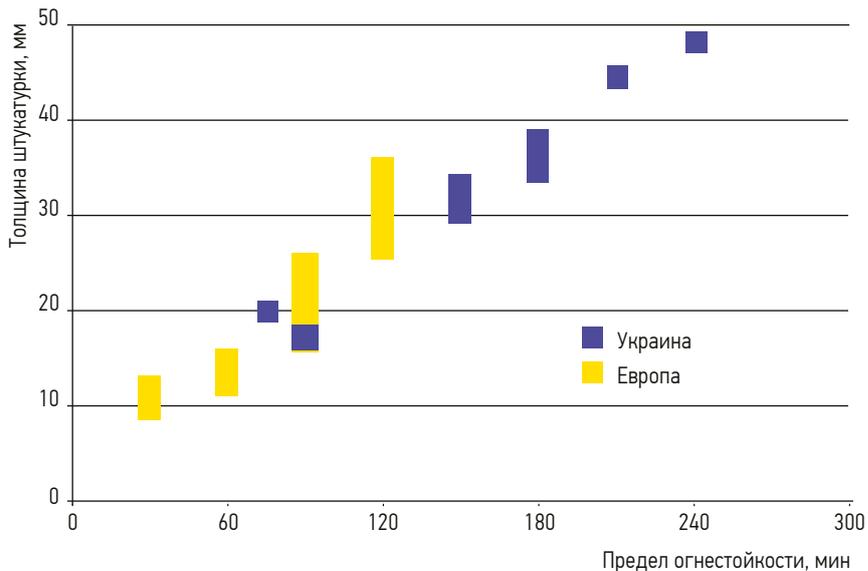
**Пассивные способы** заключаются в повышении предела огнестойкости стальных конструкций путем использования средств огнезащиты:

- теплоизоляционные огнезащитные покрытия – огнезащитные покрытия (облицовки), которые не изменяют своей физической формы во время нагрева и обеспечивают огнезащиту благодаря физическим или тепловым свойствам,
  - реактивные огнезащитные покрытия – покрытия, которые при действии тепла в результате химических реакций существенно увеличиваются в толщине и изменяют геометрическую форму (вспучиваются), обеспечивая огнезащиту за счет теплоизолирующего эффекта.
- (2) К наиболее распространенным материалам, используемым при пассивном способе огнезащиты, относятся теплоизоляционные огнезащитные материалы (плиты, сегменты, скорлупы, керамические каменные изделия, блоки и т.д.) и огнезащитные штукатурные смеси.
- (3) **Огнезащитные плиты и листовые волокнистые материалы** представляют собой конструктивные методы, огнезащитное действие которых обеспечивается за счет теплофизических свойств используемого материала. Этот метод огнезащиты в силу своих высоких теплоизоляционных, декоративных, экологических и эксплуатационных характеристик завоевывает все более значительные позиции в практике огнезащиты. Предел огнестойкости стальных конструкций, достигаемый при применении огнезащитных плит, может составлять до 300 минут.
- (4) **Огнезащитные сухие строительные смеси (штукатурки)** представляют собой, как правило, цементно-вермикулитовый состав с комплексом специальных добавок, который образует покрытие, обладающее высокой адгезионной способностью к металлическим поверхностям и относительно низкой плотностью (400–600 кг/м<sup>3</sup>). Состав поставляется в виде сухой строительной смеси, которая после добавления воды наносится на поверхность металлоконструкций механизированным способом. Получаемые покрытия имеют толщину 10–50 мм в зависимости от требуемого класса огнестойкости, который может достигать R 240.
- (5) **Реактивные покрытия** представлены двумя основными группами покрытий: интумесцентные полифосфатные составы и составы на основе терморасширяющегося графита. Эти средства огнезащиты называют тонкослойными интумесцентными (вспучивающимися, терморасширяющимися) составами. Тонкослойные покрытия обеспечивают класс огнестойкости R 60 для приведенной толщины металла  $\delta_{нр} \geq 4$  мм, R 90 для  $\delta_{нр} \geq 12$  мм. В европейских странах используются покрытия интумесцентного типа, которые имеют огнезащитную эффективность до R 120.



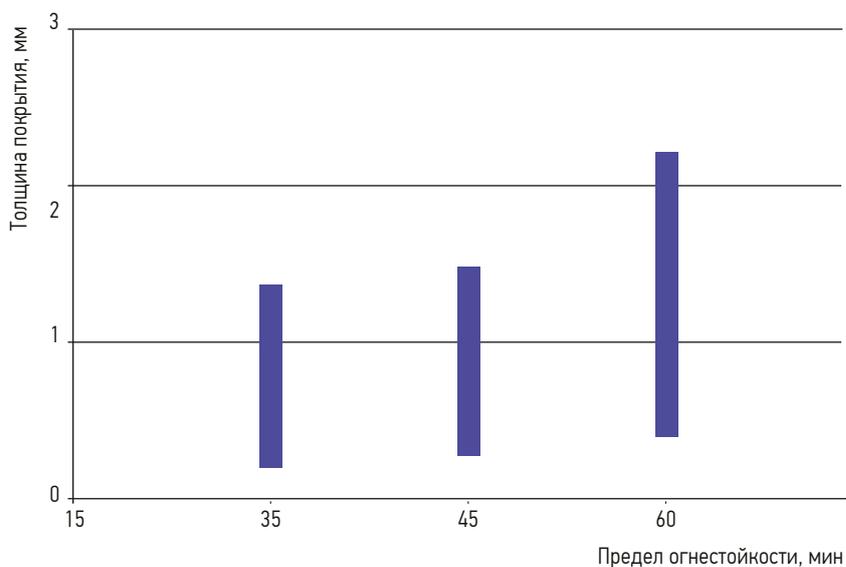
**Рисунок 2. Диапазон необходимой толщины огнезащитной плиты (мм) при классах огнестойкости R 45 – R 240 для колонн и балок с приведенной толщиной  $\delta_{нр} 3,4 – 20,0$  мм ( $A_m/V 290 – 50$  м<sup>-1</sup>)**

по данным сертификатов соответствия огнезащитных плит «Promatect-L500», «Эндотерм 210104».



**Рисунок 3. Диапазон необходимой толщины огнезащитной штукатурки (мм) при классах огнестойкости R 30 – R 240 для колонн и балок с приведенной толщиной  $\delta$  3,4 – 6,95 мм ( $A_m/V$  290 – 140 м<sup>-1</sup>)**

Украина – по данным сертификатов соответствия огнезащитных штукатурок «Эндотерм 210104», «Неоспрей».  
Европа – по материалам Steel Buildings in Europe. Multi-Storey Steel Buildings. Part 6: Fire Engineering.



**Рисунок 4. Диапазон необходимой толщины интумесцентного покрытия (мм) при классах огнестойкости R 30 – R 60 для колонн и балок с приведенной толщиной  $\delta$  2,8 – 15,0 мм ( $A_m/V$  360 – 70 м<sup>-1</sup>)**

по данным сертификатов соответствия интумесцентных покрытий, разрешенных к применению в Украине.

- (6) Толщина конкретного средства огнезащиты зависит от требуемого (согласно нормативной документации) значения класса огнестойкости и от коэффициента сечения стальных элементов.

Предел огнестойкости определяется в соответствии с национальными строительными нормами и правилами. В Украине методы испытания по определению предела огнестойкости колонн, балок, а также огнезащитной эффективности покрытий идентичны европейским стандартам EN 1365 и ENV 13381, в связи с чем общие зависимости предела огнестойкости от толщин покрытий различного типа, изложенные в европейских спецификациях и справочных документах, могут быть использованы для оценки огнезащитного действия того или иного средства огнезащиты.

Таблица 9. Максимальные коэффициенты сечения при огнезащите плитными материалами

Толщина плиты, мм	Максимальный коэффициент сечения $A_m/V, \text{м}^{-1}$			
	R 30	R 60	R 90	R 120
20	260	260 (250)	125	70
25	-	-	198	110
30	-	-	260	168
35	-	-	-	232
40	-	-	-	256
45	-	-	-	260

Источник: Steel Buildings in Europe. Multi-Storey Steel Buildings. Part 6: Fire Engineering.

Таблица 10. Максимальные коэффициенты сечения при усредненной толщине огнезащитных штукатурок

Коэффициент сечения $A_m/V, \text{м}^{-1}$	Толщина слоя штукатурки, мм			
	R 30	R 60	R 90	R 120
40	10	10	11	15
80	10	12	16	21
120	10	14	19	24
160	10	15	21	26
200	10	16	22	28
240	10	16	23	29
280	10	17	23	30

Источник: Steel Buildings in Europe. Multi-Storey Steel Buildings. Part 6: Fire Engineering.

Таблица 11. Максимальные коэффициенты сечения при усредненной толщине интумесцентных покрытий (R 60)

Коэффициент сечения $A_m/V, \text{м}^{-1}$	Балки		Колонны, четырехсторонний обогрев
	трехсторонний обогрев	четырёхсторонний обогрев	
40	0,25	0,26	0,26
80	0,31	0,39	0,39
120	0,39	0,53	0,53
160	0,48	0,66	0,66
200	0,69	0,83	0,83
240	0,90	1,00	1,00
280	1,08	1,74	1,74

Источник: Steel Buildings in Europe. Multi-Storey Steel Buildings. Part 6: Fire Engineering.

- (7) В табл. 12 приведены сравнительные характеристики наиболее распространенных средств пассивной огнезащиты, которые могут быть использованы при выборе огнезащитного материала для обеспечения требуемых классов огнестойкости с учетом конфигурации защищаемых стальных конструкций, требований экологического и эстетического плана, а также условий эксплуатации.

**Таблица 12. Основные характеристики и области применения способов огнезащиты с учетом их особенностей**

Характеристика	Огнезащитные штукатурки	Огнезащитные плиты	Краски интумесцентного типа
Класс огнестойкости	до R 240	до R 300	до R 90
Условия эксплуатации по ЕТАГ 018 <sup>1)</sup>	Y, Z1, Z2	X, Y, Z1, Z2	Z1 (с защитным покрытием), Z2
Коэффициент дымовыделения, м <sup>2</sup> /г	0,5 – 1	0,5 – 1	500 – 700
Преимущества	Высокий предел огнестойкости, низкая стоимость материала, экологичность при эксплуатации и отсутствие токсичных продуктов горения, возможность применения на открытом воздухе	Высокий предел огнестойкости и длительный срок эксплуатации, повышенная защита от вибраций за счет механических креплений к конструкциям, ремонтнопригодность, отсутствие коррозионного воздействия на металл, хорошие декоративные свойства, экологичность при эксплуатации и отсутствие токсичных продуктов горения, точный контроль толщины огнезащитного слоя, сухой способ монтажа	Минимальная толщина и весовая нагрузка на конструкцию, технологичность работ по огнезащите, ремонтнопригодность, повышенная защита от вибраций, хорошие декоративные свойства
Недостатки	Трудоемкость работ по нанесению, сложность восстановления и ремонта, низкие декоративные качества, слабая адгезия к поверхности, пониженная защита от вибраций.	Необходимость устройства специальных крепежных систем и элементов, ограниченное применение для огнезащиты конструкций сложной конфигурации	Ограниченные условия эксплуатации и огнезащитная эффективность, высокая токсичность продуктов горения
Область применения	Для конструкций обычной конфигурации (колонны, балки, косоуры, ригели)	Для конструкций несложной конфигурации (колонны, балки)	Для конструкций любой конфигурации (колонны, балки, косоуры, ригели, фермы, связи и т.п.)

<sup>1)</sup> Типы условий эксплуатации огнезащитных покрытий: тип X – в любых условиях (как внутри помещений, так и вне помещений, в условиях окружающей среды); тип Y – внутри помещений или в полукрытых помещениях с частичным влиянием окружающей среды (температура ниже 0°C, ограниченное влияние ультрафиолетового излучения), но без воздействия дождя; тип Z1 – внутри помещений с повышенной влажностью воздуха, за исключением тех, которые предназначены для эксплуатации при температуре ниже 0°C; тип Z2 – внутри помещений без влияния повышенной влажности воздуха, за исключением тех, которые предназначены для эксплуатации при температуре ниже 0°C.

- (8) Для предварительной оценки пределов огнестойкости конструкций при проектировании огнезащиты путем обетонирования, облицовки, кирпичной кладки рекомендуется руководствоваться следующими положениями.

По признаку несущей способности:

- предел огнестойкости нагруженных конструкций уменьшается с увеличением уровня напряжений в конструкциях вследствие действия постоянных и временных нагрузок. Величину предела огнестойкости конструкций определяет, как правило, сечение с наибольшим значением напряжений, подверженное воздействию пламени и высоких температур,
- предел огнестойкости конструкции тем выше, чем больше значение приведенной толщины конструкции,
- предел огнестойкости статически неопределимых конструкций, как правило, выше предела огнестойкости аналогичных статически определимых конструкций за счет перераспределения усилий на менее напряженные и нагреваемые с меньшей скоростью элементы. При этом необходимо учитывать влияние дополнительных усилий, возникающих вследствие температурного расширения.

По теплоизолирующей способности:

- предел огнестойкости слоистых ограждающих конструкций принимается равным сумме пределов огнестойкости отдельно взятых слоев. Увеличение числа слоев ограждающей конструкции (штукатуривание, облицовка), как правило, повышает ее предел огнестойкости по теплоизолирующей способности. При этом следует учитывать особенности наносимых слоев и самой конструкции, их сочетаемость друг с другом,
- пределы огнестойкости ограждающих конструкций с воздушной прослойкой в среднем на 10 % выше пределов огнестойкости тех же конструкций без воздушной прослойки. Эффективность воздушной прослойки тем выше, чем больше она удалена от нагреваемой поверхности,
- пределы огнестойкости ограждающих конструкций с несимметричным расположением слоев зависят от направления теплового потока. С той стороны, где вероятность возникновения пожара выше, рекомендуется располагать негорючие материалы с низкой теплопроводностью,
- увеличение влажности конструкций способствует уменьшению скорости прогрева и повышению огнестойкости, за исключением тех случаев, когда увеличение влажности увеличивает вероятность разрушения материала.

- (9) При определении огнестойкости конструкций на основании вышеперечисленных положений необходимо располагать достаточными сведениями о пределах огнестойкости конструкций, аналогичных рассматриваемым по форме, использованным материалам и конструктивному исполнению, а также сведениями об основных закономерностях их поведения при пожаре или огневых испытаниях. В случаях, когда приведенные в данной публикации пределы огнестойкости указаны для однотипных конструкций разного сечения, предел огнестойкости конструкции, имеющей промежуточный размер, допускается определять путем линейной интерполяции.

- (10) Обеспечить нормируемый предел огнестойкости стальных конструкций возможно путем использования традиционных строительных материалов – кирпича, керамических камней, бетона, штукатурок, гипсокартонных листов, теплоизоляционных плит и матов.

- (11) Основное предназначение методов огнезащиты при применении теплоизоляционных строительных материалов состоит в уменьшении скорости теплопередачи к стальным элементам во время огневого воздействия. При этом средства огнезащиты должны удовлетворять следующим характеристикам:

- невоспламеняемость, минимальное дымообразование и отсутствие выделения вредных веществ в условиях пожара,
- огнезащитная эффективность, подтвержденная огневыми испытаниями согласно действующим национальным стандартам для однотипных конструкций различных размеров или методиками расчета, согласованными в установленном порядке,
- соответствие используемого для огнезащиты материала нормативным документам (ТУ, ДСТУ, спецификациям и т.д.), согласно которым он производится,
- длительный срок эксплуатации, основанный на физико-химических характеристиках самого материала и прочности его сцепления с поверхностью стали (при использовании огнезащитных штукатурных покрытий),
- стойкость покрытия к воздействиям окружающей среды в процессе эксплуатации.

- (12) В мировой практике огнезащиты применяются типовые огнезащитные решения с использованием вышеуказанных стройматериалов для обеспечения огнестойкости стальных элементов и узлов. Эти решения представлены в ряде нормативных документов, пособий, справочных материалов, кодексах установившихся практик:

- International Building Code. 2012 (Second Printing). Chapter 7 – Fire and Smoke Protection Features.
- Steel Buildings in Europe. Multi-Storey Steel Buildings. Part 6: Fire Engineering.
- Fire Resistance of Brick Masonry. TECHNICAL NOTES on Brick Construction 1850 Centennial Park Drive, Reston, Virginia 20191.
- Steel Column Fire Protection, TEK 7-6. National Concrete Masonry Association, 2003.
- Fire Resistance Rating, TEK 7-1C. National Concrete Masonry Association, 2009.
- Standard Method for Determining Fire Resistance of Concrete and Masonry. Construction Assemblies. ACI 216.1-97 / TMS 0216.1-97 ASCE/SEI/SFPE 29-05.
- ASCE/SEI/SFPE 29-05. Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection (29-05).
- Техническая документация на плиты Кнауф-Файерборд: Огнезащитные облицовки. Отчеты ВНИИПО МЧС России.
- Техническая документация на плиты Кнауф-Файерборд: Отчеты об огнестойкости перегородок, испытанных во ВНИИПО МЧС России.
- Пособие П1 – 02 к СНБ 2.02.01-98 «Пределы огнестойкости строительных конструкций».
- Технический кодекс установившейся практики ТКП 45-2.02-110-2008. Строительные конструкции. Порядок расчета пределов огнестойкости.

## 5. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК СРЕДСТВА ОГНЕЗАЩИТЫ

- (1) Данный раздел содержит рекомендации и справочные материалы, методы и примеры расчета предела огнестойкости стальных конструкций, для огнезащиты которых используются традиционные строительные материалы:
  - бетонные растворы и плиты,
  - строительные штукатурные смеси,
  - гипсокартонные плиты,
  - керамические, силикатные кирпичи и др. общестроительные материалы.
- (2) Положения, которые содержатся в данном разделе, могут быть использованы в качестве предпроектных решений для расчета типовых стальных конструкций заданного класса огнестойкости с целью создания надежных огнезащитных решений и обеспечения нормируемой степени огнестойкости здания.
- (3) Далее представлены два основных подхода к расчету огнестойкости стальных конструкций:
  - расчет по формулам, приведенным в соответствующих частях Еврокодов,
  - расчет по эмпирическим уравнениям, которые приведены в главе 7 МСН, действующих в США.

Данные подходы применяются как наиболее корректные и экономически оправданные решения при проектировании огнезащиты посредством теплоизоляционных строительных материалов.

### 5.1. Бетонные блоки, плиты, растворы

- (1) Бетонные смеси готовят с использованием цемента, заполнителей и добавок по стандартам и техническим условиям на материалы конкретных видов в соответствии с ДСТУ Б В.2.7-43-96, ДСТУ Б В.2.7-18-95, ДСТУ Б В.2.7-176:2008.

По показателям плотности различают:

- тяжелый бетон, средняя плотность которого в сухом состоянии более 2000 кг/м<sup>3</sup>, но не превышает 2500 кг/м<sup>3</sup>,
- легкий бетон, средняя плотность которого в сухом состоянии не более 2000 кг/м<sup>3</sup>. При изготовлении такого бетона используют легкие заполнители,
- особо тяжелый бетон, средняя плотность которого в сухом состоянии превышает 2500 кг/м<sup>3</sup>.

- (2) Легкие теплоизоляционные бетоны, которые наиболее подходят для целей огнезащиты, должны соответствовать ДСТУ Б В.2.7-45:2010 «Строительные материалы. Бетоны ячеистые. Общие технические условия». Согласно этому стандарту бетоны классифицируют по следующим признакам:
  - по функциональному назначению (теплоизоляционные, конструктивно-теплоизоляционные, конструкционные),
  - по способу поризации сырьевой смеси (газобетоны, пенобетоны, газопенобетоны),
  - по условиям твердения (автоклавные, неавтоклавные),
  - по виду кремнеземистого компонента (на природных песках, на золах, на других кремнеземистых вторичных продуктах промышленности).

Бетоны и изделия из них, применяемые для огнезащитной обработки, по техническим показателям должны соответствовать требованиям национальных стандартов, технических условий, проектной документации на эти изделия. Для изготовления бетонов должны использоваться сырьевые материалы, которые соответствуют требованиям действующих нормативных документов.

- (3) В качестве материалов, повышающих предел огнестойкости стальных конструкций, используют бетонные и керамзитобетонные растворы, плиты, кирпичи, газо- и пенобетонные блоки, плиты, скорлупы, экраны и пр. изделия. Эти стройматериалы относятся к группе негорючих материалов, выдерживающих действие огня без разрушения в течение длительного времени, без выделения вредных веществ.
- (4) В зависимости от типа, марки и природы наполнителей, бетон имеет разную теплопроводность и стойкость к действию огня, что определяет различия в огнезащитной эффективности бетонных материалов. В качестве примера в табл. 13 приведены зависимости пределов огнестойкости стен, выполненных из различных видов бетона.
- (5) Еврокоды допускают снижать на 10% рекомендуемую толщину стен для того или иного класса огнестойкости, если в железобетоне применен карбонатный заполнитель.

Таблица 13. Сравнение пределов огнестойкости стен и их толщин (мм) в зависимости от типа бетона<sup>1)</sup>

Тип бетона	Предел огнестойкости, мин				
	60	90	120	180	240
Силикатный	90	109	127	157	178
Известково-цементный	81	102	117	145	168
Песчано-легкий	69	84	97	117	117
Легкий	64	79	91	112	137

<sup>1)</sup> Испытано по ASTM E 119 до средней температуры с не обогреваемой стороны плиты равной 392°C. International Building Code. Chapter 7 – Fire and Smoke Protection Features.

## 5.1.1 Стальные колонны

### 5.1.1.1 Расчет пределов огнестойкости в соответствии с Международными строительными нормами

- (1) Для огнезащитной обработки стальных колонн применяются бетонные растворы для контурной (рис. 5а,в) и монолитной (рис. 5г) огнезащиты или бетонные изделия (облицовки, плиты, скорлупы) для огнезащиты коробчатым способом (рис. 5б). При этом следует особое внимание уделять адгезии бетона к стальной поверхности, для чего на элементы наваривают специальные крепления или упорные анкера, а также устраивают армирующие сетки (в случае омоноличивания). Такие элементы могут также обеспечивать совместную, композитную работу бетона с основным стальным сечением (сталебетон) либо также и с добавочной арматурой (сталежелезобетон). Это обеспечивает значительную дополнительную жесткость и прочность защищаемым элементам каркаса, экономичность вследствие совмещения функций.
- (2) Согласно главе 7 МСН предел огнестойкости стальных колонн ( $R$ , час) с огнезащитой, выполненной из бетонных изделий (рис. 5), может быть определен из следующего выражения:

$$R = 1,22(W/P)^{0,7} + [0,0018(T_e^{1,6}/K^{0,2})] \cdot [1,0 + 384\{(S/d_c T_e / (0,25p_c + T_e))^{0,8}\}] \quad (9)$$

$W$  – удельный вес стальной колонны (кг/м),

$P$  – обогреваемый периметр стальной колонны (мм),

$T_e$  – эквивалентная толщина бетонного покрытия (мм),

$\lambda_c$  – коэффициент теплопроводности бетона (Вт/м·°С),

$S$  – площадь поперечного сечения стальной колонны (мм<sup>2</sup>),

$d_c$  – плотность бетона (кг/м<sup>3</sup>),

$p_c$  – внутренний периметр бетонного покрытия (мм),

- (3) Эквивалентная толщина представляет собой толщину огнезащитного материала без пустот и может быть вычислена с помощью следующей формулы:

$$T_e = V_n / d_p L \quad (10)$$

$V_n$  – объем единицы бетона без объема пустот (мм<sup>3</sup>),

$L$  – длина единицы бетонного покрытия (мм),

$d_p$  – высота единицы бетонного покрытия (мм).

Эквивалентная толщина ( $T_e$ ) монолитного безпустотного бетонного покрытия равна фактической толщине покрытия ( $d_p$ ).

- (4) При использовании формулы для расчета предела огнестойкости (9) следует иметь точную информацию о плотности бетонного покрытия, которая определяет теплопроводность защитного слоя, как показано в табл. 14.

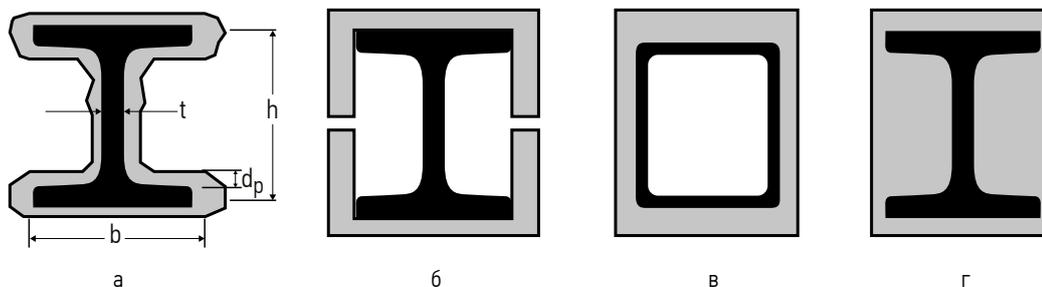


Рисунок 5. Стальные колонны с огнезащитой из бетона

Таблица 14. Зависимость теплопроводности бетона от плотности<sup>1)</sup>

Плотность, $d_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности бетона, $\lambda_c$ , Вт/м·°С
1281	0,358
1362	0,394
1442	0,436
1522	0,481
1602	0,533
1682	0,588
1762	0,650
1842	0,720
1922	0,779
2002	0,879
2082	0,971
2162	1,073
2243	1,186
2323	1,312
2403	1,449

<sup>1)</sup> Fire Resistance Rating, TEK 7-1C. National Concrete Masonry Association, 2009.

- (5) В табл. 15 представлены значения плотности, коэффициентов теплопроводности, теплоемкости строительного бетона и изделий, которые могут быть использованы для повышения огнестойкости стальных конструкций.

Зависимость теплопроводности бетона  $\lambda_c$  от его плотности  $d_c$  по данным табл. 14 и 15 описывается уравнением:

$$\lambda_c = 0,079 e^{0,0012d_c} \quad (11)$$

- (6) Расчет по уравнению (9) пределов огнестойкости стальных двутавров, обетонированных по контуру (рис. 5а) легким и тяжелым бетоном, позволяет определить минимальные толщины бетона для обеспечения соответствующих пределов огнестойкости (табл. 16).
- (7) Расчет по уравнению (9) минимальных толщин покрытий из легкого и тяжелого бетона для коробчатой (рис. 5б) и монолитной (рис. 5г) защиты стальных колон с различными профильными коэффициентами сечения приведен в табл. 17.
- (8) МСН позволяют также рассчитать поправочные значения предела огнестойкости стальных конструкций, защищенных обетонированием либо бетонными изделиями профильным или коробчатым методом, в зависимости от содержания в них влаги:

$$R = R_0 (1 + 0,03m) \quad (12)$$

$R$  – предел огнестойкости в условиях равновесной влажности (час),

$R_0$  – предел огнестойкости при нулевом содержании влаги (час),

$m$  – содержание влаги в бетоне (% по об.).

Таблица 15. Коэффициенты теплопроводности и значения теплоемкости бетонов и бетонных изделий

Бетон	Плотность, $d_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda_c$ , Вт/(м·°С)	Теплоемкость, $C_p$ , Дж/(кг·°С)
Бетон легкий с природной пемзой	500 -1200	0,15-0,44	
Бетон на гравии или щебне из природного камня	2400	1,51	840
Бетон на доменных гранулированных шлаках	1200-1800	0,35-0,58	840
Бетон на зольном гравии	1000-1400	0,24-0,47	840
Бетон на каменном щебне	2200-2500	0,9-1,5	
Бетон на котельном шлаке	1400	0,56	880
Бетон на песке	1800-2500	0,7	710
Бетон на топливных шлаках	1000-1800	0,3-0,7	840
Бетон силикатный плотный	1800	0,81	880
Блок газобетонный	400-800	0,15-0,3	
Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат	300-1000	0,08-0,21	840
Газо- и пенозобетон	800-1200	0,17-0,29	840
Керамзитобетон на кварцевом песке с поризацией	800-1200	0,23-0,41	840
Керамзитобетон легкий	500-1200	0,18-0,46	
Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	500-1800	0,14-0,66	840
Пенобетон	300-1250	0,12-0,35	840
Пеногипс	300-600	0,1-0,15	
Пенозобетон	800-1200	0,17-0,29	
Перлитобетон	600-1200	0,12-0,29	840
Перлитопласт-бетон	100-200	0,035-0,041	1050
Плиты из керамзито-бетона	400-600	0,23	
Плиты из ячеистого бетона	350-400	0,093-0,104	
Плиты перлитцементные		0,08	
Плиты строительные из пористого бетона	500-800	0,22-0,29	
Шлакобетон	1120-1500	0,6-0,7	800

Таблица 16. Минимальные толщины покрытия из бетона ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости колонн из стальных двутавров<sup>1)</sup>

Легкий бетон (ДСТУ Б В.2.7-176:2008), $d_c = 1800 \text{ кг/м}^3$ , $\lambda_c = 0,70 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$																	
Коэффициент сечения профильный $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Приведенная толщина $\delta_{np}$ , мм	Класс огнестойкости															
		R 30	R 45	R 60	R 75	R 90	R 120	R 150	R 180								
345	2,92	22	30	41	46	57	69	80	89								
333	3,03																
324	3,10	20	38	38	46	53	66	78	88								
315	3,19					52	65	77		86							
306	3,30					51	64		76								
297	3,40					28	37	44	50	63	75	85					
285	3,53					19	27	35	43	50	62		74	84			
267	3,75											42			49	64	
258	3,92	18	26	25	34	42	49	54	65								
243	4,13									16	24	32	40	48	56	66	77
225	4,47																
210	4,82									24	32	40	48	56	66	76	86
195	5,18	15	24	32	40	48	56	66	76								
180	5,57	14	22	31	39	45	58	70	80								
168	6,03	13	21	30	38	44	56	68	78								
153	6,57	10	20	29	37	43	55	66	77								
141	7,13	8	18	28	35	42	54	65	75								

Тяжелый бетон (ДСТУ Б В.2.7-176:2008), $d_c = 2000 \text{ кг/м}^3$ , $\lambda_c = 0,90 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$																	
Коэффициент сечения профильный $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Приведенная толщина $\delta_{np}$ , мм	Класс огнестойкости															
		R 30	R 45	R 60	R 75	R 90	R 120	R 150	R 180								
345	2,92	22	32	42	52	58	71	83	93								
333	3,03																
324	3,10	21	31	41	51	56	70	82	92								
315	3,19									50	60	70	80	90			
306	3,30														41	51	61
297	3,40									31	41	51	61	71			
285	3,53														20	30	40
267	3,75									19	29	39	49	59			
258	3,92	18	28	38	48	58	68	78	88								
243	4,13									16	26	36	46	56	66	76	86
225	4,47	15	25	35	45	55	65	75	85								
210	4,82									14	24	34	44	54	64	74	84
195	5,18	13	23	33	43	53	63	73	83								
180	5,57									12	22	32	42	52	62	72	82
168	6,03	11	21	31	41	51	61	71	81								
153	6,57									10	20	30	40	50	60	70	80
141	7,13	16	26	36	46	56	66	76	86								

Продолжение табл. 16

Тяжелый бетон (ДСТУ Б В.2.7-176:2008), $d_c = 2500 \text{ кг/м}^3$ , $\lambda_c = 1,50 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$									
Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Приведенная толщина $\delta_{np}$ , мм	Класс огнестойкости							
		R 30	R 45	R 60	R 75	R 90	R 120	R 150	R 180
345	2,92	26	33	46	55	61	74	87	98
333	3,03								
324	3,10	25							
315	3,19		34			60		86	97
306	3,30			44	54		73		96
297	3,40								
285	3,53	24	35	43	53	59	72	85	95
267	3,75		34	42	51	58		84	94
258	3,92	23		41	50	57	71		
243	4,13		33					83	93
225	4,47	22	32	40	49	55	70	82	
210	4,82	21	31	39	48		69	81	91
195	5,18				47	54	68		
180	5,57	20	30	38	46	53	67	80	90
168	6,03		28	35	45	52	66	78	90
153	6,57	19	27	34	44	51	64	77	89
141	7,13	17	26	33	43	50	65	76	88

<sup>1)</sup> для критической температуры 500°C.

### 5.1.1.2 Расчет пределов огнестойкости в соответствии с Еврокодами

- (1) Расчет предела огнестойкости стальных конструкций в соответствии с Еврокодом 3 (ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2), для которых в качестве огнезащиты применены конструктивные методы защиты (обетонирование, оштукатуривание, облицовывание), производится с использованием теплофизических характеристик огнезащитных материалов. Метод расчета основан на определении прироста температуры  $\Delta\theta_{a,t}$  за промежуток времени  $\Delta t$  для равномерного распределения температуры в поперечном сечении защищенной стальной конструкции:

$$\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p A_p / V (\theta_{g,t} - \theta_{a,t})}{d_p c_a \rho_a (1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta \theta_{g,t} \quad (13)$$

при  $\Delta\theta_{a,t} \geq 0$ , если  $\Delta\theta_{g,t} > 0$

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p A_p / V, \quad (14)$$

$A_p/V$  – коэффициент сечения стальных конструкций, покрытых огнезащитными материалами (м<sup>-1</sup>),

$A_m$  – площадь поверхности огнезащитного материала на единицу длины (м<sup>2</sup>),

$V$  – объем конструкций на единицу длины (м<sup>3</sup>),

$c_a$  – удельная теплоемкость стали (Дж/кгК),

$c_p$  – удельная теплоемкость огнезащитного материала, не зависящая от температуры (Дж/кгК),

$d_p$  – толщина огнезащитного материала (м),

$t$  – промежуток времени, при этом  $\Delta t \leq 30$  (с),

$\theta_{a,t}$  – температура стали в момент времени  $t$  (°С),

Таблица 17. Минимальные толщины покрытия из бетона ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости стальных колонн<sup>1)</sup>

Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Приведенная толщина $\delta_{пр}$ , мм	Класс огнестойкости				
		R 60	R 90	R 120	R 180	R 240
<b>Тяжелый бетон<sup>2)</sup>, <math>d_c = 2322</math> кг/м<sup>3</sup>, <math>\lambda_c = 1,64</math> Вт/м·°С (рис. 5г)</b>						
100	10	25,4	25,4	38,1	63,5	76,2
113	8,9					
195	5,2			50,8	76,2	88,9
240	4,2	38,1	50,8	63,5	88,9	101,6
283	3,6					
316	3,2					
399	2,6					
<b>Легкий бетон<sup>2)</sup>, <math>d_c = 1762</math> кг/м<sup>3</sup>, <math>\lambda_c = 0,61</math> Вт/м·°С (рис. 5г)</b>						
74	13,6	25,4	25,4	25,4	38,1	50,8
93	10,8					
133	7,6			38,1	50,8	63,5
182	5,5	38,1	38,1	63,5	76,2	76,2
199	5,1					
229	4,4					
275	3,7					
<b>Тяжелые бетонные облицовки<sup>2)</sup>, <math>d_c = 2322</math> кг/м<sup>3</sup>, <math>\lambda_c = 1,64</math> Вт/м·°С (рис. 5б)</b>						
99	10,2	38,1	38,1	50,8	76,2	101,6
112	9,0					
135	7,5		50,8	63,5	88,9	114,3
195	5,2	50,8	63,5	76,2	101,6	127,0
240	4,2					
283	3,6					
307	3,3					
399	2,6					
<b>Легкие бетонные облицовки<sup>2)</sup>, <math>d_c = 1762</math> кг/м<sup>3</sup>, <math>\lambda_c = 0,61</math> Вт/м·°С (рис. 5б)</b>						
99	10,2	38,1	38,1	38,1	38,1	76,2
135	7,5					
182	5,5		50,8	50,8	76,2	88,9
199	5,1	50,8	50,8	76,2	101,6	101,6
275	3,7					
195	5,2					
316	3,2					
399	2,6					

<sup>1)</sup> для критической температуры 538°С.

<sup>2)</sup> раздел 721.5.1 (2) International Building Code. Chapter 7 – Fire and Smoke Protection Features.

- $\theta_{g,t}$  – температура среды (номинального пожара) в момент времени  $t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ),  
 $\Delta\theta_{g,t}$  – прирост температуры среды (номинального пожара) в момент времени  $\Delta t$  ( $^{\circ}\text{C}$ ),  
 $\rho_a$  – плотность стали, равная 7850 ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ),  
 $\lambda_p$  – коэффициент теплопроводности огнезащитной системы ( $\text{Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$ ),  
 $\rho_p$  – плотность огнезащитного материала ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ).

Основным условием использования при расчете характеристик огнезащитных материалов является требование, что огнезащитные материалы не должны терять свою целостность (не разрушаться), оставаться сцепленными и составлять единое целое с основанием на всем протяжении времени действия огня.

В табл. 18 представлены расчеты в соответствии с Еврокодом 3 пределов огнестойкости стальных двутавров, обетонированных по контуру (рис. 5а) легким и тяжелым бетоном. Приведенные расчетные величины минимальных толщин бетона ( $d_p$ , мм) удовлетворительно совпадают с результатами расчета по ур. (9), представленными в табл. 16.

**Таблица 18. Сравнение минимальной толщины бетона ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих пределов огнестойкости стальных двутавров,<sup>1)</sup> рассчитанной в соответствии с Еврокодом 3 и МСН**

Легкий бетон (ДСТУ Б В.2.7-176:2008), $\rho_p (d_c) = 1800 \text{ кг}/\text{м}^3$ , $\lambda_p (\lambda_c) = 0,70 \text{ Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$ , $C_p = 840 \text{ Дж}/\text{кгК}$						
Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , $\text{м}^{-1}$	Метод расчета	Класс огнестойкости				
		R 60	R 90	R 120	R 150	R 180
345-243	Еврокод 3	40-42	51-62	65-73	76-84	87-90
345-243	Ур. (9)	37-41	49-57	62-69	74-80	84-89
Тяжелый бетон (ДСТУ Б В.2.7-176:2008), $\rho_p (d_c) = 2500 \text{ кг}/\text{м}^3$ , $\lambda_p (\lambda_c) = 1,5 \text{ Вт}/\text{м}^{\circ}\text{C}$ , $C_p = 1000 \text{ Дж}/\text{кгК}$						
Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , $\text{м}^{-1}$	Метод расчета	Класс огнестойкости				
		R 60	R 90	R 120	R 150	R 180
345-243	Еврокод 3	44-50	60-65	71-77	84-86	94-98
345-243	Ур. (9)	41-46	57-62	71-74	83-87	93-98

<sup>1)</sup> Контурная защита (рис. 5а) для критической температуры.

- (2) При проведении огнезащитных работ с применением конструктивных методов защиты, в частности обетонирования и оштукатуривания, необходимо учесть возможное взрывное хрупкое разрушение огнезащитного материала, обусловленное наличием влаги в материале, его водопроницаемостью, условиями нагрева и другими факторами. Поэтому при применении в качестве огнезащитного материала для стальных конструкций бетона или штукатурного раствора толщиной более 50 мм необходимо проводить усиление поверхностного слоя материала путем применения стальной сетки с ячейкой не более 100 мм и диаметром стержня не менее 4 мм.

## 5.1.2 Сталобетонные колонны

### 5.1.2.1 Расчет пределов огнестойкости в соответствии с Еврокодами

- (1) Сталобетонная колонна, чаще всего, представляет собой стальную оболочку (замкнутое сечение), заполненную бетоном, который образует внутреннее ядро (рис. 6). Такой вариант сталобетонного сечения также иногда называют трубобетоном.

При этом простое наполнение стальных элементов замкнутого сечения бетоном, как правило, не дает повышения огнестойкости, т.к. бетон должен быть обязательно включен в работу на восприятие вертикальных усилий. С этой целью стальной элемент в колонне не доводят до верха, обеспечивая ему эффективную роль обоймы, которая работает на растяжение сечения, играет роль продольной и поперечной арматуры, а также является опалубкой. В бетонную часть сечения вводят арматурный каркас с целью повышения прочности элемента и связности бетона. Если армирование назначается конструктивно – диаметром 8-12 мм (сталобетонный вариант), то считается, что введенный каркас не играет роль армирования и не учитывается в расчете. В случае сталелезобетонной модели армирование определяется расчетом.

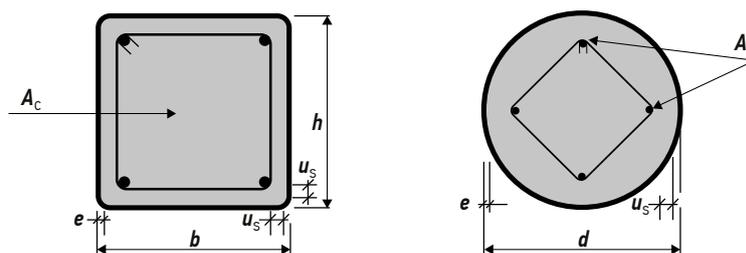


Рисунок 6. Примеры сталебетонных колонн

- (2) Определение пределов огнестойкости одинаково для сталебетонных и сталежелезобетонных колонн. Их можно классифицировать в зависимости от уровня нагруженности элемента  $\eta_{fi,t}$ , размера поперечного сечения  $b$ ,  $h$  или  $d$ , процента используемого армирования  $A_s/(A_c + A_s)$  и минимального размера оси арматурных стержней  $u_s$ . Значения пределов огнестойкости колонн, приведенные в табл. 19, действительны для стали марки S500 замкнутого профиля и марки стали A400С продольного арматурного проката при параметрах сечений  $b/e \geq 25$ ;  $d/e \geq 25$ .

Таблица 19. Минимальные параметры сталебетонных и сталежелезобетонных колонн трубчатого сечения для обеспечения классов огнестойкости R 30 – R 180 согласно Еврокода

	Параметры	Класс огнестойкости				
		R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
1. Минимальные размеры сечений для уровня нагруженности $\eta_{fi,t} \leq 0,28$						
1.1	Минимальные размеры $b$ , $h$ или $d$ , мм	160	200	220	260	400
1.2	Минимальное армирование $A_s/(A_c + A_s)$ , %	0	1,5	3,0	6,0	6,0
1.3	Минимальное расстояние до оси арматурных стержней $u_s$ , мм	-	30	40	50	60
2. Минимальные размеры сечений для уровня нагруженности $\eta_{fi,t} \leq 0,47$						
2.1	Минимальные размеры $b$ , $h$ или $d$ , мм	260	260	400	450	500
2.2	Минимальное армирование $A_s/(A_c + A_s)$ , %	0	3,0	6,0	6,0	6,0
2.3	Минимальное расстояние до оси арматурных стержней $u_s$ , мм	-	30	40	50	60
3. Минимальные размеры сечений для уровня нагруженности $\eta_{fi,t} \leq 0,66$						
3.1	Минимальные размеры $b$ , $h$ или $d$ , мм	260	450	450		
3.2	Минимальное армирование $A_s/(A_c + A_s)$ , %	3,0	6,0	6,0		
3.3	Минимальное расстояние до оси арматурных стержней $u_s$ , мм	25	30	40		

### 5.1.2.2 Расчет пределов огнестойкости сталебетонных колонн в соответствии с Международными строительными нормами

- (1) Предел огнестойкости сталебетонных колонн трубчатого сечения (рис. 6) может быть определен из следующего выражения:

$$R = [a(f_c^2 + 20)/(L - 1000)]d^2(d/C)^{1/2} \quad (15)$$

$R$  – предел огнестойкости колонны (час),

$a$  – коэффициент, характеризующий бетонное наполнение, равный: 0,07 – для колонн круглого сечения, заполненных силикатным бетоном, 0,08 – для колонн круглого сечения, заполненных известковым бетоном, 0,06 – для колонн квадратного и прямоугольного сечения, заполненных силикатным бетоном,

- $f'_c$  – несущая способность при действии продольной нагрузки после 28 дней изготовления сталебетонной колонны (МПа),
- $L$  – длина колонны (м),
- $d$  – внешний диаметр для колонн круглого сечения и наименьший наружный размер для колонн квадратного и прямоугольного сечения (мм),
- $C$  – нагрузка на колонну (кН).

Уравнение применимо для следующих условий:

$R < 2$  час;  $20 \text{ МПа} < f'_c < 40 \text{ МПа}$ ;  $2 \text{ м} < L < 4 \text{ м}$ ;  $140 \text{ мм} < d < 305 \text{ мм}$ .

- (2) Расчет пределов огнестойкости сталебетонных колонн по уравнению (15) представлен в табл. 20.

**Таблица 20. Параметры сталебетонных колонн для классов огнестойкости R 30 – R 120<sup>1)</sup>**

Диаметр трубы, $d$ , мм	Толщина обоймы, $e$ , мм	Приведенная толщина, $\delta_{пр}$ , мм	Класс огнестойкости	
			$C = 500$ кН	$C = 2000$ кН
273	7	6,83	R 60	R 30
	14	13,29		
325	7	6,85	R 90	R 45
	14	13,40		
377	7	6,88	R 120	R 60
	14	13,49		
219	6	5,84	R 30	R 15
	12	11,35		

<sup>1)</sup> Марка бетона В 25,  $f'_c = 32$  МПа,  $L = 4$  м; рассчитано по формуле (15).

- (5) Пределы огнестойкости сталебетонных колонн существенно увеличиваются путем:
- применения пассивной огнезащиты в виде наружных покрытий (огнезащитные краски, штукатурки, облицовки),
  - рационального проектирования сечения колонн с применением соответствующих конструктивных мероприятий и расчетных методов (рациональный выбор геометрии сечения, количества и размещения армирования, класса бетона и т.п.).

### 5.1.3 Балки в перекрытиях пониженной высоты

- (1) Перекрытия пониженной высоты являются рациональным решением в тех случаях, когда есть существенные ограничения строительной высоты и пролет составляет около 5-8 м – например, при реконструкции. Эффективность перекрытий пониженной высоты повышается за счет применения стальных балок, в которых обеспечивается композитная, совместная работа с монолитным перекрытием, обустроенным в одном уровне с основными несущими конструкциями, как правило, с опиранием на нижний пояс. В таких типах перекрытий площадь нагрева балки минимизируется до площади, выступающей из бетонного перекрытия нижней полки.
- (2) В отечественной практике используются в основном два типа балок для перекрытий пониженной высоты – сварные с асимметрично развитой нижней полкой (рис. 7а) и прокатные равнополочные с пластиной, приваренной к нижней полке (рис. 7б)
- (3) В общем случае, балки в перекрытиях пониженной высоты могут использоваться без огнезащиты нижней полки с гарантированным классом огнестойкости R 60 при значениях толщины покрытия бетоном ( $h$ ) и длиной пролета ( $L$ ), указанных в табл. 21. При применении дополнительного армирования огнестойкость может быть увеличена до 90 минут.

**Таблица 21. Классы огнестойкости балок в перекрытиях пониженной высоты**

Тип перекрытия	Предел огнестойкости, мин	$h$ , мм	$L$ , м
(а)	60	280-400	6-9
(б)		250-450	

Источник: Steel Buildings in Europe. Multi-Storey Steel Buildings. Part 6: Fire Engineering.

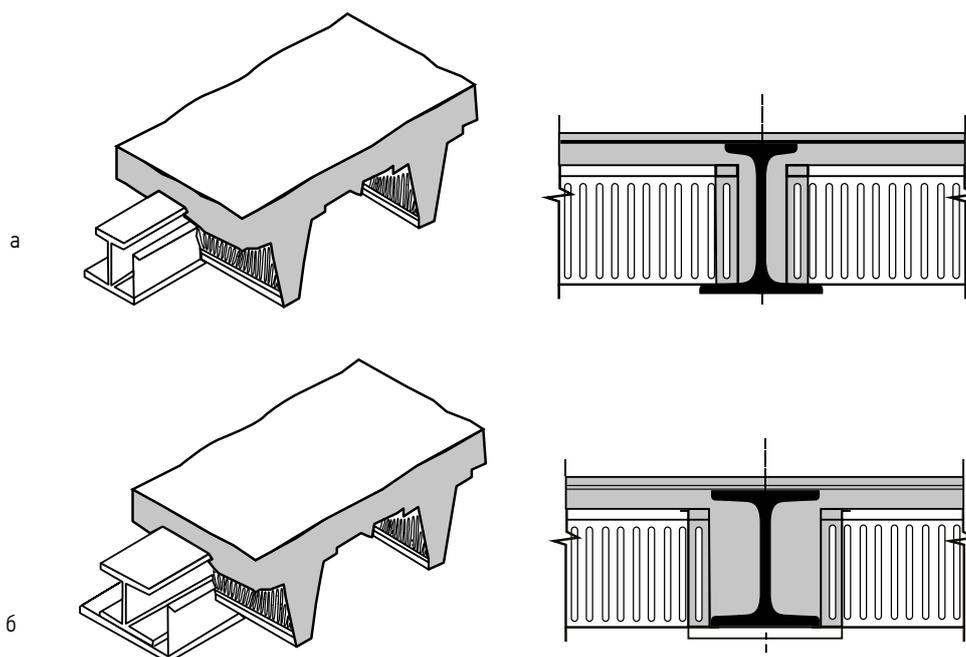


Рисунок 7. Типы балок в перекрытиях пониженной высоты

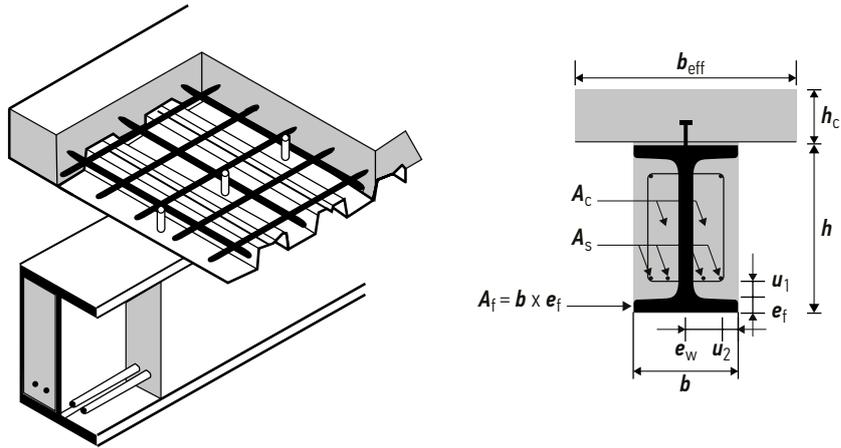
#### 5.1.4 Балки и колонны с частичным обетонированием

- (1) Балки и колонны с частичным обетонированием обустраиваются согласно схемам, представленным на рис. 8. Для балок и колонн открытого сечения типа двутаврового при заполнении пространства между полками бетоном или железобетоном предел огнестойкости повышается с 15 до 60 минут. Увеличение количества армирования бетона в стержневых конструкциях, а также обустройство упорных анкеров типа «Нельсон» и др. в композитных перекрытиях повышают предел огнестойкости и несущую способность стальных элементов.
- (2) Для сталебетонных и сталежелезобетонных балок и колонн с композитной работой, при расчете огнестойкости согласно ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2 необходимо учитывать: уровень нагруженности ( $\eta_{fi,t}$ , разд. 4.4.2 и 4.4.3), отношение  $h/b$  и площадь дополнительного армирования  $A_s$ .
- (3) В табл. 22 представлен расчет пределов огнестойкости для балок и колонн двутаврового сечения с частичным обетонированием и следующими параметрами: плита перекрытия:  $h_c \geq 120$  мм,  $b_{eff} \leq 5$  м; сечение:  $b/e_w \geq 15$ ,  $e_f/e_w \leq 2$ ; отношение площади дополнительного армирования к общей площади между полками:  $A_s/(A_c + A_s) \leq 5\%$ .
- (4) Увеличение предела огнестойкости балок и колонн с частичным обетонированием достигается путем увеличения толщины и площади поверхности защитного бетона (табл. 23).

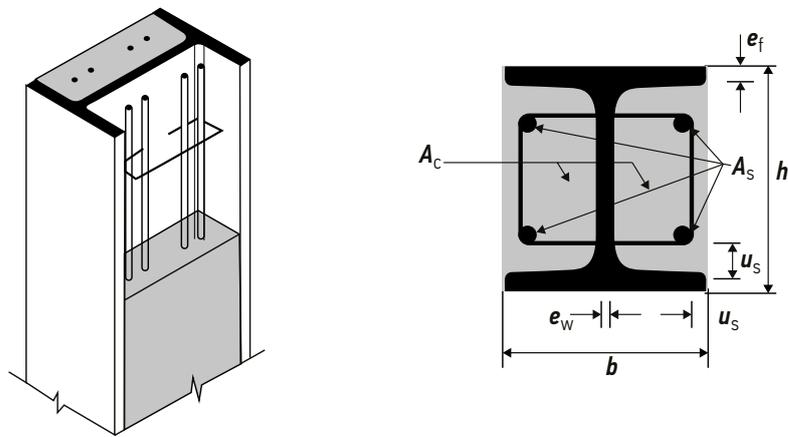
Таблица 22. Минимальные размеры поперечного сечения  $b$  и отношение площади минимального дополнительного армирования к площади полки  $A_s/A_f$  для балок и колонн с частичным обетонированием

Наименование	$h/b$	Уровень нагруженности	Класс огнестойкости				
			R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
Балки	> 1,5	$\eta_{fi,t} \leq 0,5$	80/0,0	150/0,0	200/0,2	240/0,3	300/0,5
		$\eta_{fi,t} \leq 0,7$	80/0,0	240/0,3	270/0,4	300/0,6	
		$\eta_{fi,t} \leq 0,5$	60/0,0	100/0,0	170/0,2	200/0,3	250/0,3
	> 3,0	$\eta_{fi,t} \leq 0,7$	70/0,0	170/0,2	190/0,4	270/0,7	300/0,8
Колонны	Мин $h$ и $b$	$\eta_{fi,t} \leq 0,47$	160/-	300/4,0	400/4,0		
		$\eta_{fi,t} \leq 0,66$	160/1,0	400/4,0			

Источник: Steel Buildings in Europe. Multi-Storey Steel Buildings. Part 6: Fire Engineering.



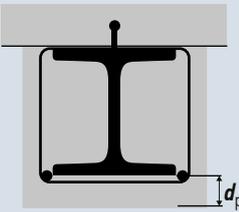
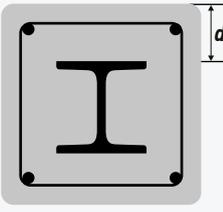
(а) балка перекрытия поэтажной схемы опирания с заполнением пространства между полками железобетоном



(б) колонна открытого сечения с заполнением пространства между полками железобетоном

**Рисунок 8. Балки и колонны с частичным обетонированием**

**Таблица 23. Минимальный защитный слой бетона ( $d_p$ , мм), необходимый для обеспечения ответствующих пределов огнестойкости**

Конструкция	Класс огнестойкости				
	R 30	R 60	R 90	R 120	R 180
	0	25	30	40	50
 $d_p$ - защитный слой бетона, мм	40	50	50	75	75

## 5.2. Кирпичи и строительные камни

(1) Различают три основных типа строительных кирпичей – силикатный, керамический и бетонный.

**Силикатный кирпич** – соответствует ДСТУ Б.В.2.7-80:2008. «Кирпичи и камни силикатные. Технические условия.»

По средней плотности силикатные кирпичи в высушенном до постоянной массы состоянии подразделяют на:

- легкие со средней плотностью до 1450 кг/м<sup>3</sup>,
- облегченные со средней плотностью от 1451 до 1650 кг/м<sup>3</sup>,
- тяжелые со средней плотностью более 1650 кг/м<sup>3</sup>.

**Керамический кирпич** – соответствует ДСТУ Б.В.2.7-61:2008 (EN 771-1:2003, NEQ). «Кирпичи и камни керамические. Рядовые и лицевые. Технические условия».

По теплотехническим свойствам и плотности керамические кирпичи подразделяются на пять групп (табл. 25).

**Бетонный кирпич** – соответствует ДСТУ Б.В.2.7-36:2008. «Кирпичи и камни стеновые бесцементные. Технические условия». Характеристики бетонных изделий представлены в табл. 15.

- (2) Кирпичная кладка признана надежным огнезащитным материалом и широко используется для возведения противопожарных стен (преград), изоляции стальных колон и узлов стальных элементов. Кирпичи и строительные камни удовлетворяют ряду требований, предъявляемых к огнезащите стальных конструкций: негорючесть, долговечность, а также высокие классы огнестойкости.
- (3) Облицовка кирпичами и каменными изделиями применяется, в основном, для обкладывания стоек и колонн. Устройство огнезащитной облицовки ригелей и связей из кирпича не рекомендуется ввиду конструктивной сложности выполнения и значительного собственного веса.
- (4) Для огнезащитной облицовки рекомендуется применять керамические и силикатные кирпичи и камни прочностью не ниже  $f_b = 10$  МПа на растворе прочностью не ниже  $f_m = 7,5$  МПа согласно ДБН В.2.6-162:2010.

**Таблица 24. Коэффициенты теплопроводности и значения плотности силикатных кирпичей**

Название силикатного кирпича	Марка	Коэффициент теплопроводности, $\lambda_p$ , Вт/(м·°С)	Плотность, $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>
Полнотелый одинарный рядовой/лицевой	M150	0,70	1890
Полнотелый одинарный рядовой пористый	M125/M150	0,39-0,42	1400-1550
Пустотелый утолщенный рядовой/лицевой 11 пустотный	M150	0,60	1370
Полнотелый утолщенный рядовой пористый	M125/M150	0,39-0,41	1330-1474
Пустотелый утолщенный рядовой/лицевой 2-х пустотный	M150	0,65	1680

**Таблица 25. Группы керамических кирпичей по теплотехническим свойствам**

Группа изделий по теплотехническим свойствам	Коэффициент теплопроводности, $\lambda_p$ , Вт/(м·°С)	Класс средней плотности	Плотность, $\rho_p$ , кг/м <sup>3</sup>
Высокой эффективности	< 0,24	0,8	< 800
Увеличенной эффективности	0,24 – 0,36	1,0	801 – 1000
Эффективные	0,36 – 0,46	1,2	1001 – 1400
Условно эффективные	0,46 – 0,58	1,4	1401 – 1600
Малоэффективные	> 0,58	2,0	> 1600

- (5) Огнезащитная кладка из пустотелых и щелевидных кирпичей допускается не менее чем в 1/2 кирпича (120 мм). Облицовка сплошных и сквозных колонн кирпичной кладкой может быть выполнена по периметру сечения и по контуру защищаемой поверхности. Кирпичную кладку огнезащитной облицовки рекомендуется выполнять с однорядной (цепной) перевязкой швов при расстоянии между вертикальными швами не менее 1/4 кирпича (65 мм). Горизонтальные и вертикальные швы кирпичной кладки огнезащитной облицовки должны быть тщательно заполнены раствором с последующей разделкой их снаружи под расшивку. Толщина горизонтальных и вертикальных швов не должна превышать 10 мм.
- (6) Параметры огнестойкости кирпичной кладки при использовании ее в различных вариациях широко и корректно описаны, в частности, в национальных стандартах США, Канады, Европы, стран СНГ и могут быть использованы при противопожарном проектировании, как технические решения, не требующие дополнительных испытаний и подтверждений.
- (7) В зависимости от марки кирпича кирпичные преграды имеют разную теплопроводность и устойчивость к действию огня (табл. 26).

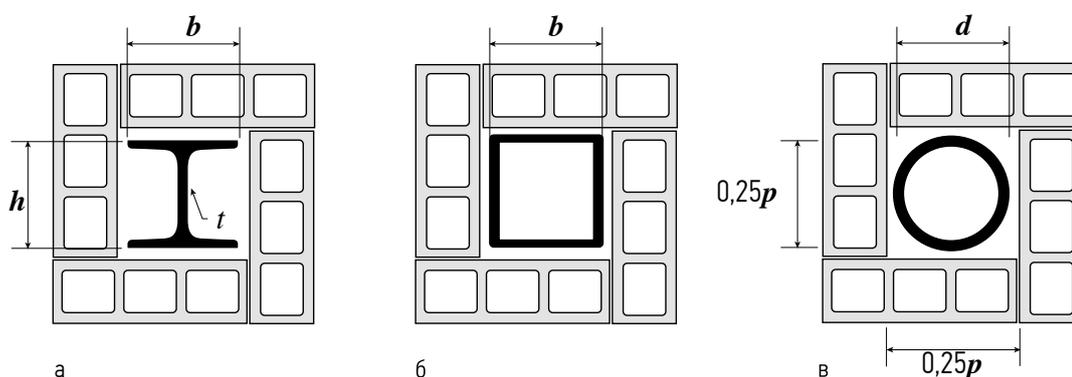
**Таблица 26. Минимальные толщины стен из кирпича (мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости<sup>1)</sup>**

Кирпич	Предел огнестойкости, мин			
	60	120	180	240
Полнотелый керамический или силикатный кирпич	69	97	124	152
Пустотелый керамический или силикатный кирпич	58	86	109	127
Пустотелый, заполненный легкими наполнителями – перлитом, вермикулитом и т.п.	76	112	140	168

<sup>1)</sup> Испытано согласно ASTM E 119 до средней температуры с необогреваемой стороны плиты 392°C. International Building Code. Chapter 7 – Fire and Smoke Protection Features.

- (8) Пределы огнестойкости кирпичной кладки для стен, а соответственно и ее огнезащитная эффективность по отношению к стальным конструкциям зависят от материалов, используемых для изготовления кирпичей. В качестве примера в табл. 27 приведены зависимости пределов огнестойкости стен, выполненных из различных видов каменных материалов.

### 5.2.1 Стальные колонны



**Рисунок 9. Стальные колонны с конструктивной огнезащитой из кирпичной кладки**

Таблица 27. Сравнение пределов огнестойкости стен, выполненных из кирпичной кладки<sup>1)</sup> различной толщины

Материал	Толщина, мм	Предел огнестойкости, мин
Бетон со вспученным шлаком и пемзой	119	240
	102	180
	81	120
	53	60
Кирпич из сланцевого керамзита	130	240
	112	180
	91	120
	66	60
Силикатный кирпич с золой и шлаком	150	240
	127	180
	102	120
	69	60
Силикатный кирпич	157	240
	135	180
	107	120
	71	60
Кремнеземный кирпич	168	240
	140	180
	112	120
	74	60

<sup>1)</sup> Испытано согласно ASTM E 119 до средней температуры с необогреваемой стороны плиты 392°C.

### 5.2.1.1 Расчет пределов огнестойкости в соответствии с Международными строительными нормами

- (1) Предел огнестойкости колонн ( $R$ , часов), защищенных кладкой из бетонных или керамических кирпичей согласно схеме, показанной на рис. 9, определяется по эмпирическому уравнению:

$$R = 1,22(W/P)^{0,7} + [0,0018(d_p^{1,6} / \lambda_p^{0,2})] \cdot [1,0 + 384\{(S/d_c d_p / (0,25p_c + d_p))^{0,8}\}] \quad (15)$$

$W$  – удельный вес стальной колонны (кг/м),

$P$  – обогреваемый периметр стальной колонны (мм),

$d_p$  – толщина кирпичной кладки (мм),

$\lambda_p$  – теплопроводность кирпича (Вт/м°C),

$S$  – площадь поперечного сечения стальной колонны (мм<sup>2</sup>),

$d_c$  – плотность кирпичной кладки (кг/м<sup>3</sup>),

$p_c$  – внутренний периметр кирпичной кладки (мм).

- (2) В табл. 28 представлены значения плотности, коэффициентов теплопроводности, теплоемкости керамических, бетонных и каменных изделий, которые рекомендуется использовать для повышения пределов огнестойкости стальных конструкций.

**Таблица 28. Коэффициенты теплопроводности и значения теплоемкости керамических и бетонных кирпичей, каменных изделий**

Материал	Плотность, $d_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, $\lambda_p$ , Вт/(м·°С)	Теплоемкость, $C_p$ , Дж/(кг·°С)
Изделия пенобетонные	400-500	0,19-0,22	
Камни многопустотные из легкого бетона	500-1200	0,29-0,6	
Камни полнотелые из легкого бетона	500-2000	0,32-0,99	
Камни полнотелые из природного туфа или вспученной глины	500-2000	0,29-0,99	
Камень строительный	2200	1,4	920
Керамзитобетон на кварцевом песке с поризацией	800-1200	0,23-0,41	840
Керамзитобетон легкий	500-1200	0,18-0,46	
Керамзитобетон на керамзитовом песке и керамзитопенобетон	500-1800	0,14-0,66	840
Керамзитобетон на перлитовом песке	800-1000	0,22-0,28	840
Кирпич доменный (огнеупорный)	1000-2000	0,5-0,8	
Кирпич изоляционный		0,14	
Кирпич карборундовый	1000-1300	11-18	700
Кирпич красный плотный	1700-2100	0,67	840-880
Кирпич красный пористый	1500	0,44	
Кирпич клинкерный	1800-2000	0,8-1,6	
Кирпич облицовочный	1800	0,93	880
Кирпич пустотелый		0,44	
Кирпич силикатный	1000-2200	0,5-1,3	750-840
Кирпич силикатный с пустотами		0,7	
Кирпич силикатный щелевой		0,4	
Кирпич сплошной		0,67	
Кирпич строительный	800-1500	0,23-0,3	800
Кирпич шлаковый	1100-1400	0,58	
Кладка бутовая из камней средней плотности	2000	1,35	880
Кладка газосиликатная	630-820	0,26-0,34	880
Кладка из газосиликатных теплоизоляционных плит	540	0,24	880
Кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-перлитовом растворе	1600	0,47	880
Кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-песчаном растворе	1800	0,56	880
Кладка из глиняного обыкновенного кирпича на цементно-шлаковом растворе	1700	0,52	880
Кладка из керамического пустотного кирпича на цементно-песчаном растворе	1000-1400	0,35-0,47	880
Кладка из малоразмерного кирпича	1730	0,8	880
Кладка из пустотелых стеновых блоков	1220-1460	0,5-0,65	880
Кладка из силикатного 11-ти пустотного кирпича на цементно-песчаном растворе	1500	0,64	880
Кладка из силикатного 14-ти пустотного кирпича на цементно-песчаном растворе	1400	0,52	880
Кладка из силикатного кирпича на цементно-песчаном растворе	1800	0,7	880
Кладка из трепельного кирпича на цементно-песчаном растворе	1000-1200	0,29-0,35	880
Кладка из ячеистого кирпича	1300	0,5	880
Кладка из шлакового кирпича на цементно-песчаном растворе	1500	0,52	880

- (3) При использовании в качестве огнезащитного покрытия двух или более различных материалов предел огнестойкости стальной конструкции  $R$  определяется как сумма пределов огнестойкости, которые обеспечивает каждый слой покрытия. Данная зависимость описывается уравнением:

$$R = (R_1^{0,59} + R_2^{0,59} + R^{0,59} \dots + R_i^{0,59})^{1,7} \quad (16)$$

$R_1, R_2, R_3, \dots R_i$  – предел огнестойкости индивидуального материала, который составляет покрытие (часов).

При наличии между слоями воздушных пространств предел огнестойкости  $R$  рассчитывают по уравнению:

$$R = (R_1^{0,59} + R_2^{0,59} + R_3^{0,59} \dots + R_i^{0,59} + A_1^{0,59} + A_2^{0,59} + A_3^{0,59} \dots + A_i^{0,59})^{1,7} \quad (17)$$

$A_1, A_2, A_3, \dots A_i = 0,30$  (час) – предел огнестойкости для каждого воздушного слоя шириной  $\geq 13$  мм.

При расчете суммарного предела огнестойкости многослойных огнезащитных покрытий недопустимо в качестве слоев использовать горючие изоляционные материалы (например, пенополистиролы, пенополиуретаны и т.п.). Применяемые материалы должны быть конструктивно совместимы и по характеристикам усиливать эффект друг друга.

- (4) Как правило, кирпичные кладки декорируются отделочными штукатурками или другими отделочными материалами, которые могут обеспечить дополнительный вклад в повышение предела огнестойкости стальных конструкций, который рассчитывается по уравнению (15).
- (5) В табл. 29 представлены значения времени  $R_i$  для отделочных материалов, которые нанесены на кирпичную кладку или обетонированные поверхности со стороны воздействия пламени.
- (6) В табл. 30-33 представлены расчеты по уравнению (15) пределов огнестойкости стальных двутавров, защищенных кирпичной кладкой (рис. 9) с использованием керамзитобетонных, керамических, бетонных и силикатных кирпичей.

Таблица 29. Предел огнестойкости  $R_i$  отделочных материалов<sup>1)</sup>

Толщина отделочного материала	Предел огнестойкости, мин
Гипсокартонные листы	
1 лист, 10мм	10
1 лист, 13 мм	15
1 лист, 16 мм	20
2 листа, 20 мм	25
2 листа, 23 мм	35
2 листа, 26 мм	40
Гипсокартонные листы типа X <sup>2)</sup>	
1 лист, 13 мм	25
1 лист, 16 мм	40
Штукатурки	
Цементно-песчаная штукатурка на металлической сетке, 19 мм	20
22 мм	25
25 мм	30
Гипсо-песчаная штукатурка, 13 мм	35
16 мм	40
19 мм	50
Гипсо-песчаная штукатурка на металлической сетке, 19 мм	50
22 мм	60
25 мм	80

<sup>1)</sup> Источник: Fire Resistance Rating, ТЕК 7-1С. National Concrete Masonry Association, 2009.

<sup>2)</sup> Гипсокартон типа X – огнестойкий, содержит специальные добавки, повышающие огнестойкость.

Таблица 30. Минимальная толщина кирпичной кладки ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости стальных двутавров<sup>1)</sup>

Кладка из кирпича керамзитобетонного на цементно-вермикулитном растворе, $d_c = 1200 \text{ кг/м}^3, \lambda_p = 0,30 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$							
Коэффициент сечения профильный, $A_m/V, \text{ м}^{-1}$	Приведенная толщина $\delta_{np}, \text{ мм}$	Класс огнестойкости					
		R 60	R 90	R 120	R 150	R 180	R 240
345	2,92	35	45	55	65	75	95
333	3,03						
324	3,10						
315	3,19						
306	3,30						
297	3,40						
285	3,53						
267	3,75						
258	3,92						
243	4,13						
225	4,47						
210	4,82						
195	5,18						
180	5,57						
168	6,03	30	40	50	60	70	90
153	6,57						
141	7,13						
							80

Кладка из керамического кирпича (ДСТУ Б.В.2.7-61:2008) на цементно-песчаном растворе, $d_c = 1800 \text{ кг/м}^3, \lambda_p = 0,56 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$							
Коэффициент сечения профильный, $A_m/V, \text{ м}^{-1}$	Приведенная толщина $\delta_{np}, \text{ мм}$	Класс огнестойкости					
		R 60	R 90	R 120	R 150	R 180	R 240
345	2,92	40	55	65	75	85	110
333	3,03						
324	3,10						
315	3,19						
306	3,30						
297	3,40						
285	3,53						
267	3,75						
258	3,92						
243	4,13						
225	4,47						
210	4,82						
195	5,18						
180	5,57						
168	6,03	30	50	60	70	80	100
153	6,57						
141	7,13						
			40				

Продолжение табл. 30

Кладка из силикатного кирпича (ДСТУ Б.В.2.7-80:2008) на цементно-песчаном растворе, $d_c = 1800 \text{ кг/м}^3$ , $\lambda_p = 0,70 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$							
Коэффициент сечения профильный, $A_m/V, \text{ м}^{-1}$	Приведенная толщина $\delta_{np}, \text{ мм}$	Класс огнестойкости					
		R 60	R 90	R 120	R 150	R 180	R 240
345	2,92	40	55	70	80	90	110
333	3,03						
324	3,10						
315	3,19						
306	3,30						
297	3,40						
285	3,53						
267	3,75						
258	3,92						
243	4,13						
225	4,47						
210	4,82						
195	5,18						
180	5,57						
168	6,03	30	50	60	70	80	100
153	6,57						
141	7,13						

<sup>1)</sup> Киробчатая облицовка (рис. 9а) для критической температуры 500°C; расчет по уравнению (15).

**Таблица 31. Минимальная толщина кладки бетонных кирпичей ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости стальных колонн<sup>1)</sup>**

Приведенная толщина $\delta_{np}, \text{ мм}$	Коэффициент сечения профильный, $A_m/V, \text{ м}^{-1}$	Плотность, $d_c, \text{ кг/м}^3$	Класс огнестойкости			
			R 60	R 120	R 180	R 240
8,5	119	1281	19	41	60	77
		1602	23	47	68	86
		1762	24	50	71	91
		1922	26	53	75	95
7,2	139	1281	19	41	60	78
		1602	23	47	68	87
		1762	25	51	72	91
		1922	27	53	75	95

Продолжение табл. 31

Приведенная толщина $\delta_{пр}$ , мм	Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Плотность, $d_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Класс огнестойкости			
			R 60	R 120	R 180	R 240
6,8	149	1281	21	43	62	79
		1602	24	48	69	88
		1762	26	51	73	92
		1922	27	54	76	96
6,6	152	1281	22	44	63	80
		1602	26	50	71	89
		1762	27	53	74	93
		1922	29	56	78	98
6,3	159	1281	23	45	65	82
		1602	27	52	72	91
		1762	29	54	76	95
		1922	31	57	79	99
5,9	172	1281	24	46	66	84
		1602	28	53	74	92
		1762	30	56	77	97
		1922	31	58	81	101
5,5	183	1281	26	50	69	87
		1602	30	56	77	95
		1762	32	58	80	100
		1922	34	61	84	103
4,9	206	1281	27	51	71	89
		1602	31	57	78	97
		1762	33	60	82	101
		1922	35	62	85	105
4,4	230	1281	29	54	74	92
		1602	33	59	81	100
		1762	35	62	84	103
		1922	37	65	87	107
3,7	276	1281	31	56	77	95
		1602	35	61	83	102
		1762	37	64	86	106
		1922	38	66	89	109

<sup>1)</sup> для критической температуры 538°C. Источник: International Building Code. Chapter 7 – Fire and Smoke Protection Features.

Таблица 32. Минимальная толщина кладки бетонных кирпичей ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости трубчатых стальных колонн замкнутого сечения<sup>1)</sup>

Размеры колонны		Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Плотность, $d_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Класс огнестойкости			
b, мм	t, мм			R 60	R 120	R 180	R 240
Колонны прямоугольного и квадратного замкнутого сечения (рис. 9б)							
102	12,7	90	1922	37	70	96	119
			2082	42	77	105	130
102	9,5	116	1922	40	73	99	122
			2082	45	80	108	133
102	6,4	166	1922	44	76	103	125
			2082	49	83	111	136
152	12,7	86	1922	34	66	92	115
			2082	39	73	102	126
152	9,5	112	1922	38	70	96	119
			2082	42	77	105	130
152	6,4	163	1922	43	74	101	123
			2082	47	82	110	134
203	12,7	84	1922	33	64	90	113
			2082	37	71	99	124
203	9,5	110	1922	37	68	94	117
			2082	41	75	103	128
203	6,4	161	1922	42	73	99	122
			2082	46	80	108	133
Колонны трубчатого сечения (рис. 9в)							
102	17	286	1922	33	65	92	115
			2082	37	72	101	126
102	8,6	138	1922	41	74	100	123
			2082	45	81	109	134
102	6,0	96	1922	45	77	103	126
			2082	49	84	112	137
127	19	254	1922	30	62	89	112
			2082	34	70	98	123
127	9,5	123	1922	40	72	98	121
			2082	44	79	107	132
127	6,6	84	1922	44	76	102	125
			2082	48	83	111	136
152	22	245	1922	27	58	85	108
			2082	31	67	94	119
152	11	118	1922	37	69	96	119
			2082	42	76	105	130
152	7	75	1922	42	74	101	123
			2082	47	82	110	134

<sup>1)</sup> для критической температуры 538°C. Источник: International Building Code. Chapter 7 – Fire and Smoke Protection Features.

Таблица 33. Минимальная толщина кладки керамических кирпичей ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости колонн замкнутого сечения<sup>1)</sup>

Размеры колонны		Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Плотность, $d_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Класс огнестойкости			
b, мм	t, мм			R 60	R 120	R 180	R 240
Колонны прямоугольного и квадратного замкнутого сечения (рис. 9б)							
102	12,7	90	1922	37	70	96	119
			2082	42	77	105	130
102	9,5	116	1922	40	73	99	122
			2082	45	80	108	133
102	6,4	166	1922	44	76	103	125
			2082	49	83	111	136
152	12,7	86	1922	34	66	92	115
			2082	39	73	102	126
152	9,5	112	1922	38	70	96	119
			2082	42	77	105	130
152	6,4	163	1922	43	74	101	123
			2082	47	82	110	134
203	12,7	84	1922	33	64	90	113
			2082	37	71	99	124
203	9,5	110	1922	37	68	94	117
			2082	41	75	103	128
203	6,4	161	1922	42	73	99	122
			2082	46	80	108	133
Колонны трубчатого сечения (рис. 9в)							
102	17	286	1922	33	65	92	115
			2082	37	72	101	126
102	8,6	138	1922	41	74	100	123
			2082	45	81	109	134
102	6,0	96	1922	45	77	103	126
			2082	49	84	112	137
127	19	254	1922	30	62	89	112
			2082	34	70	98	123
127	9,5	123	1922	40	72	98	121
			2082	44	79	107	132
127	6,6	84	1922	44	76	102	125
			2082	48	83	111	136
152	22	245	1922	27	58	85	108
			2082	31	67	94	119
152	11	118	1922	37	69	96	119
			2082	42	76	105	130
152	7	75	1922	42	74	101	123
			2082	47	82	110	134

<sup>1)</sup> для критической температуры 538°C. Источник: International Building Code, Chapter 7 – Fire and Smoke Protection Features.

На практике полученная из таблиц минимальная толщина кладки округляется вверх до размера, кратного модулю применяемого искусственного камня.

### 5.3. Штукатурка

- (1) Согласно ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Смеси строительные сухие модифицированные. Общие технические условия» по основному вяжущему веществу штукатурные смеси подразделяют на следующие виды:
  - цементные,
  - гипсовые,
  - известковые,
  - полимерные,
  - сложные (одновременное использование различных видов вяжущих или специально разработанных композиций).
- (2) Наиболее применяемыми являются цементные и гипсовые штукатурные смеси. Гипсовые штукатурные смеси создают более качественное, ровное покрытие с теплоизоляционными свойствами, превосходящими покрытия, полученные из цементного штукатурного раствора.

#### 5.3.1 Цементно-песчаная штукатурка

- (1) Цементно-песчаная штукатурка рекомендуется для защиты металлоконструкций зданий – колонн, ригелей, связей и узлов сопряжения между элементами.
- (2) Для приготовления штукатурного раствора используют: песок и цемент марки не ниже М400 при соотношении 1:4,5. Защитный слой из штукатурки для замкнутых сечений, а также любых сечений с размерами не более 200 мм, армируется стальной вязаной либо сварной сеткой в один слой, которую можно устанавливать непосредственно на защищаемую поверхность. Стальные колонны и ригели с габаритом сечения 150x150 мм и менее, а также связи сечением до 100x100 мм включительно защищаются неармированной штукатуркой.
- (3) Предел огнестойкости стальных колонн с огнезащитным покрытием из штукатурки зависит от плотности и теплопроводности штукатурного материала (табл. 34).

**Таблица 34. Толщина защитного слоя цементно-песчаной штукатурки для предела огнестойкости R стального двутавра № 20<sup>1)</sup>**

Защитный слой	Плотность $d_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda_p$ , Вт/м·°С	Класс огнестойкости				
			R 45	R 60	R 90	R 120	R 150
Цементно-песчаная штукатурка	1800	1,20	25	30	40	50	60
Перлитовая (вермикулитовая) штукатурка	500	0,11	15	20	30	40	50

<sup>1)</sup> Рекомендации по применению огнестойких покрытий для металлических конструкций. ЦНИИСК им. Кучеренко Госстроя СССР, 1984 г.

#### 5.3.2 Перлитовая (вермикулитовая) штукатурка

- (1) В качестве вяжущих в составы легких штукатурок с заполнителями из перлитового песка или вермикулита входят цемент, гипс, а иногда и жидкое стекло. Выбор вяжущего зависит от влажностного режима эксплуатации конструкции. Смеси на жидком стекле, гипсе следует использовать для покрытий, работающих в воздушно-сухих условиях с относительной влажностью в помещениях до 60%.
- (2) Рекомендуемые соотношения компонентов и физико-механические характеристики легких штукатурок приведены в табл. 35.
- (3) В табл. 36 и 37 представлены толщины легких штукатурных покрытий (плотность – 400–450 кг/м<sup>3</sup>), рекомендованные для обеспечения соответствующих классов огнестойкости стальных колонн и балок («Рекомендации по применению огнестойких покрытий для металлических конструкций ЦНИИСК им. Кучеренко»).

Таблица 35. Соотношение компонентов в легких штукатурках

№	Содержание в сухой смеси, масс, %						Плотность $d_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности $\lambda_p$ , Вт/м·°С
	цемент	гипс	вата минеральная	перлит	вермикулит	керамзит		
1	-	59	16	25	-	-	450	0,081
2	56	-	18	26	-	-	600	0,128
3	5	-	22	73	-	-	440	0,076
4	15	-	-	-	75	10	350	0,07
5	45	-	-	-	40	15	600	0,108

Таблица 36. Толщина легких штукатурок для стальных стоек класса огнестойкости R 150

Тип колонны	Сечение уголков стойки, мм	Толщина стенки металла, мм	Толщина штукатурки, мм
Коробчатого сечения из двух уголков либо аналогичное	125x125	14	45
	125x125	20	35
	125x125	30	20
	125x200	16	40
	125x250	20	30
	130x300	30	25
	150x300	50	20
Сплошного сечения	250x150	-	10
	270x150	-	10
	300x200	-	10

(5) В табл. 38 представлены значения плотности, коэффициентов теплопроводности, теплоемкости строительных штукатурок, которые рекомендуется использовать для повышения пределов огнестойкости стальных конструкций.

### 5.3.3 Стальные колонны

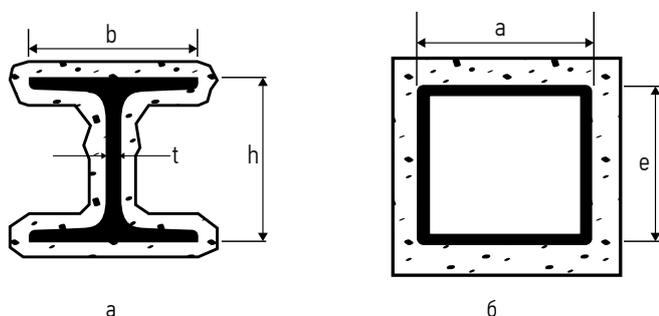


Рисунок 10. Стальные колонны с огнезащитой, нанесенной путем оштукатуривания

Таблица 37. Толщина легких штукатурок ( $d_p$ , мм, не менее) для стальных колонн и балок с различными классами огнестойкости <sup>1)</sup>

Конструкция	Приведенная толщина, $\delta_{np}$ , мм	Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Класс огнестойкости	
			R 60	R 45
Балки и колонны двутаврового сечения сварные	14	71	20	15
	16	63	20	15
	20	50	15	10
	30	33	10	10
	50	20	10	5
Балки и колонны двутаврового сечения прокатные	4,5-4,9	222-204	30	25
	5-5,1	200-196	30	25
	5,2-5,6	192-179	30	25
	6-6,5	167-154	30	25
	7-8,3	143-120	25	20
Связи, распорки и другие конструкции из уголков сечением, мм: 100x100	6,5	154	30	25
	10	100	25	20
	16	63	20	15
160x160	10	100	25	20
	16	63	20	15
	20	50	15	20
200x200	20	50	15	10
	25	40	15	10
	30	33	10	10

<sup>1)</sup>Толщину для промежуточных профилей допускается определять путем линейной интерполяции.

Таблица 38. Коэффициенты теплопроводности и значения теплоемкости строительных штукатурок

Штукатурка	Плотность, $d_c$ , кг/м <sup>3</sup>	Коэффициенты теплопроводности, $\lambda_p$ , Вт/(м·°С)	Теплоемкость, $C_p$ , Дж/(кг·°С)
Гипсовая	800	0,3	840
Известковая	1600	0,7	950
Известковая с каменной пылью	1700	0,87	920
Перлитовая (вермикулитовая)	350-800	0,1-0,9	1130
Фасадная с полимерными добавками	1800	1	880
Цементно-песчаная	1800	1,2	

### 5.3.3.1 Расчет пределов огнестойкости в соответствии с Международными строительными нормами

- (1) В МСН представлен алгоритм расчета предела огнестойкости колонн  $R$ , изготовленных из конструкционной стали и защищенных распыляемыми строительными материалами:

$$R = [C_1(17W/p_s) + C_2]d_p / 25.4 \quad (18)$$

$W$  – удельный вес стальной колонны (кг/м),

$R$  – предел огнестойкости (мин),

$d_p$  – толщина распыляемого материала (мм),

$P$  – обогреваемый периметр стальной колонны (мм),

$C_1$  и  $C_2$  – коэффициенты, характеризующие теплопроводность распыляемого материала.

Для цементно-песчаных штукатурок –  $C_1 = 69$  и  $C_2 = 31$ ; для покрытий с минеральным волокном –  $C_1 = 63$  и  $C_2 = 42$ ;

- (2) Коэффициенты  $C_1$  и  $C_2$  для конкретного материала можно рассчитать из двух известных пределов огнестойкости колонн определенного сечения решением системы уравнений:

$$R_1 = [C_1(17W_1/P_1) + C_2] d_{p1} / 25.4 \quad (19)$$

$$R_2 = [C_1(17W_2/P_2) + C_2] d_{p2} / 25.4 \quad (20)$$

При этом необходимо, чтобы коэффициенты сечения стальных конструкций максимально различались.

Расчет коэффициентов  $C_1$  и  $C_2$  для легких цементно-перлитовых (вермикулитовых) штукатурок по данным сертификационных испытаний штукатурок Неоспрей и Эндотерм 210104 приводит к результату:  $C_1 = 33$  и  $C_2 = 100$ .

- (3) Расчет пределов огнестойкости стальных двутавров по уравнению (18), оштукатуренных по контуру (рис. 11а) цементно-песчаной и цементно-вермикулитовой штукатурками, позволяет определить минимальные толщины защитного слоя для обеспечения соответствующих пределов огнестойкости (табл. 39 и 40).

**Таблица 39. Минимальная толщина цементно-песчаной штукатурки ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости стальных колонн<sup>1)</sup>**

Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Приведенная толщина $\delta_{np}$ , мм	Класс огнестойкости							
		R 30	R 45	R 60	R 90	R 120	R 150	R 180	R 240
345	2,92	14	20	27	40	53	66	79	105
333	3,03	13							
324	3,10	19	25	38	51	64	77	103	
315	3,19								
306	3,30	37	49	61	73	74	99		
297	3,40								
285	3,53	12	18	24	47	59	70	94	
267	3,75								
258	3,92	35	45	56	67	89			
243	4,13								
225	4,47	11	16	22	32	43	53	64	85
210	4,82								
195	5,18	10	15	20	30	39	49	59	78
180	5,57								
168	6,03	9	18	26	34	42	51	67	
153	6,57								
141	7,13	8	12	16	24	32	40	48	64

<sup>1)</sup> Рассчитано по уравнению (18),  $C_1 = 69$  и  $C_2 = 31$ .

Таблица 40. Минимальная толщина цементно-вермикулитовой штукатурки ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости стальных колонн<sup>1)</sup>

Коэффициент сечения профильный, $A_m/V, \text{м}^{-1}$	Приведенная толщина $\delta_{np}$ , мм	Класс огнестойкости							
		R 30	R 45	R 60	R 90	R 120	R 150	R 180	R 240
345	2,92	7	11	14	21	27	34	41	54
333	3,03								
324	3,1								
315	3,19								
306	3,3								
297	3,4								
285	3,53								
267	3,75								
258	3,92								
243	4,13								
225	4,47								
210	4,82								
195	5,18								
180	5,57								
168	6,03								
153	6,57	6	9	13	19	24	30	36	48
141	7,13			12	18			35	47

<sup>1)</sup> Рассчитано по уравнению (18),  $C_1 = 33$  и  $C_2 = 100$ .

### 5.3.3.2 Расчет пределов огнестойкости в соответствии с Еврокодами

- (1) Сравнение значений классов огнестойкости стальных колонн с цементно-вермикулитовой штукатуркой, полученных согласно Еврокоду 3 (ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2) и по ур.(18), представлен в табл. 41. Наблюдается удовлетворительное совпадение расчетных величин толщин огнезащитной штукатурки, что подтверждает адекватность обоих подходов для оценки огнезащитной эффективности используемого материала.

Таблица 41. Сравнение минимальных толщин цементно-вермикулитовой штукатурки ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих пределов огнестойкости стальных колонн<sup>1)</sup>

Цементно-вермикулитовая штукатурка, $d_c = 600 \text{ кг/м}^3$ , $\lambda_p = 0,10 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$ , $C_p = 1130 \text{ Дж/кгК}$						
Коэффициент сечения профильный, $A_m/V, \text{м}^{-1}$	Метод расчета	Класс огнестойкости				
		R 60	R 90	R 120	R 150	R 180
345-243	Еврокод 3	12-18	18-24	24-32	30-37	36-44
345-243	Ур. (18)	12-16	18-22	24-29	30-35	35-41

<sup>1)</sup> Контурная защита (рис. 5а) для критической температуры 500°C.

### 5.3.4 Балки

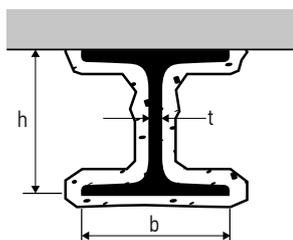


Рисунок 11. Балки с огнезащитой, нанесенной путем оштукатуривания

### 5.3.4.1 Расчет пределов огнестойкости в соответствии с Международными строительными нормами

- (1) Толщина штукатурки ( $h_2$ ), необходимая для огнезащиты стальной балки для предела огнестойкости  $R$ , рассчитывается по уравнению:

$$d_{p2} = d_{p1}[(W_1/P_1)+0.036]/[(W_2/P_2)+0.036] \quad (21)$$

$d_{p2}$  – толщина распыляемого материала (мм),

$W$  – удельный вес стальной колонны (кг/м),

$P$  – обогреваемый периметр стальной колонны (мм).

Индекс 1 относится к известному значению  $R$  при толщине покрытия  $d_{p1}$  для балки с параметрами  $W_1/P_1$ , Индекс 2 обозначает характеристики стальной балки, подлежащей огнезащите.

В качестве ограничения применения этого уравнения принимаются условия:

$$W/P > 0.022; d_p > 9.5 \text{ мм}; R > 60 \text{ мин.}$$

- (2) Расчет по уравнению (21) пределов огнестойкости стальных двутавров, оштукатуренных по контуру (рис. 11) легкой цементно-вермикулитовой штукатуркой, позволяет определить минимальные толщины защитного слоя для обеспечения соответствующих пределов огнестойкости (табл. 42).

**Таблица 42. Минимальная толщина цементно-вермикулитовой штукатурки ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости стальных балок<sup>1)</sup>**

Коэффициент сечения профильный, $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Приведенная толщина $\delta_{np}$ , мм	Класс огнестойкости		
		R 90	R 150	R 180
345	2,92	24	50	58
333	3,03		49	57
324	3,1			
315	3,19	23	48	56
306	3,3			55
297	3,4		47	
285	3,53	22	46	54
267	3,75		45	52
258	3,92	21	44	51
243	4,13		43	50
225	4,47	20	42	48
210	4,82	19	40	46
195	5,18		39	45
180	5,57	18	37	43
168	6,03	17	35	41
153	6,57	16	34	39
141	7,13		32	37

<sup>1)</sup> Рассчитано по уравнению (21) с использованием данных Сертификатов соответствия UA1.016.0219885-12 и UA 1.016.0242016-13 (штукатурные смеси Эндотерм 400202 и Неоспрей).

## 5.4. Гипсокартонные листы

- (1) ДСТУ Б В.2.7-95-2000 определяет технические и качественные параметры, которым должны соответствовать гипсокартонные листы, используемые при отделке помещений. В зависимости от свойств и области применения листы подразделяют на следующие виды:
- обычные (ГКЛ),
  - влагостойкие (ГКЛВ),
  - огнестойкие с повышенной сопротивляемостью воздействию открытого пламени (ГКЛО),
  - влагостойкие с повышенной сопротивляемостью воздействию открытого пламени (ГКЛВО).

Таблица 43. Технические данные гипсокартонных листов

Влажность, %, не более	1,0
Масса 1 м <sup>2</sup> , кг	1,08s – 1,25s <sup>1)</sup>
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не более	1250
Теплопроводность (при плотности от 1000 до 1200 кг/м <sup>3</sup> ), Вт/м°С	0,22 – 0,36

<sup>1)</sup> s – номинальная толщина листа, мм.

- (2) Для огнезащитной обшивки металлических несущих конструкций (колонн и балок) рекомендуется использовать гипсокартонные листы ГКЛО и ГКЛВО или гипсоволокнистые листы ГВЛ. Облицовку металлических балок следует выполнять с помощью металлических профилей или с использованием вкладышей из полос гипсокартонных или гипсоволокнистых листов различной толщины, в зависимости от требуемого предела огнестойкости конструкций.

### 5.4.1. Стальные колонны и балки

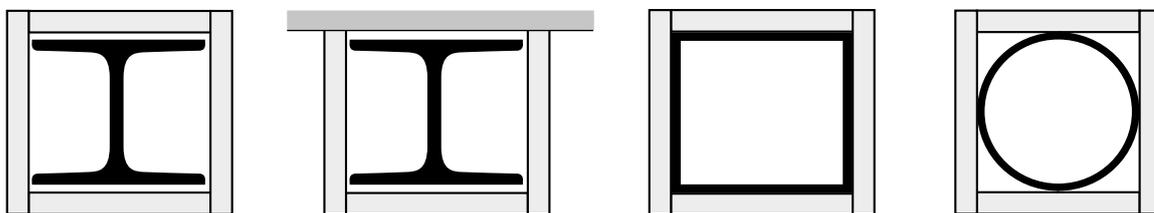
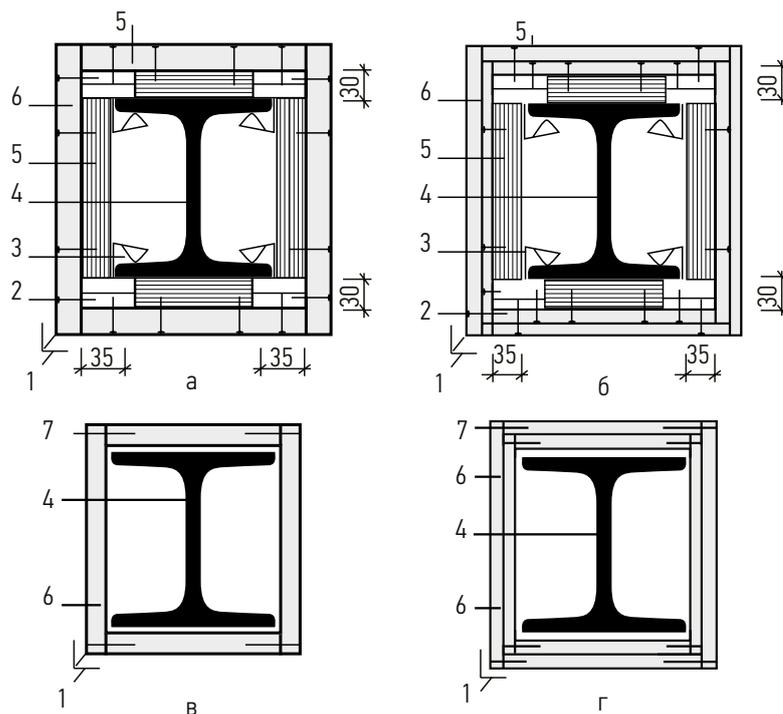


Рисунок 12. Конструктивные решения огнезащиты стальных колонн и балок гипсокартонными листами

- (1) Огнезащитная облицовка металлических колонн гипсокартонными листами может осуществляться с применением промежуточных металлических профилей или без них (рис. 14). При использовании металлических профилей их рекомендуется крепить к полкам колонн с помощью зажимов, располагаемых с шагом до 1000 мм, а обшивку к профилям – на самонарезающих винтах. При обшивке колонн без применения металлических профилей гипсокартонные листы между собой закрепляют стальными скобами, устанавливаемыми с шагом до 100 мм.
- (2) Облицовку металлических балок следует выполнять с помощью металлических профилей или с использованием вкладышей из полос гипсокартонных листов различной толщины в зависимости от требуемого предела огнестойкости конструкций. При применении металлических профилей их рекомендуется закреплять анкерными элементами к перекрытию и с помощью зажимов к нижней полке балки, а гипсокартонные листы обшивки – к металлическим профилям самонарезающими винтами (рис. 14). При этом шаг зажимов не должен превышать 120 мм.
- (3) Для достижения требуемого предела огнестойкости металлических колонн и балок определенного профильного коэффициента сечения применяется облицовка гипсокартонными листами ГКЛО (типа X) в соответствии с толщинами, приведенными в табл. 44.

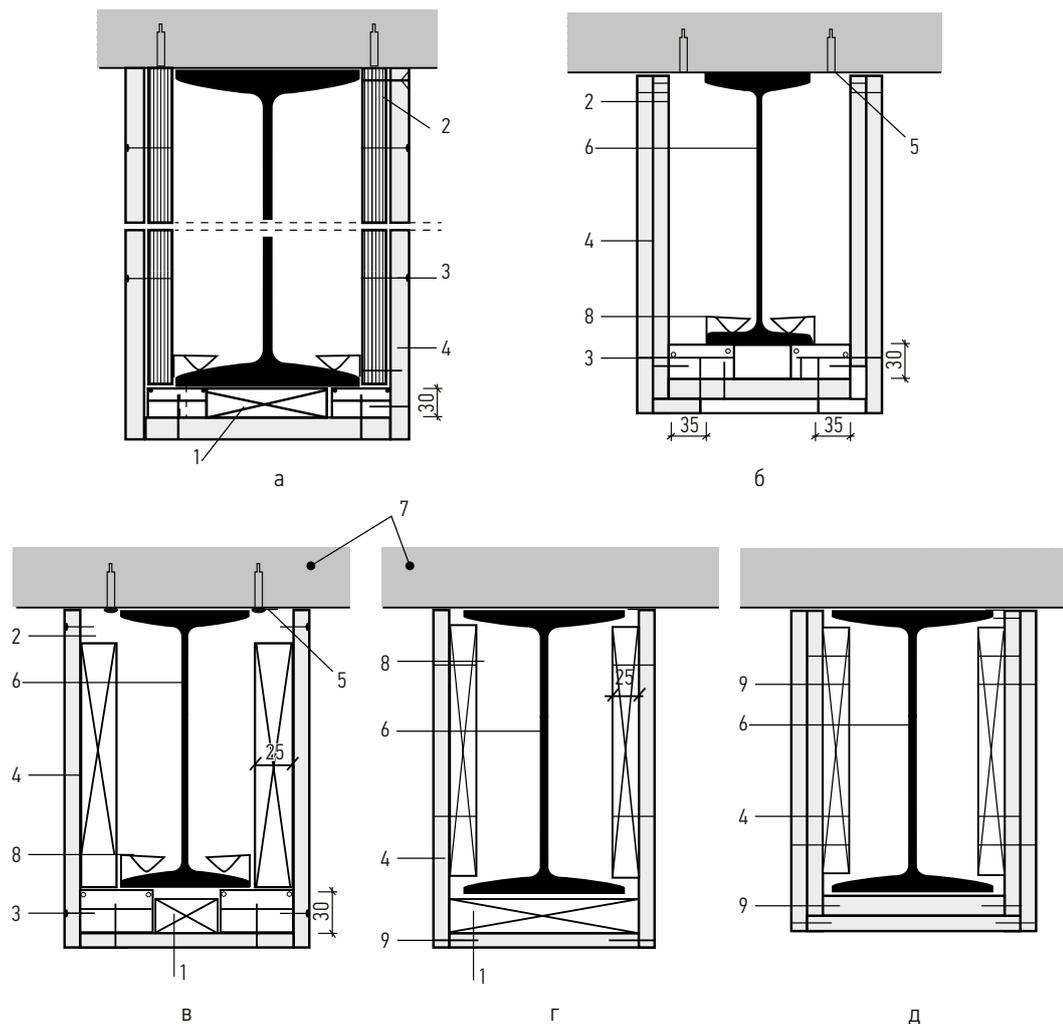


1 – уголкового защитного профиля; 2 – самонарезающий винт; 3 – зажим; 4 – стальная колонна; 5 – потолочный профиль; 6 – обшивка из ГКЛО; 7 – скоба

**Рисунок 13. Конструктивные решения огнезащиты стальных колонн гипсокартонными листами**

**Таблица 44. Зависимость предела огнестойкости от толщины облицовки из гипсокартонных листов марки ГКЛО для максимальных коэффициентов сечения стальных балок и колонн**

Класс огнестойкости	Толщина облицовки, мм								
	15	20	25	30	35	40	45	50	55
БАЛКИ									
$A_m / V, \text{м}^{-1}$									
R 30	300								
R 60	170	300							
R 90	48	130	270	300					
R 120		50	100	180	300				
R 180				45	80	125	190	260	300
КОЛОННЫ									
$A_m / V, \text{м}^{-1}$									
R 30	210	300							
R 60	46	100	230	300					
R 90		40	140	170	260	300			
R 120			38	68	110	180	280	300	
R 180					35	50	76	105	150



1 – вкладыш; 2 – металлический профиль; 3 – самонарезающий винт; 4 – обшивка из ГКЛО; 5 – анкерный элемент; 6 – стальной ригель; 7 – перекрытие; 8 – зажим; 9 – скоба

**Рисунок 14. Конструктивные решения огнезащиты стальных балок гипсокартонными листами**

- (4) Требуемую толщину огнезащитной облицовки из гипсокартонных листов можно определять по номограммам, которые приводятся в технической документации производителей, в зависимости от приведенной толщины стали.
- (5) Предел огнестойкости колонн ( $R$ , час), защищенных гипсокартонными плитами, определяется по эмпирическому уравнению, приведенному в МСН:

$$R = 1,6[h(W'P)/2]^{0,75} \quad (22)$$

$$W' = W + 0,0008 d_p P \quad (23)$$

$W$  – удельный вес стальной колонны (кг/м),

$W'$  – удельный вес стальной колонны с облицовкой гипсовыми плитами (кг/м),

$P$  – обогреваемый периметр стальной колонны (мм),

$d_p$  – толщина облицовки из гипсокартонных плит (мм).

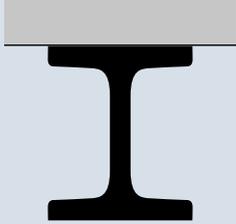
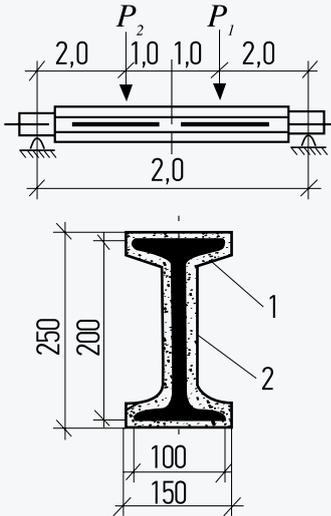
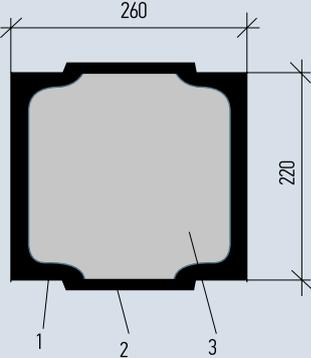
- (6) В табл. 45 представлены расчеты по уравнению (22) пределов огнестойкости колонн двутаврового сечения, защищенных гипсокартонными листами типа X.

- (7) При проектировании огнезащитных решений с применением облицовок из гипсокартонных листов необходимо учитывать качественные характеристики отделочных материалов (шпатлевок, клеевых составов при межслойном применении и т.д.), а также их количество. При многослойной огнезащите гипсокартонными листами стальных конструкций и, соответственно, межслойном применении шпаклевочных материалов, толщина примененных отделочных материалов может составлять 25-30% от общей толщины облицовки, что существенно увеличивает огнестойкость металлоконструкций.

**Таблица 45. Толщина облицовки из гипсокартонных листов ( $d_p$ , мм) для обеспечения соответствующих классов огнестойкости стальных колонн двутаврового сечения**

Коэффициент сечения профильный $A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	Приведенная толщина $\delta_{пр}$ , мм	Класс огнестойкости							
		R 30	R 45	R 60	R 90	R 120	R 150	R 180	R 240
345	2,92	15	15	25	35	45	50	60	75
333	3,03								
324	3,1								
315	3,19	10							
306	3,3								
297	3,4								
285	3,53								
267	3,75								
258	3,92								
243	4,13								
225	4,47								
210	4,82								
195	5,18								
180	5,57	10			25			50	65
168	6,03								
153	6,57								
141	7,13					30	40	45	60

ПРИЛОЖЕНИЕ

№ п/п	Конструкция	Описание	Коэффициент сечения конструкции		Класс огнестойкости, не менее
			$\delta_{пр}$ , мм	$A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	
1		<p>Стальные балки, прогоны, ригели или статически определимые фермы при опирании плит и настилов по верхнему поясу.</p>	10-30	33-100	R 15
2		<p>Двутавровая балка оштукатуренная:                      1 – двутавр с уклоном полок №20 по ДСТУ 8239, марка стали С245                      2 – штукатурка: состав 1:1:0,5 (известь:алебастр:песок), толщина слоя 25 мм (по стальной сетке).                      Рабочая нагрузка:  <math>P_1 = P_2 = 14,4</math> кН</p>	не менее 3,4	не более 294	R 60
3		<p>Стальная колонна с внутренним заполнением:                      1 – стержень колонны: два швеллера № 226, марка стали С245                      2 – соединительная планка: размеры 180×180×10 мм, марка стали Ст3, по 3 шт. с каждой стороны с шагом 850 мм                      3 – заполнение внутренней полости: шлакобетон состава 1:5 (цемент:котельный шлак).                      Рабочая нагрузка – 1024 кН</p>			R 15

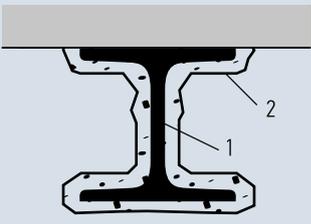
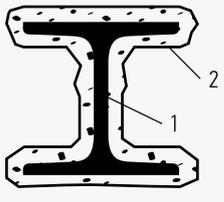
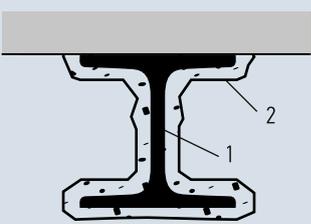
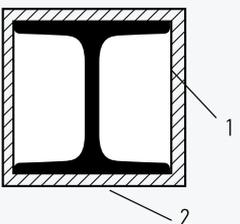
№ п/п	Конструкция	Описание	Коэффициент сечения конструкции		Класс огнестойкости, не менее
			$\delta_{пр}$ , мм	$A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	
4		<p>Стальная колонна оштукатуренная:</p> <p>1 – стержень колонны: два швеллера № 226, марка стали С245</p> <p>2 – соединительная планка: размеры 180×180×10 мм, марка стали С245, по 3 шт. с каждой стороны с шагом 850 мм</p> <p>3 – стальная сетка</p> <p>4 – штукатурка: состав 1:1:5 (цемент:известь:песок), толщина слоя 25 мм.</p> <p>Рабочая нагрузка – 1023,8 кН</p>			R 45
5		<p>Колонна сталебетонная:</p> <p>1 – стержень колонны: два швеллера № 226, марка стали С245</p> <p>2 – соединительная планка: размеры 180×180×10 мм, марка стали С245, по 3 шт. с каждой стороны с шагом 850 мм</p> <p>3 – стальная сетка</p> <p>4 – заполнение внутренней полости: шлакобетон состава 1:5 (цемент:котельный шлак)</p> <p>5 – штукатурка: состав 1:0,2:2,5 (цемент:известь:песок), толщина слоя 25 мм.</p> <p>Рабочая нагрузка – 1023 кН</p>			R 60
6		<p>Колонна с облицовкой в 1/4 кирпича:</p> <p>1 – стержень колонны: сварной из двух швеллеров № 24 по ДСТУ 3436-96 и двутавра № 14 по ДСТУ 8239, марка стали С245</p> <p>2 – облицовка: кирпич обыкновенный красный, толщина облицовки 65 мм; раствор для кирпичной кладки состава 1:4 (цемент:песок), марка 50.</p> <p>Рабочая нагрузка – 701 кН</p>			R 150
7		<p>Колонна с облицовкой в 1/4 кирпича:</p> <p>1 – стержень колонны сварной: два двутавра № 27 по ДСТУ 8239 и двутавр № 16 по ДСТУ 8239, марка стали С245</p> <p>2 – облицовка: кирпич обыкновенный красный, толщина облицовки 65 мм; раствор для кирпичной кладки состава 1:4 (цемент:песок), марка 50.</p> <p>Рабочая нагрузка – 2148 кН</p>			R 150

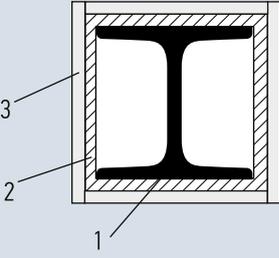
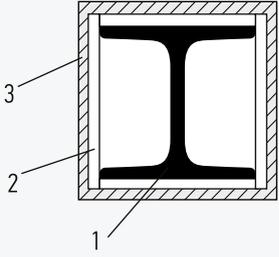
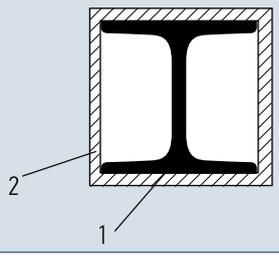
№ п/п	Конструкция	Описание	Коэффициент сечения конструкции		Класс огнестойкости, не менее
			$\delta_{пр}$ , мм	$A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	
8		<p>Колонна с облицовкой в 1/4 кирпича оштукатуренная:</p> <p>1 – стержень колонны: два швеллера № 226; марка стали С245</p> <p>2 – соединительная планка: размеры 180×180×10 мм, марка стали С245, по 3 шт. с каждой стороны с шагом 850 мм</p> <p>3 – облицовка: кирпич обыкновенный красный, толщина облицовки 65 мм; раствор для кладки состава 1:4 (цемент:песок), марка 50</p> <p>4 – штукатурка: состав 1:1:5 (цемент:известь:песок), толщина слоя 25 мм.</p> <p>Рабочая нагрузка – 1024 кН</p>			R 150
9		<p>Колонна с облицовкой в 1/4 кирпича оштукатуренная:</p> <p>1 – стержень колонны: сварной из двух швеллеров № 20, марка стали Ст3</p> <p>2 – облицовка: кирпич обыкновенный красный, толщина облицовки 65 мм; раствор для кладки состава 1:4 (цемент:песок), марка 50, влажность 1,8 %</p> <p>3 – штукатурка: состав 1:1:5 (цемент:известь:песок), толщина слоя 25 мм.</p> <p>Рабочая нагрузка – 1216 кН</p>			R 150
10		<p>Колонна с облицовкой в 1/2 кирпича оштукатуренная:</p> <p>1 – стержень колонны: сварной из двух швеллеров № 20 по ДСТУ 3436-96, марка стали С245</p> <p>2 – облицовка: кирпич обыкновенный красный, толщина облицовки 125 мм раствор для кладки состава 1:4 (цемент:песок), марка 50</p> <p>3 – штукатурка: состав 1:1:5 (цемент:известь:песок), толщина слоя 25 мм.</p> <p>Рабочая нагрузка – 1049 кН</p>			R 360

№ п/п	Конструкция	Описание	Коэффициент сечения конструкции		Класс огнестойкости, не менее
			$\delta_{пр}, \text{мм}$	$A_m/V, \text{м}^{-1}$	
11		<p>Колонна с облицовкой в 1/2 кирпича, с внутренним заполнением, оштукатуренная:</p> <p>1 – стержень колонны: сварной из двух швеллеров № 20 по ДСТУ 3436-96, марка стали С245</p> <p>2 – облицовка: кирпич обыкновенный красный, толщина облицовки 125 мм; раствор для кладки состава 1:4 (цемент:песок), марка 50</p> <p>3 – штукатурка: состав 1:1:5 (цемент:известь:песок), толщина слоя 25 мм</p> <p>4 – заполнение внутренней полости: шлакобетон состава 1:5 (цемент:котельный шлак). Рабочая нагрузка – 1083 кН</p>			R 360
12		<p>Стальная колонна с облицовкой 4-мя слоями гипсокартонных плит марки ГКПО-DF (производство «Кнауф»):</p> <p>1 – стержень колонны</p> <p>2 – гипсокартонные плиты марки ГКПО-DF</p> <p>3 – гипсовая шпаклевка «Кнауф Фугенфюллер Г.2ШГ2-1»</p> <p>4 – профиль стальной CD 60/27/0,6</p> <p>5 – соединительная металлическая клипса</p> <p>6 – винт самонарезающий</p> <p>7 – металлический перфорированный уголок.</p>	не менее 4,5	не более 222	R 150
13		<p>Стальная колонна с облицовкой 5-тью слоями гипсокартонных плит марки ГКПО-DF (производство «Кнауф»):</p> <p>1 – стержень колонны</p> <p>2 – гипсокартонные плиты марки ГКПО-DF</p> <p>3 – гипсовая шпаклевка «Кнауф Фугенфюллер Г.2ШГ2-1»</p> <p>4 – профиль стальной CD 60/27/0,6</p> <p>5 – соединительная металлическая клипса</p> <p>6 – винт самонарезающий</p> <p>7 – металлический перфорированный уголок.</p>	не менее 4,5	не более 222	R 180

№ п/п	Конструкция	Описание	Коэффициент сечения конструкции		Класс огнестойкости, не менее
			$\delta_{пр}$ , мм	$A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	
14		<p>Стальная балка с облицовкой 2-мя слоями гипсокартонных плит марки ГКПО-DF (производство «Кнауф»):</p> <p>1 – стержень балки                  2 – гипсокартонные плиты марки ГКПО-DF                  3 – гипсовая шпаклевка «Кнауф Фугенфюллер Г.2ШГ2-1»                  4 – профиль стальной CD 60/27/0,6                  5 – соединительная металлическая клипса                  6 – винт самонарезающий TN                  7 – металлический перфорированный уголок                  8 – шпаклевка с разделительной полосой                  9 – анкерный дюбель                  10 – стальной уголок 30/30/0,7.</p>	не менее 5,36	не более 187	R 90
15		<p>Стальная балка с облицовкой 3-мя слоями гипсокартонных плит марки ГКПО-DF (производство «Кнауф»):</p> <p>1 – стержень балки                  2 – гипсокартонные плиты марки ГКПО-DF                  3 – гипсовая шпаклевка «Кнауф Фугенфюллер Г.2ШГ2-1»                  4 – профиль стальной CD 60/27/0,6                  5 – соединительная металлическая клипса                  6 – винт самонарезающий TN                  7 – металлический перфорированный уголок                  8 – шпаклевка с разделительной полосой                  9 – анкерный дюбель                  10 – стальной уголок 30/30/0,7.</p>	не менее 5,36	не более 187	R 150

№ п/п	Конструкция	Описание	Коэффициент сечения конструкции		Класс огнестойкости, не менее
			$\delta_{пр}$ , мм	$A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	
16		<p>Стальная балка с облицовкой 4-мя слоями гипсокартонных плит марки ГКПО-DF (производство «Кнауф»):</p> <p>1 – стержень балки  2 – гипсокартонные плиты марки ГКПО-DF  3 – гипсовая шпаклевка «Кнауф Фугенфюллер Г.2ШГ2-1»  4 – профиль стальной CD 60/27/0,6  5 – соединительная металлическая клипса  6 – винт самонарезающий TN  7 – металлический перфорированный уголок  8 – шпаклевка с разделительной полосой  9 – анкерный дюбель  10 – стальной уголок 30/30/0,7.</p>	не менее 5,36	не более 187	R 180
17		<p>Стальная колонна, оштукатуренная составом TECWOOL F:</p> <p>1 – стержень колонны  2 – состав TECWOOL F толщиной:</p> <p>21 мм  22 мм  25 мм  32 мм  38 мм  44 мм  50 мм</p>	не менее 3,4	не более 294	R 60 R 75 R 90 R 120 R 150 R 180 R 210
18		<p>Стальная колонна, оштукатуренная составом Неоспрей:</p> <p>1 – стержень колонны  2 – состав Неоспрей толщиной:</p> <p>28,0 мм  32,8 мм  37,5 мм</p>	не менее 3,4	не более 294	R 120 R 150 R 180
		<p>1 – стержень колонны  2 – состав Неоспрей толщиной:</p> <p>26,1 мм  30,1 мм  34,2 мм</p>	не менее 5,8	не более 172	R 120 R 150 R 180

№ п/п	Конструкция	Описание	Коэффициент сечения конструкции		Класс огнестойкости, не менее
			$\delta_{пр}$ , мм	$A_m/V$ , м <sup>-1</sup>	
19		Стальная балка, оштукатуренная составом Неоспрей: 1 – стержень балки 2 – состав Неоспрей толщиной: 35,5 мм 32,8 мм	не менее 5,4	не более 185	R 150 R 180
		1 – стержень балки 2 – состав Неоспрей толщиной: 44,0 мм 38,5 мм	не менее 7,0	не более 143	R 150 R 180
20		Стальная колонна, оштукатуренная составом Эндотерм 210104: 1 – сталь стержень колонны 2 – состав Эндотерм 210104 толщиной: 20,7 мм 23,3 мм 28,5 мм 33,7 мм 38,8 мм 44,0 мм 49,2 мм	не менее 3,4	не более 294	R 75 R 90 R 120 R 150 R 180 R 210 R 240
		1 – стержень колонны 2 – состав Эндотерм 210104 толщиной: 26,6 мм 31,6 мм	не менее 5,4	не более 185	R 150 R 180
21		Стальная балка, оштукатуренная составом Эндотерм 210104: 1 – стержень балки 2 – состав Эндотерм 210104 толщиной: 21,0 мм	не менее 3,9	не более 256	R 90
22		Стальная колонна с облицовочной огнезащитной плитой Promatect – L500: 20 мм: 1 – стержень колонны 2 – огнезащитная плита Promatect – L500, толщина 20 мм.	не менее 3,4	не более 294	R 60

№ п/п	Конструкция	Описание	Коэффициент сечения конструкции		Класс огнестойкости, не менее
			$\delta_{пр}, \text{мм}$	$A_m/V, \text{м}^{-1}$	
23		Стальная колонна с облицовкой огнезащитной плитой Promatect – L500 толщиной 20 мм и дополнительной облицовкой из гипсокартонных листов марки ГКЛ («Кнауф»): 1 – стержень колонны 2 – огнезащитная плита Promatect – L500 (толщиной 20 мм) 3 – гипсокартонные листы ГКЛ: 1 слой толщиной 9,5 мм	не менее 1,5	не более 667	R 60
		1 слой толщиной 12,5 мм	не менее 3,4	не более 294	R 90
		2 слоя толщиной 9,5 мм			R 120
		2 слоя толщиной 12,5 мм			R 150
		2 слоя толщиной 12,5 мм 1 слой толщиной 9,5 мм			R 180
24		Стальная металлоконструкция с облицовкой минераловатной плитой IZOVAT и огнезащитной плитой Promatect – L500 толщиной 20 мм: 1 – стальная конструкция 2 – минераловатная плита IZOVAT толщиной 30 мм 3 – огнезащитная плита Promatect – L500 толщиной 20 мм.	не менее 3,4	не более 294	R 90
		не менее 4,1	не более 244	R 90	
		не менее 12,2	не более 82	R 180	
		не менее 3,4	не более 294	R 90	
		не менее 6,9	не более 145	R 150	
		не менее 10,7	не более 93	R 180	
25		Стальная конструкция с облицовкой огнезащитной плитой Эндотерм 210104: 1 – стальная конструкция, марка стали Ст3 2 – огнезащитные плиты Эндотерм 210104 в несколько слоев, различной толщины: от 13 мм до 63,7 мм	4 ÷ 240	50 ÷ 250	R 45 ÷ R 240

Публикация

КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ  
КАРКАСОВ ЗДАНИЙ

Технические рекомендации  
для проектирования

Вахитова Л.Н., Калафат К.В.

Формат 60x84x8. Условных печатных листов 7,67. Тираж 500 экземпляров.

Издатель ООО «НПП «Интерсервис»

Киев, ул. Бориспольская, 9

Свидетельство серии ДК № 3534 от 24.07.2009



### КОНСТРУКТИВНАЯ ОГНЕЗАЩИТА СТАЛЬНЫХ КАРКАСОВ ЗДАНИЙ Технические рекомендации для проектирования

Публикация содержит информацию о способах повышения предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений путем использования традиционных строительных материалов – штукатурных смесей, каменных, бетонных, плитных изделий. Публикацию следует рассматривать в качестве технических рекомендаций по практическим правилам проектирования и монтажа стальных конструкций с заданным классом огнестойкости. В публикации приведены результаты по пределам огнестойкости стальных конструкций, защищенных строительными материалами, полученные при испытаниях систем огнезащиты в отечественных и мировых испытательных лабораториях, общепринятые конструктивные решения для проектирования пожарной безопасности.

Специалисты в области огнезащиты стальных строительных конструкций найдут рекомендации по проектированию конструктивных видов огнезащиты с использованием:

- Приведенных таблиц.
- Простых и уточненных расчетных моделей согласно Европейским строительным нормам (далее по тексту – Еврокоды).
- Доказанных огнезащитных решений.

Представленные материалы могут быть использованы проектными, строительными организациями с целью сокращения времени на поиск оптимальных способов огнезащиты, а также средств на определение пределов огнестойкости стальных конструкций. Использование уравнений, моделей и табличных данных этой публикации не избавляют от необходимости проведения огневых испытаний и других процедур, предусмотренных законодательством Украины в области пожарной безопасности.

Публикация рекомендована Ученым Советом Института физико-органической химии и углехимии НАН Украины к печати в качестве учебно-методического пособия.