ПОЛИТЕХ
Инженерно-строительный институт

ПОЛИТЕХ
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ПОЛИТЕХ-ПРЕСС

М. В. Гравит И. И. Дмитриев

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Монография



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ПЕТРА ВЕЛИКОГО

М. В. Гравит И. И. Дмитриев

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Монография

ПОЛИТЕХ-ПРЕСС
Санкт-Петербургский
политехнический университет
Петра Великого

Санкт-Петербург
2020

УДК 614.841.34
ББК 38.54
Г75

Р е ц е н з е н т ы:
Доктор технических наук, профессор, профессор Балтийского государственного технического университета «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова
М. В. Чернышов
Доктор технических наук, профессор, профессор Высшей школы промышленного, гражданского и дорожного строительства Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого
Н. И. Ватин

Гравит М. В. **Огнестойкость легких стальных тонкостенных конструкций** : монография / М. В. Гравит, И. И. Дмитриев. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – 213 с.

Монография представляет собой руководство по расчету огнестойкости легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) и каркасных конструкций на их основе в соответствии с основными требованиями СП 260.1325800.2016 «Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования» и части EN 1993-1-2 норматива Eurocode 3 «Design of steel structures».

Рассматриваются методы проектирования огнезащиты тонкостенных конструкций с применением современных специализированных средств огнезащиты. Представлены практические примеры расчета огнезащиты легких тонкостенных конструкций. Даны рекомендации и обоснования по применению программных комплексов при решении задач огнестойкости.

Издание предназначено для студентов и аспирантов высших технических учебных заведений, инженеров-строителей, слушателей курсов профессиональной переподготовки.

Печатается по решению
Совета по издательской деятельности Ученого совета
Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

© Гравит М. В., Дмитриев И. И., 2020
© Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020

ISBN 978-5-7422-7032-4

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 6

ВВЕДЕНИЕ 10

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ 14

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ 18

1. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНТРУКЦИЙ 20

1.1 Общие положения 20

1.2 Прочностные и теплофизические свойства стали 28

1.3 Метод расчета по прочностным параметрам 31

1.4 Упрощенный метод расчета критической температуры 35

1.5 Примеры для сжатых, растянутых и изгибаемых конструкций 36

1.6 Зарубежные нормативные документы, содержащие требования к огнестойкости ЛСТК 40

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ 53

2.1 Общие положения 53

2.2 Расчет коэффициентов сечения стальных конструкций 62

2.2.1 Профильный коэффициент сечения конструкции A_m/V 62

2.2.2 Коробчатый коэффициент сечения конструкции $[A_m/V]_b$ 64

2.2.3 Коэффициент учета теневого эффекта k_{sh} 64

2.2.4 Определение температуры прогрева сечения 65

2.2.5 Расчет стальной колонны профиля АС380х125х30х3,5 67

2.3 Расчет огнестойкости стальных конструкций с использованием средств огнезащиты 69

2.3.1 Профильный коэффициент сечения конструкций с огнезащитой A_p/V 69

2.3.2 Расчетный предел огнестойкости стальной конструкции с огнезащитой 71

2.3.3 Расчет колонны АС380х125х30х3,5 с МБОР-16Ф 73

2.3.4 Расчет с помощью термического коэффициента 75

2.3.5 Моделирование и расчет требуемой огнезащиты 77

3. ВАЛИДАЦИЯ РАСЧЕТОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ 79

3.1 Двутавровое сечение 380х260 без огнезащиты 79

3.2 Огневые испытания АО «ТИЗОЛ» 86

3.3 Расчет двутаврового сечения 380х260 с МБОР-16Ф 89

3.3.1 Решение аналитическим методом. 90

3.3.2 Расчет при помощи термического коэффициента 91

3.3.3 Решение в ПК SOFiSTiK (ver. 2020) 91

3.4 Огневые испытания АО «ТИЗОЛ» 93

3.5 Расчет коробчатого сечения 380х260 с МБОР-16Ф 95

3.5.1 Решение аналитическим методом 98

3.5.2 Расчет при помощи термического коэффициента 99

3.5.3 Решение в ПК SOFiSTiK (ver. 2020) 99

3.6 Огневые испытания образцов 380х260 с МБОР-16Ф 101

3.7 Валидация модели каркасной стены с панелями КНАУФ-Файерборд 103

4. ИССЛЕДОВАНИЯ ЛСТК НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ С СИСТЕМАМИ ПРОМИЗОЛ, ПРОЗАСК И КНАУФ 111

4.1 Изгибаемая огнезащитная рулонная сетка ПРОМИЗОЛ-СТК-МЕТ-2,0 111

4.2 Огневые испытания конструкций с плитами ПРОЗАСК-Файерпанель и КНАУФ-Файерборд 113

4.3 Исполнение кабельных коробов с ЛСТК 118

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 120

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 122

5. ПРИЛОЖЕНИЯ 126

Приложение 5.1 Профили холодногнутые из оцинкованной стали для строительства. Технические условия компании ООО «Андромета» ТУ 1122-002-82866678-2013 126

Приложение 5.2 Решения компании ООО «КНАУФ ГИПС» 138

Приложение 5.3 Решения компании АО «ТИЗОЛ» 151

Приложение 5.4 Инструкция компании АО «ТИЗОЛ» по определению необходимой толщины системы конструктивной огнезащиты «ЕТ ЛСТК» (фрагмент) 155

Приложение 5.5 Решения компании ООО «Rockwool» 165

Приложение 5.6 Решения компании ООО «ПРОМИЗОЛ» 193

Приложение 5.7 Конструкторские спецификации для ЛСТК с огнезащитой ГЛК и минеральной ватой 197

ПРЕДИСЛОВИЕ

Несущие и ограждающие конструкции, использующие в качестве основы тонкостенные профили из оцинкованной стали (принятое среди специалистов сокращение – ЛСТК, английская аббревиатура LSF – light steel framing или LGSF(C) – light gauge steel framing (construction)), стремительно распространяются в строительстве как в России, так и других странах СНГ. Европейский и американский опыт, имеющий значительно более длительную историю применения тонкостенных конструкций, показывает высокую экономическую эффективность применения ЛСТК.

ЛСТК – строительные конструкции из холодногнутых оцинкованных профилей толщиной до 4 мм включительно, произведённых методом холодного формообразования из прокатного листового металла. Рентабельность применения несущих и ограждающих конструкций, использующих в качестве основы тонкостенные профили из оцинкованной стали, обусловлена низкой металлоемкостью, легкостью транспортировки, возможностью заводской сборки, унификацией типовых элементов и соединений и т.д.

Использование легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) имеет наибольшее распространение в области:

- мало- и средне- этажного гражданского строительства (здания индивидуального жилищного строительства, бюджетные образовательные учреждения);
- промышленного строительства (склады, ангары, офисы продаж);
- производства панелей ограждающих конструкций многоэтажных зданий;
- ремонта элементов стропильных систем;
- организации мансардных этажей и надстроек при реконструкции и капитальном ремонте.

Профили могут использоваться как отдельные конструктивные элементы (например, колонны или балки междуэтажного

перекрытия) или объединяться в более сложные каркасные конструкции.

Легкие стальные тонкостенные конструкции чаще всего изготавливаются в заводских условиях вне строительной площадки и поставляются поэлементно или в виде готовых изделий: ферм, колонн, прогонов, панелей стен и перекрытий, объемных модульных блоков и т.д. Соединение элементов в ЛСТК осуществляется на болтах, самонарезных винтах, с использованием вальцовки, либо реже – сварки.

Нормативная документация разных стран различает три основных подхода в проектировании огнестойкости стальных конструкций:

– предписывающий метод (описывающий достижение определенного предела огнестойкости конструкции как собственного, так и за счет использования огнезащитных материалов);

– расчетный метод (основанный на анализе эксплуатационных характеристик конструкции с учетом снижения прочности и жесткости стали при повышенных температурах, в том числе с учетом расчетного высокотемпературного воздействия);

– огневые испытания согласно стандартизированным методикам.

В практике международного проектирования конструкций на основе ЛСТК-каркаса в большинстве случаев для достижения требуемого предела огнестойкости используется конструктивная огнезащита с применением гипсокартонных листов (в том числе с повышенной огнестойкостью) и заполнением пустот минеральной ватой. Для стержневых конструкций (балок, колонн и ферм) используется расчетное обоснование собственного предела огнестойкости, достаточного для достижения требуемого предела огнестойкости. Практика применения огнезащиты для тонкостенных конструкций, согласно зарубежным нормативным техническим и методическим документам, в большинстве случаев имеет расчетный характер и предусматривает проектирование конструкций с необходимым и достаточным собственным

пределом огнестойкости.

Краткий анализ зарубежных нормативных технических документов США, Канады, Австралии, ЕС, относящихся к обеспечению и определению огнестойкости стальных конструкций, а также содержащих требования к прочности стальных конструкций из холодногнутых оцинкованных профилей при воздействии пожара, приводимый в первой главе, показал, что наиболее комплексным подходом среди представленных нормативных документов в части расчета тонкостенных конструкций (ЛСТК) обладает Европейский свод норм и правил EN 1993-1.2.

В монографии рассматриваются вопросы расчета огнестойкости ЛСТК, которые в настоящее время не регламентируются для тонкостенных конструкций в российской нормативной базе. Российские нормы в области пожарной безопасности нормируют применение ЛСТК только для малоэтажного строительства, поскольку несущие конструкции обладают низким пределами огнестойкости и не обеспечивают степень огнестойкости I – III согласно Федеральному закону "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ [1]. В большинстве случаев в настоящее время применяются каркасные системы на основе ЛСТК без дополнительной огнезащиты при ненормируемых пределах огнестойкости. В остальных случаях необходимы меры по увеличению огнестойкости конструкций.

Монография отражает особенности расчета предела огнестойкости тонкостенных стальных строительных конструкций и конструкций с каркасом из ЛСТК для зданий различных гражданских и производственных объектов с точки зрения законодательства Российской Федерации и Европейского союза. Приведены примеры решения статической и теплофизической задачи при расчете огнестойкости тонкостенных конструкций, рекомендации по огнезащите профилей.

Авторами не рассматривается расчет конструкций, формально не относящихся к ЛСТК, с более массивной приведенной толщиной

металла, однако методы, используемые в монографии, возможно использовать для расчета огнестойкости данного типа конструкций. Даны рекомендации по огнезащите тонкостенных профилей. Приводятся примеры конструктивных решений несущих и ограждающих конструкций, кабельных коробов и воздуховодов при проектировании зданий и сооружений, где используются или предполагаются к использованию ЛСТК.

Авторы благодарят компанию АО «ТИЗОЛ» и лично Кузнецова Евгения Борисовича, Конышева Андрея Павловича за предоставленные результаты огневых испытаний и дополнительную информацию по особенностям поведения огнезащитного материала «МБОР».

Авторы благодарят компанию ООО «Андромета» и лично генерального директора Шухардина Андрея Алексеевича и Полевую Илону Владимировну за предоставленную техническую информацию по характеристикам выпускаемых холодногнутых профилей из оцинкованной стали. Также авторы выражают благодарность группе «КНАУФ СНГ» и лично Дмитрию Цюрюпа, компании ООО «ПРОМИЗОЛ» и лично Прусакову Василию Алексеевичу, компании ООО «ПРОЗАСК» и лично Антонову Сергею Порфирьевичу.

ВВЕДЕНИЕ

Здания и сооружения с конструкциями из ЛСТК разнообразны: складские и сельскохозяйственные сооружения, ангары для торговли и автобизнеса, логистические центры. Такие конструкции могут применяться для строительства малоэтажных жилых зданий многоквартирных домов (до шести этажей) с различными планировками и количеством квартир; гостиниц, пансионатов и домов отдыха. Например, производственно-складское здание с тонкостенным стальным каркасом с габаритными размерами 36 х 41 х 8 м (рис. 1.1):



Рисунок 1.1 – Производственно-складское здание.
Фото и информация с сайта ООО «Андромета».

Каркасы зданий и сооружений могут быть выполнены только из ЛСТК или быть скомбинированы с железобетонными или стальными горячекатаными массивными конструкциями.

Нагрузки на ЛСТК не сравнимы с нагрузками на несущие конструкции, для которых используют горячекатанные стальные профили в многоэтажных объектах с высокими степенями огнестойкости I – III согласно [1] и высокими классами ответственности. При этом возможны варианты, когда вертикальные и горизонтальные конструкции нуждаются в огнезащите для повышения фактических пределов огнестойкости до требуемых R15, R45 или R60.

Для сооружений с IV и V степенью огнестойкости в большинстве случаев допустимо применять каркасные системы на основе ЛСТК без дополнительной огнезащиты. В остальных случаях необходимы меры по увеличению огнестойкости конструкций.

Технологические и инженерные мероприятия по огнезащите предусматривают следующие решения:

• *Вспучивающие лакокрасочные материалы*. Данные покрытия редко применяются в практике огнезащиты ЛСТК из-за невозможности обеспечить требуемый предел огнестойкости вследствие малой приведенной толщины сечения конструкций.

• *Сухие строительные смеси (штукатурки)* различной толщины редко используются в связи с минимизацией применения мокрых процессов при монтаже каркасных зданий. Одной из основных причин ограниченного применения огнезащитных реактивных и штукатурных покрытий является невозможность обеспечения адгезии к оцинкованным поверхностям профилей ЛСТК без применения переходных грунтовочных покрытий.

• *Облицовка из негорючих плитных материалов* (гипсокартонные и гипсоволокнистые, цементно-стружечные и магнезитовые листы, минераловатные плиты (например, плитные материалы производства ОАО «КНАУФ ГИПС», международная группа компаний «PROMAT», АО «ТИЗОЛ», ООО «ПРОЗАСК», международная группа компаний «SAINT-GOBAIN» и др.).

• Рулонная минераловатная огнезащита (например, МБОР производства АО «ТИЗОЛ»).

• *Изгибаемая вспучивающаяся огнезащита* (например, производства ООО «ПРОМИЗОЛ»).

• *Разработка различных комбинированных решений* для конструкций, например, сталебетонная конструкция с ЛСТК-каркасом и заполнителем из легкого монолитного пенобетона в несъемной опалубке.

Основные правила прочностного расчета и проектирования элементов из стальных тонкостенных профилей содержатся в разделе Еврокода 3 (Eurocode 3 - Design of steel structures – Part 1-3: General rules – Supplementary rules for cold-formed members and sheeting) [2] и позволяют определить расчетные значения несущей способности профиля (на растяжение, сжатие, изгиб и т. д.). с учетом вероятной потери местной устойчивости всех элементов, что достигается путем использования эффективных

(редуцированных) площадей сечений, ширин полок и стенок профиля вместо геометрических. Некоторые ограничения, описанные в положениях Еврокодов могут быть сняты при усовершенствовании модели расчета и расчетной схемы всего элемента, в частности с учетом пространственной работы конструкции. Расчетный метод может быть усовершенствован за счет применения программных комплексов на основе метода конечных элементов. В настоящее время, компьютерное моделирование ЛСТК позволяет получить наиболее достоверный результат оценки несущей способности, сопоставимый с экспериментальными данными.

Монография состоит из четырех разделов: «Методология расчета огнестойкости легких стальных тонкостенных конструкций», где приводятся примеры расчета согласно европейской концепции. При этом, в частично гармонизированном с европейскими нормативными документами российском своде правил [4] (в отличие от белорусского нормативного документа, принятого «методом обложки»), только метод расчета прочностных характеристик является идентичным. Многие положения Еврокодов EN 1993-1-3 и 1993-1-5 не включены в настоящую редакцию нормативного документа [4], а прочностной расчет и решение теплотехнической части задачи огнестойкости в условиях высокотемпературного воздействия, описываемые в EN 1993-1-2, отсутствуют полностью.

Методы расчета огнестойкости стальных конструкций в европейских и российских нормативных документах принципиально схожи в аспекте теплофизического расчета, однако при этом существуют некоторые различия, такие как: расчет приведенной толщины металла, применение так называемых «профильных и коробчатых коэффициентов» и т.д. Решение статической задачи, основанное на изменение прочностных характеристик стали под высокотемпературным воздействием, имеет различный методологический подход. Подробно европейский метод расчета представлен во второй главе монографии «Проектирование огнезащиты стальных тонкостенных

конструкций».

Во третьей главе рассматриваются численные примеры расчета как незащищенных конструкций (вертикальных профилей, колонн), так и защищенных рулонными огнезащитными материалами МБОР и ПРОМИЗОЛ-Мет, а также гипсокартонными плитами КНАУФ в каркасной системе наружных ограждающих конструкций на основе ЛСТК. Приводятся результаты моделирования, полученные в программном комплексе SOFiSTiK (ver. 2020) и их валидация с огневыми испытаниями ЛСТК.

В четвертой главе приводятся данные по использованию ЛСТК для воздуховодов и огнестойких коробов для кабелей, ограждающих каркасных тонкостенных конструкций с применением в качестве огнезащиты плит ПРОЗАСК-Файерпанель и КНАУФ-Файерборд, а также некоторые перспективные исследования по огнезащите ЛСТК.

ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В монографии применены следующие термины с соответствующими определениями:

огнезащита: Технические мероприятия, направленные на повышение огнестойкости и (или) снижение пожарной опасности зданий, сооружений, строительных конструкций (п. 3.1 ГОСТ 53295-2009 [3]).

средство огнезащиты: Огнезащитный состав или материал, обладающий огнезащитной эффективностью и предназначенный для огнезащиты различных объектов (п.3.2 ГОСТ 53295-2009).

огнезащитный состав: Вещество или смесь веществ, обладающих огнезащитной эффективностью и предназначенных для огнезащиты различных объектов (п.3.3 ГОСТ 53295-2009)

огнезащитная эффективность: Показатель эффективности средства огнезащиты, который характеризуется временем в минутах от начала огневого испытания до достижения критической температуры (500°С) стандартным образцом стальной конструкции с огнезащитным покрытием и определяется методом, изложенным в разделе 5 стандарта ГОСТ 53295 - 2009 (п.3.4 ГОСТ 53295-2009).

огнезащитная обработка: Нанесение (монтаж) средства огнезащиты на поверхность объекта огнезащиты в целях повышения огнестойкости (п.3.5 ГОСТ 53295-2009).

конструктивная огнезащита: Способ огнезащиты строительных конструкций, основанный на создании на обогреваемой поверхности конструкции теплоизоляционного слоя средства огнезащиты. К конструктивной огнезащите относятся толстослойные напыляемые составы, штукатурки, облицовка плитными, листовыми и другими огнезащитными материалами, в том числе на каркасе, с воздушными прослойками, а также комбинация данных материалов, в том числе с тонкослойными вспучивающимися покрытиями. Способ нанесения (крепления) огнезащиты должен соответствовать способу, описанному в протоколе испытаний на огнестойкость и в проекте огнезащиты (п.3.6 ГОСТ 53295-2009).

комбинированный способ огнезащиты: Сочетания различных способов огнезащитной обработки (п.3.7 ГОСТ 53295-2009).

объект огнезащиты: Конструкция или изделие, подвергаемые обработке средством огнезащиты в целях снижения их пожарной опасности и (или) повышения огнестойкости (п.3.8 ГОСТ 53295-2009).

огнезащитное покрытие: Слой, полученный в результате нанесения (монтажа) средства огнезащиты на поверхность объекта огнезащиты (п.3.9 ГОСТ 53295-2009).

приведенная толщина металла: Отношение площади поперечного сечения металлической конструкции к периметру ее обогреваемой поверхности (п.3.10 ГОСТ 53295-2009).

долговечность: Способность строительной конструкции или сооружения сохранять физические и эксплуатационные свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его безаварийную эксплуатацию в течение расчетного срока службы при надлежащем техническом обслуживании (п. 3.1 СП 260.1325800.2016 [4]).

закрепление: Закрепление элемента или его части от линейных или угловых перемещений или деформаций от кручения или депланации сечения, которое повышает устойчивость аналогично жесткой опоре (п. 3.2 СП 260.1325800.2016).

кассетный профиль: Профилированный лист с большими краевыми отгибами, предназначенными для соединения профилей между собой, формирующими опорные ребра вдоль пролета и поддерживающими промежуточные ребра, расположенные в направлении, перпендикулярном пролету (п. 3.3 СП 260.1325800.2016).

механическая безопасность: Состояние зданий и сооружений с применением конструкций из стальных тонкостенных профилей, а также систем инженерно-технического обеспечения, которое характеризуется возможностью предотвращения вреда жизни или здоровью человека, ущерба имуществу и окружающей среде вследствие разрушения или потери устойчивости зданий,

сооружений или их частей (п. 3.4 СП 260.1325800.2016).

надежность: Способность строительных конструкций выполнять заданные функции с требуемым качеством в течение предусмотренного периода эксплуатации (п. 3.5 СП 260.1325800.2016).

номинальная толщина: Устанавливаемая средняя толщина, включающая в себя толщину слоев цинкового и других металлических покрытий после прокатки и определяемая поставщиком стали. Примечание – Не включает в себя толщину органических покрытий (п. 3.6 СП 260.1325800.2016).

опора: Узел конструкции, через который элемент способен передавать силы или моменты на фундамент или другой элемент конструкции (п. 3.7 СП 260.1325800.2016).

относительная гибкость: Нормированное безразмерное значение гибкости (п. 3.8 СП 260.1325800.2016).

пожарная безопасность: Состояние зданий и сооружений, а также систем инженерно-технического обеспечения, которое характеризуется возможностью предотвращения пожара и вредного воздействия на людей, имущество и окружающую среду его (пожара) опасных факторов (п. 3.9 СП 260.1325800.2016).

расчетная толщина: Толщина стального листа, используемая в расчете (п. 3.10 СП 260.1325800.2016).

толщина стального листа: Номинальная толщина стального листа без учета толщины слоев цинкового и других металлических и лакокрасочных покрытий (п. 3.11 СП 260.1325800.2016).

тонколистовой прокат: Прокат толщиной менее 4 мм, шириной 500 мм и более (п. 3.12 СП 260.1325800.2016).

частичное закрепление: Закрепление элемента или его части от линейных и угловых перемещений или деформаций от кручения или депланации сечения, которое аналогично упругоподатливой опоре повышает устойчивость, но в меньшей степени, чем жесткое закрепление (п. 3.14 СП 260.1325800.2016).

эффект диафрагмы: Работа профилированного листа на сдвиг в своей плоскости влияющая на жесткость, пространственную неизменяемость и прочность каркаса (п.3.15 СП 260.1325800.2016).

эффективная ширина: Площадь сечения, ширина или толщина сечения элемента, уменьшенная вследствие потери устойчивости от действия нормальных или касательных напряжений или от их совместного действия (п. 3.16 СП 260.1325800.2016).

пластический сдвиг (срез): Разновидность вязкого разрушения, когда разрушение локализуется в узких (нескольких) полосах скольжения и происходит под действием сдвиговых напряжений (п. 3.21 СП 260.1325800.2016).

ОСНОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

В монографии применены следующие основные обозначения:

$x – x$ — продольная ось элемента;

$y – y$ — поперечная ось элемента;

$z – z$ — поперечная ось элемента;

$u – u$ — основная главная ось (не совпадает с осью $y – y$);

$v – v$ — второстепенная главная ось (не совпадает с осью $z – z$);

b — ширина поперечного сечения;

h — высота поперечного сечения;

d — высота прямой части стенки;

t_w — толщина стенки;

t_f — толщина полки;

r — радиус сопряжения поверхностей;

r_1 — радиус сопряжения полки со стенкой;

r_2 — радиус закругления кромки полки;

t — толщина.

R_d — расчетное значение несущей способности;

X_d — расчетное значение геометрической величины.

f_y — предел текучести;

A_g — площадь поперечного сечения брутто;

E — модуль упругости;

G — модуль сдвига;

ν — коэффициент Пуассона в упругой стадии;

E_d — расчетная нагрузка на конструкцию;

N_{cr} — критическая нагрузка при потере общей устойчивости в упругой стадии, определенная на основе начальных упругих жесткостей;

$\bar{\lambda}$ — условная гибкость;

α — коэффициент несовершенства для соответствующей кривой потери устойчивости;

χ — понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости;

M_{Ed} — расчетный изгибающий момент;

ε — деформация;

σ — напряжение;

$\sigma_{com,Ed}$ — максимальное расчетное сжимающее напряжение в элементе;

l — длина;

ε — коэффициент, зависящий от f_y;

c — ширина или высота части поперечного сечения;

ψ — коэффициент напряжения или деформации;

k_σ — коэффициент потери устойчивости пластинки;

d — высота сечения стенки в месте расположения пластического шарнира, наружный диаметр круглых трубчатых сечений.

γ_{M0} — частный коэффициент безопасности при определении несущей способности поперечных сечений по прочности независимо от класса;

N_{Ed} — расчетная осевая сила;

$M_{y,Ed}$ — расчетное значение изгибающего момента относительно оси $y – y$;

$M_{z,Ed}$ — расчетное значение изгибающего момента относительно оси $z – z$;

N_{Rd} — расчетное значение несущей способности по осевой силе;

$M_{y,Rd}$ — расчетное значение несущей способности по изгибающему моменту относительно оси $y – y$;

$M_{z,Rd}$ — расчетное значение несущей способности по изгибающему моменту относительно оси $z – z$;

A_{eff} — эффективная площадь поперечного сечения;

$N_{t,Rd}$ — расчетное значение несущей способности поперечного сечения на растяжение;

W_{pl} — момент сопротивления сечения в пластической стадии;

$W_{el,\text{min}}$ — минимальный момент сопротивления сечения в упругой стадии;

$W_{\text{eff,min}}$ — минимальный момент сопротивления эффективного сечения;

S — статический момент сечения;

I — момент инерции поперечного сечения;

i — радиус инерции сечения:

A_w — площадь поперечного сечения стенки;

A_f — площадь сечения одной полки;

1. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНТРУКЦИЙ

1.1 Общие положения

Цель расчетов на огнестойкость заключается в том, чтобы обеспечить достаточную несущую способность конструктивного элемента при повышенных температурах в течение определенного времени. Элемент должен оказывать сопротивление прикладываемой нагрузке до наступления предельного состояния при пожаре. Данный принцип проектирования аналогичен принципам проектирования элементов конструкций при нормальной температуре [5, 6]. Для стальных колонн относительно просто (по сравнению с железобетонными и сталежелезобетонными) рассчитать температуру стали, при условии, что имеются соответствующие значения теплофизических свойств огнезащитных материалов. Для стальных элементов в EN 1993-1-2 [7] приводятся упрощенный метод расчета и метод расчета критической температуры. В табличном методе используют ряд расчетных таблиц, которые непосредственно связывают различные расчетные параметры колонн с имеющимся стандартным пределом огнестойкости колонны. Данные этих таблиц, как правило, основаны на результатах стандартных испытаний на огнестойкость или результатах численных расчетов. Уточненный метод расчета основывается на базовых принципах проектирования конструкций, который и предполагает использование численных расчетов. На рис. 1.2 – 1.4 представлены различные схемы, определяющие способы подтверждения соответствия нормативным требованиям при расчете огнестойкости конструкций. Выбор каждого из методов в схеме рис. 1.2 зависит от конкретной формы конструкции, от изученности свойств материалов под воздействием пожара и наличия надлежащим образом валидированных методов проектирования [5].

Согласно цитате из источника [5, с. 38]: «подходы Еврокодов к проектированию зданий и сооружений незнакомы многим инженерам Великобритании. Тем не менее, в принятых подходах

существует целый ряд сходных черт». Аналогично, подходы по расчету огнестойкости в Еврокодах незнакомы и многим инженерам России. Тем не менее, они базируются на следующих основных принципах:

- Выбирается соответствующий сценарий пожара;
- Определяется соответствующая модель пожара;
- Производится прочностной расчет конструкции;
- Производится теплотехнический расчет элементов конструкции.

Схематично расчет на огнестойкость с небольшими авторскими поправками по отношению к [5] показан на рис. 1.2.

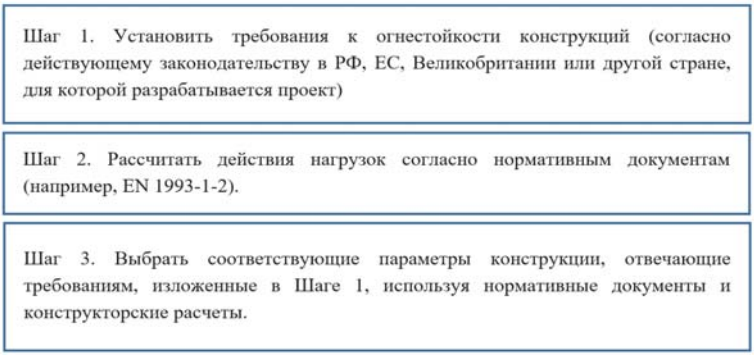


Рисунок 1.2. Упрощенная процедура расчета огнестойкости конструкций

В Еврокодах упрощенные методики расчетов на предельные состояния конструкций основаны на оценке показателей ухудшения свойств материалов под воздадействием повышенной температуры при соответствующей нагрузке во время пожара. Затем огнестойкость вычисляется на основе понижающих коэффициентов, соответствующих расчетному тепловому воздействию и сравнивается с нагрузками, действующими на конструкцию во время пожара. В уточненных методиках используются программные комплексы, основанные на конечно-элементном подходе [8 – 12].

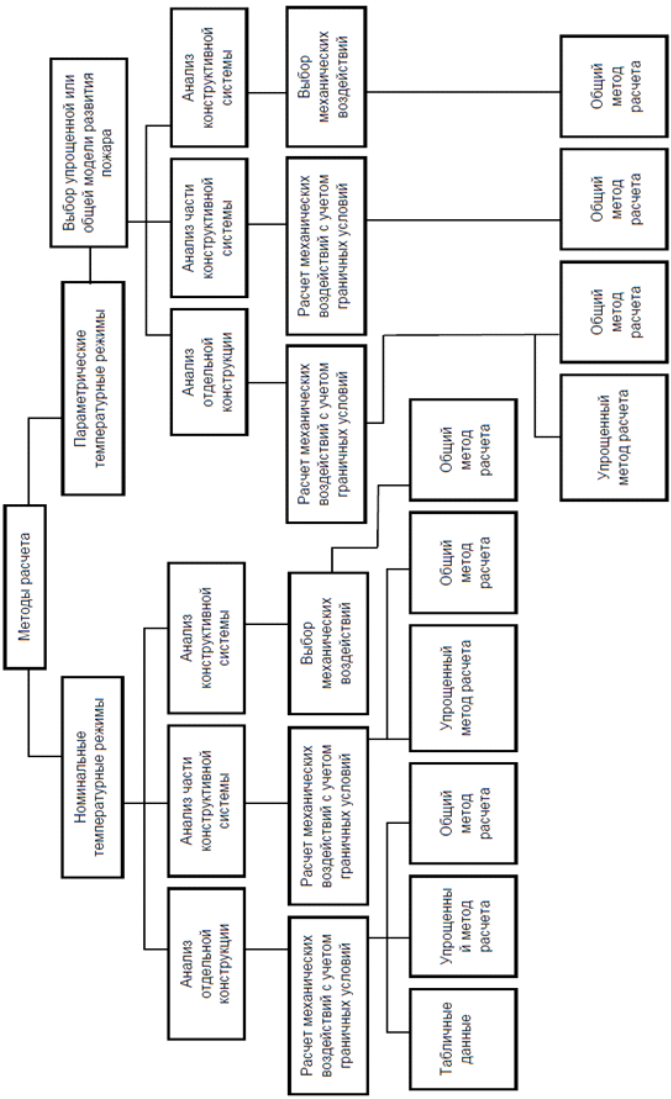


Рисунок 1.3 Алгоритм применения методов расчета на огнестойкость [5]

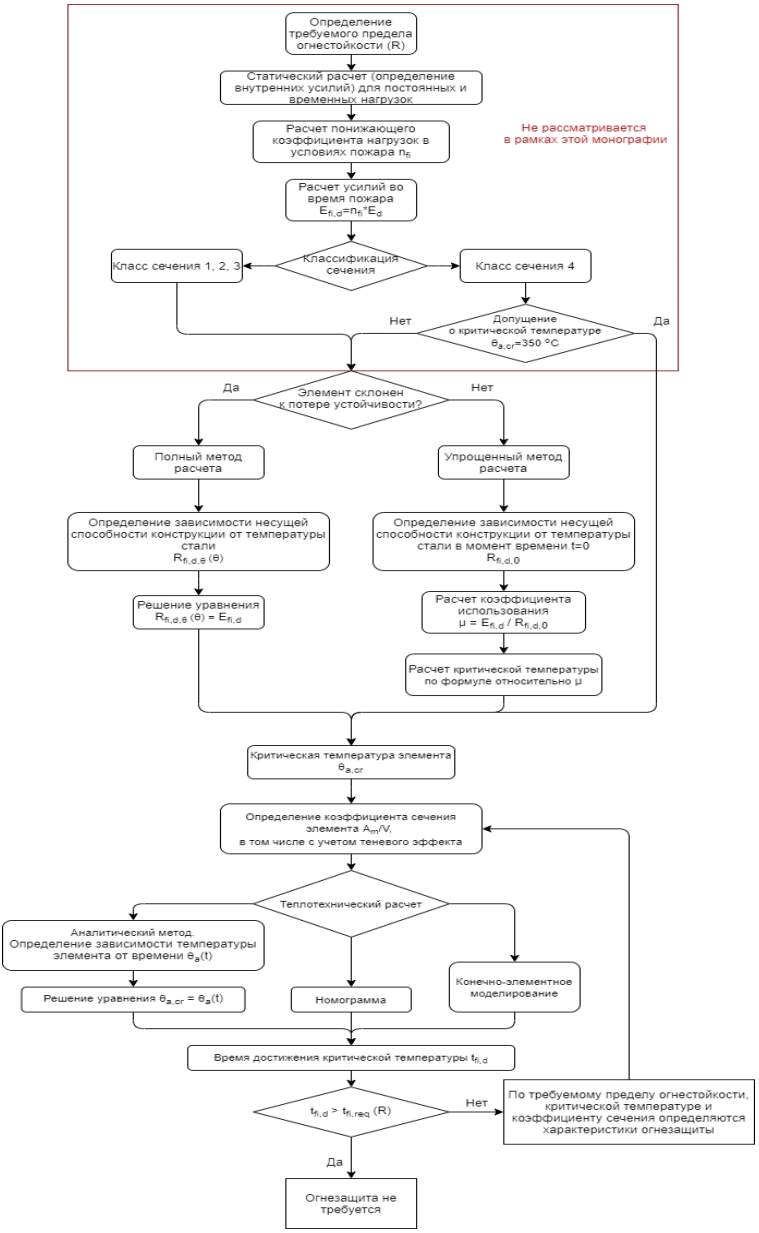


Рисунок 1.4 Алгоритм расчета на огнестойкость и применение огнезащиты

Еврокод EN 1993-1-2 [7] предлагает две альтернативные методики анализа огнестойкости для ЛСТК. В упрощенной методике рекомендуется использовать значение критической температуры 350 ºС. Альтернативный подход представлен в полном аналитическом расчете стальных конструкций с учетом положений Приложения Е, Еврокод EN 1993-1-2 [7]. Проектные расчеты должны выполняться также, как и для конструкций с поперечным сечением классов 1, 2 и 3, за исключением того, что коэффициенты изменения пределов прочности и текучести для классов 1, 2 и 3 должны быть заменены расчетными характеристиками для класса 4. Согласно многочисленным исследованиям, в том числе и авторов данной монографии [9 – 25], следует проводить расчет именно в концепции второго подхода, поскольку температура 350 ºС в большинстве случаев не является критической.

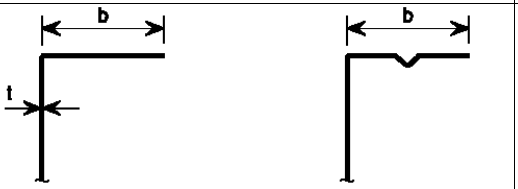
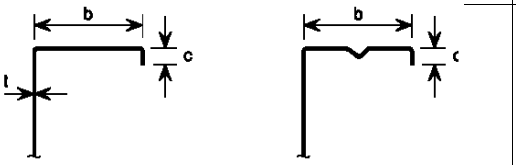
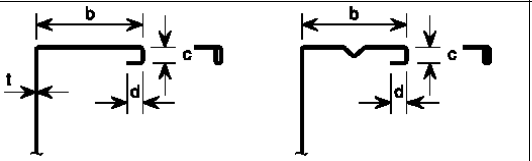
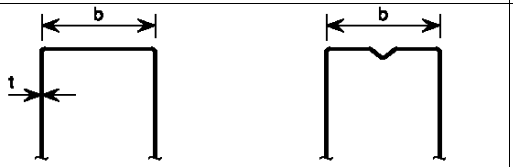
Положения EN 1993-1-3 [2] не распространяются на холодноформованные профили круглого или прямоугольного замкнутого сечения и не распространяются на поперечные сечения, отношение ширины к толщине которых выходит за пределы ограничений b/t, h/t, c/t и d/t, приведенных в таблице 1.1.

Для предотвращения преждевременной потери устойчивости элемента и обеспечения жесткости, предельные значения геометрических параметров:

• для профиля с одинарным или двойным элементом жесткости длина c перпендикулярного полке шириной b участка отгиба должна находиться в пределах $0.2 \leq c/b \leq 0.6$;

• для профиля с двойным отгибом параллельный полке (длиной b) участок отгиба длиной d должен находиться в пределах $0.1 \leq d/b \leq 0.3$.

Таблица 1.1 — Максимальные значения отношения ширины к толщине конструкций

Часть поперечного сечения	Максимальное значение
	b/t ≤ 50
	b/t ≤ 60 c/t ≤ 50
	b/t ≤ 90 c/t ≤ 60 d/t ≤ 50
	b/t ≤ 500
	45°≤ φ ≤ 90° h/t ≤ 500sin φ

Огнестойкость считается обеспеченной при выполнении следующих условий:

• *временных:* расчетный предел огнестойкости больше (или равен) требуемого предела огнестойкости

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,req}$$

• *прочностных:* расчетная несущая способность элемента при пожаре в момент времени t $R_{fi,d,t}$ больше (или равна) расчетного результата воздействия при пожаре в момент времени t $E_{fi,d,t}$;

$$E_{fi,d,t} < R_{fi,d,t}$$

• *температурных*: расчетная температура материала θ_{d} меньше (или равна) расчетной критической температуре материала

$$\theta_{\mathrm{d}} < \theta_{cr,d}$$

Все вышеперечисленные условия взаимосвязаны и должны учитываться комплексным расчетом.

Наиболее распространенным методом является определение критической температуры нагрева конструкции для заданной нагрузки. Расчет по прочностным параметрам определяет уменьшенную несущую способность через необходимый промежуток времени. Сравнение по временным параметрам используется для определения необходимости в огнезащите элемента.

Нагрев конструкций может происходить при различных температурных режимах пожара, которые отображают обобщённый режим развития пожара, адаптированный для условий эксплуатации различных строительных материалов, изделий и конструкций. Номинальные зависимости устанавливаются EN 1363-2-2014 [26] и включают в себя стандартный температурный режим развития пожара, тлеющий температурный режим, температурный режим наружного пожара и режим углеводородного пожара (рис. 1.5).

Кривая стандартного (целлюлозного) пожара развивается согласно принятой закономерности в ИСО 874 [27] и гармонизированным с ним ГОСТ 30247.0 [28]).

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

θ_g – температура окружающей газовой среды в испытательной печи (°C);

t – время, прошедшее с момента начала испытания (мин).

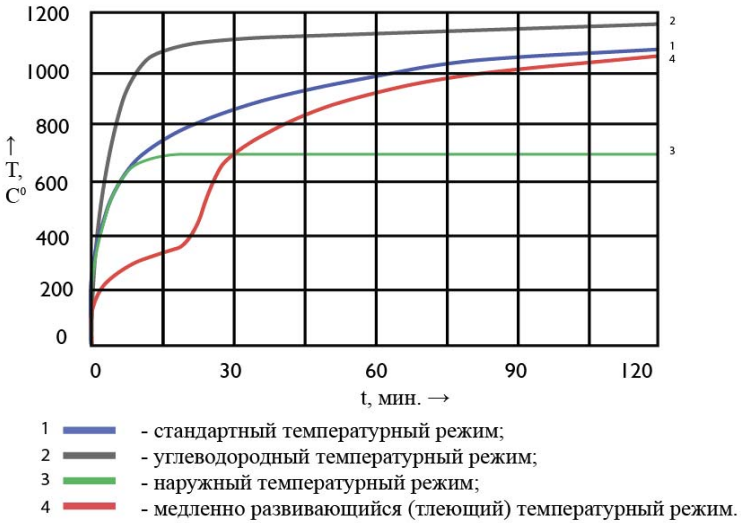


Рисунок 1.5. Кривые, описывающие температурные режимы пожара согласно ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014 [26]

Альтернативные режимы пожара представлены EN 1363-2-2014 «Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы» [26]:

Кривая наружного пожара используется при определении предела огнестойкости наружных стен зданий:

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

Углеводородный температурный режим необходимо использовать при определении предела огнестойкости строительных конструкций на объектах нефтяной промышленности

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

Огнестойкость некоторых элементов, определенная при испытаниях согласно стандартному температурному режиму, может быть значительно меньше по сравнению с огнестойкостью, определенной в условиях медленно развивающегося температурного режима, учитывающего начальную стадию развития пожара.

В случаях, когда в здании возможна пожарная нагрузка из материалов, способных поддерживать тлеющий режим горения, необходимо использовать условия соответствующий режим:

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

В перспективе, поскольку ЛСТК часто могут проектироваться для складских помещений, следует рассматривать и возможное воздействие на конструкции тлеющего режима пожара. Очевидно, что и пределы огнестойкости конструкций при таком режиме будут выше, чем при стандартном режиме, расход огнезащиты – существенно меньше. Исследования в данном направлении еще в начальном состоянии.

1.2 Прочностные и теплофизические свойства стали

В таблице 1.2 приведены значения понижающих коэффициентов для диаграммы деформирования углеродистой стали при повышенных температурах, изображенной на рис. 1.6. [7].

Понижающие коэффициенты определяются следующим образом:

$k_{y,\theta}$ – Коэффициент снижения (относительно f_y) расчетного предела текучести

$$k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$$

• предел упругости относительно предела текучести при 20°C

$k_{p,\theta}$ – Коэффициент снижения (относительно f_y) предела упругости

$$k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$$

• угол наклона линейного участка области упругих деформаций относительно угла наклона кривой при 20°C

$k_{E,\theta}$ – Коэффициент снижения (относительно E_a) для наклонного линейного участка области упругих деформаций

$$k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$$

Значение коэффициентов для промежуточных температур определяется линейной интерполяцией.

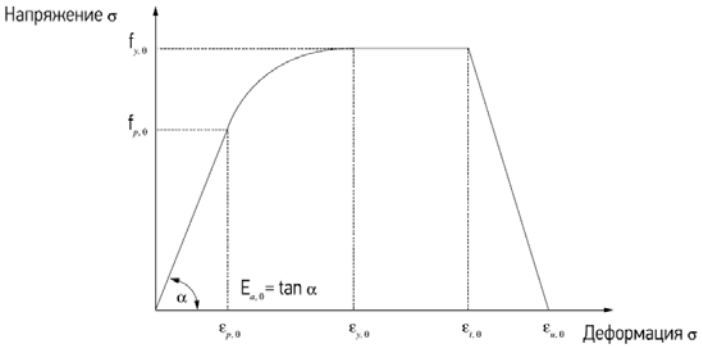


Рисунок 1.6. Диаграмма деформирования углеродистых сталей при повышенных температурах

Таблица 1.2 – Коэффициенты снижения расчетных характеристик углеродистой стали

θ_a	$k_{y,\theta}$ (текучести)	$k_{y,\theta}$ для ЛСТК	$k_{p,\theta}$ (упругости)	$k_{E,\theta}$ (деформации)
20	1,000	1,000	1,0000	1,0000
100	1,000	1,000	1,0000	1,0000
200	1,000	0,890	0,8070	0,9000
300	1,000	0,780	0,6130	0,8000
400	1,000	0,650	0,4200	0,7000
500	0,780	0,530	0,3600	0,6000
600	0,470	0,300	0,1800	0,3100
700	0,230	0,130	0,0750	0,1300
800	0,110	0,070	0,0500	0,0900
900	0,060	0,050	0,0375	0,0675
1000	0,040	0,030	0,0250	0,0450
1100	0,020	0,020	0,0125	0,0225
1200	0,000	0,000	0	0

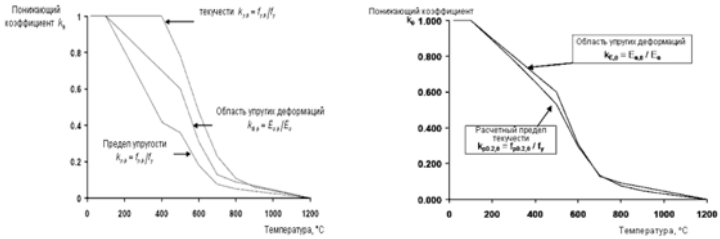


Рисунок 1.7. Изменение коэффициентов снижения для диаграммы деформирования углеродистых сталей при повышенных температурах: а – обычных конструкций, б – для поперечных сечений 4 класса (ЛСТК)

Плотность стали ρ_a может приниматься не зависящей от ее температуры: ρ_a= 7850 кг/м^3.

Теплотехнические свойства углеродистых сталей (EN 1993-1-2).

Относительное температурное удлинение стали:

— для 20 °C < θ_a < 750 °C

$$\frac{\Delta l}{l} = 1{,}2 \cdot 10^{-5}\theta_a + 0{,}4 \cdot 10^{-9}{\theta_a}^2 - 2{,}416 \cdot 10^{-4}$$

— для 750 °C < θ_a < 860 °C

$$\frac{\Delta l}{l} = 1{,}1 \cdot 10^{-2}$$

— для 860 °C < θ_a < 1200 °C

$$\frac{\Delta l}{l} = 2 \cdot 10^{-5}\theta_a - 6{,}2 \cdot 10^{-3}$$

где:

l – длина при 20°C; Δl – изменение длины, вызванное повышением температуры; θ_a – температура стали (°C).

Удельная теплоемкость материала – объем тепловой энергии, необходимой для увеличения температуры единицы массы на 1 К (единица измерения – Дж/(кг · К)). Удельная теплоемкость стали c_a при температуре стали θ_a (°C):

– для 20 °C < θ_a < 600 °C

$$c_a = 425 + 7{,}73 \cdot 10^{-1}\theta_a - 1{,}69 \cdot 10^{-3}{\theta_a}^2 + 2{,}22 \cdot 10^{-6}{\theta_a}^3$$

– для 600 °C < θ_a < 735 °C

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a}$$

– для 735 °C < θ_a < 900 °C

$$c_a = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731}$$

– для 900 °C < θ_a < 1200 °C

$$c_a = 650$$

Теплопроводность материала – это объем тепловой энергии, который проходит за секунду через единицу площади поперечного сечения материала для единицы температурного градиента (единица измерения – Вт/м · К):

Теплопроводность стали λ_a при температуре стали θ_a (°C)

- для 20 °C < θ_a < 800 °C

$$\lambda_a = 54 - 3{,}33 \cdot 10^{-2}\theta_a$$

- для 800 °C < θ_a < 1200 °C

$$\lambda_a = 27{,}3$$

1.3 Метод расчета по прочностным параметрам

Данный метод следует применять при возможности потери устойчивости элемента. Для случаев, когда не учитывается критерий деформаций и исключается потеря устойчивости (к примеру, когда рассматривается растяжение конструкции), следует использовать упрощенный метод расчета критической температуры. Для тонкостенных сечений (класс 4) алгоритм может быть также дополнительно упрощен допущением, что критическая температура $\theta_{a,cr} = 350°C$. Однако, как уже говорилось выше, авторы не рекомендуют пользоваться этим допущением при расчете, поскольку исследования других авторов [9 – 25], а также экспериментальные данные, приведенные в данной монографии показывают, что конструкции из тонкостенных профилей способны выдерживать температуру, намного превышающую заявленную в рекомендациях к Еврокодам, что подтверждается расчетами и моделированием (см. соответствующие разделы монографии).

Статический расчет конструкции

В рамках данной монографии алгоритм классификации сечений, определение расчетных сочетаний усилий, а также понижающих коэффициентов нагружения в условиях пожара не рассматривается. Для получения подробной информации рекомендуется рассмотреть положения Еврокода: таблица 5.2 EN 199311 и §2.4.2 EN 199312.

Несущая функция стальной конструкции принимается сохраняющейся по истечении времени t для заданного режима пожара при выполнении условия (EN 1993-1-2, §4.2.1):

$$E_{fi,d} < R_{fi,d,t}$$

где $E_{fi,d}$ — расчетное значение результата воздействий при пожаре, определяется в соответствии с EN 1991-1-2;

$R_{fi,d,t}$ — соответствующее расчетное сопротивление стальной конструкции при расчетном пожаре в момент времени t.

Для конструкций принимается, что требование выполняется, если в момент времени t температура стали θ_a во всех поперечных сечениях не превышает $\theta_{\alpha,cr}$

Расчетное сопротивление $R_{fi,d,t}$ в момент времени t обычно определяется при предположении о равномерном распределении температуры по площади поперечного сечения, путем корректировки расчетного сопротивления при нормальной температуре по EN 1993-1-1, с учетом изменения механических свойств стали при повышенных температурах.

Растянутые конструкции

Согласно §4.2.3.1 EN 1993-1-2 [7] расчетная несущая способность конструкции при равномерной температуры определяется:

$$R_{fi,d,t} = N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} \cdot N_{Rd} \frac{\gamma_{M0}}{\gamma_{M,fi}}$$

где $k_{y,\theta}$ — коэффициент снижения предела текучести стали при температуре θ_a, достигаемой в момент времени t;

N_{rd} — расчетное сопротивление поперечного сечения при проектировании для условий эксплуатации при нормальной температуре, в соответствии с EN 1993-1-1 [29].

Для растянутых элементов есть возможность применения упрощенного метода расчета критической температуры:

$$N_{fi,\theta,Rd} = N_{fi,20,Rd} = N_{Rd}$$

Сжатые конструкции

Согласно §4.2.3.2 EN 1993-1-2, расчетная несущая способность по потере устойчивости в форме продольного изгиба сжатой конструкции при равномерном распределении температуры определяется как:

$$R_{fi,d,t} = N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A_{eff} k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

χ_{fi} — понижающий коэффициент в случае потери устойчивости для расчетного пожара;

$k_{y,\theta}$ — коэффициент снижения предела текучести стали при температуре θ_a, достигаемой в момент времени t с учетом тонкостенности конструкций (EN 1993-1-2, Приложение E)

A_{eff} – эффективная площадь сечения тонкостенной конструкции.

Коэффициент устойчивости:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{\varphi_\theta{}^2 - \overline{\lambda_\theta}^2}}$$

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2}\left[1 + \alpha\overline{\lambda_\theta} + \overline{\lambda_\theta}^2\right]$$

Условная гибкость при достижении температуры θ:

$$\overline{\lambda_\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right]^{0.5}$$

$k_{E,\theta}$ — коэффициент снижения угла наклона прямолинейного участка области упругих деформаций при достижении сталью температуры θ_a в момент времени t.

При огневом воздействии для кривой потери устойчивости коэффициент несовершенства α:

$$\alpha = 0{,}65\sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Условная гибкость при нормальной температуре:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Критическая сила Эйлера:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot J_{min}}{l_0^2}$$

$$J_{min} = J_{eff}$$

l_0 – расчетная длина в рассматриваемой плоскости;

J_{min} – наименьший эффективный момент инерции сечения для тонкостенной конструкции.

Изгибаемые конструкции

Согласно §4.2.3.3 EN 1993-1-2, расчетная несущая способность по потере устойчивости в плоской форме изгиба нераскрепленной конструкции при равномерном распределении температуры определяется как:

$$R_{fi,d,t} = M_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{LT,fi} W_y k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

$\chi_{LT,fi}$ — понижающий коэффициент в случае потери устойчивости в плоской форме изгиба для расчетного пожара;

$k_{y,\theta}$ — коэффициент снижения предела текучести стали при температуре θ_a, достигаемой в момент времени t с учетом тонкостенности конструкций (EN 1993-1-2, Приложение E);

W_y – момент сопротивления сечения, определяемый следующим $W_y = W_{pl,y}$ – момент сопротивления сечения в пластической стадии для поперечных сечений классов 1 и 2;

$W_y = W_{el,y}$ – момент сопротивления сечения в эластичной (упругой) стадии для поперечных сечений класса 3;

$W_y = W_{eff,y}$ – эффективный момент сопротивления сечения в эластичной (упругой) стадии для поперечных сечений класса 4;

Коэффициент устойчивости:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\varphi_{LT,\theta} + \sqrt{\varphi_{LT,\theta}{}^2 - \overline{\lambda_{LT,\theta}}^2}}$$

$$\varphi_{LT,\theta} = \frac{1}{2}\left[1 + \alpha\overline{\lambda_{LT,\theta}} + \overline{\lambda_{LT,\theta}}^2\right]$$

При огневом воздействии для кривой потери устойчивости коэффициент несовершенства α:

$$\alpha = 0{,}65\sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Условная гибкость при достижении температуры θ:

$$\overline{\lambda_{LT,\theta}} = \overline{\lambda_{LT}} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right]^{0.5}$$

$k_{E,\theta}$ — коэффициент снижения угла наклона прямолинейного участка области упругих деформаций при достижении сталью температуры θ_a в момент времени t.

Условная гибкость $\overline{\lambda_{LT}}$ зависит от критического момента M_{cr} потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии. Если перерезывающее усилие превышает 50% соответствующей несущей способности, это необходимо учитывать снижением предела текучести. Когда исключена потеря балкой устойчивости, рационально использовать упрощенный метод определения критической температуры.

1.4 Упрощенный метод расчета критической температуры

Дополнительно для использования этого метода требуется выполнение следующих условий:

1. Не учитывается критерий деформаций;

2. В конструкции полностью исключена потеря устойчивости.

Данные условия ограничивают применение рассматриваемого метода конструкциями, несущая способность которых определяется только критерием прочности. Примерами таких

конструкций могут быть: все растянутые элементы, балки с постоянным раскреплением по длине и т. д.

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

где:

$R_{fi,d,0}$ – значение $R_{fi,d,t}$ в момент времени t = 0;

μ_0 принимается не менее 0,013.

Критическая температура стали $\theta_{\alpha,cr}$ $(°C)$ при равномерном распределении температуры в стальной конструкции из углеродистых сталей С235-С460 в момент времени t может быть определена на основании коэффициента использования несущей способности μ_0 в момент времени t = 0 с использованием следующей формулы:

$$\theta_{\alpha,cr} = 39{,}19 \cdot \ln\left[\frac{1}{0{,}9674{\mu_0}^{3{,}833}} - 1\right] + 482$$

1.5 Примеры для сжатых, растянутых и изгибаемых конструкций

Сжатая конструкция

Статический расчет рассмотрен на примере профиля АС380х125х30х3,5 согласно ТУ 1122-002-82866678-2013 компании ООО «Андромета» [30] (Приложение 5.1). Колонна испытывает центральное сжатие, закрепление с одного конца жесткое, а с другого – шарнирное.

Таблица 1.3 – Эффективные характеристики профиля

Наименование	Усл. об.	Значение	Ед. изм
Площадь брутто	A_g	2310,63	мм^2
Эффективная площадь	A_{eff}	1251,77	мм^2
Момент инерции сечения относительно центральной оси z	I_z	2468733,37	мм^4
Момент инерции сечения относительно центральной оси y	I_y	37326518,03	мм^4
Высота образца	L	3000	мм
Нагрузка	N	10 (98)	т (кН)

Несущая способность стальной конструкции принимается сохраняющейся по истечении времени t для заданного режима пожара при выполнении условия:

$$E_{fi,d} < R_{fi,d}$$

Сопротивление высокотемпературным воздействиям для сжатых конструкций должно проверяться с использованием уравнений, приведенных в разделе 1.3, в которых площадь, заменяется эффективной расчетной площадью, а сопротивление изгибающему моменту заменяется эффективным расчетным сопротивлением.

$E_{fi,d}$ — расчетное значение результата воздействий при пожаре, определяется в соответствии с EN 1991-1-2 с учетом влияния температурного расширения и деформаций;

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

E_d — расчетное значение соответствующей силы или момента при нормальной температуре, для основных сочетаний воздействий согласно EN 1990.

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения при пожаре, принимаемый равным 1, так как нагрузка собирается не на основании статистических данных, а приложена фактически.

$$E_{fi,d} = 1 \cdot N = 98{,}0 \text{ кН}$$

$R_{fi,d}$ — соответствующее расчетное значение сопротивления при пожаре в момент времени t=0;

$$R_{fi,d,t} = N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A_{eff} k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

A_{eff} – эффективная площадь сечения тонкостенной конструкции;

χ_{fi} – понижающий коэффициент в случае потери устойчивости для расчетного пожара.

Критическая сила Эйлера:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot J_{min}}{l_0^2} = \frac{3{,}14^2 \cdot 210\ \ 000 \cdot 10^6 \cdot 246{,}87 \cdot 10^{-8}}{(0{,}7 \cdot 3)^2} = 1{,}16 \cdot 10^6 \ \text{Н}$$

Условная гибкость при нормальной температуре:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{1251{,}77 \cdot 10^{-6} \cdot 350 \cdot 10^6}{1{,}16 \cdot 10^6}} = 0{,}614$$

При огневом воздействии для кривой потери устойчивости коэффициент несовершенства α:

$$\alpha = 0{,}65\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0{,}65\sqrt{\frac{235}{350}} = 0{,}533$$

Условная гибкость при достижении температуры θ_a:

$$\overline{\lambda_\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right]^{0.5}$$

$k_{y,\theta}$ — коэффициент снижения предела текучести стали при температуре θ_a, достигаемой в момент времени t;

$k_{E,\theta}$ — коэффициент снижения угла наклона прямолинейного участка области упругих деформаций при достижении сталью температуры θ_a в момент времени t.

Пример расчета 1-й строки:

$$\overline{\lambda_\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right]^{0.5} = \overline{\lambda_\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{1}\right]^{0.5} = \bar{\lambda} = 0{,}614$$

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2}\left[1 + \alpha\overline{\lambda_\theta} + \overline{\lambda_\theta}^2\right] = \frac{1}{2}[1 + 0{,}533 \cdot 0{,}614 + 0{,}614^2] = 0{,}8524$$

Коэффициент устойчивости:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{{\varphi_\theta}^2 - \overline{\lambda_\theta}^2}} = \frac{1}{0{,}6145 + \sqrt{0{,}6145^2 - 0{,}614^2}} = 0{,}693$$

Расчетная несущая способность:

$$R_{fi,d,t} = N_{b,fi,t,rd} = \frac{0{,}693 \cdot 1251{,}77 \cdot 1{,}0 \cdot 350}{1{,}0} \approx 303{,}56 \ \text{кН}$$

Критическая температура находится в промежутке 500-600°С при расчетной несущей способности 91,77<98,0<165,45 (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Расчетная таблица снижения несущей способности

θ_a	$k_{y,\theta}$	$k_{p,\theta}$	$k_{E,\theta}$	$\overline{\lambda_\theta}$	φ_θ	χ_{fi}	$R_{fi,d,t}$
20	1,0000	1,0000	1,0000	0,614	0,852	0,693	303,56
100	1,0000	1,0000	1,0000	0,614	0,852	0,693	303,56
200	0,8900	0,8070	0,9000	0,611	0,849	0,695	270,88
300	0,7800	0,6130	0,8000	0,607	0,846	0,697	238,19
400	0,6500	0,4200	0,7000	0,592	0,833	0,705	200,70
500	0,5300	0,3600	0,6000	0,578	0,821	0,713	165,45
600	0,3000	0,1800	0,3100	0,605	0,844	0,698	91,77
700	0,1300	0,0750	0,1300	0,614	0,852	0,693	39,46
800	0,0700	0,0500	0,0900	0,542	0,791	0,731	22,43
900	0,0500	0,0375	0,0675	0,529	0,781	0,738	16,17
1000	0,0300	0,0250	0,0450	0,502	0,759	0,752	9,89
1100	0,0200	0,0125	0,0225	0,579	0,822	0,712	6,23
1200	0	0	0	–	–	–	–

Проверка расчетной несущей способности согласно вышеприведенному алгоритму. Значения коэффициентов определялись линейной интерполяцией.

Таблица 1.5 – Подтверждающий расчет несущей способности

θ_a	$k_{y,\theta}$	$k_{p,\theta}$	$k_{E,\theta}$	$\overline{\lambda_\theta}$	φ_θ	χ_{fi}	$R_{fi,d,t}$
591,54	0,3195	0,1952	0,3345	0,600	0,840	0,700	98,02

Условие обеспечения необходимой и достаточной прочности и устойчивости несущей конструкции выполняется.

Растянутая конструкция

Рассмотрим тот же профиль АС380х125х30х3,5 согласно [30], но в условиях, когда исключена потеря устойчивости конструкции (к примеру, при растяжении). Такое допущение позволяет использовать упрощенный метод расчета критической температуры:

$$\theta_{\alpha,cr} = 39{,}19 \cdot \ln\left[\frac{1}{0{,}9674{\mu_0}^{3{,}833}} - 1\right] + 482\,,°C$$

$$\mu_0 = \frac{E_{fi,d}}{R_{fi,d,0}}$$

Несущая способность конструкции (см. предыдущий раздел):

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d = 1 \cdot N = 98{,}0 \text{ кН}$$

$$R_{fi,d,t} = N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A_{eff} k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

Условная гибкость при достижении температуры θ_a:

$$\overline{\lambda_\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right]^{0.5} = \overline{\lambda_\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{1}\right]^{0.5} = \bar{\lambda} = 0{,}614$$

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2}\left[1 + \alpha\overline{\lambda_\theta} + \overline{\lambda_\theta}^2\right] = \frac{1}{2}[1 + 0{,}533 \cdot 0{,}614 + 0{,}614^2] = 0{,}8524$$

Коэффициент устойчивости:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{{\varphi_\theta}^2 - \overline{\lambda_\theta}^2}} = \frac{1}{0{,}6145 + \sqrt{0{,}6145^2 - 0{,}614^2}} = 0{,}693$$

Расчетная несущая способность:

$$R_{fi,d,t} = N_{b,fi,t,rd} = \frac{0{,}693 \cdot 1251{,}77 \cdot 1{,}0 \cdot 350}{1{,}0} \approx 303{,}56 \text{ кН}$$

$$\mu_0 = \frac{98{,}0}{303{,}56} = 0{,}323$$

$$\theta_{\alpha,cr} = 39{,}19 \cdot \ln\left[\frac{1}{0{,}9674 \cdot 0{,}323^{3{,}833}} - 1\right] + 482 = 652{,}56 \text{ °C}$$

Изгибаемые конструкции в зависимости от подверженности потере устойчивости рассчитываются аналогично одному из выше представленных примеров.

1.6 Зарубежные нормативные документы, содержащие требования к огнестойкости ЛСТК

Методология испытания строительных конструкций, в том числе легких стальных тонкостенных конструкций, приведенная в национальных сводах правил и нормативных документах США, Канады, стран Евросоюза, России, Новой Зеландии, Австралия и

др., гармонизирована с положениями международного стандарта ISO 834 [27].

В США основным нормативным документом является Руководство «Standard Calculation Methods for Structural Fire Protection» (ASCE/SEI/SFPE 29-05), разработанное американским обществом инженеров-строителей (ASCE). Руководство предусматривает методы расчета эквивалентной огнестойкости для бетонных, деревянных, каменных и стальных элементов, которая может быть получена при проведении натурных огневых испытаний в соответствии со стандартом ASTM E119-20 «Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials» или путем сравнительного инженерного анализа. элементов или конструкций, подвергающихся воздействию огня. В настоящем нормативном документе не содержится никаких указаний в отношении прочностных характеристик, рассматривается подробно расчет предела огнестойкости для некоторых стальных конструкций (колонны с огнезащитой на основе гипсокартонных плит, напыляемых покрытий, заполненные бетоном полые сжатые колонны; колонны, облицованные бетоном или кирпичной кладкой; балки и фермы). На использование математического аппарата накладывается ряд ограничений, которые могут быть сняты только компетентными органами на основании доказательств, обосновывающих по тем или иным причинам их применение за пределами стандартных значений отношения веса конструкции к обогреваемому периметру (W/D), толщины наносимого огнезащитного материала, геометрических размеров сечения, стандартного значения предела огнестойкости и пр. Стоит отметить, что соотношение W/D не применимо к стальным тонкостенным конструкциям (ЛСТК) и ферменным конструкциям на их основе.

Международный строительный кодекс (IBC-2012) является унифицированным строительным кодексом, разработанным Международным советом по нормам (International Code Council) и принят для использования в качестве базового стандарта строительных норм и правил большинством организаций в США,

ратифицирован в ОАЭ, Саудовской Аравии, Карибском сообществе и пр. В части огнестойкости стальных конструкций настоящий нормативный документ основан на предписаниях ASCE/SEI/SFPE 29-05. Нормативный документ не приводится указаний относительно прочностных характеристик элементов или конструкций, находящихся под высокотемпературным воздействием. Огнестойкость легких стальных тонкостенных конструкций не рассматривается в рамках нормативного документа.

В Руководстве «Society of Fire Protection Engineers, 2016, Handbook of fire protection engineering, 5th Ed., Quincy, Mass. (США), методам определения огнестойкости стальных элементов посвящена глава 53, где рассматриваются основные методы расчета огнестойкости стальных конструкций:

1. Эмпирические соотношения с результатами стандартных испытаний.

2. Теплотехнический анализ определяет время, через которое элемент достигает предварительно определенной критической температуры. Критерии максимальной температуры, приведенные в ASTM E119, часто принимаются в качестве критических температур. Как правило, неточности этого метода связаны с температурной зависимостью свойств материала или описанием условий нагрева.

3. Конструктивный анализ при расчете огнестойкости аналогичен расчетам по прочностным параметрам, за исключением того, что свойства материала изменяются при повышенных температурах и учитывается тепловое расширение.

Положения данного руководства можно использовать для решения статической и теплофизической задач огнестойкости стальных конструкций, в том числе тонкостенных профилей, при учете особенностей изменения механических свойств холодногнутой оцинкованной стали в условиях высокотемпературного воздействия.

В последней редакции национальных строительных норм и правил Канады (National Building Code of Canada (NBCC) (2015), vol. 1 Appendix D Fire-performance ratings и National Building Code of Canada (NBCC) (2015), vol. 2 Fire and Sound Resistance of Walls) во втором томе, разделе B (Division B) «Допустимые конструктивные решения» в параграфе 9.10.3.1. регламентируется, что предел огнестойкости может быть определен тремя основными методами: огневыми испытаниями; расчетным методом в соответствии с приложением D первого тома настоящего стандарта и базироваться на конструкторских спецификациях, представленных в таблице 9.10.3.1.-A и таблице 9.10.3.1.-B.

Расчетный метод согласно приложению D

Предел огнестойкости каркаса конструкции может быть рассчитан путем сложения времени, указанного в п.2 раздела D-2.3.4 для облицовки со стороны, подверженной воздействию огня, времени, указанного в п.3 раздела D-2.3.4 для элементов каркаса конструкции и времени, назначаемому согласно п. 4 раздела D-2.3.4 для дополнительных защитных мер, таких как включение дополнительных слоев огнезащиты или армирование изоляционного слоя.

В таблицах D-2.3.4.B. и D-2.3.4.C. приведены данные для конструкций пола и кровли. В таблице D-2.3.4.D. приведены значения толщины штукатурного слоя, которой может быть применен для несущих и ненесущих деревянных и ненесущих стальных холодноформованных каркасов, применяемых в качестве основы для стен, полов и кровель.

В таблице D-2.3.4.E. представлен период времени, назначаемый стеновой конструкции между отказом изоляции и полным разрушением каркаса. Для каркаса на основе тонкостенных стальных стержней с шагом, не превышающим 400 мм, время собственной огнестойкости каркаса равно 10 мин как для несущих, так и ненесущих конструкций. При шаге, не превышающем 600 мм, огнестойкость считается обеспеченной только для несущих стеновых конструкций.

Таблица 1.6 (D-2.3.4.A). – Предел огнестойкости изоляции со стороны огневого воздействия для стен на основе деревянного и стального тонкостенного каркаса

Описание облицовки	Несущие конструкции	Ненесущие конструкции
	Время, мин	Время, мин
11,0 мм фенольная скрепленная фанера из Douglas Fir (Псевдотсуга Мензиса)	–	10(1)
14,0 мм фенольная скрепленная фанера из Douglas Fir (Псевдотсуга Мензиса)	–	15
12,7 мм гипсокартонный лист, Тип X	25(2)	25
15,9 мм гипсокартонный лист, Тип X	40(2)	40(3)
Двойной гипсокартонный лист, Тип X	50	80

Примечание. (1) Только при условии заполнения каркаса изнутри минеральной ватой, поверхностной плотностью конструкции не менее 2 кг/м^2 и без дополнительного времени изоляции согласно D-2.3.4.G.

(2) Только для стен на основе деревянного каркаса

(3) Только для стен на основе стального каркаса

(4) Направляющие для крепления огнезащиты разрешается устанавливать с шагом до 400 мм без влияния на предел огнестойкости

Собственный предел огнестойкости конструкции перекрытия на основе ЛСТК с шагом направляющих, не превышающим 600 мм согласно таблице D-2.3.4.F. составляет 10 мин при условии наличия огнезащитной изоляции в составе перекрытия. Ферменные стальные тонкостенные конструкции с шагом не более 400 мм в составе перекрытия или кровли способны выдержать не более 10 мин высокотемпературного воздействия.

Минеральная изоляция из стеклянного, каменного или шлакового волокна обеспечивает дополнительную защиту элементов каркаса, защищая конструкции от прямого воздействия огня и тем самым замедляя обрушения. В таблице D-2.3.4.G. показаны интервалы времени, которые могут быть добавлены к пределу огнестойкости, если указанные дополнительные меры применены в проектируемом каркасе. В актуальной редакции нормативного документа (2015) в отличие от предыдущей версии (2010) помимо дополнительного времени огнестойкости для стеновых конструкций на основе деревянного каркаса, появились

примечания для каркаса из стальных тонкостенных конструкций. Так, для ненесущих стеновых конструкций наличие в каркасе заполнения из стекловолокна позволяет увеличить предел огнестойкости на 5 мин. Для конструкций перекрытия ограничения на применения внутренней теплоизоляции каркаса накладываются на использование изоляции из целлюлозного волокна. В редакции от 2010 года указывалось, что включение данного материала не влияет на огнестойкость стального каркаса, но в версии от 2015 года применение данной изоляции позволяет увеличить предел огнестойкости на 5 минут при соблюдении некоторых условий, указанных в примечании к таблице D-2.3.4.G. Применение армированной сетки для гипсовой штукатурки также повышает огнестойкость конструкции в целом вне зависимости от типа каркаса.

Согласно разделу D-2.3.5, внутренние перегородки должны быть рассчитаны на воздействие огня с каждой стороны, и необходимая толщина огнезащиты должна быть предусмотрена с обеих сторон. Однако при расчете предела огнестойкости нельзя рассчитать вклад в огнестойкость изоляции на стороне, не подверженной воздействию огня, поскольку этот слой может выйти из строя при выходе из строя элементов конструкции. Каркас наружной стены должен рассчитываться только с внутренней стороны. В случае перекрытия или кровли, стандартное испытание предусматривает только воздействие огня снизу. Каркас пола или кровли из дерева или легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) должен иметь верхнее покрытие, состоящее из основания и отделочного покрытия в соответствии с таблицей D-2.3.5. настоящего стандарта. В редакции от 2010 года допускалось использовать и другую изоляцию, которая имеет вклад в огнестойкость не менее 15 мин, в последней редакции 2015 года такое допущение не приводится.

Согласно разделу D-2.3.6., пп.7-11, стальные холодногнутые профили, применяемые в ненесущих стеновых конструкциях, должны быть из оцинкованной стали толщиной не менее 0,5 мм, шириной стенки не менее 63 мм и шириной полки не менее 31 мм.

Стальные стойки в ненесущих стеновых каркасах с нормируемым пределом огнестойкости, должны быть установлены с зазором не менее 12 мм между верхней частью стойки и верхней частью направляющей, чтобы обеспечить возможность расширения в случае пожара. Если крепление стоек необходимо для выравнивания во время монтажа, такое крепление должно производиться только на нижней направляющей каркаса. Стальные холодногнутые профили, применяемые в несущих стеновых конструкциях, должны быть из оцинкованной стали толщиной не менее 0,912 мм и не более 1,52 мм, с С-образным сечением профиля шириной стенки не менее 92 мм, шириной полки не менее 41 мм и длиной отгиба 12,7 мм. При этом, в каркасе должны применяться диагональные несущие распорки. Для конструкций перекрытия С-образный профиль должен быть не менее 203 мм в длину х41 мм в ширину х 1,22 мм в толщину.

Раздел D-2.6 рассматривает огнезащиту стальных колонн и приводит таблицу D-2.6.1.-A с минимальной толщиной защитного покрытия из бетона или каменной кладки. В таблице D-2.6.1.-B приведены минимальные толщины различных видов штукатурки (гипсопесчаная, вермикулитовая, цементно-песчаная и пр.) для требуемых пределов огнестойкости от 0,5 до 4 часов. Данные значения основаны на отношении M / D (кг / м) массы колонны M к нагретому периметру D сечения колонны, рассчитываемом на основании положений раздела D-2.6.4. В таблице D-2.6.1.A указана минимальная толщина защиты бетона или каменной кладки для стальных колонн, например, для предела огнестойкости 60 мин требуется монолитное бетонное покрытие 25 мм.

В Таблице D-2.6.1.E (рис. 1.8) показаны огнезащитные решения на основе минераловатных плит и гипсокартонных облицовок, которые могут быть применены к стальным конструкциям с минимальной толщиной 0,51-0,76 мм, также относящихся к тонкостенным (ЛСТК).

Table D-2.6.1.-E
Steel Columns with Sheet-Steel Membrane and Insulation as Shown in Figures D-2.6.1-A. and D-2.6.1-B.

Type of Protection	Steel Thickness,(1) mm	Fastening(2)	Insulation	Fire-Resistance Rating
See Figure D-2.6.1.-A	0.51	No. 8 sheet-metal screws 9.5 mm long, 200 mm o.c.	50 mm mineral wool batts(3)	45 min
See Figure D-2.6.1.-B	0.64	Self-threading screws or No. 8 sheet-metal screws, 600 mm o.c.	2 layers 12.7 mm gypsum board	1.5 h
See Figure D-2.6.1.-A	0.64	No. 8 sheet-metal screws, 9.5 mm long 200 mm o.c.	75 mm mineral wool batts,(3) 12.7 mm gypsum board	2 h
See Figure D-2.6.1.-B	0.76	Crimped joint or No. 8 sheet-metal screws, 300 mm o.c.	2 layers 15.9 mm gypsum board	2 h

Рисунок 1.8. Пример огнезащиты конструкций согласно канадскому стандарту National Building Code of Canada (NBCC) (2015)

Раздел D-2.6.6. приводит формулы для расчета сталебетонных конструкций (заполненные бетоном полые стальные колонны). Предел огнестойкости полых стальных колонн (трубы), заполненные неармированными бетоном определяется аналогично американскому Руководству ASCE/SEI/SFPE 29-05 в соответствии со следующими выражениями:

$$R = a\frac{f_c' + 20}{60(KL - 1000)}D^2\sqrt{\frac{D}{C}} \quad [\text{СИ}]$$

где:

R – предел огнестойкости [мин];

a – коэффициент, определяемый в зависимости от формы сечения колонны и типа заполнителя бетона;

f_c' – прочность бетона на сжатие [МПа];

KL – расчетная длина колонны [мм];

D – обогреваемый периметр стальной колонны [мм];

C – результирующее сжимающее усилие от постоянных и временных нагрузок [кН].

В разделе D-2.7 приводится минимальная толщина различных защитных покрытий для стальных балок при трехстороннем нагреве для требуемого предела огнестойкости от 30 мин до 4 ч. В таблице D-2.7.1. указана минимальная толщина защитного слоя для стальных балок, например, для предела огнестойкости 60 мин, требуется монолитное бетонное покрытие 25 мм или 13 мм гипсоперлитовой или вермикулитовой штукатурки на 9,5 мм основании из гипсовой сухой штукатурки.

Конструкторские спецификации

Конструкторские спецификации представлены в таблице 9.10.3.1.-A и таблице 9.10.3.1.-B и содержат решения по конструкциям несущих стен и ненесущих перегородок, в том числе на основе каркаса из легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) в части огнестойкости и звукоизоляции (часть A) и данные по перекрытиям, потолкам и кровлям (часть B). На рис. 1.9 приведен фрагмент данной спецификации для конструкции стен.

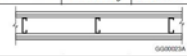
Type of Wall	Wall Number	Description	Fire-Resistance Rating[2] [3]		Typical Sound Transmission Class[2] [4] [5]
			Loadbearing	Non-Loadbearing	
	S6	• 31 mm x 92 mm steel studs spaced 400 mm or 600 mm o.c. • with or without absorptive material • 2 layers of gypsum board on each side			
	S6a	S6 with • studs spaced 600 mm o.c. • 89 mm thick absorptive material[6] • 15.9 mm Type X gypsum board[7]	–	2 h	56
	S6b	S6 with • studs spaced 400 mm o.c. • 89 mm thick absorptive material[6] • 15.9 mm Type X gypsum board[7]	–	2 h	55
	S6c	S6 with • studs spaced 600 mm o.c. • 89 mm thick absorptive material[6] • 12.7 mm Type X gypsum board[7]	–	1.5 h	55
	S6d	S6 with • studs spaced 400 mm o.c. • 89 mm thick absorptive material[6] • 12.7 mm Type X gypsum board[7]	–	1.5 h	54

Рисунок 1.9. Фрагмент спецификации для конструкции стен с каркасом из ЛСТК согласно National Building Code of Canada (NBCC) (2015)

Canadian Standards Association CSA S16-19

Разработка и актуализация стандарта CISC Commentary on CSA S16, а также его специальных приложений и руководств (в том числе относительно положений в части огнестойкости и огнесохранности) проходит параллельно разработке американского Приложения 4 к AISC (American Institute of Steel Construction Steel (2016) “ANSI/AISC 360-16, An American National Standard Construction Manual Specification for Structural Steel Buildings, Appendix 4: Structural Design for Fire Conditions” 15th Ed., AISC, Chicago, IL, USA). В Канаде до 2010 года проектирование стальных конструкций в условиях пожара ограничивалось предписывающим подходом и стандартными уравнениями, учитывающими изменение свойств материала при повышенных температур. Настоящее приложение приводит более сложные уравнения для проектирования конструкций в условиях пожара. Данный подход

аналогичен положениям AISC и хорошо согласуется с методами, изложенными в Еврокодах согласно отчету Dat Duthinh, NIST Technical Note 1842 Structural Design for Fire: A Survey of Building Codes and Standards. National Institute of Standards and Technology (2014).

Простые методы анализа, указанные в этом Приложении, применимы к оценке эффективности работы отдельных элементов при повышенных температурах во время воздействия огня. Предполагается, что граничные условия и внутренние усилия, соответствующие конструкции при нормальных температурах, остаются неизменными на протяжении всего огневого воздействия. Уравнения для расчета критической силы и изгибающего момента также приведены в настоящем приложении.

Для сжатых конструкций критическая температура описывается следующей зависимостью:

$$C_r(T) = (1 + \lambda(T)^{2dn})^{-\frac{1}{dn}} A F_y(T)$$

C_r = фактическое сопротивление сжатию при температуре, T

$$\lambda(T) = \frac{KL}{r}\sqrt{\frac{F_y(T)}{\pi^2 E(T)}} = \sqrt{\frac{F_y(T)}{F_E(T)}}$$

n

$\lambda\,(T)$ = коэффициент гибкости колонны;

A = площадь поперечного сечения колонны;

$F_e\,(T)$ = критическая сила Эйлера при температуре T;

$F_y\,(T)$ = предел текучести при температуре T;

KL = расчетная длина конструкции;

n как указано для номинальной прочности в соответствии с разделом 13.3.1 (ниже);

d = 0,6

$C_r\,(T)$ = прочность колонны при температуре T;

r = радиус момента инерции сечения колонны.

n = 1,34 для горячекатаных и полых профилей, изготовленных в соответствии с CSA G40.20, для профилей класса C (холоднодгнутые профили без нагрузки) или ASTM A1085 Standard

Specification for Cold-Formed Welded Carbon Steel Hollow Structural Sections (HSS);

n = 2,24 для двухсимметричных сварных трехпластинчатых элементов с фланцевыми кромками, огнеупорными и полыми конструкционными секциями, изготовленными в соответствии с CSA G40.20, класс H (горячекатаные или холоднодгнутые профили под нагрузкой) и ASTM A1085 с добавкой S_1.

Для изгибаемых конструкций критический момент описывается следующей зависимостью:

$$M_r(T) = C_k M_p(T) + (1 - C_k) M_p(T) \left(1 - \left(\frac{C_k M_p(T)}{M_u(T)}\right)^{0,5}\right)^{C_2(T)}$$

где

$C_K = 0,12$

$M_p(T)$ = пластический момент при повышенных температурах, определенный с использованием F_y (T)

$M_u(T)$ = упругая критическая нагрузка при повышенных температурах, определяемая следующим образом:

$$M_u(T) = \frac{\omega_2 \pi}{L} \sqrt{E(T) I_y G(T) J + I_y C_w \left(\frac{\pi E(T)}{L}\right)^2}$$

ω_2 = секторальный момент инерции сечения, такой же, как для температуры окружающей среды в соответствии с разделом 13.6 (см. ниже);

C_w = постоянная деформации;

E = модуль Юнга;

G = модуль сдвига;

I_y = момент инерции сечения;

J = постоянная кручения;

L = длина незакрепленной части балки;

$$C_2(T) = \frac{T + 800}{500} \leq 2,4$$

$\omega_2 = 1,75 + 1,05\kappa + 0,3\kappa^2 \leq 2,5$ для несвязанных балок относительно моментов на концах балок;

$\omega_2 = 1,0$, когда изгибающий момент в любой точке в пределах

свободной длины больше, чем наибольший момент на конце балки или, когда отсутствует раскрепление балки на одном из концов;

κ = отношение меньшего факторизованного момента к большему факторизованного моменту на противоположных концах свободной балки, положительное для двойной кривизны и отрицательное для одиночной кривизны.

В данном стандарте также приведен альтернативный комплексный метод расчета конструкций с помощью компьютерного моделирования. Вместо экспериментальных данных о свойствах материалов Приложение K допускает использование свойств стали и бетона при повышенных температурах, которые приняты из ECCS Model Code on Fire Engineering (ECCS, 2001), Section III.2, "Свойства материалов", которые в свою очередь соответствуют свойствам, указанным в Еврокоде 3 (2005 г.) и Еврокоде 4 (2005 г.), и отражают консенсус международного сообщества специалистов в области пожарной техники и научных исследований.

В Канаде большинство стандартов для конструкций из листовой стали издаются под руководством Канадского института строительства из листовой стали (Canadian Sheet Steel Building Institute - CSSBI). Руководство по архитектурному проектированию для легкого стального каркаса “CSSBI 57 Lightweight Steel Framing Architectural Design Guide” предоставляет информацию об использовании и спецификации систем легкого стального каркаса (LSF), в том числе подробную информацию о проектировании, акустических и пожарных нормированиях для конструкций на основе ЛСТК.

В Руководстве приведены примеры конструкций на основании ЛСТК с различными требуемыми пределами огнестойкости (рис. 1.10). Как правило, эти каркасы требуют дополнительной защиты из гипсокартона для достижения необходимого уровня огнестойкости.

Fire Endurance Periods — **Non-Loadbearing Walls**

- 1 layer gypsum board
- Steel studs (0.46 mm thick)
- Insulation
- 2 layers gypsum board



Test No.	Stud Size (mm)	Stud Spacing (mm)	Insulation		Gypsum Board		Fire Endurance (min.)
			Type	Thickness (mm)	Type	Thickness (mm)	
F-07	31 x 92	610	None	-	Type X	12.7	65
F-09	31 x 92	610	Glass fibre	90	Type X	12.7	65
F-10	31 x 92	610	Mineral fibre (584 mm wide)	90	Type X	12.7	60
F-10B	31 x 92	610	Mineral fibre (615 mm wide)	90	Type X	12.7	100
F-11	31 x 92	610	Cellulose (Sprayed)	90	Type X	12.7	62

Рисунок 1.10. Фрагмент спецификации для конструкции стен из ЛСТК-каркаса согласно “CSSBI 57 Lightweight Steel Framing Architectural Design Guide”, Канада

В данной монографии конструкторские спецификации Руководства “CSSBI 57 Lightweight Steel Framing Architectural Design Guide” переведены авторами на русский язык и представлены в Приложении 5.7.

Стандарты Новой Зеландии и Австралии имеют упрощенную методику для расчета стальных конструкций на основе изменения предела текучести и модуля упругости под высокотемпературным воздействием, но не рассматриваются конструкции, произведенные методом холодного формирования. Для конструкций с огнезащитой отсутствует расчетный метод и предусмотрены только огневые испытания.

Таким образом, практика применения огнезащиты для тонкостенных конструкций, согласно зарубежным нормативным техническим документам, в большинстве случаев имеет расчетный характер и предусматривает проектирование конструкций с необходимым и достаточным собственным пределом огнестойкости. Анализ зарубежных нормативных технических и методических документов, относящихся к обеспечению и определению огнестойкости стальных конструкций, а также содержащих требования к прочности стальных конструкций из холодногнутых оцинкованных профилей при воздействии пожара показал, что наиболее комплексным подходом в части расчета ЛСТК обладают европейские нормативные документы.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

2.1 Общие положения

Предел огнестойкости конструкции является показателем сопротивляемости конструкции высокотемпературному воздействию. Согласно ст.2 [1], предел огнестойкости конструкции – промежуток времени от начала огневого воздействия в условиях стандартных испытаний до наступления одного из нормированных для данной конструкции предельных состояний. Различают следующие виды предельных состояний строительных конструкций по признаку:

- потери несущей способности (R);
- потери целостности (E);
- потери теплоизолирующей способности (I);
- потери теплоизолирующей способности по величине плотности теплового излучения (W);
- потери дымогазонепроницаемости (S).

Обозначение пределов огнестойкости строительных конструкций состоит из условных буквенных обозначений предельных состояний и числа, соответствующего нормированному пределу огнестойкости (в минутах): 15, 30, 45, 60, 90, 120, 150, 180, 240, 360 [26]. Например, предел огнестойкости REI 150 означает, что по признакам потери несущей способности, потери целостности и теплоизолирующей способности значение предела огнестойкости должно быть не менее 150 минут и не превышать 180 минут независимо от того, какое из этих трех предельных состояний наступит раньше.

Основным видом предельного состояния несущих стальных строительных конструкций (колонн, балок, ферм) является показатель потери несущей способности R. Пределы огнестойкости большинства незащищенных стальных конструкций чрезвычайно малы и находятся в пределах 10÷15 минут. Исключением являются стальные колонны массивного сплошного сечения, у которых предел огнестойкости без систем огнезащитных покрытий может

достигать R30÷R45. Незащищенные конструкции во время пожара интенсивно прогреваются до критической температуры, то есть до той температуры, при которой конструкция теряет свою конструкционную прочность, что приводит к потере их несущей способности и целостности. Для повышения огнестойкости строительных конструкций существуют различные способы огнезащиты. В таблице 2.1 приводятся требуемые пределы огнестойкости строительных конструкций в зависимости от степени огнестойкости здания согласно [1].

Таблица 2.1 – Пределы огнестойкости строительных конструкций

Степень огнестойкости	Предел огнестойкости строительных конструкций						
	Несущие элементы	Наружные ненесущие стены	Перекрытия междуэтажные	Строительные конструкции бесчердачных покрытий		Строительные конструкции лестничных клеток	
				настилы	фермы, балки, прогоны	внутренние стены	марши и площадки лестниц
I	R 120	E 30	REI 60	RE 30	R 30	REI 120	R 60
II	R 90	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 90	R 60
III	R 45	E 15	REI 45	RE 15	R 15	REI 60	R 45
IV	R 15	E 15	REI 15	RE 15	R 15	REI 45	R 15
V	не нормируется						

Если требуемый предел огнестойкости не соответствует фактическому пределу огнестойкости, требуется применить средства огнезащиты. В общем случае огнестойкость строительной конструкции в зависимости от количества примененного облицовочного материала (без учета типа минераловатных утеплителей, штукатурных или шпаклевочных составов, армирующих и других материалов) может составлять (Приложение 5.2):

Для стен:

• REI 30 – один слой (12,5 мм) гипсокартонной плиты с повышенным сопротивлением к действию огня с каждой стороны;

• REI 60 – два слоя (25 мм) гипсокартонной плиты с повышенным сопротивлением к действию огня с каждой стороны стены.

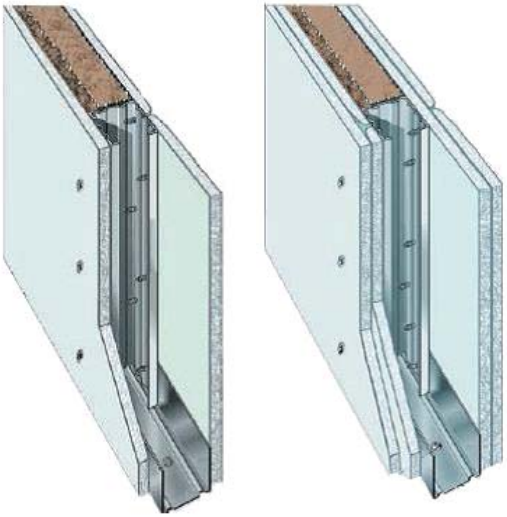


Рисунок 2.2. Решение огнезащиты перегородок ООО «Кнауф ГИПС»

Для перекрытий:

• REI 30 – слой конструкции «пирога» пола толщиной не менее 15 мм, выполненного из негорючих или трудногорючих материалов, и один слой (12,5 мм) гипсокартонной плиты с повышенным сопротивлением к действию огня со стороны потолка.

• REI 45 – слой конструкции «пирога» пола толщиной не менее 15 мм, выполненного из негорючих или трудногорючих материалов, и два слоя (25 мм) гипсокартонной плиты с повышенным сопротивлением к действию огня со стороны потолка.

Для балок:

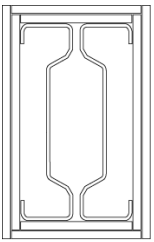
• R 45 – облицовка с трех сторон – два слоя (25 мм) гипсокартонных плит с повышенным сопротивлением к действию огня.

Для колонн:

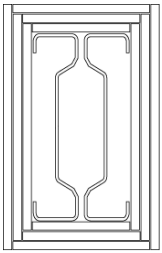
• R 120 – облицовка по периметру – два слоя вермикулитовых плит (20 мм) и два слоя (25 мм) гипсокартонных плит с повышенным сопротивлением к действию огня.

• R 120 – облицовка по периметру – 4 слоя (50 мм) гипсокартонных плит с повышенным сопротивлением к действию огня.

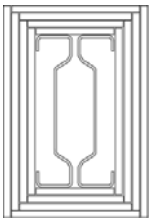
Стержневые несущие конструкции (колонны):



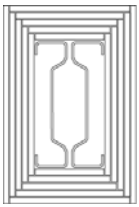
1. Колонна с классом огнестойкости R60
Колонна изготовлена из двух Σ-образных стальных профилей с обшивкой, состоящей из двух слоев гипсокартонных плит (с повышенным сопротивлением к действию огня) толщиной по 12,5 мм с межслойным нанесением гипсовой шпаклевки толщиной 2-3 мм.



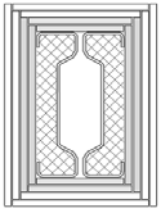
2. Колонна с классом огнестойкости R90
Колонна изготовлена из двух Σ-образных стальных профилей с обшивкой, состоящей из трех слоев гипсокартонных плит (с повышенным сопротивлением к действию огня) толщиной по 12,5 мм с межслойным нанесением гипсовой шпаклевки толщиной 2-3 мм.



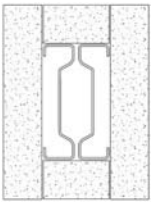
3. Колонна с классом огнестойкости R120
Колонна изготовлена из двух Σ-образных стальных профилей с обшивкой, состоящей из четырех слоев гипсокартонных плит (с повышенным сопротивлением к действию огня) толщиной по 12,5 мм с межслойным нанесением гипсовой шпаклевки толщиной 2-3 мм.



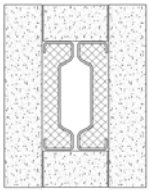
4. Колонна с классом огнестойкости R150
Колонна изготовлена из двух Σ-образных стальных профилей с обшивкой, состоящей из пяти слоев гипсокартонных плит (с повышенным сопротивлением к действию огня) толщиной по 12,5 мм с межслойным нанесением гипсовой шпаклевки толщиной 2-3 мм.



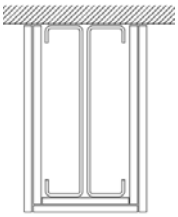
5. Колонна с классом огнестойкости R120
Колонна изготовлена из двух Σ-образных стальных профилей с обшивкой, состоящей из минераловатной плиты толщиной 50 мм (в теле колонны), двух слоев вермикулитовых плит толщиной по 10 мм и двух слоев гипсокартонных плит толщиной по 12,5 мм.



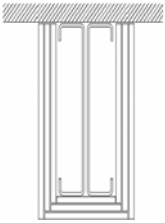
6. Колонна с классом огнестойкости R90
Колонна изготовлена из двух Σ-образных стальных профилей с обшивкой, состоящей из блоков из ячеистого газобетона толщиной 100 мм.



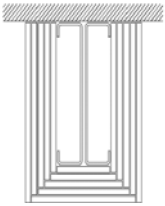
7. Колонна с классом огнестойкости R120
Колонна изготовлена из двух Σ-образных стальных профилей с обшивкой из минераловатной плиты толщиной 50 мм (в теле колонны) и блоков из ячеистого газобетона толщиной 100 мм.



8. Балка с классом огнестойкости R60
Балка изготовлена из двух С-образных стальных профилей с обшивкой, состоящей из двух слоев гипсокартонных плит (с повышенным сопротивлением к действию огня) толщиной по 12,5 мм с межслойным нанесением гипсовой шпаклевки толщиной 2-3 мм.



9. Балка с классом огнестойкости R90
Балка изготовлена из двух С-образных стальных профилей с обшивкой, состоящей из трех слоев гипсокартонных плит (с повышенным сопротивлением к действию огня) толщиной по 12,5 мм с межслойным нанесением гипсовой шпаклевки толщиной 2-3 мм.



10. Балка с классом огнестойкости R120
Балка изготовлена из двух С-образных стальных профилей с обшивкой, состоящей из пяти слоев гипсокартонных плит (с повышенным сопротивлением к действию огня) толщиной по 12,5 мм с межслойным нанесением гипсовой шпаклевки толщиной 2-3 мм.

Примером гипсокартонных плит с повышенным сопротивлением к действию огня является изделие КНАУФ-Файерборд. Огнезащитные решения компании ООО «КНАУФ ГИПС», а также наиболее распространённые материалы для огнезащиты тонкостенных конструкций см. в Приложении 5.2.

Другое огнезащитное решение предлагает компания АО «ТИЗОЛ». Конструктивная огнезащита для лёгких стальных тонкостенных конструкций ЕТЛСТК представляется собой базальтовый рулонный фольгированный материал с заполнением внутренних частей С-образного швеллерного сечения минераловатным матом. Данное решение подробно представлено в Приложении 5.3. Фрагмент инструкции к использованию данной огнезащитной системы представлен в Приложении 5.4.

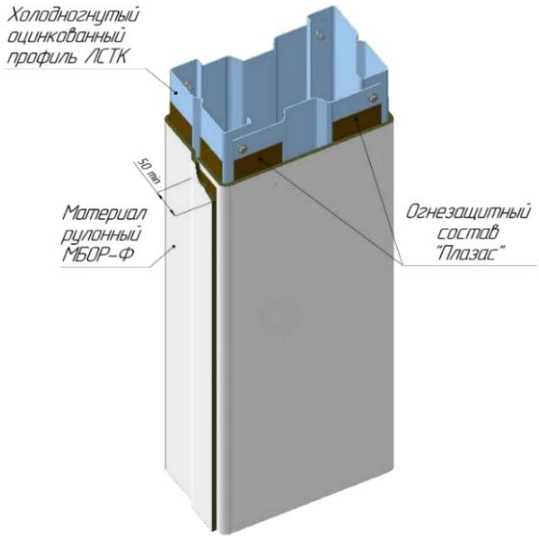


Рисунок 2.3. Решение огнезащиты колонн АО «ТИЗОЛ»

Компания ООО «ROCKWOOL» разработала инструкцию по расчету огнезащитной системы металлоконструкций CONLIT SL, расширив диапазон приведенных толщин металла до 1 мм. Компанией отработан технологический регламент монтажа системы CONLIT SL на конструкции из спаренного С-профиля. Инструкция по применению огнезащитного материала CONLIT SL представлена в Приложении 5.5.

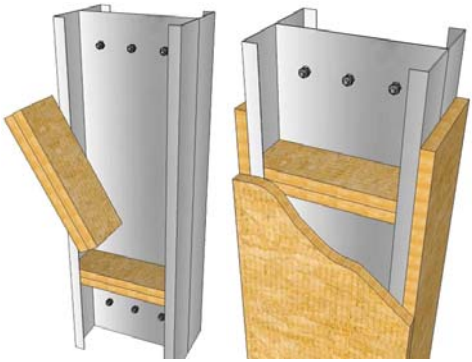


Рисунок 2.4. Решение огнезащиты колонн ООО «ROCKWOOL»

Решение сталебетонной конструкции с ЛСТК каркасом и заполнителем из легкого монолитного пенобетона в несъемной опалубке из стекломагнезитового листа предлагается в качестве стеновой панели и перекрытия компанией ООО «Андромета». Использование в качестве заполнителя легкого монолитного пенобетона позволяет совместить теплоизолирующую и огнестойкую функции. Дополнительным барьером на пути распространения пламени служит несъемная опалубка из негорючих стекло-магнезитовых листов, обладающих высокой огнестойкостью.

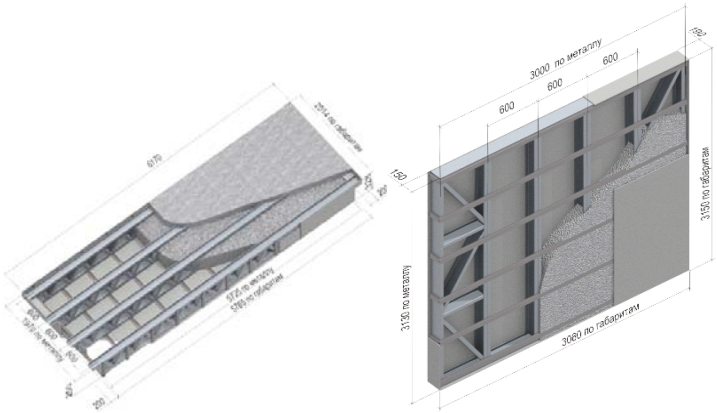


Рисунок 2.5. Решение огнезащиты стен и перекрытий ООО «Андромета»

Существуют средства огнезащиты, сочетающие в себе свойства конструктивной рулонной огнезащиты (в первую очередь сухой монтаж и монтаж сразу готового изделия на поверхность защищаемого объекта) и интумесцентного покрытия, когда при огневом воздействии образуется пенококс с низкой теплопроводностью, защищающий поверхность конструкции. Таким средством является изгибаемая 3-D огнезащита, производимая ООО «ПРОМИЗОЛ» (Приложении 5.6).

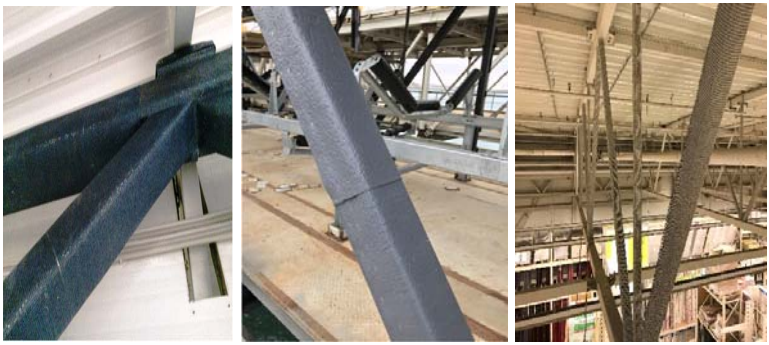


Рисунок 2.6. Защищенные рулонной сеткой стальные конструкции, в том числе и для наружной эксплуатации в морском климате

Согласно СП 2.13130.2020 [31] допускается применение незащищенных стальных конструкций, если требуемый предел их огнестойкости составляет REI 15, то есть 15 минут, при условии, что их предел огнестойкости по результатам испытаний или расчетов составляет R 8 и более или их приведенная толщина металла составляет не менее 4,0 мм. Фактический предел огнестойкости зависит как от приведенной толщины конструкции, нагрузки, способов расположения опор, условий обогрева и температурного режима пожара [32].



Рисунок 2.7 – Колонна с нагрузкой 5 кН, фактический предел огнестойкости – 6 минут.

2.2 Расчет коэффициентов сечения стальных конструкций

2.2.1 *Профильный коэффициент сечения конструкции A_m/V*

Профильный коэффициент сечения незащищенной стальной конструкции A_m/V является характеристической величиной ее сечения, равной отношению площади поверхности A_m в единице длины конструкции к ее объему V в той же единице длины.

В общем случае, когда площадь сечения стальной конструкции не изменяется по всей длине элемента, коэффициент сечения определяется как отношение периметра стальной конструкции к её площади сечения. Чем меньше коэффициент A_m/V, тем массивнее конструкция, что создает инерцию к прогреву всего объема, вследствие чего получается более высокий предел огнестойкости.

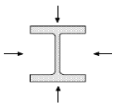
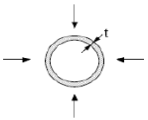
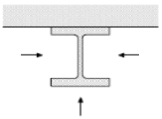
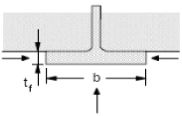
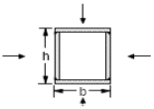
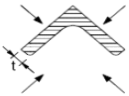
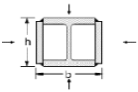
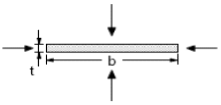
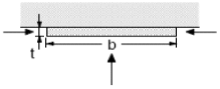
Расчет профильного коэффициента различных сечений стальных конструкций представлен в таблице 2.2 согласно § 4.2.5.1, таблице 4.1 EN 1993-1-2 [7].

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

Профильный коэффициент сечения стальной конструкции A_m/V является величиной, обратной принятой в отечественной инженерной практике показателю сечения конструкций – приведенная толщина металла $\delta_{\text{пр}}$ (мм)

$$\frac{A_m}{V} = \frac{1}{\delta_{\text{пр}}} \cdot 1000 = \frac{P}{\mathrm{S}} \cdot 1000$$

Таблица 2.2 – Профильный коэффициент сечения стальной конструкции

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

2.2.2 *Коробчатый коэффициент сечения конструкции $[A_m/V]_b$*

Коробчатый коэффициент сечения конструкции (коэффициент прямоугольного поперечного сечения) – это отношение площади наименьшего прямоугольника, который может быть описан вокруг стального профиля, к его объему. В общих случаях, когда площадь сечения стальной конструкции постоянна по всей длине элемента, $[A_m/V]_b$ определяется как отношение периметра наименьшего прямоугольника, который может быть описан вокруг стального профиля, к площади сечения. При расчетах необходимо учитывать только площадь (или периметр) обогреваемой поверхности стальной конструкции.

2.2.3 *Коэффициент учета теневого эффекта k_{sh}*

Для расчета прироста температуры незащищенных стальных Для расчета прироста температуры незащищенных стальных конструкций двутаврового сечения используется поправочный коэффициент теневого эффекта

$$k_{sh} = \frac{0{,}9\left[\frac{A_m}{V}\right]_b}{\left[\frac{A_m}{V}\right]}$$

$[A_m/V]_b$ – прямоугольный (коробчатый) коэффициент сечения стальных конструкций.

A_m/V – коэффициент сечения незащищенных стальных конструкций;

Для стальных конструкций с иными формами поперечных сечений (швеллер, уголок).

$$k_{sh} = \frac{\left[\frac{A_m}{V}\right]_b}{\left[\frac{A_m}{V}\right]}$$

Для поперечных сечений замкнутого профиля (например, прямоугольного или круглого), полностью расположенных в зоне действия пламени, теневой эффект не оказывает существенного влияния и принимается $k_{sh} = 1$. Также он не учитывается при расчетах стальных конструкций с огнезащитой ($k_{sh} = 1$).

Для поперечных сечений замкнутого профиля (например, прямоугольного или круглого), полностью расположенных в зоне действия пламени, теневой эффект не оказывает существенного влияния и принимается равным 1. Также он не учитывается в расчетах стальных конструкций с огнезащитой.

2.2.4 *Определение температуры прогрева сечения*

Расчет огнестойкости стальных элементов сводится к определению прироста температуры стальной конструкции с течением времени при номинальном температурном режиме и дальнейшему сравнению полученных результатов со значением критической температуры стали $\theta_{a,cr}$.

В случае равномерного распределения эквивалентной температуры в поперечном сечении, увеличение температуры $\Delta\theta_{a,t}$ стальной конструкции за промежуток времени Δt должно определяться из следующего выражения (§4.2.5.1, EN 1993-1-2):

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

где k_{sh} — поправочный коэффициент для учета влияния теневого эффекта;

A_m/V — коэффициент сечения для незащищенных стальных конструкций (1/м);

c_a — удельная теплоемкость стали (Дж/(кг К));

$\dot{h}_{net}$ — расчетное значение результирующего удельного теплового потока на единицу площади (Вт/м^2);

$\Delta t < 5$ с — промежуток времени (с);

ρ_a— плотность стали (кг/м^3).

Поглощенный тепловой поток $\dot{h}_{net}$ на нагреваемых поверхностях должен быть определен с учетом конвекционного и лучевого теплообмена:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}$$

где:

$\dot{h}_{net,c}$ – удельный тепловой поток, определяемый конвекцией;

$\dot{h}_{net,r}$ – удельный тепловой поток, определяемый излучением.

Конвекционная составляющая поглощенного теплового потока

$$\dot{h}_{net,c} = \alpha_c \cdot (\theta_g - \theta_m)$$

θ_g – температура вблизи стальной конструкции (температура одного из номинальных режимов пожара), °С;

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

θ_m – температура поверхности стальной конструкции, °С;

α_c – коэффициент конвекционного теплообмена, равный:

– для стандартного температурного режима и режима внешнего пожара – 25 Вт/м^{2}К;

– для углеводородного температурного режима – 50 Вт/м^{2}К.

Тепловой поток излучения на единицу площади поверхности конструкции $\dot{h}_{net,r}$ определяется по формуле:

$$\dot{h}_{net,r} = \Phi \cdot \varepsilon_f \cdot \varepsilon_m \cdot \sigma \cdot ((\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4)$$

где:

Ф – угловой коэффициент, равный в большинстве случаев 1;

ε_f – излучающая способность пламени, принимаемая 1;

σ – постоянная Больцмана, равная 5,67·10^{-8} Вт/м^{2}К^4;

θ_m – температура поверхности стальной конструкции, °С;

ε_m – степень поглощения поверхностью стальной конструкции теплового излучения, равная для углеродистой стали 0,7;

θ_r – эффективная температура излучения пожара (в случае, когда конструкция нагревается со всех сторон $\theta_r = \theta_g$), °С.

2.2.5 *Расчет стальной колонны профиля АС380х125х30х3,5*

Рассмотрим колонну в условия высокотемпературного воздействия со всех сторон. Согласно результатам предыдущего раздела $\theta_{cr} = 591{,}54\ °C$. Для площади сечения, постоянной по всей длине элемента, коэффициент сечения определяется как отношение периметра стальной конструкции к её площади сечения.

Коэффициент сечения незащищенной стальной конструкции:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{P}{A_g} = \frac{1366{,}60}{2310{,}63} = 0{,}591\ \text{мм}^{-1} = 591{,}2\ \text{м}^{-1}$$

Прямоугольный (коробчатый) коэффициент сечения стальных конструкций:

$$\left[\frac{A_m}{V}\right]_b = \frac{P_k}{A_g} = \frac{2 \cdot (125 + 380)}{2310{,}63} = 0{,}437\ \text{мм}^{-1} = 437{,}1\ \text{м}^{-1}$$

Для сечения формы швеллер коэффициент затенения:

$$k_{sh} = \frac{\left[\frac{A_m}{V}\right]_b}{\left[\frac{A_m}{V}\right]} = \frac{437{,}1}{591{,}2} = 0{,}739$$

$$\dot{h}_{net,c} = 25 \cdot \left(\theta_g - \theta_m\right)$$

$$\dot{h}_{net,r} = 1 \cdot 1 \cdot 0{,}7 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \cdot \left(\left(\theta_g + 273\right)^4 - (\theta_m + 273)^4\right)$$

Пример табличного расчета с шагом итерации $\Delta t = 1$ сек приведен в таблице 2.3.

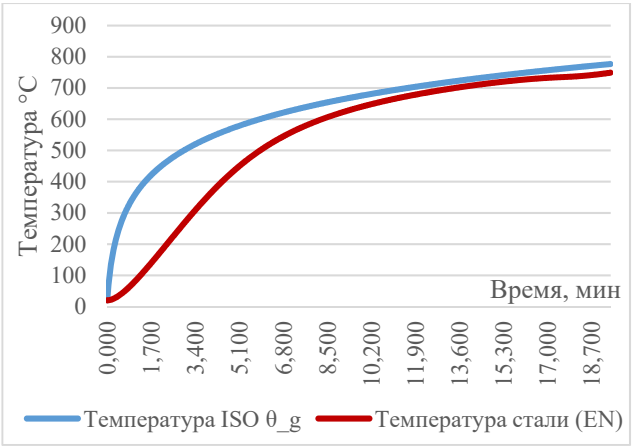


Рисунок 2.8. График прогрева незащищенной стальной конструкции

Таблица 2.3 – Расчет прогрева незащищенной стальной конструкции

№	t (мин)	ISO θ_g	θ_a	c_a	$\dot{h}_{net,c}$	$\dot{h}_{net,r}$	$\dot{h}_{net}$	$\Delta\theta_{a,t}$
0	0,000	20,00	20,00	439,80	0,0	0,0	0,0	0,000
1	0,017	39,11	20,00	439,80	477,6	84,9	562,6	0,071
2	0,034	56,05	20,07	439,85	899,4	174,1	1073,6	0,136
3	0,051	71,27	20,21	439,95	1276,5	266,7	1543,2	0,195
4	0,068	85,08	20,40	440,09	1617,0	361,7	1978,7	0,250
5	0,085	97,73	20,65	440,26	1927,0	458,7	2385,7	0,302
6	0,102	109,39	20,95	440,48	2211,0	557,2	2768,2	0,350
7	0,119	120,22	21,30	440,72	2472,8	656,7	3129,5	0,395
8	0,136	130,31	21,70	441,00	2715,2	757,1	3472,3	0,438
9	0,153	139,76	22,14	441,31	2940,6	858,0	3798,6	0,479
10	0,170	148,65	22,62	441,64	3150,9	959,3	4110,2	0,518
–	–	–	–	–	–	–	–	–
470	7,990	645,27	590,99	749,81	1357,1	6124,9	7482,0	0,556
471	8,007	645,58	591,54	750,42	1351,0	6106,4	7457,5	0,553
472	8,024	645,90	592,10	751,03	1345,0	6088,0	7433,1	0,551
473	8,041	646,21	592,65	751,64	1339,1	6069,8	7408,8	0,549
474	8,058	646,52	593,20	752,25	1333,1	6051,5	7384,7	0,547
475	8,075	646,83	593,74	752,86	1327,2	6033,4	7360,7	0,544

Расчетная температура прогрева стали начинает превышать критическую температуру начиная с 8,007 минуты, что соответствует расчетному пределу огнестойкости R8.

2.3 Расчет огнестойкости стальных конструкций с использованием средств огнезащиты

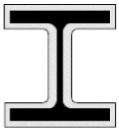
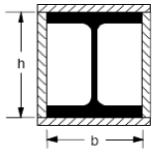
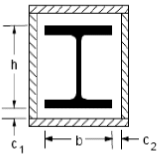
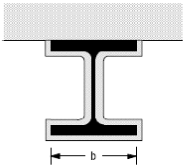
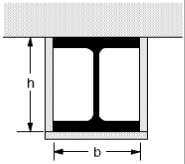
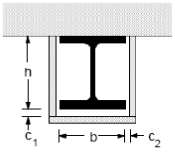
2.3.1 *Профильный коэффициент сечения конструкций с огнезащитой A_p/V*

Для проведения расчетов по определению предела огнестойкости стальных конструкций, покрытых огнезащитными материалами, используется коэффициент сечения A_p/V, равный отношению площади A_p огнезащитного материала в единице длины конструкции к ее объему V в той же единице длины.

За площадь огнезащитного материала A_p обычно принимается площадь его внутренней поверхности. При облицовке с зазорами может быть использовано значение площади как для полых облицовок без зазоров (Таблица 2.4).

Коэффициент сечения стальных конструкций, покрытых огнезащитным материалом A_p/V, является аналогом профильного и коробчатого коэффициентов сечения стальных конструкций. Некоторые расчетные значения коэффициентов согласно §4.2.5.2, таблица 4.3 EN 1993-1-2 A_p/V приведены в Таблице 2.4.

Таблица 2.4. Профильный коэффициент сечения стальной конструкции с огнезащитой

Схематический чертеж	Описание конструкции	Коэффициент сечения (A_p/V)
	Облицовка одинаковой толщины по контуру	$\frac{\text{периметр стальной конструкции}}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$
 	Полая облицовка одинаковой толщины[1]	$\frac{2\cdot(b+h)}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$ Размеры зазоров c_1 и c_2, не должны превышать $h/4$.
	Облицовка одинаковой толщины по контуру, воздействие пожара с трех сторон периметра стальной конструкции	$\frac{\text{периметр стальной конструкции} - b}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$
Схематический чертеж	Описание конструкции	Коэффициент сечения (A_p/V)
 	Полая облицовка одинаковой толщины, воздействие пожара с трех сторон[1]	$\frac{2h+b}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$ Размеры зазоров c_1 и c_2, не должны превышать $h/4$.

2.3.2 *Расчетный предел огнестойкости стальной конструкции с огнезащитой*

В случае равномерного распределения температуры в поперечном сечении стальной огнезащищенной конструкции, увеличение температуры $\Delta\theta_{\alpha,t}$ за промежуток времени Δt определяется из следующего выражения (§4.2.5.2, EN 1993-1-2):

$$\Delta\theta_{\alpha,t} = \frac{\lambda_p \frac{A_p}{V}}{d_p c_a \rho_a} \cdot \frac{\left(\theta_{g,t} - \theta_{a,t}\right)}{\left(1 + \frac{\varphi}{3}\right)} \cdot \Delta t - \left(e^{\frac{\varphi}{10}} - 1\right) \cdot \Delta\theta_{g,t}$$

$$\left(\Delta\theta_{\alpha,t} \geq 0 \text{ при } \theta_{g,t} > 0\right), \text{где}$$

$$\varphi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} d_p \frac{A_p}{V}$$

A_p/V — коэффициент сечения для стальных конструкций, изолированных огнезащитным материалом ($м^{-1}$);

c_a — удельная теплоемкость стали (Дж/(кг К));

c_p — удельная теплоемкость огнезащитного материала, не зависящая от температуры (Дж/(кг К));

d_p — толщина огнезащитного материала (м);

Δt — промежуток времени (с), не более 30 с;

$\theta_{a,t}$ — температура стали в момент времени t (°C);

$\theta_{g,t}$ — температура окружающего газа в момент времени t (°C);

$\Delta\theta_{g,t}$ — увеличение температуры окружающего газа за промежуток времени Δt (K);

λ_p — коэффициент теплопроводности огнезащиты (Вт/(м К));

ρ_a — плотность стали ($кг/м^3$);

ρ_p — плотность огнезащитного материала ($кг/м^3$).

Формула расчета $\Delta\theta_{\alpha,t}$ не учитывает влияние воды, содержащейся в огнезащитных материалах. Испарение воды в результате огневого воздействия вызывает замедление прогрева стальных конструкций при достижении температуры стали 100°C.

Формула определения прироста температуры $\Delta\theta_{\alpha,t}$ защищенной стальной конструкции может быть преобразована в следующее выражение:

$$\Delta\theta_{\alpha,t} = \frac{A_p}{V}\frac{\lambda_p}{d_p}\cdot\frac{\left(\theta_{g,t}-\theta_{a,t}\right)}{c_a\rho_a\left(1+\frac{\varphi}{3}\right)}\cdot\Delta t - \left(e^{\frac{\varphi}{10}}-1\right)\cdot\Delta\theta_{g,t}$$

В качестве упрощенного подхода к определению прироста температуры $\Delta\theta_{\alpha,t}$ коэффициент φ может быть принят равным 0. В этом случае формула преобразуется как:

$$\Delta\theta_{\alpha,t} = \frac{A_p}{V}\frac{\lambda_p}{d_p}\cdot\frac{\left(\theta_{g,t}-\theta_{a,t}\right)}{c_a\rho_a}\cdot\Delta t$$

Выражение $\frac{A_p}{V}\frac{\lambda_p}{d_p}$ называется термическим (тепловым) коэффициентом сечения конструкции и характеризует огнезащиту конструкции. Применение номограммы рассмотрено в последующих разделах настоящего пособия.

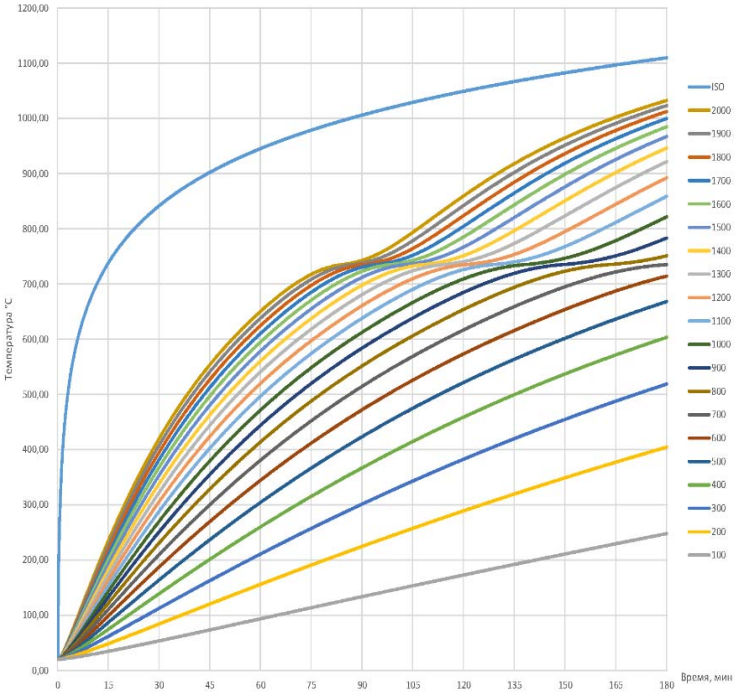


Рисунок 2.9. Номограмма зависимости температуры огнезащищенных стальных конструкций с различными коэффициентами сечения от времени при воздействии стандартного температурного режима

2.3.3 *Расчет колонны АС380х125х30х3,5 с МБОР-16Ф*

Расчетная схема и свойства огнезащиты

Рассмотрим колонну с огнезащитой из минераловатных плит МБОР-16Ф в условия высокотемпературного воздействия со всех сторон. Согласно результатам предыдущего раздела $\theta_{cr} \approx 600\ °C$.

Огнезащита МБОР-16Ф представляет собой рулонный фольгированный материал из базальтовых супертонких волокон. Внутренне заполнение пространства профиля является воздушной прослойкой.

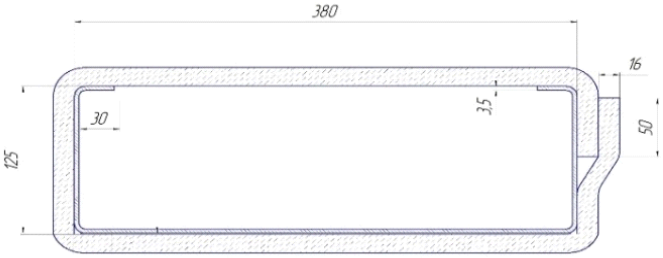


Рисунок 2.10. Расчетная схема сечения

Теплотехнические свойства огнезащиты:

Удельная теплоемкость c_p при температуре огнезащиты θ_p (°С) согласно СТО АРСС [31]:

$$c_p = 582 + 0{,}63\left(\theta_p + 273\right) = 754 + 0{,}63 \cdot \theta_p \quad \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$$

Теплопроводность λ_p при температуре огнезащиты θ_p (°С) на основе анализа данных производителя:

$$\lambda_p = 0{,}0284 + 0{,}0002 \cdot \theta_a \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Плотность огнезащиты

$$p_p = 100 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Общий метод расчета конструкции с огнезащитой

Площадь огнезащитного материала A_p принимается как площадь его внутренней поверхности.

$$\frac{A_p}{V} = \left[\frac{A_m}{V}\right]_b = \frac{2 \cdot (125 + 380)}{2310{,}63} = 0{,}437\ \text{мм}^{-1} = 437{,}1\ \text{м}^{-1}$$

Еврокоды предписывают принимать удельную теплоемкость огнезащитного материала, не зависящими от температуры при 20°С. Теплопроводность изменяется по закону, указанному в разделе теплотехнических свойств огнезащиты. Температуру огнезащиты в каждый момент времени получаем путем усреднения температуры стали и температуры наружного воздуха в рамках проводимой итерации. Шаг итерации принят равным 1 с (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Расчет прогрева стальной конструкции с огнезащитой

№	t (мин)	ISO θ_g	$\Delta\theta_{g,t}$	θ_α	c_a	λ_p	φ	$\Delta\theta_{\alpha,t}$
0	0,00	20,00	0,00	20,00	439,80	0,03	0,00	0,000
1	0,05	70,41	50,41	20,00	439,80	0,04	0,16	-0,746
2	0,10	108,07	37,65	19,25	439,27	0,04	0,16	-0,507
3	0,15	138,14	30,07	18,75	438,91	0,04	0,16	-0,352
4	0,20	163,17	25,03	18,39	438,66	0,05	0,16	-0,240
5	0,25	184,61	21,44	18,15	438,49	0,05	0,16	-0,153
–	–	–	–	–	–	–	–	–
670	33,50	858,26	0,22	598,98	758,76	0,17	0,09	0,601
671	33,55	858,49	0,22	599,58	759,44	0,17	0,09	0,600
672	33,60	858,71	0,22	600,18	760,34	0,17	0,09	0,599
673	33,65	858,93	0,22	600,78	760,75	0,17	0,09	0,598
674	33,70	859,15	0,22	601,38	761,17	0,17	0,09	0,597
675	33,75	859,37	0,22	601,98	761,59	0,17	0,09	0,596

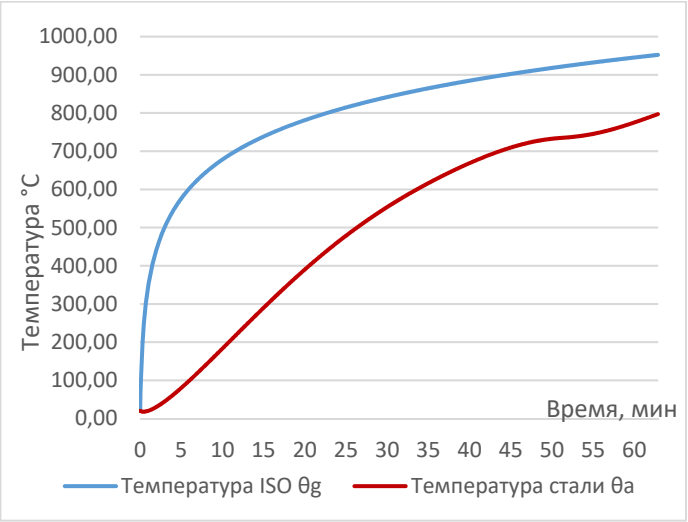


Рисунок 2.11. График прогрева огнезащищённой стальной конструкции

Расчетная температура прогрева стали начинает превышать критическую температуру, начиная с 33,5 минуты. Расчетный предел огнестойкости равен R33.

2.3.4 *Расчет с помощью термического коэффициента*

Также рассмотрим колонну из профиля АС380х125х30х3,5 согласно [30] с огнезащитой из минераловатных плит МБОР-16Ф (с заполнением зазора воздушной прослойкой), в условиях высокотемпературного воздействия со всех сторон (Рисунок 2.12). Согласно таблице 21 [1] предел огнестойкости несущих колонн в зданиях III степени огнестойкости равен R 45.

1. Критическая температура

$$\theta_{cr} = 591{,}54\ °C \approx 600\ °C$$

2. Коэффициент сечения для стальных конструкций, изолированных огнезащитным материалом

$$\frac{A_p}{V} = \left[\frac{A_m}{V}\right]_b = \frac{2 \cdot (125 + 380)}{2336} = 0{,}437\ \text{мм}^{-1} = 437\ \text{м}^{-1}$$

3. Толщина огнезащиты

$$d_p = 16\ \text{мм} = 0{,}016\ \text{м}$$

4. Коэффициент теплопроводности огнезащиты

Определяем усредненное значение коэффициента теплопроводности материала для диапазона температур пожара

$$\lambda_p = 0{,}0284 + 0{,}0002 \cdot \theta_a \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

Так как коэффициент теплопроводности изменяется линейно, проводим его усреднение при помощи допущения, что средняя температура прогрева внутри огнезащиты будет $\theta_a = 450\ °C$ (900 – максимальная внешняя температура для 45 минут огневого воздействия, 20 – минимальная температура).

$$\lambda_p = 0{,}0284 + 0{,}0002 \cdot 450 = 0{,}1184 \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$$

$$\frac{A_p}{V}\frac{\lambda_p}{d_p} = \frac{400 \cdot 0{,}1184}{0{,}016} = 2960 \approx 3000$$

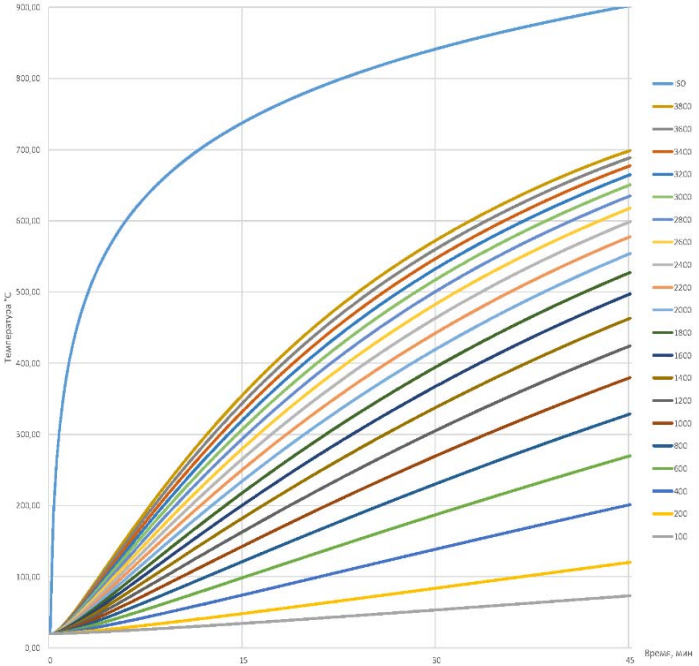


Рисунок 2.12. Модифицированный фрагмент номограммы 2.9 для предела огнестойкости 45 мин для профилей с термическим коэффициентом до 3000.

По оси ординат находим критическую температуру и проводим горизонтальную линию до пересечения с кривой с соответствующим термическим коэффициентом. Из точки пересечения проводим вертикальную линию до пересечения с осью абсцисс, что и является расчетным пределом огнестойкости (примерно 33 минуты), значение близко к пределу огнестойкости, полученному в ходе полного расчета несущей конструкции.

Требуемый предел огнестойкости равен 45 минут > 33 минут, таким образом, необходимо увеличить толщину огнезащиты.

Анализируя номограмму рис. 2.12, видим, что наименьшее значение термического коэффициента $\frac{A_p}{V}\frac{\lambda_p}{d_p} = 2400$.

Требуемая толщина огнезащиты:

$$d_p = \frac{\lambda_p \frac{A_p}{V}}{2400} = \frac{400 \cdot 0{,}1184}{2400} = 0{,}0197 \text{ м} \approx 20 \text{ мм}$$

2.3.5 *Моделирование и расчет требуемой огнезащиты*

В данной монографии для анализа температурного градиента сечения использовался модуль Hydra программного комплекса SOFiSTiK (ver. 2020). Ввод данных осуществлялся через текстовый редактор Teddy.

При моделировании рассматривался стандартный режим [26].

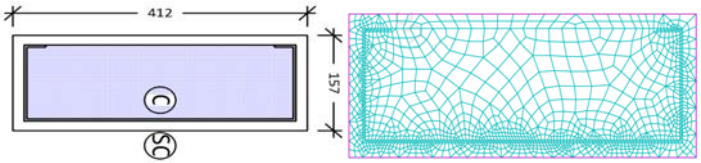
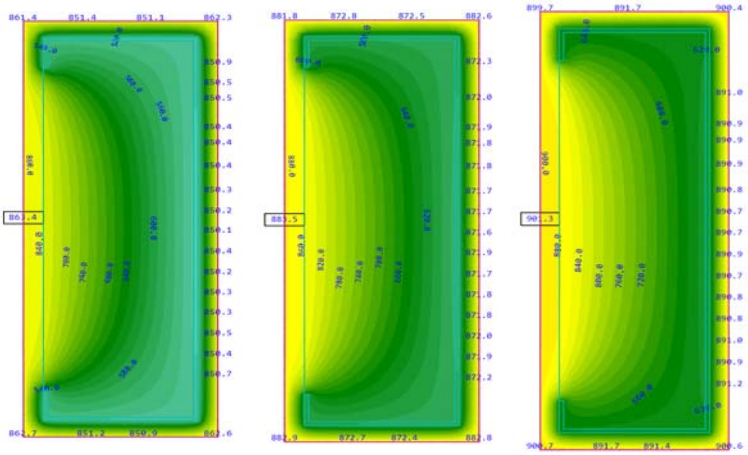


Рисунок 2.13. Расчетная схема конструкции

Моделируемые температурные распределения для рассматриваемых моментов времени приведены на рисунке 2.14.



35 минут 40 минут 45 минут

Рисунок 2.14. Моделирование температурного градиента

Как видно из результатов расчета, конечно-элементное моделирование показывает достижение критической температуры стенкой и полками сечения в диапазон между 40 и 45 минут. Для уточнения результатов можно сделать промежуточные расчеты.

Расчетный предел огнестойкости равен R40-R45. Для подтверждения и уточнения результатов необходимо провести огневые испытания.

3. ВАЛИДАЦИЯ РАСЧЕТОВ С ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

3.1 Двутавровое сечение 380х260 без огнезащиты

Расчетная схема

В качестве колонны без огнезащиты рассмотрим сечение, состоящее из двух С-образных профилей 380х125х30х3.5, соединенных через фланец 10 мм болтовым креплением (рис. 3.1). Закрепление предусмотрено жесткое с одного конца и шарнирное с другого согласно ГОСТ Р 53295-2009 [3].

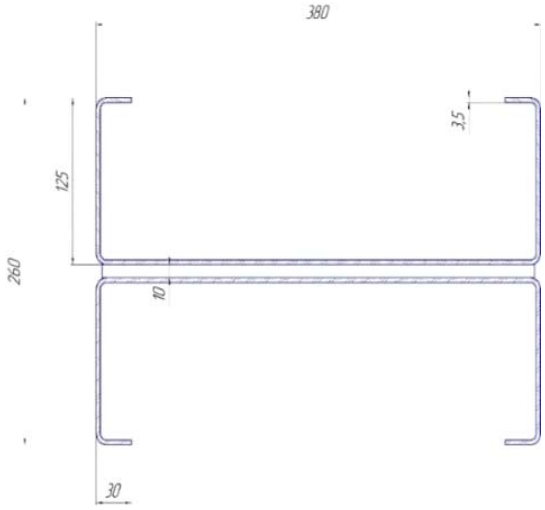


Рисунок 3.1. Схема расчета составного сечения

Эффективные характеристики профиля при работе на сжатие представлены в таблице 1.3 настоящего пособия.

$$A_g{}^I = 2 \cdot 2310{,}63 = 4621{,}26 \text{ мм}^2 = 46{,}21 \text{ см}^2$$

$$A_{eff}{}^I = 2 \cdot 1251{,}77 = 2503{,}54 \text{ мм}^2 = 25{,}04 \text{ см}^2$$

Наименьший момент инерции сечения относительно оси Z. Так как сечение симметричное, новое положение нейтральной Z-оси проходит через центр симметрии сечения.

$$I_{eff}{}^I = 2 \cdot \left[I_{eff,z} + A_g \left(y_c + \frac{t}{2} + \frac{a}{2} \right)^2 \right] = 2 \cdot \left[246{,}87 + 23{,}11 \cdot \left(3{,}86 + \frac{0{,}35}{2} + \frac{1{,}0}{2} \right)^2 \right]$$

$$I_{eff}{}^I = 1444{,}17 \text{ см}^4$$

Статическая задача

Несущая функция стальной конструкции принимается сохраняющейся по истечении времени t для заданного режима пожара при выполнении условия:

$$E_{fi,d} < R_{fi,d}$$

Сопротивление воздействиям для сжатых конструкций должно проверяться с использованием уравнений, приведенных в разделе 1.3, в которых площадь, заменяется расчетной площадью, а сопротивление изгибающему моменту заменяется расчетным сопротивлением.

— расчетное значение результата воздействий при пожаре, определяется в соответствии с EN 1991-1-2 с учетом влияния температурного расширения и деформаций;

$E_{fi,d}$ — расчетное значение результата воздействий при пожаре, определяется в соответствии с EN 1991-1-2 с учетом влияния температурного расширения и деформаций;

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} \cdot E_d$$

E_d — расчетное значение соответствующей силы или момента при нормальной температуре, для основных сочетаний воздействий согласно EN 1990

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения при пожаре. В нашем случае принимаем его равным 1, так как нагрузка собирается не на основании статистических данных, а приложена фактически.

$$E_{fi,d} = 1 \cdot N = 304{,}0 \text{ кН}$$

$R_{fi,d}$ — соответствующее расчетное значение сопротивления при пожаре в момент времени t=0;

$$R_{fi,d,t} = N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A_{eff} k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

A_{eff} – эффективная площадь сечения тонкостенной конструкции.

χ_{fi} – понижающий коэффициент в случае потери устойчивости для расчетного пожара

Критическая сила Эйлера

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E_0 \cdot J_{min}}{l_0^2} = \frac{3{,}14^2 \cdot 210\ \ 000 \cdot 10^6 \cdot 1444{,}17 \cdot 10^{-8}}{(0{,}7 \cdot 3)^2} = 6{,}79 \cdot 10^6 \ \text{Н}$$

Условная гибкость при нормальной температуре

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} = \sqrt{\frac{2503{,}54 \cdot 10^{-6} \cdot 350 \cdot 10^6}{6{,}79 \cdot 10^6}} = 0{,}359$$

При огневом воздействии для кривой потери устойчивости коэффициент несовершенства α.

$$\alpha = 0{,}65\sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0{,}65\sqrt{\frac{235}{350}} = 0{,}533$$

Условная гибкость при достижении температуры θ_a

$$\overline{\lambda_\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right]^{0.5}$$

$k_{y,\theta}$ — коэффициент снижения предела текучести стали при температуре θ_a, достигаемой в момент времени t;

$k_{E,\theta}$ — коэффициент снижения угла наклона прямолинейного участка области упругих деформаций при достижении сталью температуры θ_a в момент времени t.

Пример расчета 1ой строки

$$\overline{\lambda_\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}\right]^{0.5} = \overline{\lambda_\theta} = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{1}{1}\right]^{0.5} = \bar{\lambda} = 0{,}359$$

$$\varphi_\theta = \frac{1}{2}\left[1 + \alpha\overline{\lambda_\theta} + \overline{\lambda_\theta}^2\right] = \frac{1}{2}[1 + 0{,}533 \cdot 0{,}359 + 0{,}359^2] = 0{,}660$$

Коэффициент устойчивости:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_\theta + \sqrt{{\varphi_\theta}^2 - \overline{\lambda_\theta}^2}} = \frac{1}{0{,}660 + \sqrt{0{,}660^2 - 0{,}359^2}} = 0{,}824$$

Расчетная несущая способность:

$$R_{fi,d,t} = N_{b,fi,t,rd} = \frac{0{,}824 \cdot 2503{,}54 \cdot 1{,}0 \cdot 350}{1{,}0} \approx 721{,}69 \ \text{кН}$$

Таблица 3.1 – Расчетная таблица снижения несущей способности

θ_a	$k_{y,\theta}$	$k_{p,\theta}$	$k_{E,\theta}$	$\overline{\lambda_\theta}$	φ_θ	χ_{fi}	$R_{fi,d,t}$
20	1,0000	1,0000	1,0000	0,359	0,660	0,824	721,69
100	1,0000	1,0000	1,0000	0,359	0,660	0,824	721,69
200	0,8900	0,8070	0,9000	0,357	0,659	0,825	643,07
300	0,7800	0,6130	0,8000	0,355	0,657	0,826	564,43
400	0,6500	0,4200	0,7000	0,346	0,652	0,830	472,74
500	0,5300	0,3600	0,6000	0,338	0,647	0,834	387,40
600	0,3000	0,1800	0,3100	0,353	0,657	0,826	217,26
700	0,1300	0,0750	0,1300	0,359	0,660	0,824	93,82
800	0,0700	0,0500	0,0900	0,317	0,635	0,844	51,79
900	0,0500	0,0375	0,0675	0,309	0,630	0,848	37,15
1000	0,0300	0,0250	0,0450	0,293	0,621	0,856	22,49
1100	0,0200	0,0125	0,0225	0,339	0,648	0,834	14,61
1200	0	0	0	–	–	–	–

Критическая температура находится в промежутке 500-600°С при расчетной несущей способности 217,26<304,0 <387,40

Согласно линейной интерполяции критическая температура

$$\theta_{cr} = 500 + \frac{304{,}0 - 387{,}40}{217{,}26 - 387{,}40} \cdot (600 - 500) = 549{,}02 \ °C$$

Проверка расчетной несущей способности согласно вышеприведенному алгоритму. Значения коэффициентов определялись линейной интерполяцией.

Таблица 3.2. Подтверждающий расчет несущей способности

θ_a	$k_{y,\theta}$	$k_{p,\theta}$	$k_{E,\theta}$	$\overline{\lambda_\theta}$	φ_θ	χ_{fi}	$R_{fi,d,t}$
549,02	0,4173	0,2718	0,4578	0,343	0,650	0,832	304,04

Теплофизическая задача (Решение аналитическим методом)

Коэффициент сечения незащищенной стальной конструкции:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{P}{A_g} = \frac{2 \cdot (2 \cdot (125 + 30 + 3{,}5 + 26{,}5 + 121{,}5) + 373)}{4621{,}26} = \frac{1972{,}0}{4621{,}26}$$

$$\frac{A_m}{V} = 0{,}426 \text{ мм}^{-1} = 426{,}7 \text{ м}^{-1}$$

Прямоугольный (коробчатый) коэффициент сечения стальных конструкций равен:

$$\left[\frac{A_m}{V}\right]_b = \frac{P_k}{A_g} = \frac{2 \cdot (260 + 380)}{4621{,}26} = 0{,}277 \text{ мм}^{-1} = 276{,}9 \text{ м}^{-1}$$

Для сечения двутавровой формы коэффициент затенения:

$$k_{sh} = 0{,}9 \cdot \frac{\left[\frac{A_m}{V}\right]_b}{\left[\frac{A_m}{V}\right]} = 0{,}9 \cdot \frac{276{,}9}{426{,}7} = 0{,}584$$

θ_g – температура вблизи стальной конструкции (температура одного из номинальных режимов пожара), °С;

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

Поглощенный тепловой поток $\dot{h}_{net}$ на нагреваемых поверхностях должен быть определен с учетом конвекционного и лучевого теплообмена:

$$\dot{h}_{net} = \dot{h}_{net,c} + \dot{h}_{net,r}$$

где:

$\dot{h}_{net,c}$ – удельный тепловой поток, определяемый конвекцией;

$\dot{h}_{net,r}$ – удельный тепловой поток, определяемый излучением.

$$\dot{h}_{net,c} = 25 \cdot (\theta_g - \theta_a)$$

$$\dot{h}_{net,r} = 1 \cdot 1 \cdot 0{,}7 \cdot 5{,}67 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\left(\theta_g + 273\right)^4 - (\theta_a + 273)^4\right)$$

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

Решение теплофизической задачи аналитическим методом приводим в табличном виде.

Таблица 3.3 Расчет прогрева незащищенной стальной конструкции

№	t (мин)	ISO θ_g	θ_a	c_a	$\dot{h}_{net,c}$	$\dot{h}_{net,r}$	$\dot{h}_{net}$	$\Delta\theta_{a,t}$
–	–	–	–	–	–	–	–	–
525	8,925	661,61	548,66	707,03	2823,8	12234,6	15058,4	0,676
526	8,942	661,89	549,33	707,66	2813,9	12211,3	15025,2	0,674
527	8,959	662,17	550,01	708,29	2804,1	12188,0	14992,1	0,672
528	8,976	662,45	550,68	708,91	2794,3	12164,7	14959,0	0,670
529	8,993	662,73	551,35	709,54	2784,5	12141,5	14926,0	0,668
–	–	–	–	–	–	–	–	–

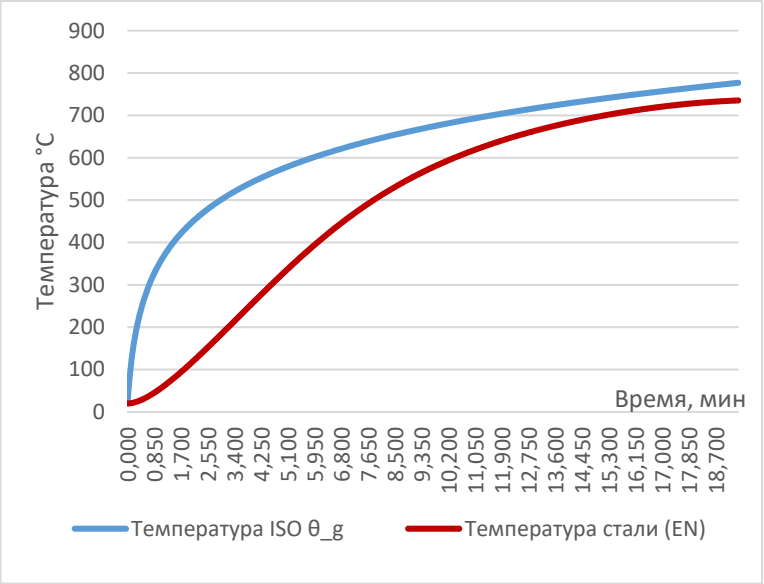


Рисунок 3.2. График роста температуры конструкции

Расчетная температура прогрева стали начинает превышать критическую температуру начиная с 8,942 минуты, что соответствует расчетному пределу огнестойкости R9.

Теплофизическая задача (метод конечно-элементного моделирования).

Значение в центре секции принималось в качестве расчетной температуры. Приняты две альтернативные модели: приложение огневого воздействия по ширине сечения непосредственно к стальному профилю и через воздушный зазор.

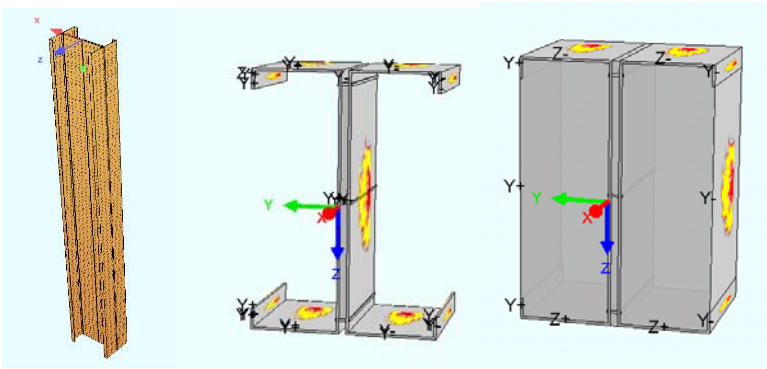


Рисунок 3.3. Смоделированные сечения образца

Результаты моделирования представляют собой графики с градиентом температуры по сечению (рис. 3.4).

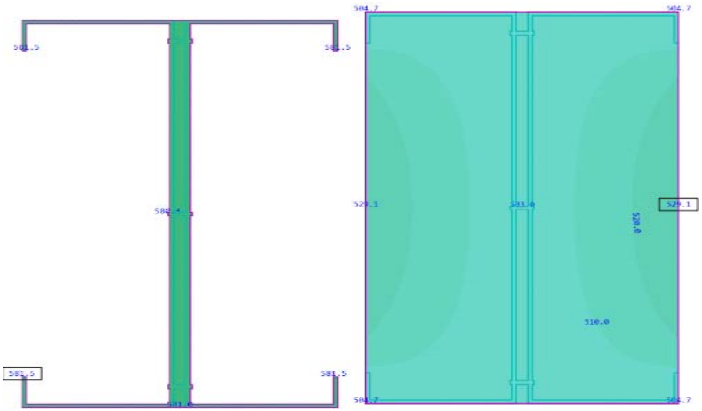


Рисунок 3.4. Градиент температуры для 1-го и 2-го варианта на 8й минуте

Расчетный предел огнестойкости при моделировании без учета воздушного зазора равен 7,440 минут, с учетом зазора – 9,231 минут.

3.2 Огневые испытания АО «ТИЗОЛ»

Компанией АО «ТИЗОЛ» на базе собственной испытательной лаборатории проведена серия огневых испытаний незащищенный профилей. На рис. 3.5 приводятся фотографии испытываемых образцов и диаграмма роста температуры огневых тестов.



Рисунок 3.5. Испытываемый образец до и после огневого воздействия

Испытываемый образец устанавливали в печную камеру, спроектированную согласно ГОСТ 30247.1-94. Критические деформации наблюдались на 09:33 минуте испытания. Максимальная температура образца составила 451,3 °С. Изменения температуры термопар печи и образца приводится на рисунке 3.6.

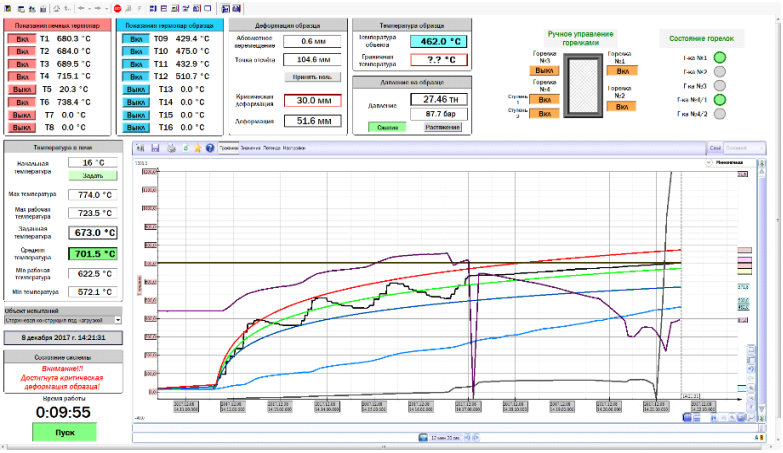


Рисунок 3.6. График изменения значения температур на термопарах. Красная и синяя линии – верхняя и нижние границы допуска температурного отклонения от кривой ISO; зеленая линия – заданная температура в печи; черная – средняя температура в печи; голубая – средняя температура нагрева образца

Сводная таблица решения статической, теплофизической задачи и результатов огневых испытаний представлена в таблице 3.4.

Наилучшую сходимость с фактическими результатами огневых испытаний показали расчеты согласно Европейскому стандарту EN 1993-1-2-2005 и моделирование (с учетом воздушного зазора), что обусловлено фактической реализацией теневого эффекта в рамках моделирования.

Таблица 3.4. Критические температурам и пределы огнестойкости незащищенного образца

Расчетный метод	EN 1993-1-2	Огневые испытания
Статическая задача, °C		
Критическая температура	547,27°C	451,3°C
Теплофизическая задача. Время (мин)		
Аналитический расчет	8,942	09:33
Моделирование (с учетом воздушного зазора)	9,231	
Традиционный вариант без учета затенения (российский стандарт)	7,055	
Моделирование (без учета воздушного зазора)	7,440	

Расчетные кривые огневого воздействия и фактические значения термопар показаны на рисунке 3.7.

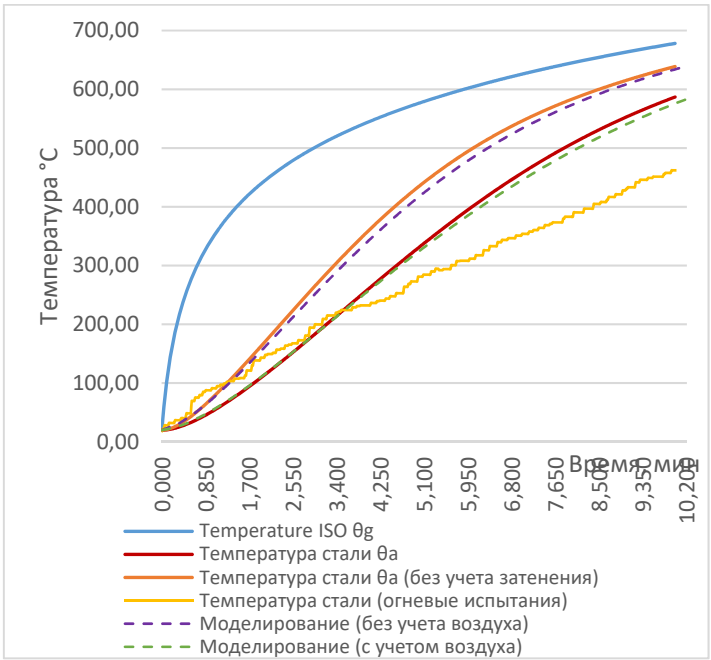


Рисунок 3.7. Кривые огневого воздействия (расчетные и фактические)

3.3 Расчет двутаврового сечения 380х260 с МБОР-16Ф

Расчетная схема

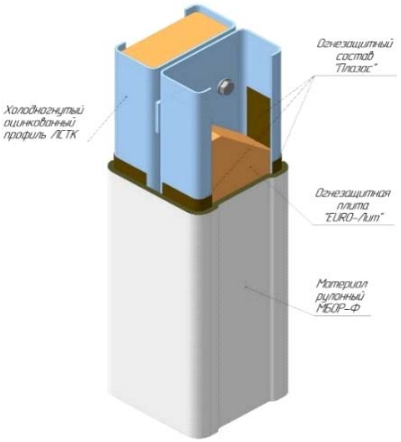


Рисунок 3.8. Решение огнезащиты колонн АО «ТИЗОЛ»

Рассмотрим решение огнезащиты колонн, представляемое компанией АО «ТИЗОЛ». Для упрощения расчетной схемы, а также в соответствии с программой огневых испытаний, представленной ниже, из расчета убираем огнезащитную плиту «Euro-Лит» и огнезащитный состав «Плазас».

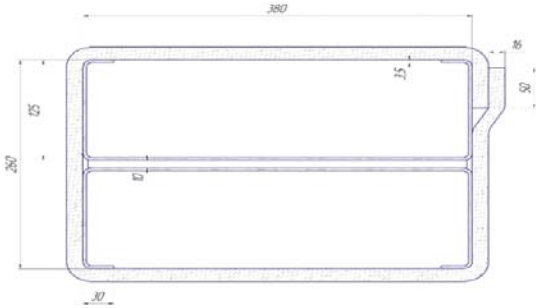


Рисунок 3.9. Расчётная схема составного сечения с огнезащитой

Площадь огнезащитного материала A_p принимается как площадь его внутренней поверхности.

$$\frac{A_p}{V} = \left[\frac{A_m}{V}\right]_b = \frac{2 \cdot (260 + 380)}{4621{,}26} = 0{,}277 \ \text{мм}^{-1} = 276{,}9 \ \text{м}^{-1}$$

3.3.1 *Решение аналитическим методом.*

Теплофизическая задача

Еврокод предписывает принимать удельную теплоемкость огнезащитного материала, не зависящими от температуры при 20°С. Теплопроводность изменяется по линейному закону теплотехнических свойств огнезащиты для материала МБОР. Шаг итерации $\Delta t = 1$ с.

Таблица 3.5 Расчет прогрева стальной конструкции с огнезащитой

№	t (мин)	ISO θ_g	$\Delta\theta_{g,t}$	θ_α	c_a	λ_p	φ	$\Delta\theta_{\alpha,t}$
–	–	–	–	–	–	–	–	–
1070	18,190	767,23	0,14	255,03	549,04	0,13	0,08	0,261
1071	18,207	767,37	0,14	255,29	549,13	0,13	0,08	0,261
1072	18,224	767,51	0,14	255,55	549,22	0,13	0,08	0,261
1073	18,241	767,65	0,14	255,81	549,31	0,13	0,08	0,261
1074	18,258	767,79	0,14	256,08	549,40	0,13	0,08	0,261
1075	18,275	767,93	0,14	256,34	549,49	0,13	0,08	0,261
–	–	–	–	–	–	–	–	–

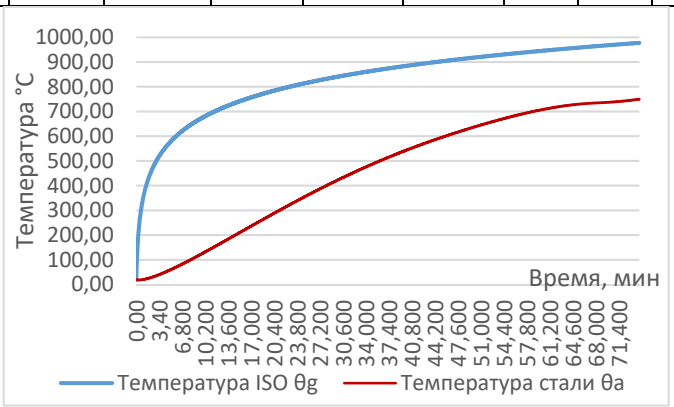


Рисунок 3.10. График роста температуры конструкции с огнезащитой

Расчетная температура прогрева стали начинает превышать критическую температуру, начиная с 40 минуты. Расчетный предел огнестойкости равен R40.

3.3.2 *Расчет при помощи термического коэффициента*

Термический коэффициент огнезащищённой конструкции равен:

$$\frac{A_p}{V}\frac{\lambda_p}{d_p} = \frac{276{,}9 \ \cdot 0{,}1184}{0{,}016} = 2049 \approx 2000$$

На номограмме (рис. 2.9), по оси ординат находим критическую температуру $\theta_{cr} \approx 550\ °C$ и проводим горизонтальную линию до пересечения с кривой с соответствующим термическим коэффициентом – 2000. Из точки пересечения проводим вертикальную линию до пересечения с осью абсцисс. Получаем расчетный предел огнестойкости – примерно 45 мин. Результат расходится с расчетным пределом огнестойкости, полученном в ходе общего расчета несущей конструкции.

3.3.3 *Решение в ПК SOFiSTiK (ver. 2020)*

Значение в центре секции принималось в качестве расчетной температуры. Приняты две альтернативные модели: приложение огневого воздействия по ширине сечения непосредственно к стальному профилю и через воздушный зазор.

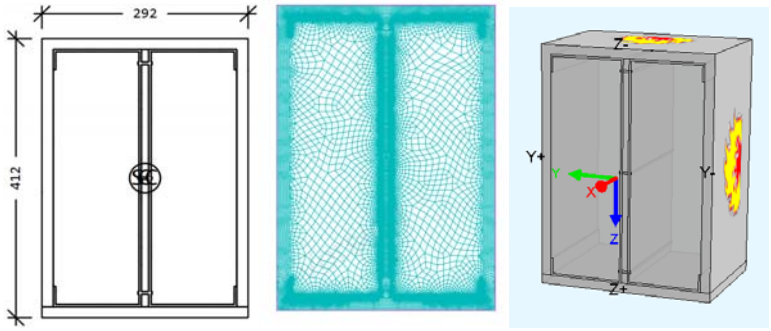


Рисунок 3.11. Смоделированные сечения образца

Результаты моделирования представляют собой графики с градиентом температуры по сечению (рис. 3.12). Расчетный предел огнестойкости для моделирования с учетом воздушного зазора составляет 80 минут.

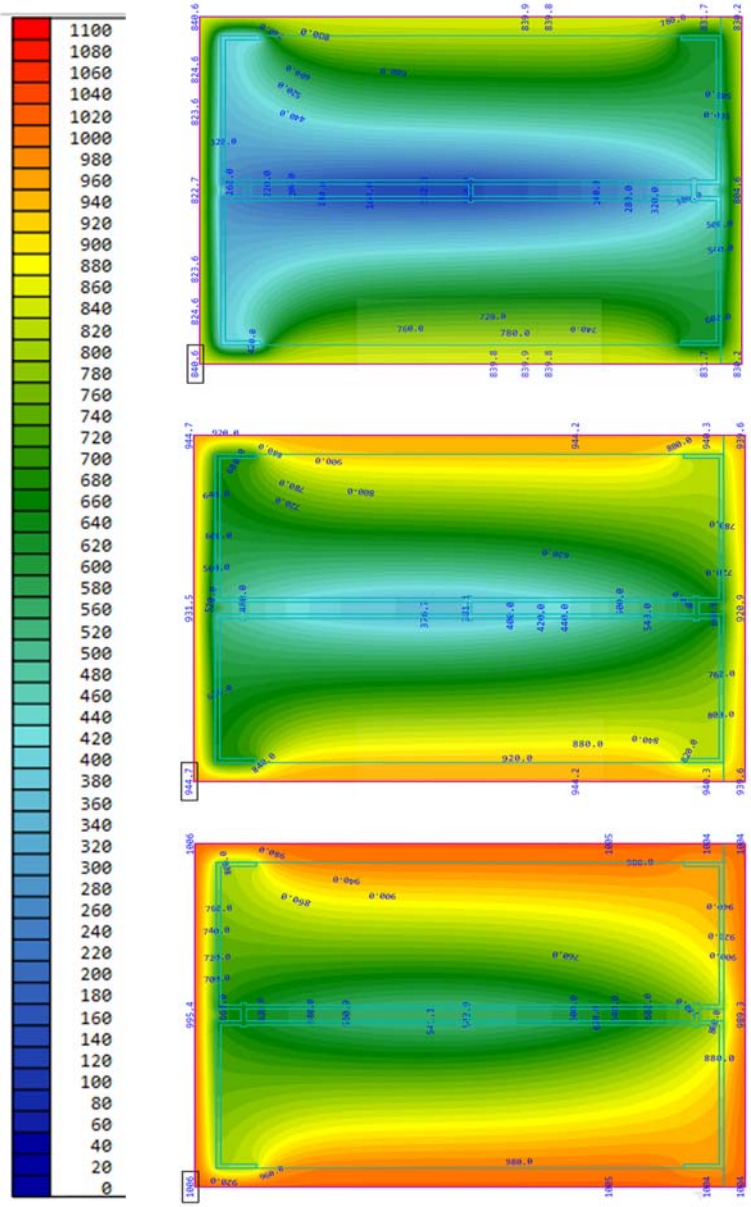


Рисунок 3.12. Градиент температуры на 30, 60 и 90 минуте

3.4 Огневые испытания АО «ТИЗОЛ»

Фотографии испытываемых образцов и диаграмма роста температуры натурных испытаний, проведенных компанией АО «ТИЗОЛ» представлены на рис. 3.13.

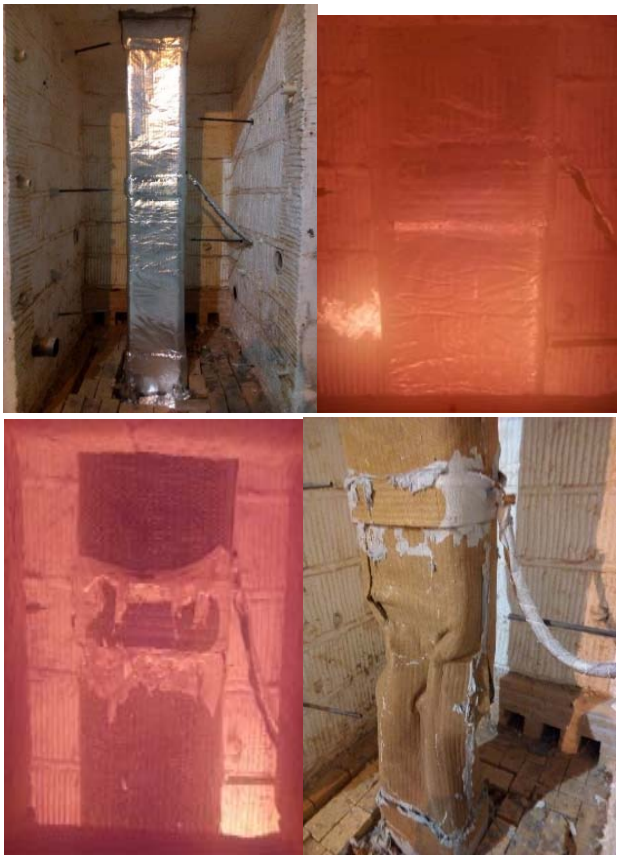


Рисунок 3.13. Испытываемый образец до и после огневого воздействия

Образец установлен в печную камеру [27]. Критические деформации наступили в 14:21:13 на 74:27 минуте испытания. Максимальная температура на одной из термопар 567,7°С, которую принимаем как критическую.

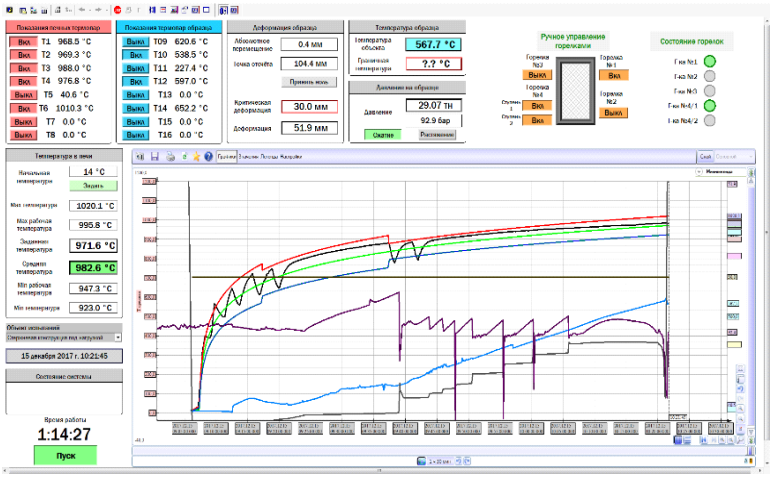


Рисунок 3.14. График изменения значения температур на термопарах. Красная и синяя линия – верхняя и нижняя границы допуска температурного отклонения от кривой ISO; зеленая линия – заданная температура в печи; черная – средняя температура в печи; голубая – средняя температура нагрева образца

Сводная таблица решения статической, теплофизической задачи и результатов огневых испытаний представлена в таблице 3.6.

Таблица 3.6. Сводные данные по критическим температурам и пределам огнестойкости

Расчетный метод	EN 1993-1-2	Огневые испытания
Статическая задача		
Критическая температура	547,27°C	567,7°C
Теплофизическая задача. Время (мин)		
Аналитический расчет	40	74:27
Расчет с помощью термического коэффициента	45	
Моделирование в программном комплексе	80	

Наилучшую сходимость с фактическими результатами огневых испытаний показало моделирование в программном комплексе, что обусловлено реализацией воздушного зазора в расчетной модели. Аналитические методы не могут принять в расчет инерцию материала и комплексного изменения теплофизических свойств.

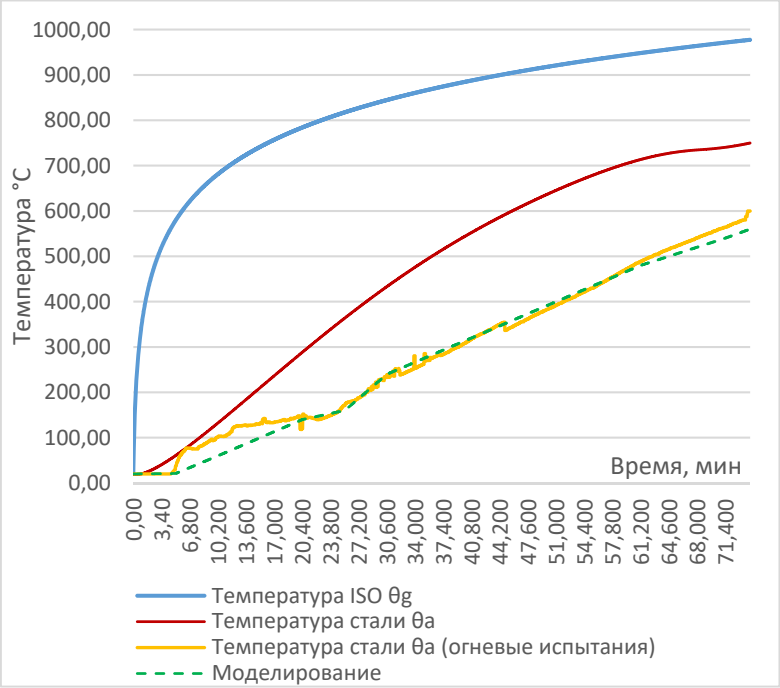


Рисунок 3.15. Кривые огневого воздействия (расчетные и фактические)

3.5 Расчет коробчатого сечения 380х260 с МБОР-16Ф

Расчетная схема

Рассмотрим сечение, состоящее из двух Σобразных профилей 245х80х20х2, соединенных через фланец 1,5 мм болтовым креплением (рис. 3.16). Закрепление колонны предусмотрено жесткое с одного конца и шарнирное с другого согласно ГОСТ Р 53295-2009.

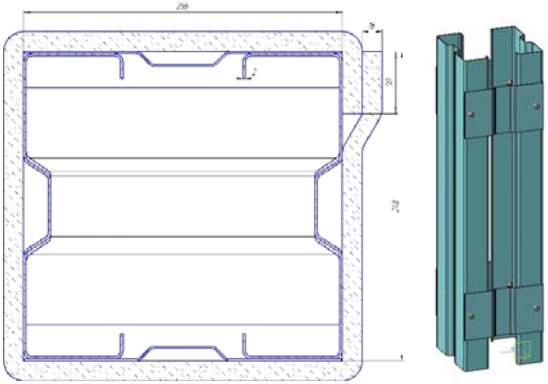


Рисунок 3.16. Расчётная схема составного сечения с огнезащитой

Таблица 3.7– Эффективные характеристики Σ-профиля на сжатие

Наименование	Усл. об	Эффект. значение с учетом закругления	Ед. изм
Площадь брутто	A_g	868,77	мм^2
Эффективная площадь	A_{eff}	693,91	мм^2
Момент инерции сечения относительно центральной оси z	I_z	396672,24	мм^4
Момент инерции сечения относительно центральной оси y	I_y	5326476,65	мм^4
Высота образца	L	3000	мм
Нагрузка	N	9,3 (91)	т (кН)

Эффективные характеристики профиля при работе на сжатие представлены в таблице 3.7 настоящего пособия.

$$A_g{}^I = 2 \cdot 868{,}77 = 1737{,}53 \text{ мм}^2 = 17{,}38 \text{ см}^2$$

$$A_{eff}{}^I = 2 \cdot 693{,}91 = 1387{,}82 \text{ мм}^2 = 13{,}88 \text{ см}^2$$

Наименьший момент инерции сечения относительно оси Z. Так как сечение симметричное, новое положение нейтральной Z-оси проходит через центр симметрии сечения.

$$I_{eff}{}^{I} = 2 \cdot \left[I_{eff,z} + A_g(0{,}5l - y_c)^2\right] = 2 \cdot \left[39{,}67 + 8{,}69 \cdot \left(\frac{25{,}6}{2} - 1{,}87\right)^2\right]$$

$$I_{eff}{}^{I} = 2152{,}80 \text{ см}^4$$

Критическая температура рассчитывалась при помощи полного метода аналитического расчета

$$\theta_{cr} = 651{,}2 \text{ °C}$$

Рассмотрим решение огнезащиты колонн, представляемое компанией АО «ТИЗОЛ» с огнезащитой МБОР-16Ф (см. также Приложение 5.3, 5.4). Для упрощения расчетной схемы, а также в соответствии с программой огневых испытаний, представленной ниже, из расчета убираем огнезащитную плиту «Euro-Лит» и огнезащитный состав «Плазас».

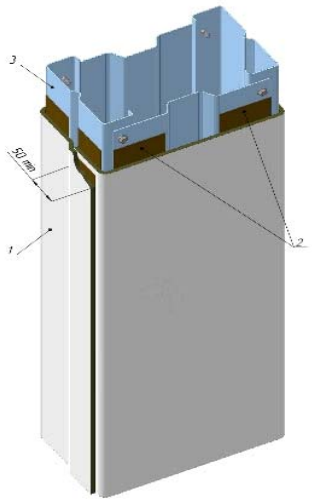


Рисунок 3.17. Решение огнезащиты колонн АО «ТИЗОЛ»

Площадь огнезащитного материала A_p принимается как площадь его внутренней поверхности.

$$\frac{A_p}{V} = \left[\frac{A_m}{V}\right]_b = \frac{2 \cdot (256 + 248)}{1737{,}53} = 0{,}580 \text{ мм}^{-1} = 580{,}13 \text{ м}^{-1}$$

3.5.1 *Решение аналитическим методом*

Теплофизическая задача

Еврокод предписывает принимать удельную теплоемкость огнезащитного материала не зависящими от температуры при 20°С. Теплопроводность изменяется по линейному закону. Шаг итерации принят 1 сек.

Таблица 3.8 – Расчет прогрева стальной конструкции с огнезащитой

№	t (мин)	ISO θ_g	$\Delta\theta_{g,t}$	θ_α	c_a	λ_p	φ	$\Delta\theta_{\alpha,t}$
–	–	–	–	–	–	–	–	–
190	9,50	670,84	0,78	212,60	534,29	0,12	0,17	1,305
191	9,55	671,62	0,78	213,91	534,75	0,12	0,17	1,304
192	9,60	672,39	0,77	215,21	535,21	0,12	0,17	1,304
193	9,65	673,16	0,77	216,52	535,67	0,12	0,17	1,304
194	9,70	673,92	0,76	217,82	536,14	0,12	0,17	1,304
195	9,75	674,68	0,76	219,13	536,59	0,12	0,17	1,304
–	–	–	–	–	–	–	–	–

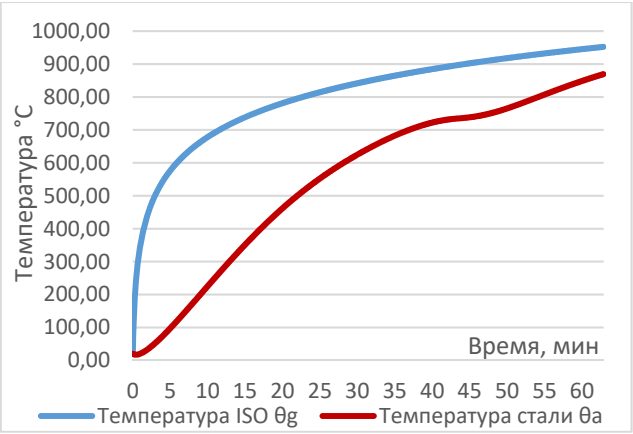


Рисунок 3.18. График роста температуры огнезащищенной конструкции

Расчетная температура прогрева стали начинает превышать критическую температуру начиная с 32 минуты. Расчетный предел огнестойкости равен R32.

3.5.2 *Расчет при помощи термического коэффициента*

Термический коэффициент конструкции с огнезащитой:

$$\frac{A_p}{V}\frac{\lambda_p}{d_p} = \frac{580{,}13 \ \cdot 0{,}1184}{0{,}016} = 4293 \approx 4300$$

В соответствии с укрупненной номограммой, представленной на рисунке 2.12., по оси ординат находим критическую температуру $\theta_{cr} \approx 650\ °C$ и проводим горизонтальную линию до пересечения с кривой с соответствующим термическим коэффициентом. В нашем случае коэффициент равен 4300. Из точки пересечения проводим вертикальную линию до пересечения с осью абсцисс. Это и будет расчетный предел огнестойкости. В нашем случае он равен примерно 37 минутам. Результат близок к расчетному пределу огнестойкости, полученному в ходе общего расчета несущей конструкции.

3.5.3 *Решение в ПК SOFiSTiK (ver. 2020)*

Значение температуры стального профиля принималось в качестве расчетной температуры. Внутреннее заполнение профиля – воздух.

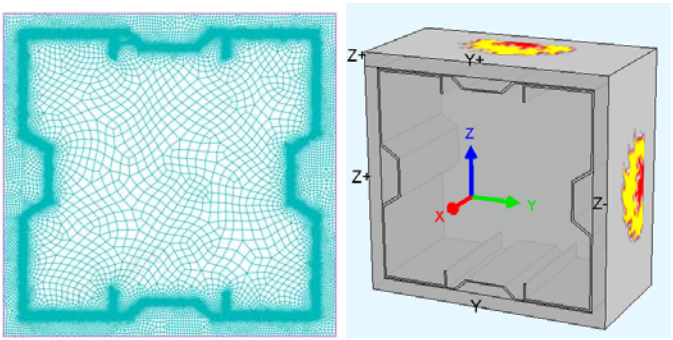


Рисунок 3.19. Смоделированные сечения образца

Результаты моделирования представляют собой графики с градиентом температуры по сечению (рис. 3.20). Расчетный предел огнестойкости для моделирования с учетом воздушного без зазора составляет 50 минут.

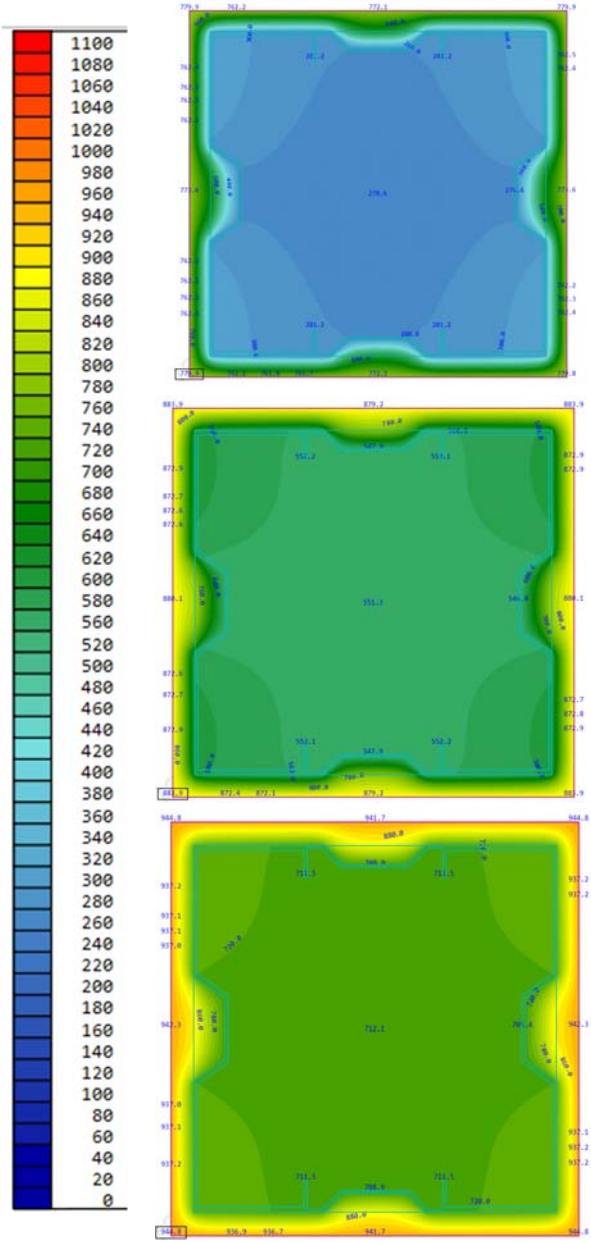


Рисунок 3.20. Градиент температуры на 20, 40 и 60 минуте

3.6 Огневые испытания образцов 380х260 с МБОР-16Ф

Фотографии испытываемых образцов и диаграмма роста температуры испытаний, проведенных компанией АО «ТИЗОЛ».



Рисунок 3.21. Испытываемый образец до и после огневого воздействия

Испытываемый образец установлен в печную камеру, устроенную согласно ГОСТ 30247.1-94. Критические деформации наступили на 57:10 минуте испытания. Средняя температура объекта в момент наступления критических деформаций равна 624,5°С.



Рисунок 3.22. График изменения значения температур на термопарах. Красная и синяя линия – верхняя и нижняя границы допуска температурного отклонения от кривой ISO; зеленая линия – заданная температура в печи; черная – средняя температура в печи; голубая – средняя температура нагрева образца

Сводная таблица решения статической, теплофизической задачи и результатов огневых испытаний представлена в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Критическая температура и параметры пределов огнестойкости

Расчетный метод	EN 1993-1-2	Огневые испытания
Статическая задача		
Критическая температура	653,0°C	624,5°C
Теплофизическая задача. Время (мин)		
Аналитический расчет	32	57:10
Расчет с помощью термического коэффициента	37	
Моделирование в программном комплексе	50	

Наилучшую сходимость с фактическими результатами огневых испытаний показало моделирование в программном комплексе. Это обусловлено реализацией внутреннего воздушного зазора и учетом конвективных эффектов в расчетной модели.

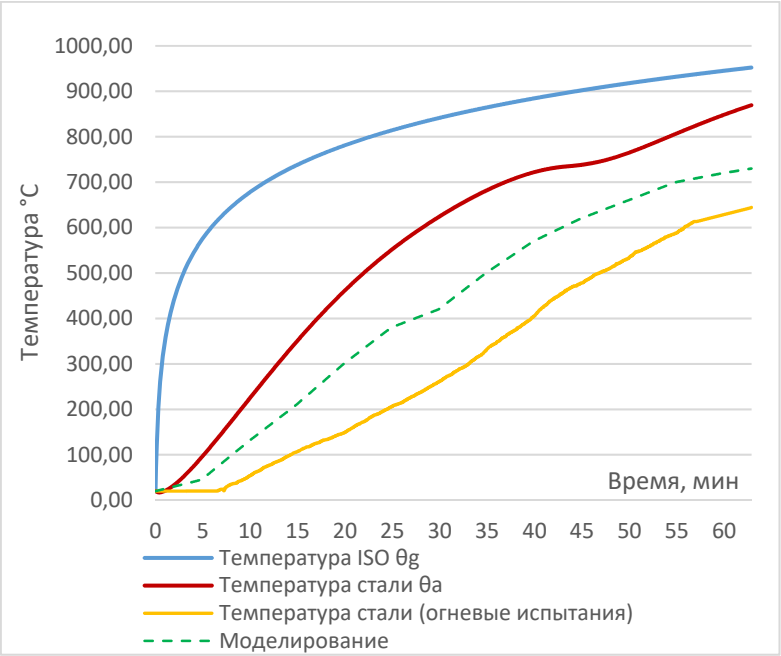


Рисунок 3.23. Кривые огневого воздействия (расчетные и фактические)

3.7 Валидация модели каркасной стены с панелями КНАУФ-Файерборд

В рамках исследовательской работы проведено обоснование применимости конструктивного решения стены с несущим каркасом из ЛСТК, заполнителем из минераловатных плит и обшивкой из плит КНАУФ-Файерборд в зданиях II степени огнестойкости с пределом огнестойкости несущих конструкций REI 90.

Объектом исследования являлась внутренняя несущая стена толщиной 190 мм с каркасом из стальных С-образных профилей

ТС-200-1.5 с размерами 200х50х1.5 с заполнителем из минераловатных плит 4х50 мм плотностью 40-50 кг/м^3. По обеим сторонам производится подшивка трех слоев плиты КНАУФ-Файерборд толщиной 12.5 мм (3х12.5=37.5). В расчетной схеме крепежными соединениями из клеевых составов и самонарезающихся шурупов можно пренебречь. Испытываемый образец имеет размеры 3000х1600х275 мм (рис. 3.24).

Сверху приложена нагрузка 80,0 кН/п.м (8,0 т/п.м.), суммарная нагрузка на образец 128,0 кН/м (12,8 т/м.). Нагрузка передаётся на 4 несущие стойки панели, идущие с шагом 500-600-500 мм (на центральную стойку нагрузка 7.04 т).

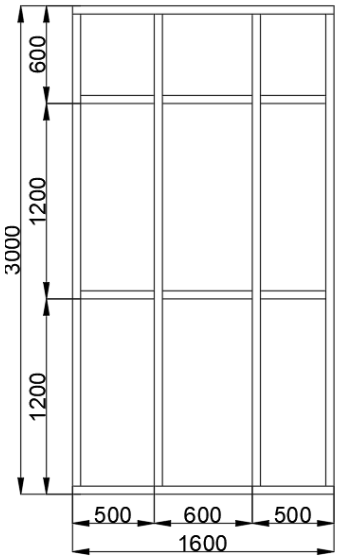


Рисунок 3.24. Схема испытываемого образца стены

Для моделирования рассматриваем центральный фрагмент стены, включающий в себя несущую стойку каркаса (рис.3.25).

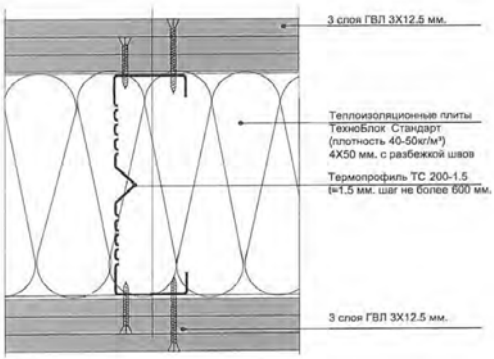


Рисунок 3.25. Моделируемый фрагмент образца стены

Для предварительной оценки огнестойкости конструкции производится статический расчет, основанный на определении времени достижения критической температуры строительной конструкции. Под критической температурой понимается температура нагрева сечения конструкции, при которой ожидается наступление предельного состояния по признаку R за счет потери прочности или устойчивости конструкции.

Критическая температура определяется как наименьшая величина из двух, соответствующих вычисленным коэффициентам.

$$\theta_{cr} \approx 560\ ^{\circ}C$$

Теплотехнические характеристики материалов согласно [33]:

Коэффициент теплопроводности λ_t $\left[\frac{\text{Вт}}{\text{м·К}}\right]$ изменяется по формуле

$$\lambda_t = A + Bt$$

Где:

A – начальный коэффициент теплопроводности, $\frac{\text{Вт}}{\text{м·К}}$

B – коэффициент изменения теплопроводности при нагреве, $\frac{\text{Вт}}{\text{м·К}^2}$

t – температура прогрева материала, К

Коэффициент теплоемкости c_t $[\frac{\text{Дж}}{\text{кг·К}}]$ изменяется по формуле:

$$c_t = C + Dt$$

где:

C – начальный коэффициент теплоемкости, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг·К}}$

D – коэффициент изменения теплоемкости при нагреве, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг·К}^2}$

t – температура прогрева материала, К

Таблица 3.10. Коэффициенты теплотехнических характеристик материалов

№	Мин. вата	КНАУФ-Файерборд
A	-0,107	0.135
B	0.00058	0.00035
C	582	849
D	0.63	0.59

Расчетное сечение разбито на сетку из конечных элементов (рис.3.26). В программном комплексе SOFiSTiK смоделирована стеновая панель (рис.3.27).

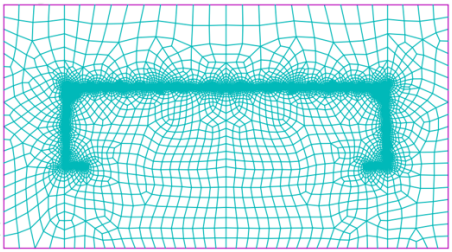


Рисунок 3.26 Конечно-элементная сетка расчетного сечения

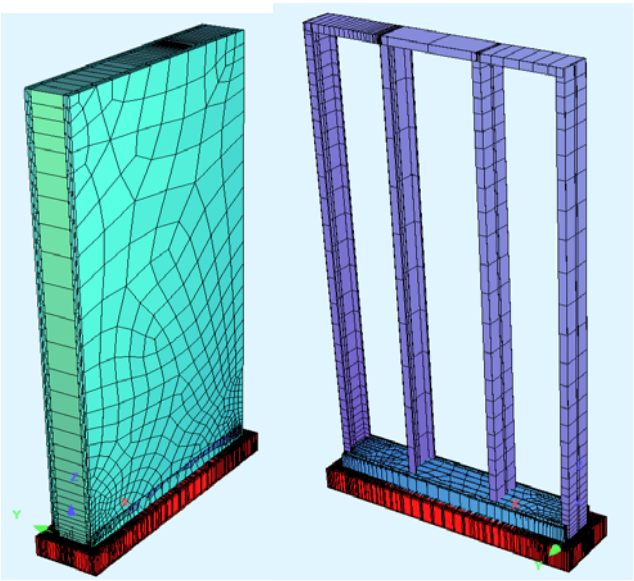


Рис.3.27 Несущая стена на основе ЛСТК-каркаса

Расчет температурного градиента стеновой конструкции производился с шагом времени 10 минут. В ЛСТК конструкциях допустима частичная потеря устойчивости несущих элементов, поэтому считали, что конструкция достигнет предельного состояния R в момент прогрева до критической температуры 1/5 от высоты сечения профиля. Моделирование распределения температур для значений 90, 100, 110 и 120 минут, соответствующих прогреву сечения, близкому к критической температуре, показано на рисунке 3.28.

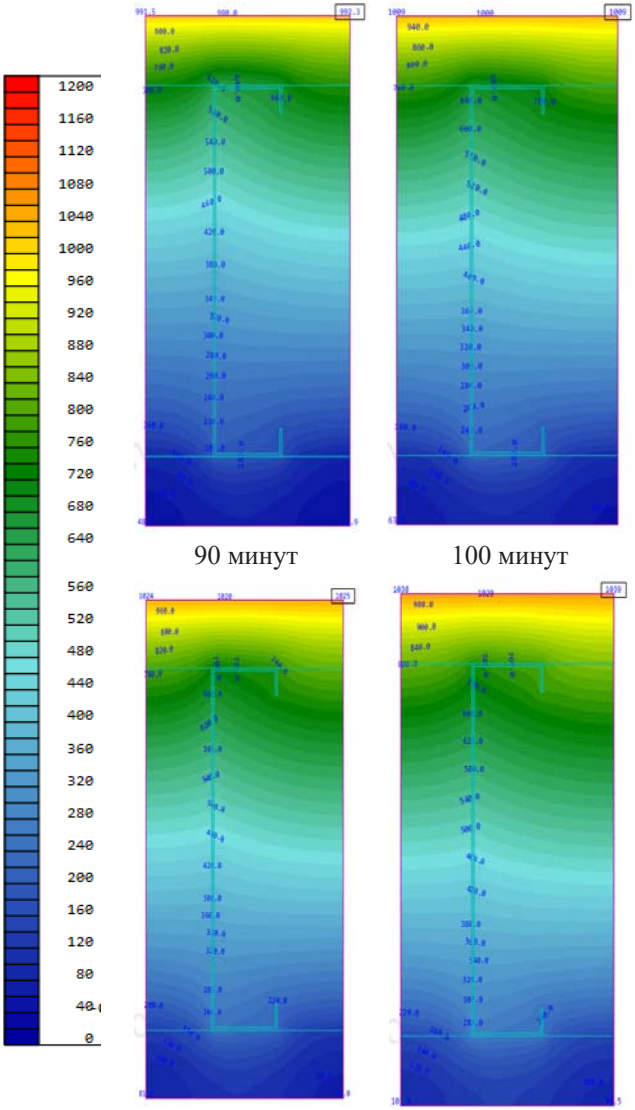


Рис. 3.28. Градиент температур расчетного сечения

Теоретически предел огнестойкости, основанный на статическом расчете и решении теплофизической задачи при помощи программного комплекса соответствует REI 100.

Расчетный предел огнестойкости, полученный в ходе теоретических изысканий, сопоставлен с результатами стандартные огневые испытания образцов компании ООО «ПрофСтальПрокат» с обшивками из листовых материалов КНАУФ.

Поведение образцов в процессе огневых испытаний:

25-30 мин – нитевидные трещины на поверхности листов ГВЛ

40-45 мин – раскрытие трещин на поверхности 1-го слоя (наружного) листов ГВЛ

60-65 мин – частичное обрушение 1-го слоя, раскрытие трещин на 2-ом (среднем) слое листов ГВЛ

90-95 мин – частичное обрушение 2-го слоя, появление трещин на 3-ом (среднем) слое листов ГВЛ

110-112 мин - частичное обрушение 3-го слоя ГВЛ

112 и 118 мин – достигнут предел огнестойкости по потере несущей способности R (1-го и 2-го образца соответственно) в результате предельных вертикальных деформаций.

Фактический предел огнестойкости конструкции составил 115 минут, что коррелируется с результатами теоретических изысканий. Средняя температура на необогреваемой поверхности образцов соответствует 73-75°С, что соответствует результатам моделирования (рис. 3.29).

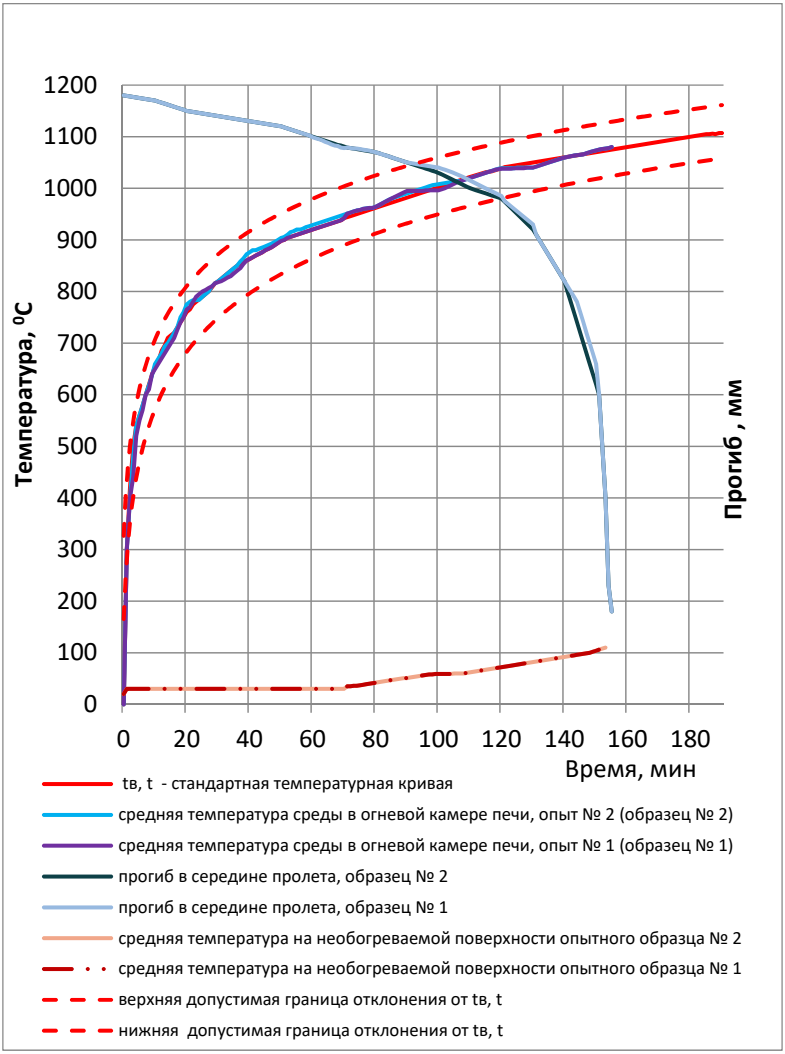


Рис. 3.29 – Графики изменения температур в огневой камере и показатели термопар на стеновой панели

4. ИССЛЕДОВАНИЯ ЛСТК НА ОГНЕСТОЙКОСТЬ С СИСТЕМАМИ ПРОМИЗОЛ, ПРОЗАСК И КНАУФ

4.1 Изгибаемая огнезащитная рулонная сетка ПРОМИЗОЛ-СТК-МЕТ-2,0

Испытания ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет-2,0 производства ООО ПРОМИЗОЛ, на огнезащитную эффективность колонн с огнезащитной сеткой с приведенными толщинами металла, характерными для легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) – 2 мм и 2,4 мм, позволяют рекомендовать изгибаемое огнезащитное покрытие для сегмента ЛСТК (Приложение 5.6). Проведены испытания на огнестойкость горячекатаных балок с приведенными толщинами 3,4 и 4,3 мм, нагруженных соответственно 68,67 кН и 81,63 кН с огнезащитной сеткой. Результаты достигнуты за счет увеличения поверхностной плотности сетки и более наполненной композиции в ячейках (снижение количества незаполненных ячеек).

Исследования в данном направлении в настоящее время продолжаются в ФГБУ ВНИИПО МЧР России непосредственно с использованием профилей ЛСТК различного вида [34, 35].



Рисунок 4.1. Огнезащитная сетка ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет на ЛСТК. Подготовка к испытаниям

Система ПРОМИЗОЛ-МИКС-ПРОПЛЕЙТ, представляющая собой огнестойкое многослойное изделие для огнезащиты строительных конструкций, а именно, изоляционный чехол, выполненный из негорючего гибкого многослойного материала, слои которого сшиты друг с другом негорючими и теплостойкими керамическими, стекловолоконными или кремнеземными нитями. К чехлу пришиты хомутные огнестойкие ленты, которые изготовлены из скрученных базальтовых и кремнеземных нитей и имеют самозатягивающийся узел крепления для застегивания натянутого на строительные конструкции чехла (рис.4.2). Изобретение относится к устройствам негорючей конструкционной пассивной противопожарной защиты и может быть использовано как средство огнезащиты для широкого ряда строительных конструкций (колонн и балок, связей и ферм) зданий и сооружений, воздуховодов, монтажной оснастки (талрепов), кабельных изделий, а также при строительстве метрополитенов и тоннелей [36].



Рисунок 4.2. Подготовка к испытаниям ЛСТК с ПРОИЗОЛ-МИКС-ПРОПЛЕЙТ

Конструктивная защита «ПРОМИЗОЛ МИКС-15» на ЛСТК показала результаты 30 минут согласно ГОСТ 53295 (рис. 3.30) для конструкции и профиля ЛСТК-колонны, которая ранее (см. рис. 2.1) была испытана без огнезащиты (нагрузка 5 кН, фактический предел огнестойкости - 6 минут).

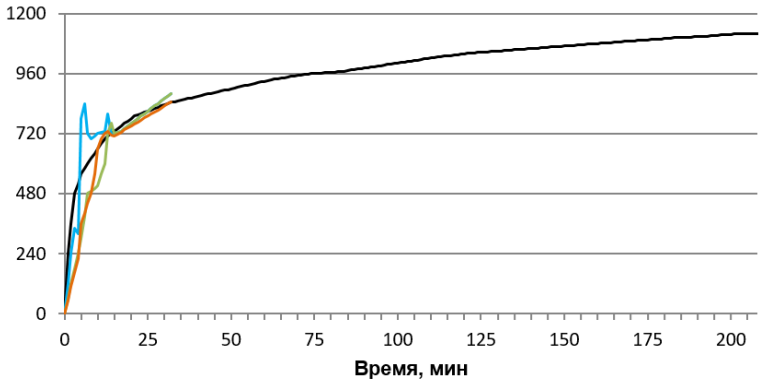


Рисунок 4.3. График изменения температур в огневой камере и показатели термопар на колонне

4.2 Огневые испытания конструкций с плитами ПРОЗАСК-Файерпанель и КНАУФ-Файерборд

Рассмотрим поведение опытных образцов горизонтальной ограждающей конструкции, изготовленной на основе сборного каркаса из ЛСТК по ТУ 118-001-05074049-2017 с симметричными двухслойными обшивками плитами «ПРОЗАСК Файерпанель» ТУ 23.61.11-001-01595455-2017 и плитами «КНАУФ Файерборд» ТУ 5742-006-01250242-2009 (общая толщина обшивок с каждой из сторон 2+12,5=25 мм), с внутренним заполнением плитами из минеральной (каменной) ваты марки «ВЕНТИ БАТТС» ТУ 5762-050-45757203-15 с толщиной 60 мм и плотностью 90 кг/куб.м (далее – опытные образцы горизонтальной ограждающей конструкции).



Рисунок. 4.4. Пример возможного заполнения конструкции минеральной плитой

Каркасы опытных образцов изготавливались из направляющих профилей типа ВП США 60х40х2мм производства компании ООО «ПрофСтальПрокат», соединенных в рамную конструкцию по периметру с помощью профилей типа ПН 60-2 с размерами 4500х2200 мм. Испытания проводились согласно [27] и ГОСТ 30247.1-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции», отчет об испытаниях на пожарную опасность № 662-3.2 в 2019 г. На рис. 4.5 и 4.6 показан образец перед испытанием (крепеж верхнего слоя обшивки с использованием увеличенных шайб).



Рисунок 4.5. Вид ограждающей конструкции с ЛСТК перед испытанием

Опытные образцы устанавливались в огневую камеру с двусторонним опиранием на шарнирно-неподвижную и шарнирно-подвижную опоры с рабочим пролетом 4200 мм. На необогреваемой поверхности образцов устанавливались грузы весом 25 кгс в количестве 8 штук, таким образом, общая нагрузка на образец составляла 200 кгс (рис. 4.7).



Рис. 4.6. Общий вид конструкции

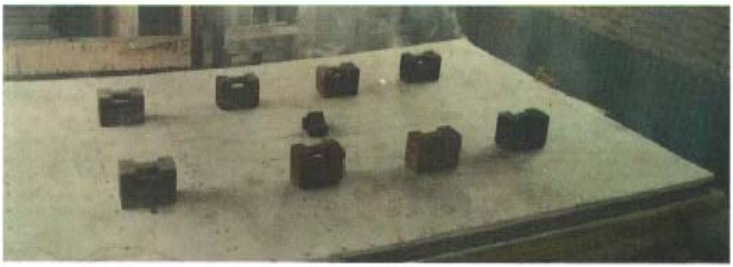


Рисунок 4.7. 5-я минута испытания опытного образца № 1

Прогибы образцов в середине пролетов, в ходе нагружения и в процессе испытания измеряли прогибомером, прогиб составил у двух образцов соответственно 1,1 мм и 1,2 мм (рис. 4.8.) На рис. 4.9 показаны кривые изменения температур в огневой камере печи, температуры на необогреваемой поверхности опытных образцов и роста прогибов.



Рисунок 4.8. Вид на обогреваемую поверхность опытного образца № 2 после испытания

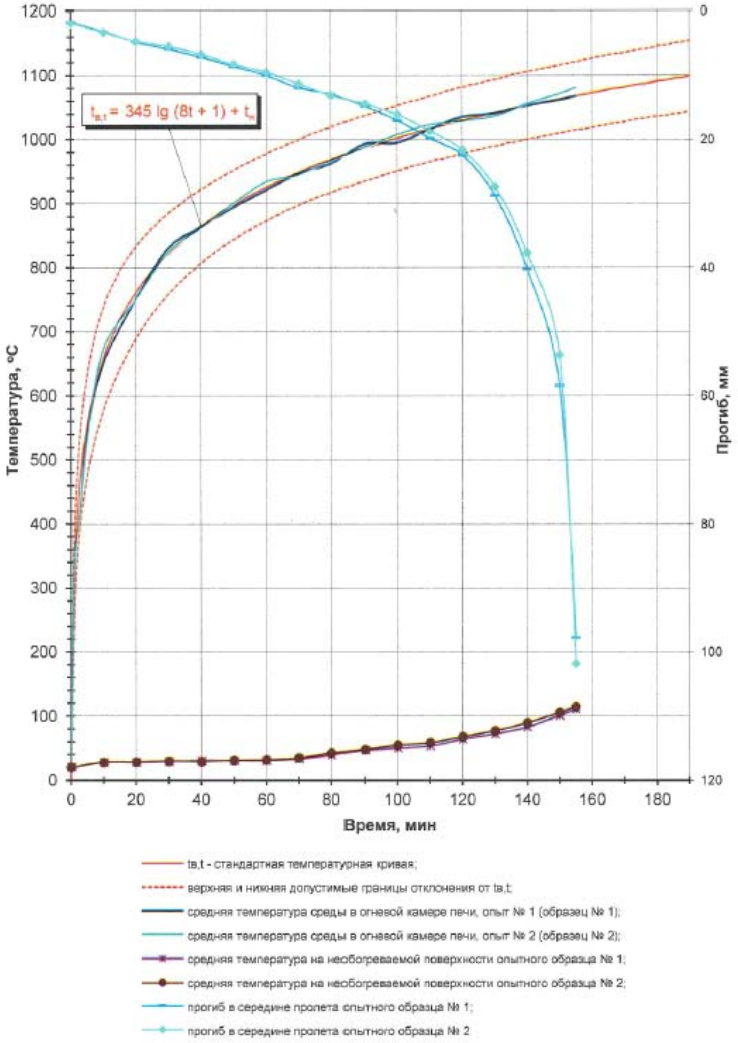


Рисунок 4.9. Графики изменения температур в огневой камере и показатели термопар

Предел огнестойкости горизонтальной ограждающей конструкции по несущей способности составил по несущей способности R, целостности E и теплоизолирующей способности конструкции I, составил не менее 155 мин, что соответствует классификации REI по ГОСТ 30247.0-94 [27]. На момент окончания огневого воздействия обрушения опытных образцов не произошло, также, как и не зафиксировано обрушение плитных материалов подшивки с обогреваемой стороны.

4.3 Исполнение кабельных коробов с ЛСТК

Интересное решение применения ЛСКТ представляют огнестойкие кабельные линии, смонтированные в огнезащитных кабельных коробах, изготовленных из негорючих плит КНАУФ-Файерборд (ТУ 5742-006-01250242-2009 с изм.1). Плиты общей толщиной 40 мм (2х20 мм) с креплением к металлическому каркасу из ЛСТК обеспечивает сохранение работоспособности кабельной линии в условиях пожара в течение 120 минут (рис. 4.10).



Рисунок 4.10. Плита на каркасе из ЛСТК для кабельного короба.

Огнестойкая кабельная линия, смонтированная в огнезащитных кабельных коробах, с толщиной 60 мм (3х20 мм) сохраняет работоспособность кабельной линии в условиях пожара в течение 180 мин (сертификат соответствия № C-RU.АЮ64.В.01117 на требования ГОСТ Р 53316-2009 «Кабельные лини. Сохранение работоспособности в условиях пожара»).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Легкие стальные тонкостенные конструкции (ЛСТК), как правило, не являются элементами каркаса объектов капитального строительства, в связи с чем в отрасли проводится ограниченное число исследований ЛСТК (в том числе их огнестойкости), как в самостоятельном исполнении, так и в составе различных конструкций. Обоснованный расчет надежности стальных конструкций при огневом воздействии является одной из важных составляющих системы мероприятий по обеспечению пожарной безопасности зданий и сооружений.

ЛСТК обладают перспективами при проектировании различного типа сооружений благодаря целому ряду технологических преимуществ, однако низкая огнестойкость незащищенных профилей-ЛСТК обуславливает в ряде случаев применение средств огнезащиты, и тогда итоговая рентабельность объекта в целом является основным фактором для применения ЛСТК в качестве конструктивной схемы здания.

Немаловажным фактором, препятствующим широкому распространению ЛСТК на отечественном рынке, является отсутствие в нормативной базе многих положений, непосредственно влияющих на прочность и долговечность конструкций. Частичная гармонизация с европейскими нормативными документами отечественного свода правил СП 260.1325800.2016 ввела в российское законодательство понятие тонкостенных конструкций и основные положения методов их расчета, при этом данные заимствования не включают в себя вопросы огнестойкости, коррозионной стойкости и пр.

Для детального расчета возможных мер по повышению пределов огнестойкости ЛСТК успешно используется моделирование в программных комплексах, результаты которого показывают хорошую сходимость с экспериментальными данными.

Совершенствование систем расчета строительных конструкций в настоящее время выходит на принципиально другой уровень: строительный процесс, в особенности проектирование,

должен соответствовать стандартам BIM. «Цифровой двойник» строительной конструкции, в том числе сложных композитных сечений, полученный при моделировании, позволяет провести наиболее комплексный анализ конструкции с учетом внешних воздействий (в том числе пожара как особой нагрузки). Такой подход обеспечивает достоверную предварительную оценку огнестойкости конструкции и экономит затраты на огневые испытания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" от 22.07.2008 N 123-ФЗ (с изменениями на 27 декабря 2018 года)
2. EN 1993-1-3:2006 Eurocode 3: Design steel structures — Part 1-3: General rules — Supplementary rules for cold-formed members and sheeting.
3. ГОСТ Р 53295-2009 Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности (с Изменением N 1)
4. СП 260.1325800.2016 Конструкции стальные тонкостенные из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов. Правила проектирования (с Изменением N 1)
5. Т. Леннон, Д.Б. Мур, Ю.К. Ван, К.Г. Бейли. Руководство для проектировщиков к EN 1991-1-2, 1992-1-2, 1993-1-2 и 1994-1-2. Справочник по проектированию противопожарной защиты стальных, сталежелезобетонных и бетонных конструкций зданий и сооружений в соответствии с Еврокодами: пер.с англ., 2-е изд., Москва:МГСУ, 2013. 196 с.
6. Здания, сооружения и их устойчивость при пожаре : учебник / В. М. Ройтман, Б. Б. Серков, Ю. Г. Шевкуненко и др. ; под ред. В. М. Ройтмана ; 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Академия ГПС МЧС России. – 2013. – 364 с.
7. EN 1993-1-2:2005+AC 2005 (E) Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-2: General rules. Structural fire design
8. MV Gravit, M D Terekh, V A Lyulikov, S A Svintsov. Software packages for calculation of fire resistance of building construction, including fire protection. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 456 012016 doi:10.1088/1757-899X/456/1/012016
9. Shukhardin A. Gravit M, Dmitriev I, Nefedov G, Nazmeeva T. Fire simulation of light gauge steel frame wall system with foam concrete filling // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2020. Vol. 982. 836-844 p.
10. Gravit M., Dmitriev I., Lazarev Y. (2019) Validation of the

Temperature Gradient Simulation in Steel Structures in SOFiSTiK. In: Murgul V., Pasetti M. (eds) International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018. EMMFT-2018 2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol 983. Springer, Cham DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-19868-8_92

11. Vatin N. et al. Simulation of cold-formed steel beams in global and distortional buckling // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 633–634. 1037-1041 p.
12. Garifullin M. et al. Buckling analysis of cold-formed c-shaped columns with new type of perforation // Advances and Trends in Engineering Sciences and Technologies - Proceedings of the International Conference on Engineering Sciences and Technologies, ESaT 2015. 2016. P. 63–68.
13. Naser M.Z., Degtyareva N.V. Temperature-induced instability in cold-formed steel beams with slotted webs subject to shear // Thin-Walled Struct. 2019. Vol. 136. P. 333–352.
14. Degtyareva N. et al. Combined bending and shear behaviour of slotted perforated steel channels: Numerical studies // J. Constr. Steel Res. 2019. Vol. 161. P. 369–384.
15. Chen W., Ye J., Zhao Q. Thermal performance of non-load-bearing cold-formed steel walls under different design fire conditions // Thin-Walled Struct. Elsevier, 2019. Vol. 143. P. 106242.
16. Chen W. et al. Thermal behavior of external-insulated cold-formed steel non-load-bearing walls exposed to different fire conditions // Structures. 2020. Vol. 25. P. 631–645.
17. Chen W. et al. High-temperature steady-state experiments on G550 cold-formed steel during heating and cooling stages // Thin-Walled Struct. 2020. Vol. 151.
18. Chen W. et al. Full-scale experiments of gypsum-sheathed cavity-insulated cold-formed steel walls under different fire conditions // J. Constr. Steel Res. Elsevier, 2020. Vol. 164. P. 105809.
19. Dias Y., Keerthan P., Mahendran M. Fire performance of steel and

plasterboard sheathed non-load bearing LSF walls // Fire Saf. J. 2019. Vol. 103. P. 1–18.
20. Dias Y., Keerthan P., Mahendran M. Predicting the fire performance of LSF walls made of web stiffened channel sections // Eng. Struct. 2018. Vol. 168. P. 320–332.
21. Chen W., Ye J., Li X. Fire experiments of cold-formed steel non-load-bearing composite assemblies lined with different boards // J. Constr. Steel Res. 2019. Vol. 158. P. 290–305.
22. Chen W., Ye J., Li X. Thermal behavior of gypsum-sheathed cold-formed steel composite assemblies under fire conditions // J. Constr. Steel Res. 2018. Vol. 149. P. 165–179.
23. Ariyanayagam A.D., Kesawan S., Mahendran M. Detrimental effects of plasterboard joints on the fire resistance of light gauge steel frame walls // Thin-Walled Struct. 2016. Vol. 107. P. 597–611.
24. Chen W. et al. Improved fire resistant performance of load bearing cold-formed steel interior and exterior wall systems // Thin-Walled Struct. Elsevier, 2013. Vol. 73. P. 145–157.
25. Pezhman Sharafi et al. Lateral force resisting systems in lightweight steel frames: Recent research advances. Thin-Walled Structures. Volume 130, September. 2018, P.231-253. https://doi.org/10.1016/j.tws.2018.04.019.
26. ГОСТ Р ЕН 1363-2-2014 «Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы»
27. ISO 834-1:1999 Fire-resistance tests — Elements of building construction — Part 1: General requirements
28. ГОСТ 30247.0-97 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования
29. Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings
30. ТУ 1122-002-82866678-2013. Профили холодногнутые из оцинкованной стали для строительства производства ООО «Андромета».
31. Свод правил СП 2.13130.2020 "Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты"

утвержден приказом МЧС России от 12 марта 2020 года № 151. Вступает в силу с 12 сентября 2020 года.
32. Шебеко Ю.Н., Зубань А.В., Шебеко А.Ю. Расчет фактического предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций при различных температурных режимах пожара // Пожаровзрывобезопасность. 2019. № 6. – С. 29 – 34.
33. Стандарт «Проектирование огнезащиты несущих стальных конструкций с применением различных типов облицовок» / Ассоциация развития стального строительства ; [Д.Г. Пронин, С.А. Тимонин, В.И. Голованов]. – Москва : АКСИОМ ГРАФИКС ЮНИОН, 2018. – 72 с. : ил.
34. Гравит М.В., Прусаков В.А., Симоненко Я.Б. Изгибаемая конструктивная интумесцентная (3d) огнезащита для строительных конструкций. В сборнике: Актуальные проблемы пожарной безопасности. Материалы XXXI Международной научно-практической конференции. — 2019. — С. 63-68.
35. Прусаков В.А., Гравит М.В. Огнезащитное интумесцентное рулонное покрытие. Патент RU2711076
36. Прусаков В.А., Гравит М.В., Антонов С.П. Огнестойкое многослойное изделие для огнезащиты строительных конструкций. Патент RU2725720

5. ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 5.1
Профили холодногнутые из оцинкованной стали для строительства. Технические условия компании ООО «Андромета» ТУ 1122-002-82866678-2013

ООО «Андромета»

ОКП 112220

Группа В22

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ООО «Технопроект»

Ю.Н. Тищенко
«____» ____ сентября 2011 г.

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
ООО «Андромета»

А.А. Шухардин
«30» сентября 2011 г.

ПРОФИЛИ ХОЛОДНОГНУТЫЕ ИЗ ОЦИНКОВАННОЙ СТАЛИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА

Технические условия

ТУ 1122-001-82866678-2011
(впервые)

Дата введения: 3 октября 2011 г.

Согласовано

Взам. Инв.№

Подпись и дата

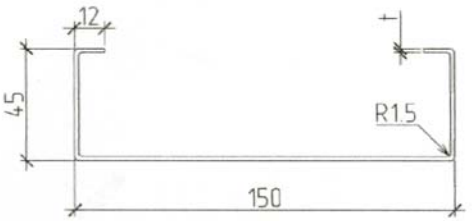
Инв.№ подл.

Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
зарегистрирован каталожный лист
внесен в реестр 04.10.2011
за № 200111149

Формат А4

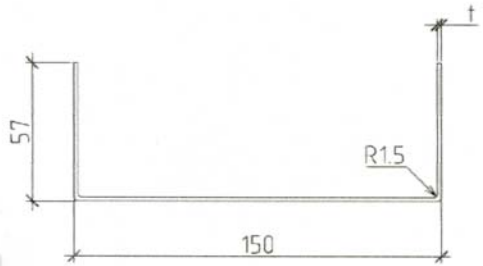
Настоящие Технические условия распространяются на изготовляемые ООО «Андромета» холодногнутые профили из оцинкованной стали толщиной от 0,7 до 1,6 мм (именуемые в дальнейшем – "профили"), имеющие С-образное или швеллерное сечение (рис. 1).

а)



t – 0.7; 0.8; 0.9; 1.0; 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5 и 1.6мм.

б)



t – 0.7; 0.8; 0.9; 1.0; 1.1; 1.2; 1.3; 1.4; 1.5 и 1.6мм.

Рис. 1. Профили
а) АС – С – образное сечение; б) АШ – швеллерное сечение;

Конструкции из этих профилей допускается применять при следующих условиях:

- в климатических районах с расчетной температурой не ниже -55°С;

Взам. Инв.№ | Подпись и дата | Инв.№ подл.

Изм.	Кол.уч.	Лист	№Док.	Подпись	Дата	ТУ 1122-001-82866678-2011		
Разработал		Айрумян				Профили холодногнутые из оцинкованной стали для строительства Технические условия	Стадия	Лист 2	Листов 11
Проверил		Каменщиков							
Н.контроль		Ошкампе					«Андромета»		
Утвердил		Айрумян							

Формат А44

- при неагрессивном или слабоагрессивном воздействии среды, отвечающей требованиям СНиП 2.03.11-85;

- в I-V ветровых районах и в I-V снеговых районах в соответствии со СП 20.13330.2011;

- в районах с сейсмичностью не более 9 баллов.

Способы дополнительной защиты профилей от коррозии принимаются в зависимости от степени агрессивного воздействия среды согласно СНиП 2.03.11.

Пример условного обозначения профиля (АС), изготовляемого ООО «Андромета» и имеющего С-образное сечение высотой 150 мм, шириной полки 45мм из оцинкованной стали толщиной 1,5мм и длиной 3000мм:

АС_150х45х1,5 – 3000 (Ц) ТУ 1122-001-82866678-2011

То же, для профиля (АШ) швеллерного сечения из оцинкованной стали

АШ_150х57х1,5 – 3000(Ц) ТУ 1122-001-82866678-2011

1. Технические требования

1.1. Профили должны соответствовать требованиям настоящих Технических условий и Техническому регламенту, разработанному ООО «Андромета» и утвержденному в установленном порядке.

1.2. Основные размеры и характеристики

1.2.1. Форма, размеры, ширина заготовок и масса профилей должны соответствовать значениям, указанным на рис. 2 и рис. 3 и в таблицах 1 и 2.

Справочные значения расчетных геометрических характеристик сечения профилей приводятся в таблицах 1 и 2.

При вычислении теоретической массы профилей плотность стали принята равной 7,85 т/м^3, масса цинкового покрытия, нанесенного с двух сторон на поверхность профиля, принята 275г на м^2 заготовки.

Расчетные площади сечения Fр и Fсж определены для условий продольного растяжения и сжатия соответственно.

Расчетные характеристики J и W профилей определены с учетом редуцированной площади сечения продольно сжатых участков профиля при поперечном изгибе профиля относительно осей X-X и Y-Y.

Момент инерции Jy и момент сопротивления Wy относительно оси Y-Y определены для варианта со сжатой стенкой профиля.

1.2.2. В исходной заготовке профилей могут пробиваться отверстия диаметром 3,5, 13 и 35 мм и технологические отверстия размерами 65х65 мм и 146х48 мм (рис. 4).

Рис. 2. АС_150
Сталь марки С350
ГОСТ 52246-2004

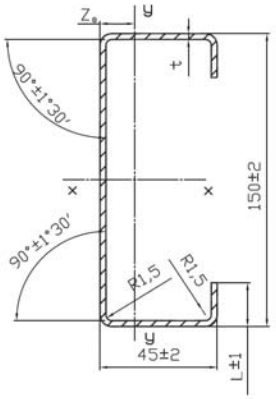


Таблица 1.

Наименование	Толщина металла, мм	Площадь сечения		Масса 1 п.м., кг	Расчетные справочные величины для профилей при изгибе							Ширина заготовки, мм
					Момент инерции	Момент сопротивления	Момент инерции	Момент сопротивления	Радиус инерции	Радиус инерции		
		$F_р$ ($мм^2$)	$F_{сж}$ ($мм^2$)		I_x ($см^4$)	W_x ($см^3$)	I_y ($см^4$)	W_y ($см^3$)	r_x (см)	r_y (см)	Z_0 (см)	
АС150х45х11,7х1,6	1,6	4,05	2,48	3,18	128,06	16,70	8,90	2,87	5,73	1,57	1,16	253,0
АС150х45х11,4х1,5	1,5	3,80	2,24	2,98	119,20	15,46	8,22	2,67	5,74	1,57	1,16	253,0
АС150х45х11,2х1,4	1,4	3,54	2,00	2,78	109,20	13,94	7,54	2,47	5,74	1,57	1,15	253,0
АС150х45х10,9х1,3	1,3	3,29	1,77	2,58	98,92	12,39	6,87	2,27	5,75	1,57	1,14	253,0
АС150х45х10,7х1,2	1,2	3,04	1,53	2,38	88,38	10,82	6,21	2,08	5,75	1,57	1,14	253,0
АС150х45х10,5х1,1	1,1	2,78	1,30	2,18	77,96	9,30	5,56	1,88	5,76	1,56	1,13	253,0
АС150х45х10,2х1	1	2,53	1,09	1,99	67,67	7,85	4,92	1,69	5,76	1,56	1,12	253,0
АС150х45х10,0х0,9	0,9	2,28	0,90	1,79	57,56	6,47	4,29	1,50	5,76	1,56	1,12	253,0
АС150х45х9,7х0,8	0,8	2,02	0,73	1,59	48,46	5,30	3,69	1,31	5,77	1,56	1,11	253,0
АС150х45х9,5х0,7	0,7	1,77	0,57	1,39	39,79	4,22	3,10	1,13	5,77	1,56	1,10	253,0

Рис. 3. АШ_150
Сталь марки С350
ГОСТ 52246-2004

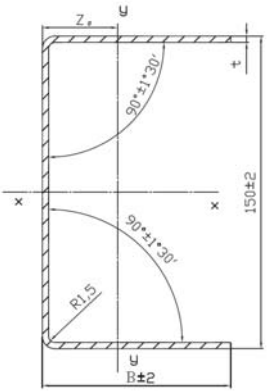


Таблица 2.

Наименование	Толщина металла, мм	Площадь сечения		Масса 1 п.м., кг	Расчетные справочные величины для профилей при изгибе							Ширина заготовки, мм
					Момент инерции	Момент сопротивления	Момент инерции	Момент сопротивления	Радиус инерции	Радиус инерции		
		$F_{р}$ ($мм^2$)	$F_{ск}$ ($мм^2$)		I_x ($см^4$)	W_x ($см^3$)	I_y ($см^4$)	W_y ($см^3$)	r_x (см)	r_y (см)	Z_0 (см)	
АШ150х54,1х1,6	1,6	4,05	1,78	3,18	103,44	12,00	10,18	2,53	5,79	1,65	1,20	253,0
АШ150х54,0х1,5	1,5	3,80	1,58	2,98	93,88	10,69	9,37	2,36	5,79	1,65	1,19	253,0
АШ150х53,8х1,4	1,4	3,54	1,39	2,78	84,59	9,45	8,58	2,18	5,80	1,65	1,19	253,0
АШ150х53,7х1,3	1,3	3,29	1,20	2,58	75,56	8,27	7,81	2,00	5,80	1,64	1,18	253,0
АШ150х53,6х1,2	1,2	3,04	1,03	2,38	66,83	7,17	7,04	1,83	5,80	1,64	1,17	253,0
АШ150х53,5х1,1	1,1	2,78	0,87	2,18	58,41	6,13	6,29	1,65	5,80	1,64	1,16	253,0
АШ150х53,4х1	1,0	2,46	0,73	1,93	49,51	5,14	4,69	1,32	5,81	1,63	1,15	253,0
АШ150х53,2х0,9	0,9	2,13	0,59	1,67	40,90	4,22	3,12	0,97	5,81	1,63	1,15	253,0
АШ150х53,1х0,8	0,8	1,81	0,47	1,42	33,05	3,38	1,98	0,68	5,81	1,63	1,14	253,0
АШ150х53,0х0,7	0,7	1,52	0,36	1,19	25,97	2,64	1,19	0,46	5,81	1,63	1,13	253,0

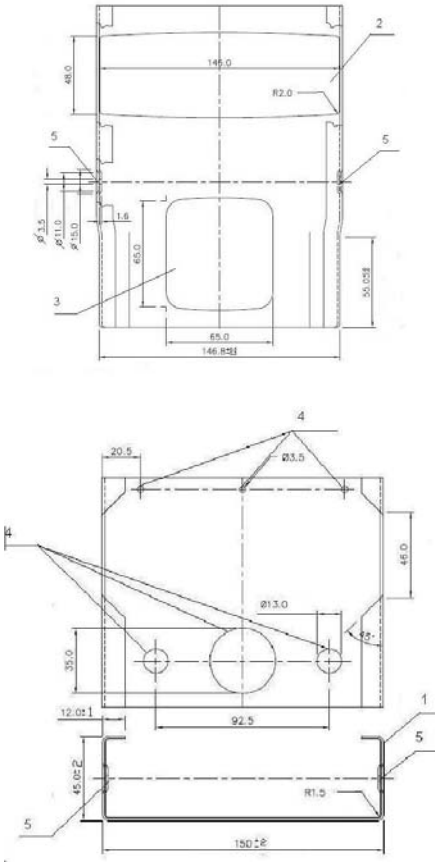


Рис. 4. Схема расположения отверстий и вырезов в исходной заготовке С-образного сечения
1-профиль; 2-отверстие 48х146 мм; 3-отверстие 65х65; 4-круглые отверстия; 5-“*пуклевки*”

1.2.3. На профилях, изготовленных профилегибочным оборудованием, могут обжиматься концы, сниматься фаски 10х45º, выполняться высечки поясов и отгиб полок, а также “пуклевки” под саморезы или заклепки.

1.2.4. Внутренние радиусы гиба в готовых профилях должны быть равны 1,5мм.

1.2.5. Профили должны изготовляться мерной длины от 200 мм до 12 м.

1.3. *Требования к исходным материалам*

1.3.1. Для изготовления профилей должны использоваться следующие материалы:

- сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий по ГОСТ 14918, группы ХП или ПК с толщиной цинкового покрытия первого класса, нормальной разнотолщинности НР, нормальной точности прокатки по толщине БТ и ширине БН, нормальной плоскостности ПН с обрезной кромкой О;
- прокат листовой горячеоцинкованный марок 250-350 с классом двустороннего цинкового покрытия 275 по ГОСТ Р 52246-2004;
- импортные рулонные стали, отвечающие требованиям ГОСТ 14918 к сталям групп ХП и ПК и ГОСТ Р 52246 к прокату марок 250-350.

1.3.2. На поверхности цинкового покрытия профиля допускаются потертости, риски, следы формообразующих валков, не нарушающих сплошности покрытия.

1.4. *Требования к геометрической точности*

1.4.1. Предельные отклонения размеров профилей не должны превышать указанных в таблице 3.

Таблица 3

Высота стенки (в миллиметрах)	Предельные отклонения (в миллиметрах)			
	по высоте	по ширине		по длине
		полок	отгибов	
150	±2.0	±2.0	±1,0	±5.0
Угловые отклонения в °	90±1°30´			

1.4.2. По согласованию изготовителя с потребителем отклонение по длине, превышающее указанное в таблице 3, браковочным признаком не является.

1.4.3. Радиусы гиба на готовых профилях не контролируются.

1.4.4. Предельные отклонения по толщине профилей должны соответствовать предельным отклонениям по толщине заготовки нормальной точности прокатки по ГОСТ 19904 без учета толщины защитного покрытия. Предельные отклонения не распространяются на отклонения по толщине в местах гибов профиля.

1.4.5. Серповидность профилей не должна превышать 1мм на 1м длины. Общая серповидность профиля не должна превышать 0,1% полной длины.

1.4.6. Волнистость на плоских участках профилей не должна превышать 1,5мм, а на отгибах полок – не более 3мм.

1.4.7. Косина реза профилей не должна выводить их длину за номинальный размер с учетом предельного отклонения по длине.

1.4.8. Скручивание профилей вокруг продольной оси не должно превышать 10^{o} на длине профиля.

1.5. Требования к внешнему виду

1.5.1. В профилях не допускается:
- искривление полок профилей;
- нарушение цинкового покрытия;
- местные вмятины на полках и стенках профилей глубиной более 3,0мм;
- заусенцы, выступающие более, чем на 1 мм на концах и краях профилей.

1.6. *Комплектность*

1.6.1. В комплект поставки должны входить:
- профили по спецификации заказчика;
- документ (сертификат) на каждый вид отгружаемой продукции.

1.7. Маркировка

1.7.1. Маркировку наносят на ярлык, который крепят к пакету профилей.
Маркировка должна содержать:
- наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- условное обозначение профиля;
- количество профилей в пакете;
- теоретическую массу пакета;
- номер пакета и партии;
- клеймо технического контроля предприятия-изготовителя.

1.8. Упаковка, транспортировка, хранение

1.8.1. Упаковку производят по чертежам предприятия-изготовителя, утвержденным в установленном порядке.

Упаковка должна обеспечивать сохранность профиля и защитного покрытия от механических повреждений в процессе транспортировки профилей в пакетах.

1.8.2. В каждый пакет упаковывают профили одного типа.

1.8.3. Масса пакета не должна превышать 5,0 т.

1.8.4. При отгрузке профилей в районы Крайнего Севера и труднодоступные районы упаковка должна производиться в соответствии с ГОСТ 15846.

1.8.5. Условия транспортирования профилей при воздействии климатических факторов должны соответствовать условиям 7, при хранении – условиям 3 по ГОСТ 15150.

1.8.6. Профили и комплектующие метизы следует хранить кратковременно в течение не более трех месяцев на открытом воздухе или под навесами и в складах закрытого типа.

2. Правила приемки

2.1. Приемку профилей производят партиями. Партией считают профили одного типоразмера, изготовленные из заготовок одной марки.

Масса партии не должна превышать 5,0т. Партия должна состоять из пакетов, масса которых не превышает 5,0т.

2.2. Для контроля показателей качества на соответствие требованиям п.1.4 отбирают по одному профилю из первого и последнего пакетов одной партии.

2.3. Партию считают принятой, если показатели качества соответствуют требованиям настоящих технических условий.

2.4. Каждая партия отгружаемой продукции должна сопровождаться документом, содержащим:

- наименование или товарный знак предприятия-изготовителя;
- наименование потребителя;
- номер заказа;
- номер партии;
- условное обозначение профиля;
- данные о количестве и номера пакетов с указанием теоретической массы каждого пакета;
- штамп технического контроля предприятия-изготовителя.

2.5. Проверка профилей на скручивание проводится на контрольной плите с помощью угломера.

3. Методы контроля

3.1. Марка, свойства и толщина проката исходной заготовки должны быть удостоверены документально предприятием-изготовителем заготовки.

3.2. Качество поверхности защитного покрытия профилей определяют визуально.

3.3. Размеры профилей контролируют рулеткой по ГОСТ 7502, металлической линейкой по ГОСТ 427, штангенрейсмасом по ГОСТ 164. Ширину полок и высоту профилей измеряют на расстоянии в пределах от 40 до 500мм от торцов профиля, длину – по продольным краям.

3.4. Серповидность и волнистость профилей проверяют поверочной линейкой длиной 1 м по ГОСТ 8026 и набором щупов по ТУ 2.034-225-87.

Общую серповидность определяют с помощью струны, закрепленной на плоской горизонтальной поверхности, и линейки по ГОСТ 427.

3.5. Косину резов профилей измеряют линейкой по ГОСТ 427 и угольником по ГОСТ 3749, установленным по краю профиля.

3.6. За результат измерения размеров по пп.3.3-3.5 принимают среднее значение, полученное при трех замерах в одном сечении профиля.

3.7. Контроль размеров и формы профилей допускается проводить другими

средствами измерения, утвержденными в установленном порядке и обеспечивающими необходимую точность измерения.

4. Транспортирование и хранение

4.1. Профили транспортируют транспортом всех видов в соответствии с правилами перевозки и условиями погрузки и крепления грузов, действующими на транспорте данного вида.

4.2. Пакеты при транспортировании и хранении должны быть уложены на деревянные подкладки, расположенные не реже, чем через 3м, и имеющие одинаковую толщину не менее 50мм и ширину не менее 100мм.

5. Безопасность и охрана окружающей среды

5.1. Требования безопасности к производственным процессам изготовления конструкций – по ГОСТ 12.3.002.

5.2. Требования к допустимому содержанию вредных веществ в воздухе рабочей зоны – по ГОСТ 12.1.005.

6. Указания по применению

6.1. Профили следует применять как несущие элементы зданий с ограждающими конструкциями из долговечных, водостойких и трудногорючих (негорючих) материалов.

6.2. Пожаростойкость несущих конструкций из профилей должна обеспечиваться в соответствии с действующими нормами.

6.3. Строповка конструкций из профилей при погрузке, разгрузке и монтаже не должна вызывать их повреждений.

6.4. Резка профилей автогеном и их сварка не допускаются.

6.5. Удары по профилям при сборке и монтаже, вызывающие их местное смятие, не допускаются.

6.6. Профили применяются для изготовления ферм, балок, колонн, прогонов и других несущих элементов по проекту зданий, в том числе жилого назначения.

7. Гарантии изготовителя

7.1. Предприятие-изготовитель гарантирует соответствие профилей, принятых техническим контролем предприятия, настоящим техническим условиям при соблюдении потребителем правил транспортировки, хранения и применения, установленных данными ТУ.

П Е Р Е Ч Е Н Ь

документов, на которые даны ссылки в ТУ

Обозначение документа	Группа стан-дарта	Наименование документа	Номер пункта, в котором дается ссылка
ГОСТ 12.1.005-88	Т 58	ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны	
ГОСТ 12.3.002-75	Т 58	ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности	
ГОСТ 164-90	П 53	Штангенрейсмасы. Технические условия	
ГОСТ 427-75	П 53	Линейки измерительные металлические. Технические условия	
ГОСТ 3749-77	П 54	Уголки поверочные 90°. Технические условия	
ГОСТ 7502-83	П 53	Рулетки измерительные металлические. Технические условия	
ГОСТ 8026-92	П 52	Линейки поверочные. Технические условия	
ГОСТ 14918-80	В 23	Сталь тонколистовая оцинкованная с непрерывных линий. Технические условия	
ГОСТ 15150-69	Г 08	Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов	
ГОСТ 15846-79	Д 08	Продукция, отправляемая в район Крайнего Севера и труднодоступных районов. Упаковка, маркировка, транспортирование и хранение	
ГОСТ 19904-90	В 23	Прокат листовой холоднокатаный. Сортамент	
ГОСТ 24045-94	В 22	Профили стальные листовые гнутые с трапециевидными гофрами для строительства. Технические условия	
ГОСТ 30246-94	В 20	Прокат тонколистовой рулонный с защитно-декоративным лакокрасочным покрытием для строительных конструкций. Технические условия	
СНиП 2.03.11-85		Защита строительных конструкций от коррозии.	
СП 16.13330.2011		Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81*	
СП 20.13330.2011		Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*	
ГОСТ Р 52246-2004		Прокат листовой горячеоцинкованный. Технические условия	

Приложение 5.2

Решения компании ООО «КНАУФ ГИПС»

1 Огнезащита

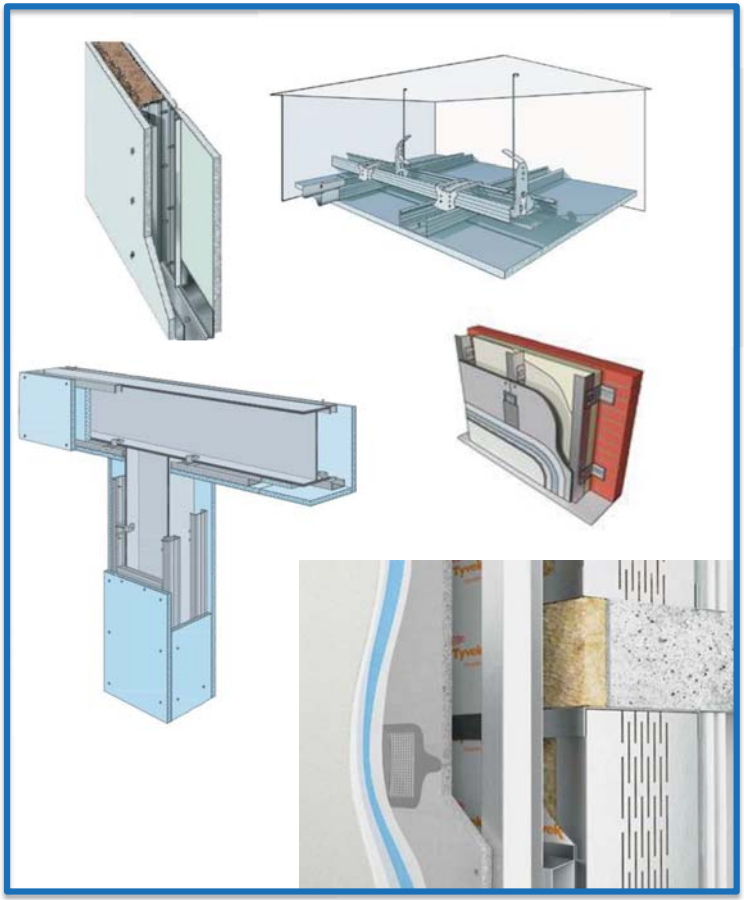
Перегородки КНАУФ
Огнестойкость: до 240 минут

Огнезащитные облицовки стальных конструкций
Огнестойкость: до 240 минут

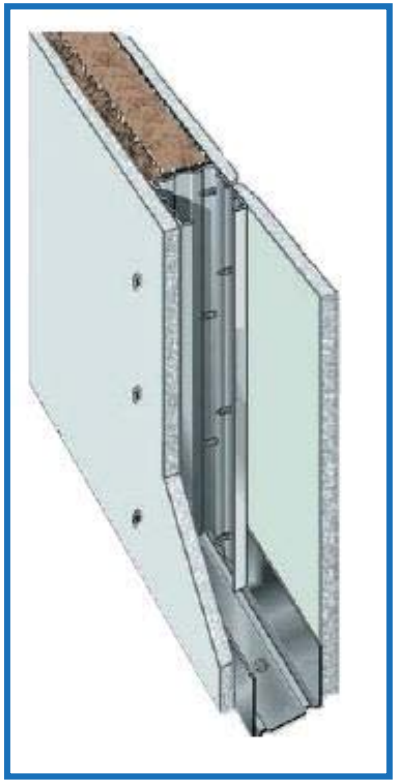
Огнезащита несущих конструкций (стены, перекрытия из ЛСТК)
Огнестойкость: до 120 минут

Перекрытия и покрытия мансард
Огнестойкость: до 75 минут

Система наружных стен КНАУФ
Огнестойкость: до 60 минут



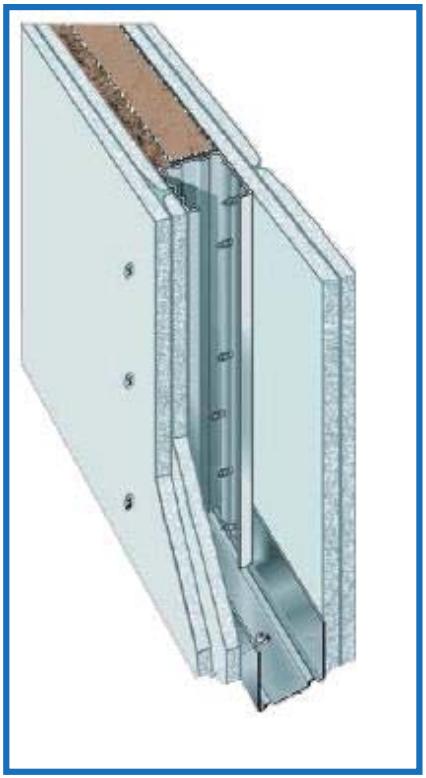
1 Огнезащита. Перегородки



Предел огнестойкости
по результатам испытаний проведенных в
ИЦ ФБГУ ВНИИПО МЧС России

Тип перегородки	Предел огнестойкости	Материал
С 111	EI – 45	КНАУФ-лист
С 381	EI – 60	АКВАПАНЕЛЬ
С 111	EI – 60	КНАУФ-лист огнестойкий
С 361	EI – 60	КНАУФ-суперлист
С 131.1	EI – 60	КНАУФ-Файерборд

1 Огнезащита. Перегородки



Предел огнестойкости
по результатам испытаний проведенных в
ИЦ ФБГУ ВНИИПО МЧС России.

Тип перегородки	Предел огнестойкости	Материал
С 112	EI – 60	КНАУФ-лист
С 112	EI – 90	КНАУФ-лист огнестойкий
С 361	EI – 90	КНАУФ-суперлист
С 132	EI – 90	КНАУФ-Файерборд + КНАУФ-лист
С 382	EI – 120	АКВАПАНЕЛЬ
С 112 П	EI – 120	КНАУФ-лист

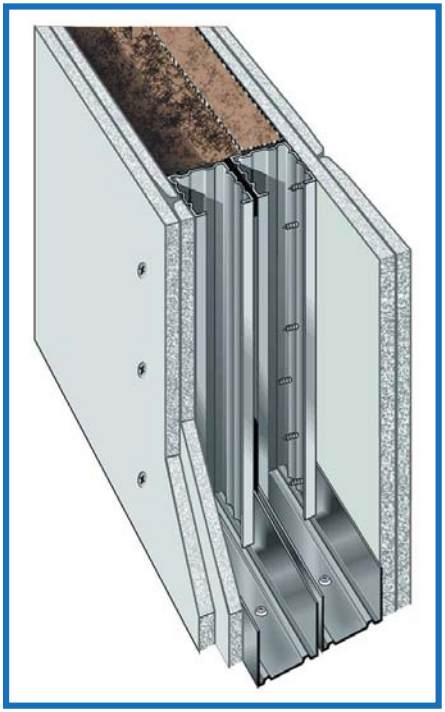
1 Огнезащита. Перегородки



Предел огнестойкости
по результатам испытаний проведенных в
ИЦ ФБГУ ВНИИПО МЧС России.

Тип перегородки	Предел огнестойкости	Материал
С 363	EI – 240	КНАУФ-суперлист
С 113	EI – 240	КНАУФ-лист огнестойкий

1 Огнезащита. Перегородки



Предел огнестойкости
по результатам испытаний проведенных в
ИЦ ФБГУ ВНИИПО МЧС России.

Тип перегородки	Предел огнестойкости	Материал
С 115	EI – 60	КНАУФ-лист
С 115	EI – 90	КНАУФ-лист огнестойкий
С 365	EI – 90	КНАУФ-суперлист
С 135	EI – 90	КНАУФ-Файерборд + КНАУФ-лист
С 385.2	EI – 120	АКВАПАНЕЛЬ

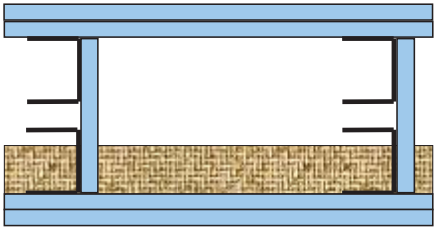
1 Огнезащита. Перегородки



Предел огнестойкости
по результатам испытаний проведенных в
ИЦ ФБГУ ВНИИПО МЧС России.

Тип перегородки	Предел огнестойкости	Материал
С 116	EI – 60	КНАУФ-лист
С 116	EI – 90	КНАУФ-лист огнестойкий
С 366	EI – 90	КНАУФ-суперлист
С 136	EI – 90	КНАУФ-Файерборд + КНАУФ-лист
С 386.2	EI – 120	АКВАПАНЕЛЬ

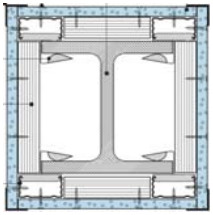
1 Огнезащита. Перегородки

Тип	Эскиз перегородки	Огнестойкость		Пожарная опасность
		ГКЛ	ГКЛО/ГВЛ	
С 111		EI 45 Факт 50-55	EI 60 Факт 61-65	K0 (45)
С 112		EI 60 Факт 80-87	EI 90 Факт 92-95	
С 115		EI 60 Без испы-таний	EI 90 Без испы-таний	
С 116				

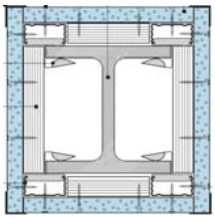
1 Огнезащитные облицовки

Огнезащитные облицовки из КНАУФ-суперлистов и плит КНАУФ-Файерборд

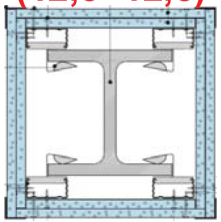
12,5 мм



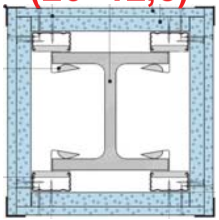
20 мм



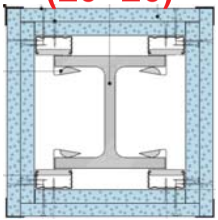
25 мм (12,5+12,5)



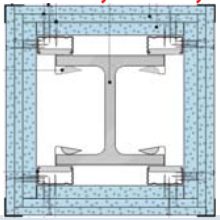
32,5 мм (20+12,5)



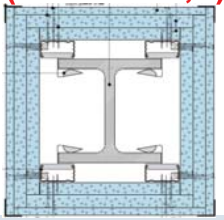
40 мм (20+20)



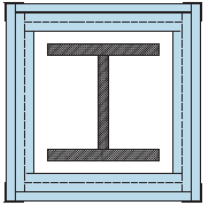
45 мм (20+12,5+12,5)



52,5 мм (20+20+12,5)



45 мм (15+15+15)



Разработанные решения до 240 минут



КНАУФ-Файерборд

Общие сведения

Негорючие плиты КНАУФ-Файерборд специально разработаны фирмой КНАУФ для обеспечения повышенных требований в области пожарной безопасности зданий и сооружений.

Плиты КНАУФ-Файерборд представляют собой листовое изделие, состоящее из несгораемого гипсового сердечника с добавлением вермикулита и стеклоровинга, все плоскости которого, кроме торцевых кромок, облицованы негорючим стеклохолстом, прочно приклеенным к сердечнику. Все кромки плит имеют прямоугольную форму. Плиты КНАУФ-Файерборд выпускаются по конвейерной технологии на заводах в России по ТУ-5742-006-01250242-2009 и имеют сертификат соответствия. Экологическая чистота плит подтверждается санитарно-эпидемиологическим заключением.

Являясь материалом для «сухого строительства», плиты КНАУФ-Файерборд обладают всеми преимуществами этого способа строительства и отделки:

- технологичность в обработке;
- легкость и быстрота монтажа каркасно-обшивных конструкций;
- отсутствие трудоемких «мокрых» процессов.

Условное обозначение и маркировка

Условное обозначение негорючих плит КНАУФ-Файерборд состоит из:

- обозначения плиты ПНКФ;
- цифр, обозначающих длину, ширину и толщину плиты в миллиметрах;
- обозначения технических условий.

Пример условного обозначения плиты длиной 2500 мм, шириной 1200 мм, толщиной 12,5 мм:

ПНКФ 2500х1200х12,5 ТУ 5742-006-01250242-2009

Маркировка плит производится на тыльной стороне красной краской и содержит:

по центру плиты:

- наименование завода-изготовителя, номер завода;
- условное обозначение плит;
- дату, время выпуска плит;

по углам плиты:

- надпись «тыльная сторона».

При монтаже необходимо обязательно крепить плиты тыльной стороной внутрь.

Пожарно-технические характеристики плит

Плиты КНАУФ-Файерборд являются негорючим строительным материалом (НГ) и отнесены к классу пожарной опасности КМ0, что подтверждается сертификатом пожарной безопасности (по ГОСТ 30244). Принципиальное отличие поведения плит КНАУФ-Файерборд от поведения других листовых гипсовых изделий в условиях стандартных огневых испытаний заключается в том, что после выпаривания кристаллизационной влаги из гипсового сердечника изделие не трескается и не разрушается более длительное время. Помимо усиленного гипсового сердечника, это достигается наличием негорючего стеклохолста, который выполняет функции огнестойкого армирующего каркаса изделия. Это свойство плит КНАУФ-Файерборд обеспечивает более высокую огнестойкость конструкций на их основе.

Физико-технические характеристики плит

- ширина 1200 мм;
- длина 2500 мм;
- толщина 12,5 мм (20 мм под заказ);
- масса 10,5 кг/м^2;
- плотность 850 кг/м^3;
- теплопроводность 0,22 Вт/мК.

Область применения

Плиты КНАУФ-Файерборд применяются в качестве огнезащитного облицовочного материала в каркасно-обшивных конструкциях перегородок, облицовок стен, огнезащитных облицовок стальных конструкций и подвесных потолков на путях эвакуации и в зальных помещениях в зданиях различного функционального назначения, этажности и вместимости, в других строительных конструкциях, где согласно требованиям пожарной безопасности предусмотрено применение негорючих строительных материалов (НГ) класса пожарной опасности КМ0. Данные требования приведены в табл. 28 и 29 Приложения к Федеральному закону Российской Федерации от 22 июля 2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности». Плиты КНАУФ-Файерборд могут применяться в качестве дополнительной негорючей облицовки, которая крепится к уже существующим конструкциям стен.

КНАУФ-Файерборд

Облицовка стен

Облицовка стен представляет собой конструктивный элемент, состоящий из стального каркаса из КНАУФ-профиля, обшитого плитами КНАУФ-Файерборд.

При необходимости устройства двухслойной обшивки внутренний слой выполняется из КНАУФ-листов. Конструктивное решение ограждения коммуникационных шахт, а также мест пропуска трубопроводов аналогично конструкциям по облицовке стен на стальном каркасе.

Перегородки

Каркасно-обшивные перегородки включают стальной каркас из КНАУФ-профиля с обшивками из плит КНАУФ-Файерборд или комбинированной обшивкой с наружным слоем из плит КНАУФ-Файерборд и внутренним слоем из КНАУФ-листов, при закрепленных к каркасу самонарезающими винтами. Воздушная полость между обшивками заполняется негорючим изоляционным материалом. Комбинированная обшивка применяется для случаев, когда применение негорючей обшивки требуется только с одной стороны перегородки.

Подвесные потолки

Конструкции подвесных потолков состоят из стального каркаса из КНАУФ-профиля, подвешенного к конструкциям перекрытия или покрытия (базовому потолку), и однослойной обшивки из плит КНАУФ-Файерборд или комбинированной обшивки с наружным слоем из плит КНАУФ-Файерборд и внутренним слоем из КНАУФ-листов.

Огнезащитная облицовка стальных элементов (колонн, балок)

Конструкция огнезащитной облицовки стальных элементов (колонн, балок) представляет собой конструктивный элемент, состоящий из плит КНАУФ-Файерборд, закрепленных на стальном каркасе. Крепление каркаса к стальным конструкциям осуществляется с помощью специальных зажимов.

Указания по применению

При применении плит КНАУФ-Файерборд следует руководствоваться утвержденным альбомом рабочих чертежей «Комплектные системы КНАУФ. Каркасно-обшивные конструкции поэлементной сборки с применением гипсовых негорючих плит КНАУФ-Файерборд для зданий различного назначения. Выпуск 2. Материалы для проектирования и чертежи узлов. КС 31.07/2009».

Упаковка, транспортировка и хранение

Маркировку транспортных пакетов производят при помощи транспортных ярлыков, на которых указывается:

- наименование завода-изготовителя;
- обозначение плит;
- номер партии и дата изготовления;
- количество плит в квадратных метрах и (или) штуках;
- штамп службы технического контроля.

Транспортировка и хранение плит КНАУФ-Файерборд требуют соблюдения следующих правил:

- габариты транспортных пакетов не должны превышать по длине 4100 мм, по высоте 800 мм, масса пакета должна быть не более 3000 кг;
- штабель, сформированный из пакетов, при хранении у потребителей должен быть не выше 3,5 м в соответствии с правилами техники безопасности;
- при перевозке транспортных пакетов в открытых транспортных средствах пакеты должны быть защищены от увлажнения;
- при погрузочно-разгрузочных работах, транспортно-складских и других работах не допускаются удары по плитам;
- плиты КНАУФ-Файерборд следует хранить в закрытом помещении с сухим и нормальным влажностными режимами раздельно по размерам.

Примечание

Для заделки стыков плит КНАУФ-Файерборд могут пименяться как шпаклевочная смесь КНАУФ-Файерборд Шпахтель, так и КНАУФ-Унифлот.

+7 (800) 770-76-67
info@knauf.ru
www.knauf.ru

КНАУФ оставляет за собой право вносить изменения, не затрагивающие основные характеристики материалов и конструкций. Все технические характеристики обеспечиваются при использовании рекомендуемых фирмой КНАУФ материалов. Все указания по расходу, количеству и применению материалов являются расчетными и в случаях, отличающихся от указанных, должны уточняться. За дополнительной консультацией следует обращаться в технические службы КНАУФ.

10.2017

Сбытовые организации ООО «КНАУФ ГИПС»

МОСКОВСКАЯ СБЫТОВАЯ ДИРЕКЦИЯ (г. Красногорск)	СЕВЕРО-ЗАПАДНАЯ СБЫТОВАЯ ДИРЕКЦИЯ (г. Санкт-Петербург)	ЮГО-ЗАПАДНАЯ СБЫТОВАЯ ДИРЕКЦИЯ (г. Новомосковск)	ЮЖНАЯ СБЫТОВАЯ ДИРЕКЦИЯ (г. Краснодар)	КАЗАНСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ЮЖНОЙ СД (г. Казань)	УРАЛЬСКАЯ СБЫТОВАЯ ДИРЕКЦИЯ (г. Челябинск)	ПЕРМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ УРАЛЬСКОЙ СД (г. Пермь)	ВОСТОЧНАЯ СБЫТОВАЯ ДИРЕКЦИЯ (г. Иркутск)	НОВОСИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВОСТОЧНОЙ СД (г. Новосибирск)	ХАБАРОВСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВОСТОЧНОЙ СД (г. Хабаровск)
+7 (495) 937-95-95	+7 (812) 718-81-94	+7 (48762) 29-291	+7 (861) 267-80-30	+7 (843) 526-03-12	+7 (351) 771-02-09	+7 (342) 220-65-39	+7 (3952) 290-032	+7 (383) 355-44-36	+7 (4212) 914-419
inforamarket@knauf.ru	info-spb@knauf.ru	KMN-info@knauf.ru	kuban@knauf.ru	kazan@knauf.ru	info74@knauf.ru	perm@knauf.ru	info_irk@knauf.ru	info54@knauf.ru	khabarovsk@knauf.ru

К 811 КНАУФ-суперлист

Общие сведения

КНАУФ-суперлист (гипсоволокнистый лист, ГВЛ) – высококачественный, экологически чистый материал. Предназначен для строительных отделочных работ сухим способом. Производится ООО «КНАУФ ГИПС Дзержинск» и ОАО «КНАУФ ГИПС Челябинск» по ГОСТ Р 51829-2001 прессованием смеси гипсового вяжущего и волокон распушенной макулатуры, равномерно распределенных по всему объему листа.

КНАУФ-суперлист отличается сочетанием высоких пожарно-технических, прочностных, звукоизолирующих и других характеристик, отвечающих требованиям к листовым отделочным материалам и изделиям из них. В плане он имеет прямоугольную форму. Лицевая поверхность листа отшлифована и обработана пропиткой против меления.

Влагостойкое исполнение КНАУФ-суперлиста в отличие от обычного придает ему свойства одновременно огнезащитного и влагостойкого материала.

КНАУФ-суперлист поставляется потребителю со следующими номинальными размерами (табл. 1).

Типоразмер	Длина, мм	Ширина, мм	Толщина, мм
Крупноформатный	2500	1200	10; 12,5
Малоформатный	1200	1200	10

По согласованию с предприятиями-изготовителями возможно изготовление листов с другими размерами.

По формам продольных кромок КНАУФ-суперлисты подразделяются на листы с прямой кромкой (ПК) и листы с фальцевой кромкой (ФК). Торцевые кромки листов имеют прямоугольные кромки.



Листы с прямой продольной кромкой предназначены для устройства конструкций сборных оснований пола КНАУФ ОП 13.

Для обшивки каркасных конструкций (перегородок, облицовок, подвесных потолков, конструкций мансард) применяются листы с фальцевой продольной кромкой.

Пожарно-технические характеристики

Группа горючести – Г1 (по ГОСТ 30244-94); группа воспламеняемости – В 1 (по ГОСТ 30402-96); группа дымообразующей способности – Д1 (по ГОСТ 12.1.044-89); группа токсичности – Т1 (по ГОСТ 12.1.044-89); группа распространения пламени – РП 1 (по ГОСТ Р 51032-97).

Физико-технические характеристики

Показатели	Значения
Масса 1 м², кг, где s – номинальная толщина листа в мм	не менее 1,05s
	не более 1,25s
Коэффициент теплопроводности (при плотности от 1000 до 1200 кг/м³), Вт/м°С	от 0,22 до 0,36
Коэффициент теплоусвоения, Вт/м°С	не более 6,2
Предел прочности при изгибе, МПа	не менее 5,5
Твердость по Бринеллю, МПа	не менее 20
Водопоглощение внешней поверхностью листов ГВЛВ, кг/м²	не более 1 за 1 ч
Коэффициент паропроницаемости, Мг/м · ч · Па	0,12
Удельная эффективность естественных радионуклидов, Бк/кг	не более 370

Конструкции поэлементной сборки с обшивками из КНАУФ-суперлистов предназначены для применения в жилых, общественных и производственных зданиях: всех степеней огнестойкости, включая I степень; всех классов конструктивной пожарной опасности, включая класс С0; всех классов функциональной пожарной опасности, включая класс Ф1; любых конструктивных систем и типов; любого уровня ответственности, включая повышенный; различной этажности; независимо от климатических и инженерно-геологических условий строительства.

Приоритетными областями применения КНАУФ-суперлистов являются:

а) противопожарная защита несущих, ограждающих и других конструкций, к которым предъявляются нормируемые требования по пределам огнестойкости при нулевом пределе распространения огня, в том числе:

- стен и потолков на путях эвакуации (в вестибюлях, лифтовых холлах, лестничных клетках);
- стен, перегородок и перекрытий зданий с каркасной конструктивной схемой;
- деревянных элементов конструкций мансардных этажей, включая перекрытия и покрытия;
- колонн, балок, коммуникационных шахт, кабельных каналов и т.д.;

б) устройство стяжек сборных оснований пола КНАУФ;

в) комплексная противопожарная защита и звукоизоляция ограждающих конструкций.

Применение обычных КНАУФ-суперлистов рекомендуется в помещениях с сухим и нормальным, а влагостойких – и с влажным влажностными режимами (СНиП 23-02-2003), с неагрессивной средой (СНиП 2.03.13-88).

Обработка КНАУФ-суперлистов

Раскрой КНАУФ-суперлистов производится на ровной поверхности (рабочего стола, пакетов листов). Для этого используется нож для ГВЛ, ножовка или электролобзик.

При использовании ножа для ГВЛ по линии раскроя прикладывается металлическая линейка или рейка, вдоль которой производится надрез на глубину 1–1,5 мм. Затем лист укладывается по линии надреза вдоль кромки рабочей поверхности стола (пакета), надламывается и разделяется на части. По мере необходимости кромки зачищаются обдирочным рубанком.

Для формирования фигурных отверстий применяются круглые фрезы, прокалывающая пила или электролобзик.

Фальцевое исполнение продольных кромок позволяет стыковать листы на несущих элементах каркасов в строгом соответствии с проектным шагом (300, 400, 600 мм), а также усиливать стыки армированием. С торцевых кромок в этих целях отборным рубанком снимаются фаски шириной 30 мм и глубиной около 2 мм.

В однослойных обшивках торцевые стыки устраиваются на вставках. В многослойных обшивках устройство вставок не обязательно.

К 811 КНАУФ-суперлист

Монтаж и крепление КНАУФ-суперлистов

Для крепления КНАУФ-суперлистов к каркасам перегородок и облицовок применяются самонарезающие прокалывающие или высверливающие винты для ГВЛ (d = 3,9 мм с зенкующей головкой). В каждом отдельном случае длина винтов и шаг их установки определяются типом конструкции.

Многослойную обшивку рекомендуется выполнять в течение одного дня. При этом в однослойных обшивках шаг установки винтов составляет 250 мм (винт L = 30 мм). В двухслойных обшивках он должен быть: для первого слоя – 750 мм (винт L = 30 мм), для второго – 250 мм (винт L = 45 мм). В трехслойных обшивках шаг винтов равен: для первого слоя – 750 мм (винт L = 30 мм), для второго – 500 мм (винт L = 45 мм), для третьего – 250 мм (винт L = 55 мм). Минимальное расстояние от края кромки 10–12 мм.

Головки винтов должны быть утоплены в лист под прямым углом на глубину около 1 мм и проникать в металлический профиль каркаса на глубину не менее 10 мм, а в деревянные конструкции – не менее 20 мм. Изогнутые или неправильно ввернутые винты удаляются и заменяются новыми на расстоянии около 50 мм от прежних.

В конструкциях сборных оснований пола монтаж стяжек осуществляется прокалывающими винтами для ГВЛ L = 19 мм и большей длины (22, 25 или 30 мм), если это не ведет к повреждению защиты технических коммуникаций и разделительного слоя.

Грунтование и шпаклевание

Перед шпаклеванием стыки листов обрабатываются грунтовкой КНАУФ-Тифенгрунд. Шпаклевание кромок и мест установки винтов осуществляется шпаклевкой КНАУФ-Фуген ГВ или КНАУФ-Унифлот в условиях, соответствующих эксплуатационным. Стыки листов внутренних слоев обшивок не армируются. Армирование фальцевых кромок наружных слоев обшивок производится с помощью бумажной ленты (серпянки), укладываемой вдавливанием в предварительно нанесенный слой шпаклевки. После высыхания первого слоя шпаклевки наносится накрывочный и при необходимости финишный слой. Углубления от винтов шпаклюются в один слой. Зашпаклеванная поверхность после высыхания шлифуется. Ее грунтование производится в соответствии с применяемым декоративным покрытием.

В помещениях, где имеется возможность прямого попадания воды на поверхность конструкций (ванные, душевые), узлы примыкания защищаются гидро-изоляционной лентой типа КНАУФ-Флэхендихтбанд, а поверхность листов и узлы примыкания обрабатываются гидроизоляционной мастикой типа КНАУФ-Флэхендихт.

Маркировка, транспортирование и хранение

Маркировка листов наносится синим цветом на тыльной стороне каждого изделия несмываемой краской и содержит обозначения: вида листов; типа продольных кромок; номинальной длины, ширины и толщины листов (мм); стандарта.

Пример маркировки влагостойких гипсоволокнистых листов с фальцевыми продольными кромками длиной 2500 мм, шириной 1200 мм и толщиной 10 мм: **ГВЛВ-ФК-2500х1200х10 ГОСТ Р 51829-2001.**

Маркировка транспортных пакетов осуществляется с помощью ярлыков, прикрепляемых к пакетам.

На ярлыках указываются: наименование предприятия-изготовителя и (или) его товарный знак и адрес; условное обозначение листов; номер партии и дата изготовления; количество листов в квадратных метрах и (или) штуках; знак соответствия стандарту.

На ярлыки наносятся также манипуляционные знаки: «Хрупкое. Осторожно», «Беречь от влаги» и штамп службы технического контроля.

Качество продукции подтверждается: ГОСТом, сертификатом соответствия, сертификатом пожарной безопасности и гигиеническим заключением на применение в жилищно-гражданском строительстве.

Транспортирование КНАУФ-суперлистов осуществляется всеми видами транспорта в соответствии с действующими на них правилами перевозки грузов в пакетированном виде. В заводских условиях транспортные пакеты формируются на поддонах из листов одного вида, группы, партии, типа кромки и размеров. Пакеты с фальцевой кромкой имеют защиту от внешних механических воздействий.

Во избежание повреждений кромок при штабелировании пакетов габариты поддонов превышают габариты листов. Транспортные пакеты имеют заводскую влагозащитную полиэтиленовую упаковку. Пакеты с поврежденной упаковкой при перевозке в открытых транспортных средствах должны быть надежно защищены от попадания в них влаги.

При погрузочно-разгрузочных работах, внутрискладских и других перемещениях КНАУФ-суперлистов применяются средства механизации работ (погрузчики, краны и т.д.), работа которых осуществляется на малой скорости, без рывков во избежание механических повреждений продукции.

Транспортирование КНАУФ-суперлистов на этажах строительных объектов осуществляется ручными тележками, а при переноске вручную – с помощью специальных приспособлений (ручек) в вертикальном положении на продольном ребре листа.

Хранение КНАУФ-суперлистов осуществляется в помещениях с сухим или нормальным влажностными режимами, с соблюдением мер безопасности и сохранения продукции. Общая высота складируемых штабелей не должна превышать 3,5 м. Расстояния между штабелями должны быть не менее 1 м.

В монтажной зоне листы необходимо хранить в горизонтальном положении (плашмя) на ровной поверхности.

Указания по применению

При применении КНАУФ-суперлистов следует руководствоваться проектной документацией, утвержденной в установленном порядке:

- Альбом «Комплектные системы КНАУФ. Перегородки поэлементной сборки из гипсоволокнистых листов на металлическом и деревянном каркасах для жилых, общественных и производственных зданий. Серия 1.031.9-3.10. Выпуск 4»;
- Альбом «Комплектные системы КНАУФ. Облицовки из гипсоволокнистых листов ограждающих конструкций жилых, общественных и производственных зданий. Стены. Мансардные помещения. Коммуникационные шахты. Шифр М8.3/08»;
- Альбом «Комплектные системы КНАУФ. Подвесные потолки поэлементной сборки из гипсокартонных и гипсоволокнистых листов на деревянном и металлическом каркасах для жилых, общественных и производственных зданий. Серия 1.045.9-2.08. Выпуск 1»;
- Альбом «Комплектные системы КНАУФ. Полы по железобетонным перекрытиям со сборной стяжкой из гипсоволокнистых листов для жилых и общественных зданий. Шифр М28.06/04. Выпуск 2».

Примечание (или гарантия)

В течение всего технологического процесса и по его окончании КНАУФ-суперлисты проходят жесткий технический контроль, производимый на основании приемосдаточных испытаний по всем показателям качества, предусмотренным **ГОСТом Р 51829-2001,** поэтому если вы выполнили наши рекомендации по транспортировке и хранению, КНАУФ гарантирует соответствие продукции указанному нормативному документу в течение одного года.

Приложение 5.3

Решения компании АО «ТИЗОЛ»

ЗАЩИТА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ (R 15-90)
Система «ЕТ ЛСТК»

УНИКАЛЬНАЯ ДЛЯ РОССИИ РАЗРАБОТКА

Назначение: повышение огнестойкости легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) до 15-90 минут.

Область применения: жилые (до 50 метров высотой), складские, хозяйственные, торговые, производственные помещения (включая использование большепролетных конструкций). Здания и сооружения любого типа и назначения.

Условия эксплуатации: температура от -60 до + 100°С, влажность до 90%.

Гарантийный срок эксплуатации: не менее 25 лет.

ПРЕИМУЩЕСТВА СИСТЕМЫ:
– надежность и долговечность (гарантийный срок эксплуатации не менее 25 лет)
– абсолютная экологическая чистота
– технологичность и «чистота» процесса
– высокая производительность монтажа
– доступность контроля при монтаже и эксплуатации
– эстетически законченный вид
– ремонтопригодность
– минимальная толщина и нагрузка на конструкцию
– влагостойкость, виброустойчивость
– привлекательные ценовые характеристики

КОМПОНЕНТЫ СИСТЕМЫ

Огнезащитный состав «ПЛАЗАС». Изготавливается на ос-нове силикатных вяжущих, минеральных наполнителей и химических добавок. Поставляется в готовом виде (густая влажная масса).

Расфасовка: плотно закрытая полиэтиленовая тара, емкостью 15, 45 кг или иная по согласованию с заказчиком.

Основные технические характеристики:
– серо-коричневый цвет
– объемная плотность 1300÷1500 кг/м^3
– условная вязкость: 90÷115 мм (ГОСТ 8420-74)
– адгезия к оцинкованной поверхности 30 кПа
– группа горючести НГ
– класс пожарной опасности строительных материалов КМ0.

Материал базальтовый огнезащитный рулонный фольгированный (МБОР-Ф). Штапельный холст из супертонких базальтовых волокон, прошитый стеклянной, базальтовой или другими нитями, не ухудшающими огнезащитных свойств. МБОР-Ф кашированный алюминиевой фольгой с одной стороны, выпускается толщиной 5, 8, 10, 13, 16, 18, 20, 23, 26 мм, шириной 1500 мм, длиной 6000-30000 мм (в зависимости от толщины материала).

МБОР-Ф поставляется рулонами Ø350÷450 мм, длиной 1550 мм. Вес рулона 20÷25 кг, в рулоне 12-45 м^2 (в зависимости от толщины материала).

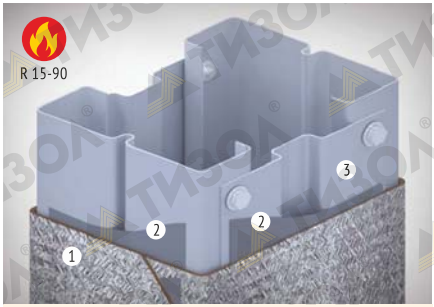
Основные технические характеристики:
– объемная плотность 80÷110 кг/м^3
– поверхностная плотность 615÷2860 г/м^2 (в зависимости от толщины материала)
– коэффициент теплопроводности при 10°С 0,032 Вт/мК
– влажность по массе при выпуске: не более 2%
– индекс звукопоглощения (αw) 0,5
– группа горючести НГ
– класс пожарной опасности строительных материалов КМ0.

Плита минераловатная огнезащитная теплоизоляционная «EURO-ЛИТ».

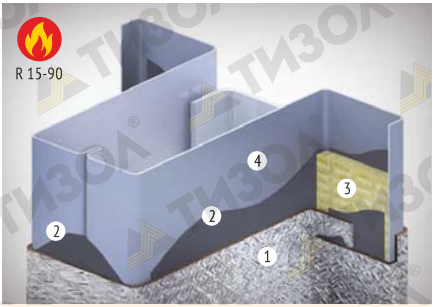
Габаритные размеры: 1000х600 мм, 1200х1000 мм или другими по согласованию с заказчиком.

Толщина плит: 25-250 мм.

Основные технические характеристики:
– объемная плотность 50-80 кг/м^3
– коэффициент теплопроводности при 10°С 0,034-0,037 Вт/мК
– группа горючести НГ
– класс пожарной опасности строительных материалов КМ0.



Огнезащита конструкций из профилей, собранных в коробку
1. Материал рулонный МБОР-Ф
2. Огнезащитный состав «ПЛАЗАС»
3. Холодногнутый оцинкованный профиль ЛСТК



Огнезащита конструкций из профилей Z
1. Материал рулонный МБОР-Ф
2. Огнезащитный состав «ПЛАЗАС»
3. Огнезащитная плита «EURO-ЛИТ»
4. Холодногнутый оцинкованный профиль ЛСТК

Зависимость толщины материала МБОР от приведенной толщины металла (ПТМ) для обеспечения требуемой огнестойкости конструкции ЛСТК при критической температуре металла 500°С

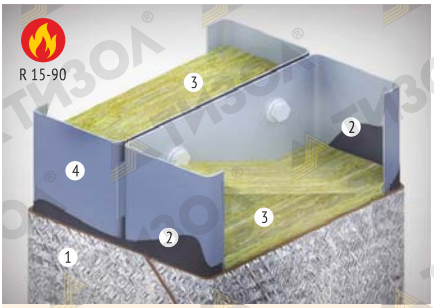
ПТМ (мм)	Огнестойкость R15		ПТМ (мм)	Огнестойкость R30		ПТМ (мм)	Огнестойкость R45		ПТМ (мм)	Огнестойкость R60		Огнест. R90
	Коробчатая конструкция	Двутавровая конструкция		Коробчатая конструкция	Двутавровая конструкция		Коробчатая конструкция	Двутавровая конструкция		Коробчатая конструкция	Двутавровая конструкция	Двутавровая конструкция
0,75	МБОР-5Ф	МБОР-5Ф	0,75	МБОР-10Ф	МБОР-10Ф	0,75	МБОР-18Ф	МБОР-16Ф	0,75	МБОР-26Ф	МБОР-20Ф	МБОР-26Ф
0,78			0,78			0,78			0,78			
0,81			0,81			0,81		МБОР-13Ф	0,81		МБОР-18Ф	
0,80			0,80		МБОР-8Ф	0,80			0,80			
0,88			0,88	МБОР-10Ф		0,88			0,88		МБОР-16Ф	МБОР-23Ф
0,95			0,95			0,95			0,95			
0,97			0,97			0,97		МБОР-10Ф	0,97			МБОР-20Ф
1, 05			1, 05			1, 05			1, 05		МБОР-13Ф	
1,11			1,11			1,11			1,11			МБОР-18Ф
1,13			1,13			1,13		МБОР-8Ф	1,13			
1,17			1,17		МБОР-5Ф	1,17			1,17			МБОР-16Ф
1,19			1,19			1,19			1,19		МБОР-10Ф	
1,33			1,33	МБОР-8Ф		1,33	МБОР-16Ф		1,33			
1,41			1,41			1,41			1,41		МБОР-8Ф	МБОР-13Ф
1,55			1,55			1,55			1,55	МБОР-23Ф		
1,61			1,61			1,61			1,61			
1,65			1,65			1,65		МБОР-5Ф	1,65			МБОР-10Ф
1,73			1,73			1,73			1,73			
1,86			1,86	МБОР-5Ф		1,86	МБОР-13Ф		1,86			
1,98			1,98			1,98			1,98			
2,00			2,00			2,00			2,00			МБОР-8Ф

РАСХОД МАТЕРИАЛОВ

Расход состава «ПЛАЗАС» при сплошном нанесении 1,9-2,5 кг на квадратный метр защищаемой поверхности.

Расход материала МБОР при монтаже в один слой составляет 1,2 м^2, при двуслойном нанесении – 2,1 м^2 на квадратный метр защищаемой поверхности. Расход может увеличиваться в зависимости от размера и сложности конфигурации конструкции.

Расход плиты «EURO-ЛИТ» зависит от геометрических размеров заполняемого межполочного пространства защищаемой конструкции. При этом размер раскраиваемых плит должен быть больше размеров межполочного расстояния на 2-5%.



Огнезащита конструкций из профилей, собранных двутавром
1. Материал рулонный МБОР-Ф
2. Огнезащитный состав «ПЛАЗАС»
3. Огнезащитная плита «EURO-ЛИТ»
4. Холодногнутый оцинкованный профиль ЛСТК

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ МОНТАЖА

1. Подготовка защищаемых поверхностей (зачистка, обезжиривание).
2. Раскрой материала МБОР-Ф, при необходимости плит «EURO-ЛИТ».
3. Подготовка клеящего огнезащитного состава «ПЛАЗАС» (перемешивание).
4. Нанесение клеящего огнезащитного состава «ПЛАЗАС» на защищаемые поверхности.
5. Монтаж плиты «EURO-ЛИТ» в межполочное пространство конструкции (при необходимости).
6. Оклеивание защищаемых поверхностей в короб материалом МБОР-Ф.
7. Проклеивание мест соединений материала МБОР-Ф алюминиевым скотчем (при необходимости).



Огнезащита «ТИЗОЛ»

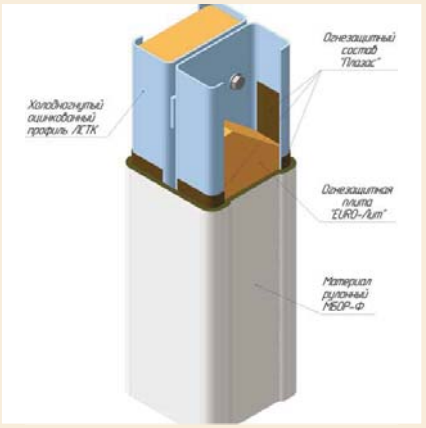


Схема монтажа системы ЕТ ЛСТК



Процесс монтажа огнезащиты ЛСТК



Начало работ по огнезащите ЛСТК



Так выглядят конструкции, защищенные ЕТ ЛСТК

Приложение 5.4

Инструкция компании АО «ТИЗОЛ» по определению необходимой толщины системы конструктивной огнезащиты «ЕТ ЛСТК» (фрагмент)

МЧС РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский институт государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России
ул. Мира 22, г. Екатеринбург 620062
Тел.(343) 374-07-06 Факс 375-15-10
E-mail: uigps@uigps.ru

Инструкция

по определению необходимой толщины системы конструктивной огнезащиты «ЕТ ЛСТК», состоящей из огнезащитного состава «Плазас » (ТУ 5765-013-70794668-2006), материала базальтового огнезащитного рулонного фольгированного МБОР (ТУ 5769-003-48588528-00 с изм. 1, 2, 3, 4, 5), огнезащитной плиты «EURO-ЛИТ» (ТУ 5762-011-08621635-2009 с изм. 1) в зависимости от приведенной толщины металла, критической температуры стальной строительной конструкции и требуемого предела огнестойкости

Копия ЗАО "ТИЗОЛ"

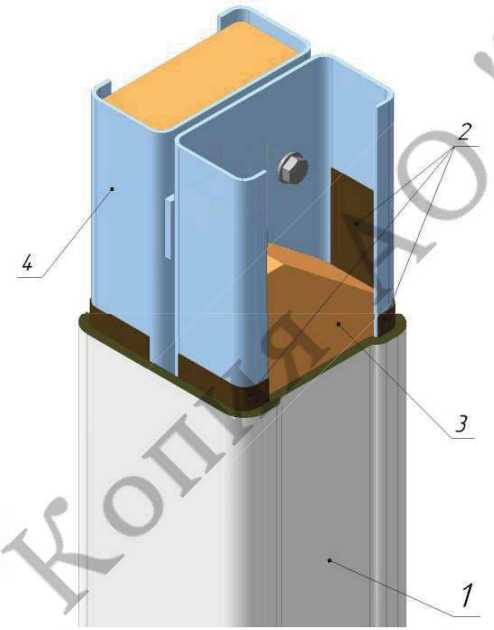
Екатеринбург 2018

4. ИНСТРУКЦИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НЕОБХОДИМОЙ ТОЛЩИНЫ МАТЕРИАЛА МБОР Ф СИСТЕМЫ КОНСТРУКТИВНОЙ ОГНЕЗАЩИТЫ «ЕТ ЛСТК»

4.1. Исходные данные для разработки Инструкции

В соответствии с представленными протоколами испытаний, в качестве образцов для испытаний применялись стержневые элементы с различной приведенной толщиной металла.

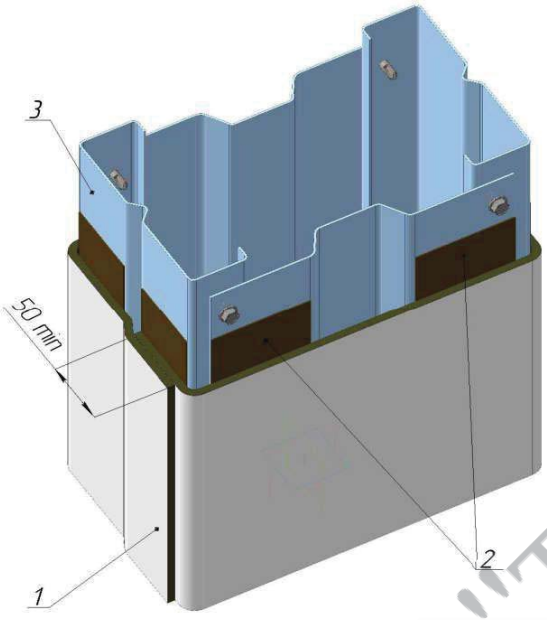
Монтаж системы конструктивной огнезащиты осуществлялся в соответствии с технической документацией и рекомендациями изготовителя. Схемы огнезащиты строительных конструкций двутаврового и замкнутого профиля приведены на рисунках 1 и 2, соответственно.



1 – материал базальтовый огнезащитный рулонный фольгированный МБОР-Ф;
2 – огнезащитный состав «Плазас»
3 – огнезащитная плита «EURO-ЛИТ»
4 – Стержневая конструкция двутаврового сечения собранная из стальных холодногнутых оцинкованных С образных профилей.

Рисунок 1. Схема огнезащиты конструкции двутаврового профиля

Копия АО "ТИЗОЛ"



1 – материал базальтовый огнезащитный рулонный фольгированный МБОР-Ф;
2 – огнезащитный состав «Плазас»;
3 – стержневая конструкция коробчатого сечения собранная из стальных холодногнутых оцинкованных сигма (Σ) образных профилей

Рисунок 2. Схема огнезащиты конструкции замкнутого профиля

Испытания образцов стальных колонн проводили по ГОСТ Р 53295-2009 при четырехстороннем тепловом воздействии по стандартному температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0-94.

Порядок проведения испытаний, испытательное оборудование, результаты испытаний описаны в представленных протоколах испытаний.

4.2. Методика обработки данных огневых испытаний

Обработка данных огневых испытаний выполнена методом числовой регрессии в соответствии с методикой, изложенной в приложении Н [5] с помощью программного комплекса MS Excel 2007. Методика обработки приведена в приложении А.

4.3. Результаты обработки данных огневых испытаний

Результаты математической обработки данных огневых испытаний были проанализированы и обобщены. На основании анализа были построены таблицы 2 и

Копия АО "ТИЗОЛ"

3 для определения предела огнестойкости строительных конструкций двутаврового и коробчатого сечения, соответственно, в зависимости от приведенной толщины металла и толщины системы конструктивной огнезащиты «ЕТ ЛСТК».

Таблица 2. Зависимость толщины материала МБОР Ф системы конструктивной огнезащиты «ЕТ ЛСТК» от требуемого предела огнестойкости стальной конструкции двутаврового профиля и приведенной толщины металла при критической температуре стальной конструкции 500 ^{0}C

tred, мм	**R15**	**R30**	**R45**	**R60**	**R90**
0,75	5	10	16	20	26
0,76	5	10	16	20	26
0,77	5	10	16	20	26
0,78	5	10	16	20	26
0,79	5	10	16	18	26
0,8	5	10	16	18	26
0,81	5	10	13	18	26
0,82	5	10	13	18	26
0,83	5	10	13	18	26
0,84	5	8	13	18	26
0,85	5	8	13	16	26
0,86	5	8	13	16	26
0,87	5	8	13	16	26
0,88	5	8	13	16	23
0,89	5	8	13	16	23
0,9	5	8	13	16	23
0,91	5	8	13	16	23
0,92	5	8	13	16	23
0,93	5	8	13	16	23
0,94	5	8	13	16	23
0,95	5	8	13	16	23
0,96	5	8	10	16	23
0,97	5	8	10	16	20
0,98	5	8	10	13	20
0,99	5	8	10	13	20
1	5	8	10	13	20
1,01	5	8	10	13	20
1,02	5	8	10	13	20
1,03	5	8	10	13	20
1,04	5	8	10	13	20
1,05	5	8	10	13	18
1,06	5	8	10	13	18
1,07	5	8	10	13	18
1,08	5	8	10	13	18
1,09	5	8	10	13	18
1,1	5	8	10	13	18

Копия АО "ТИЗОЛ"

tred, мм	R15	R30	R45	R60	R90
1,11	5	8	10	13	18
1,12	5	8	10	13	18
1,13	5	8	8	13	18
1,14	5	8	8	13	16
1,15	5	8	8	13	16
1,16	5	8	8	13	16
1,17	5	5	8	13	16
1,18	5	5	8	13	16
1,19	5	5	8	10	16
1,2	5	5	8	10	16
1,21	5	5	8	10	16
1,22	5	5	8	10	16
1,23	5	5	8	10	16
1,24	5	5	8	10	16
1,25	5	5	8	10	16
1,26	5	5	8	10	16
1,27	5	5	8	10	16
1,28	5	5	8	10	16
1,29	5	5	8	10	16
1,3	5	5	8	10	16
1,31	5	5	8	10	16
1,32	5	5	8	10	16
1,33	5	5	8	10	16
1,34	5	5	8	10	13
1,35	5	5	8	10	13
1,36	5	5	8	10	13
1,37	5	5	8	10	13
1,38	5	5	8	10	13
1,39	5	5	8	10	13
1,4	5	5	8	10	13
1,41	5	5	8	8	13
1,42	5	5	8	8	13
1,43	5	5	8	8	13
1,44	5	5	8	8	13
1,45	5	5	8	8	13
1,46	5	5	8	8	13
1,47	5	5	8	8	13
1,48	5	5	8	8	13
1,49	5	5	8	8	13
1,5	5	5	8	8	13
1,51	5	5	8	8	13
1,52	5	5	8	8	13
1,53	5	5	8	8	13
1,54	5	5	8	8	13
1,55	5	5	8	8	13
1,56	5	5	8	8	13

Копия АО "ТИЗОЛ"

tred, мм	R15	R30	R45	R60	R90
1,57	5	5	8	8	13
1,58	5	5	8	8	13
1,59	5	5	8	8	13
1,6	5	5	8	8	13
1,61	5	5	8	8	13
1,62	5	5	5	8	13
1,63	5	5	5	8	13
1,64	5	5	5	8	13
1,65	5	5	5	8	10
1,66	5	5	5	8	10
1,67	5	5	5	8	10
1,68	5	5	5	8	10
1,69	5	5	5	8	10
1,7	5	5	5	8	10
1,71	5	5	5	8	10
1,72	5	5	5	8	10
1,73	5	5	5	8	10
1,74	5	5	5	8	10
1,75	5	5	5	8	10
1,76	5	5	5	8	10
1,77	5	5	5	8	10
1,78	5	5	5	8	10
1,79	5	5	5	8	10
1,8	5	5	5	8	10
1,81	5	5	5	8	10
1,82	5	5	5	8	10
1,83	5	5	5	8	10
1,84	5	5	5	8	10
1,85	5	5	5	8	10
1,86	5	5	5	8	10
1,87	5	5	5	8	10
1,88	5	5	5	8	10
1,89	5	5	5	8	10
1,9	5	5	5	8	10
1,91	5	5	5	8	10
1,92	5	5	5	8	10
1,93	5	5	5	8	10
1,94	5	5	5	8	10
1,95	5	5	5	8	10
1,96	5	5	5	8	10
1,97	5	5	5	8	10
1,98	5	5	5	8	10
1,99	5	5	5	8	8
2	5	5	5	8	8

Копия АО "ТИЗОЛ"

Таблица 3. Зависимость толщины материала МБОР Ф системы конструктивной огнезащиты «ЕТ ЛСТК» от требуемого предела огнестойкости стальной конструкции замкнутого профиля и приведенной толщины металла при критической температуре стальной конструкции 500 ^{0}C

tred, мм	R15	R30	R45	R60
0,75	5	10	18	26
0,76	5	10	18	26
0,77	5	10	18	26
0,78	5	10	18	26
0,79	5	10	18	26
0,8	5	10	18	26
0,81	5	10	18	26
0,82	5	10	18	26
0,83	5	10	18	26
0,84	5	10	18	26
0,85	5	10	18	26
0,86	5	10	18	26
0,87	5	10	18	26
0,88	5	10	18	26
0,89	5	10	18	26
0,9	5	10	18	26
0,91	5	10	18	26
0,92	5	10	18	26
0,93	5	10	18	26
0,94	5	10	18	26
0,95	5	10	18	26
0,96	5	10	18	26
0,97	5	10	18	26
0,98	5	10	18	26
0,99	5	10	18	26
1	5	10	18	26
1,01	5	10	18	26
1,02	5	10	18	26
1,03	5	10	18	26
1,04	5	10	18	26
1,05	5	10	18	26
1,06	5	10	18	26
1,07	5	10	18	26
1,08	5	10	18	26
1,09	5	10	18	26
1,1	5	10	18	26
1,11	5	10	18	26
1,12	5	10	18	26
1,13	5	8	18	26
1,14	5	8	18	26
1,15	5	8	18	26
1,16	5	8	18	26

Копия АО "ТИЗОЛ"

tred, мм	R15	R30	R45	R60
1,17	5	8	18	26
1,18	5	8	18	26
1,19	5	8	18	26
1,2	5	8	16	26
1,21	5	8	16	26
1,22	5	8	16	26
1,23	5	8	16	26
1,24	5	8	16	26
1,25	5	8	16	26
1,26	5	8	16	26
1,27	5	8	16	26
1,28	5	8	16	26
1,29	5	8	16	26
1,3	5	8	16	26
1,31	5	8	16	26
1,32	5	8	16	26
1,33	5	8	16	26
1,34	5	8	16	26
1,35	5	8	16	26
1,36	5	8	16	26
1,37	5	8	16	26
1,38	5	8	16	26
1,39	5	8	16	26
1,4	5	8	16	26
1,41	5	8	16	26
1,42	5	8	16	26
1,43	5	8	16	26
1,44	5	8	16	26
1,45	5	8	16	26
1,46	5	8	16	26
1,47	5	8	16	26
1,48	5	8	16	26
1,49	5	8	16	26
1,5	5	8	16	26
1,51	5	8	16	26
1,52	5	8	16	26
1,53	5	8	16	26
1,54	5	8	16	26
1,55	5	8	16	23
1,56	5	8	16	23
1,57	5	8	16	23
1,58	5	8	16	23
1,59	5	8	16	23
1,6	5	8	16	23
1,61	5	8	16	23
1,62	5	8	16	23

Копия АО "ТИЗОЛ"

tred, мм	R15	R30	R45	R60
1,63	5	8	16	23
1,64	5	8	16	23
1,65	5	8	16	23
1,66	5	8	16	23
1,67	5	8	16	23
1,68	5	8	16	23
1,69	5	8	16	23
1,7	5	8	16	23
1,71	5	8	16	23
1,72	5	8	16	23
1,73	5	8	16	23
1,74	5	5	16	23
1,75	5	5	16	23
1,76	5	5	16	23
1,77	5	5	16	23
1,78	5	5	16	23
1,79	5	5	16	23
1,8	5	5	16	23
1,81	5	5	16	23
1,82	5	5	16	23
1,83	5	5	16	23
1,84	5	5	16	23
1,85	5	5	16	23
1,86	5	5	13	23
1,87	5	5	13	23
1,88	5	5	13	23
1,89	5	5	13	23
1,9	5	5	13	23
1,91	5	5	13	23
1,92	5	5	13	23
1,93	5	5	13	23
1,94	5	5	13	23
1,95	5	5	13	23
1,96	5	5	13	23
1,97	5	5	13	23
1,98	5	5	13	23
1,99	5	5	13	23
2	5	5	13	23

Копия АО "ТИЗОЛ"

Приложение 5.5

Решения компании ООО «Rockwool»

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны»
(ФГБУ ВНИИПО МЧС России)

ИНСТРУКЦИЯ

по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) и клея CONLIT Glue ТУ 2252-018-52935415-2010 (изм. 1)

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» (ФГБУ ВНИИПО МЧС России)

УТВЕРЖДАЮ
Врио начальника
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
кандидат технических наук

_____ **Д.М. Гордиенко**

"23" 05 2017 г.

ИНСТРУКЦИЯ

по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) и клея CONLIT Glue ТУ 2252-018-52935415-2010 (изм. 1)

Заместитель начальника НИЦ НТП ПБ
- начальник отдела 3.5
ФГБУ ВНИИПО МЧС России А.Ю. Лагозин

МОСКВА 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 4

1. Общие положения 4

2. Статический расчет 5

2.1. Общие положения 5

2.2. Центрально-нагруженные стержни 5

2.3. Изгибаемые и внецентренно-нагруженные элементы 6

2.4. Фермы 7

3. Номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой минераловатными плитами ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 7

3.1. Результаты экспериментальных исследований 7

3.2. Приведенная толщина металла конструкций 9

3.3. Построение номограмм с использованием расчетного метода 15

3.4. Использование номограмм 20

4. Пример расчета предела огнестойкости стальной колонны с огнезащитой минераловатными плитами ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 21

Приложение “Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой” 23

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена на основании договора № 1133/Н-3.2 от 10.12.15 г., заказчик: ООО «РОКВУЛ». 143985, Московская обл., г. Балашиха, мкр. Железнодорожный, ул. Автозаводская, д. 48а. ОГРН 1165053057311. ИНН 5012093506.

В работе использованы положения следующих нормативных документов:

– ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования»;

– ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности»;

– Технологический регламент 11-07-15 (изм. 1) «Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит ROCKWOOL CONLIT SL 150 ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) и клея CONLIT Glue»;

– ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) «Изделия теплоизоляционные из каменной ваты»;

– ТУ 2252-018-52935415-2010 (изм. 1) «Клей силикатный «CONLIT Glue» (КОНЛИТ Глю)».

В результате проведенной на испытательной базе ИЛ НИЦ ПБ ФГУ ВНИИПО МЧС России серии экспериментальных исследований по определению огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 и клея CONLIT Glue получены расчетные теплофизические характеристики материалов, на основании которых были построены номограммы огнестойкости стальных конструкций с данной облицовкой.

Расчет производился при помощи комплекса вычислительных программ для расчета теплового состояния конструкций.

Полученные номограммы, в сочетании с представленным ниже расчетным методом, позволяют производить оценку огнестойкости стальных конструкций любой конфигурации, при различных толщинах облицовки из минераловатных плит CONLIT SL 150, а также решение обратных задач.

1. Общие положения

1.1 Расчет пределов огнестойкости стальных конструкций производится по признаку потери несущей способности в нагретом состоянии – R (по классификации ГОСТ 30247.0-94).

1.2 Сущность метода заключается в определении критической температуры стали исследуемой конструкции, в результате которой наступает ее предел огнестойкости –

статический расчет и определении времени от начала теплового воздействия до достижения критической температуры – *теплотехнический расчет*.

1.3 Статический расчет конструкции производится по формулам п. 2 настоящей инструкции.

1.4 Теплотехнический расчет производится с помощью номограмм огнестойкости стальных конструкций с огнезащитной облицовкой, выполненной из минераловатных плит CONLIT SL 150 по п. 3 настоящей инструкции.

2. Статический расчет

2.1 Общие положения

Предел огнестойкости стальных конструкций наступает в результате прогрева их сечения или отдельных его частей до критической температуры.

Критическая температура стальных конструкций, находящихся под действием нагрузки, рассчитывается в зависимости от вида конструкции, схемы ее опирания, марки металла и величины нагрузки.

2.2 Центрально-нагруженные стержни

Предел огнестойкости центрально-нагруженных стержней наступает в результате прогрева их сечения до критической температуры.

Критическая температура центрально-сжатых стержней определяется как наименьшая величина из двух найденных по таблице 1 значений в зависимости от коэффициентов $\gamma_т$ и γ_e

Таблица 1. Значения коэффициентов $\gamma_т$ и γ_e, ***учитывающих изменения нормативного сопротивления*** R^H ***и модуля упругости*** E стали в зависимости от температуры.

Температура в °С	$\gamma_т$	γ_e
20	1,0	1,0
100	0,99	0,96
150	0,93	0,95
200	0,85	0,94
250	0,81	0,92
300	0,77	0,90
350	0,74	0,88
400	0,70	0,86
450	0,65	0,84
500	0,58	0,80

550	0,45	0,77
600	0,34	0,72
650	0,22	0,68
700	0,11	0,59

Коэффициенты $\gamma_т$ и $\gamma_е$ вычисляются по формулам:

$$\gamma_т = \frac{N_н}{F\ R^н} \quad (1)$$

$$\gamma_е = \frac{N_н l_0^2}{\pi^2 E_н J_{\min}} \quad (2)$$

где:

$N_н$ - нормативная нагрузка, кг;

F - площадь поперечного сечения стержня, см^2;

$R^н$ - начальное нормативное сопротивление металла, кг/см^2;

$E_н$ - начальный модуль упругости металла, кг/см^2,

для сталей - $E_н$ = 2100000 кг/см^2;

l_0 - расчетная длина стержня, см;

J_{min} - наименьший момент инерции сечения стержня, см^4.

Расчетная длина - l_0 стержня принимается равной:

- шарнирное опирание по концам - l;

где l - длина стержня, см;

- защемление по концам - 0,5 l;

- один конец защемлен другой свободен - 2 l;

- один конец защемлен, другой шарнирно оперт - 0,7 l.

Критическая температура центрально-растянутых стержней определяется по таблице 1 в зависимости от коэффициента $\gamma_т$, вычисленного по формуле (1).

2.3 Изгибаемые и внецентренно-нагруженные элементы

Предел огнестойкости изгибаемых и внецентренно-нагруженных элементов наступает в результате повышения температуры их наиболее напряженной грани до критической величины.

В случае незащищенных элементов и защищенных элементов сплошного сечения температура наиболее напряженной грани принимается равной температуре всего сечения. В случае элементов, изготовленных из прокатных профилей, температура наиболее напряженной грани принимается равной температуре соответствующей полки (стенки) поперечного сечения.

Критическая температура изгибаемых элементов определяется по таблице 1 в зависимости от коэффициента $\gamma_т$, вычисляемого по формуле:

$$\gamma_т = \frac{M_н}{W\ R^н} \quad (3)$$

где:

$M_н$ - максимальный изгибающий момент от действия нормативных нагрузок, кг см.
W - момент сопротивления сечения, см^3.

Критическая температура внецентренно-сжатых стержней определяется как наименьшая величина из двух найденных по таблице 1 значений в зависимости от коэффициентов $\gamma_т$ и γ_e.

Коэффициент $\gamma_т$ вычисляется по формуле:

$$\gamma_т = \frac{N_н}{R^н}\left(\frac{e}{W} + \frac{1}{F}\right) \quad (4)$$

где:

e - эксцентриситет приложения нормативной нагрузки - $N_н$, см.
Коэффициент γ_e находится по формуле (2).

Критическая температура внецентренно-растянутых стержней определяется по таблице 1 в зависимости от коэффициента $\gamma_т$, вычисляемого по формуле (4).

2.4 Фермы

Предел огнестойкости металлических ферм наступает в результате потери несущей способности наиболее слабого, с точки зрения огнестойкости, элемента.

Для выявления такого элемента определяются пределы огнестойкости всех нагруженных стоек, раскосов и поясов фермы. Критическая температура этих элементов находится в соответствии с п.п. 2.1÷2.3.

3. Номограммы огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 и клея CONLIT Glue

3.1 Результаты экспериментальных исследований

Для построения номограмм были обобщены результаты огневых испытаний стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150, прове-

денные во ВНИИПО (отчет № 10277 от 28.07.2010 г.), с подробным описанием конструкций, их геометрических размеров, условий проведения испытаний, поведения конструкций во время испытаний, а также температурные кривые прогрева в различных точках конструкций при воздействии температурного режима «стандартного пожара».

Испытания проводились в соответствии со следующими нормативными документами:

• ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования»;
• ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности»

В качестве опытных образцов, на которые устанавливалась огнезащита, были использованы стальные колонны двутаврового сечения (двутавр № 20Б1 ГОСТ 26020-83 с приведенной толщиной металла 3,4 мм), в количестве 6 штук (по 2 образца на каждую толщину облицовки).

Технология монтажа плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 была аналогична для всех опытных образцов, и осуществлялась в соответствии с требованиями технологического регламента 11-07-15 (изм. 1) «Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит ROCKWOOL CONLIT SL 150 ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) и клея CONLIT Glue».

Опытные образцы стальных колонн очищались от пыли и загрязнений, обезжиривались, после чего наносился слой антикоррозионного грунту марки ГФ-021 толщиной 0,05 мм.

Для крепления плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 различной толщины, образующих на опытных образцах однослойную облицовку коробчатого сечения, между полками двутавровых колонн устанавливались вставки, вырезаемые из минераловатных плит CONLIT SL 150 толщиной 40 мм. Вставки вырезались шириной не менее 100 мм (средний размер вставок – 135 мм) и устанавливались в распор между полками колонн, с выступом над ними на 2-3 мм, с шагом не более 600 мм. Для фиксации вставок использовался клей CONLIT Glue, минимальная толщина наносимого слоя которого, составляла 2 мм.

После схватывания клея между установленными вставками и металлом опытных образцов, проводился монтаж основного слоя минераловатных плит CONLIT SL 150, в следующей последовательности.

На установленные вставки наносился слой клея CONLIT Glue толщиной не менее 2 мм, и накладывались теплоизоляционные плиты из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150, предварительно раскроенные по размеру высоты двутавра. После чего, на торцы установленных минераловатных плит, наносился слой клея толщиной не менее 2 мм, и также накла-

дывались плиты CONLIT SL 150 раскроенные по размеру облицовки.

Для фиксации плит использовались гвозди, которые вынимались после схватывания клея.

Схема монтажа композиции огнезащитной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 и клея CONLIT Glue на опытных образцах стальных колонн, представлена на рис. 1.

Для построения номограмм были использованы температурные кривые прогрева колонн, облицованных минераловатными плитами ROCKWOOL серии CONLIT SL 150, со следующими параметрами, представленными в табл. 2:

Таблица 2 . Параметры огнезащитной облицовки

№ п/п	Приведенная толщина металла, мм	Толщина огнезащиты, мм	Время достижения критической температуры 500 °С, мин
1	3,4	25	77
2	3,4	40	93
3	3,4	80	154

Испытания колонн проводились при четырехстороннем тепловом воз-действии по стандартному температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0. Порядок проведения испытаний и испытательное оборудование представлено в вышеуказанном отчете.

Результаты испытаний стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 были проанализированы и обобщены. Температурные кривые прогрева испытанных конструкций с различными приведенными толщинами и толщинами облицовки представлены на рис. 2-4.

3.2 Приведенная толщина металла конструкций

Для представления сложной геометрии двухмерной конструкции в одном измерении необходимо использовать единый параметр для всех видов сечений – приведенную толщину металла, вычисляемую формуле:

$$\delta_{пр} = \frac{F}{П} \quad (5)$$

где

F - площадь поперечного сечения металлической конструкции, мм^2;

$П$ - обогреваемая часть периметра конструкции по табл. 3, мм.

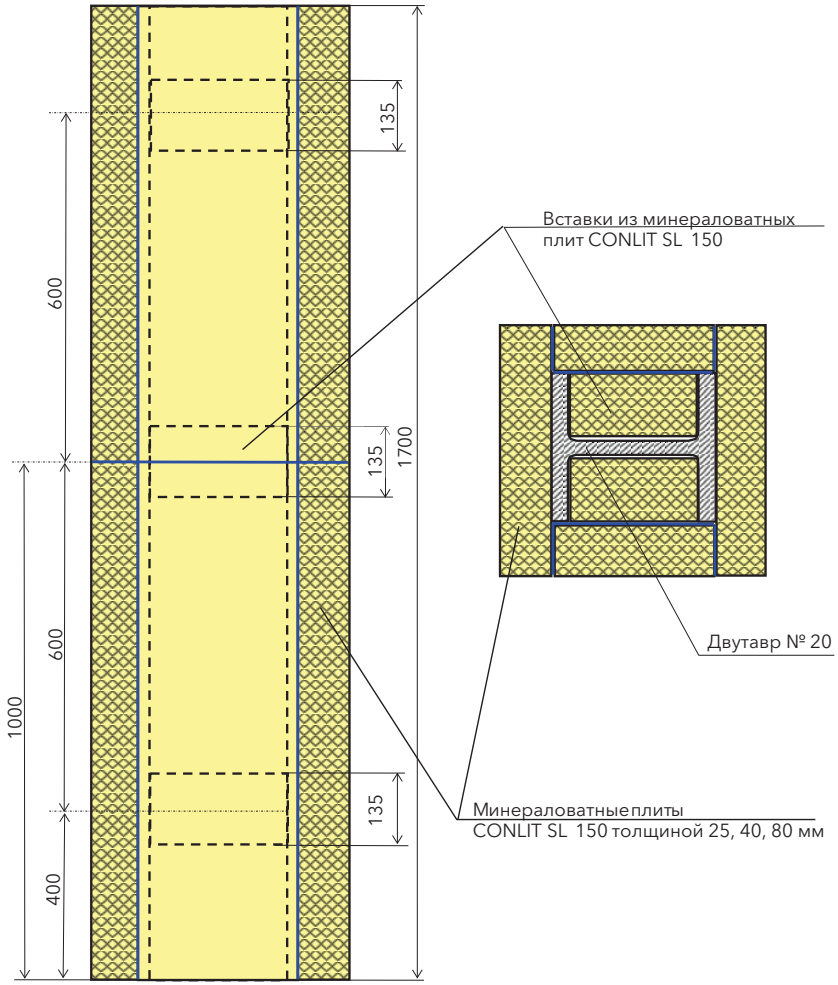


Рис. 1. Схема монтажа однослойной облицовки из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 толщиной 25, 40, 80 мм в композиции с клеем CONLIT Glue на опытных образцах стальных колонн

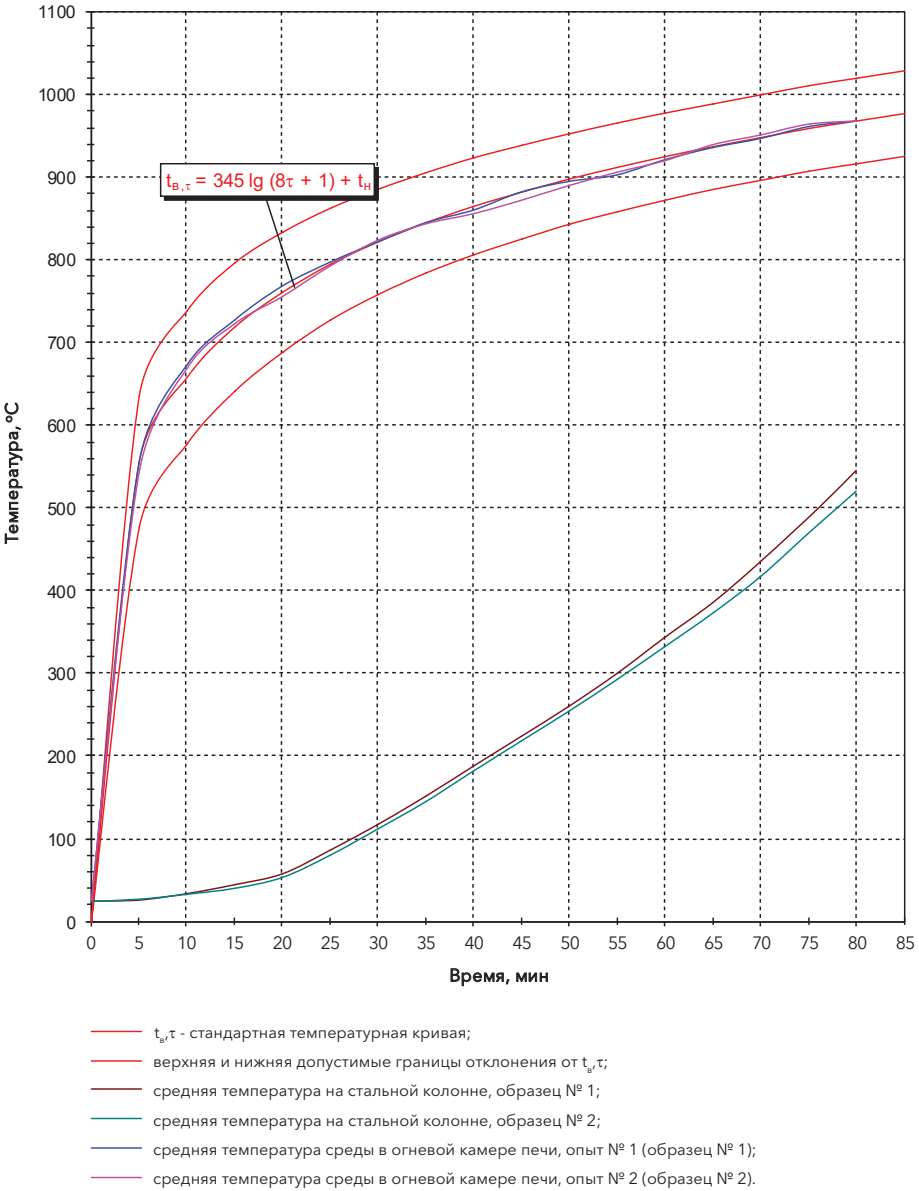


Рис. 2. Температурные кривые прогрева опытных образцов стальных колонн (двутавр № 20) с композицией огнезащитной выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 толщиной 25 мм и клея CONLIT Glue.

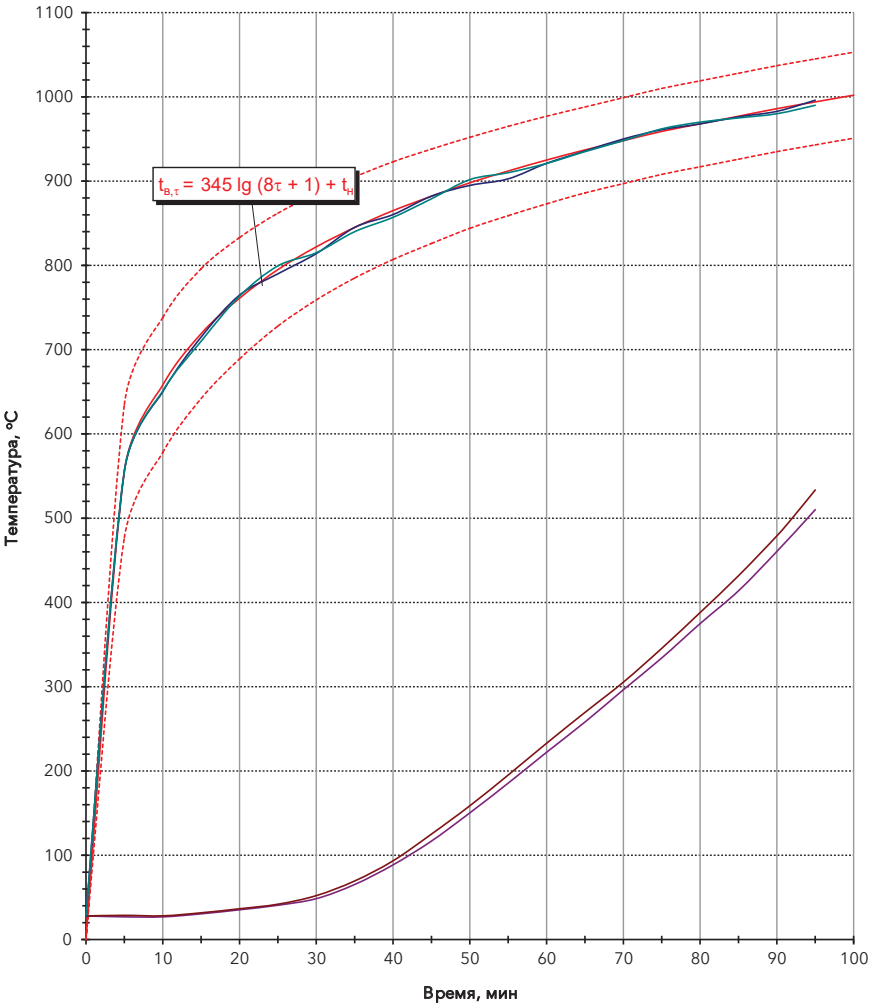


Рис. 3. Температурные кривые прогрева опытных образцов стальных колонн (двутавр № 20) с композицией огнезащитной выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 толщиной 40 мм и клея CONLIT Glue.

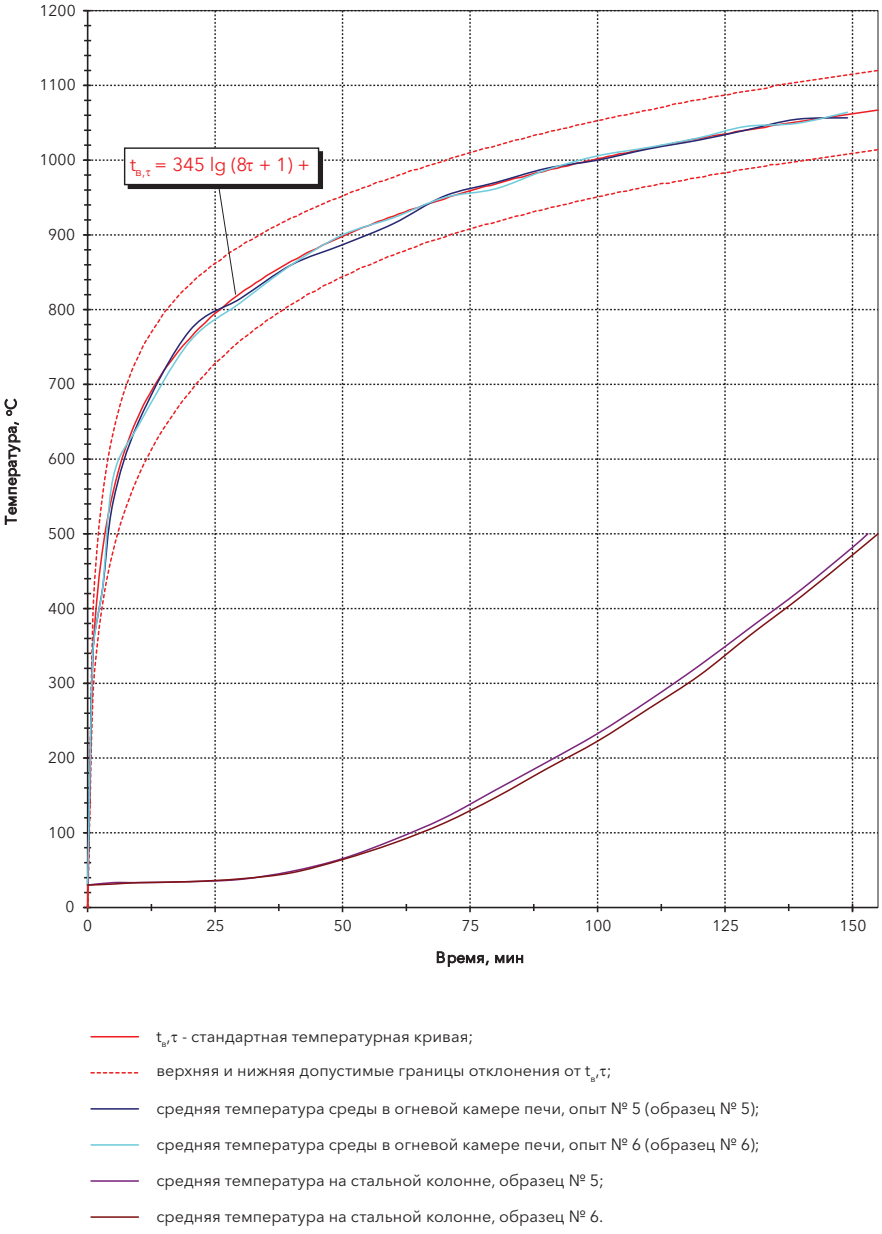
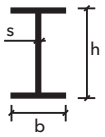
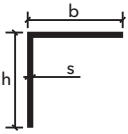
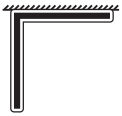
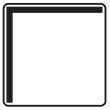
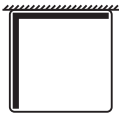
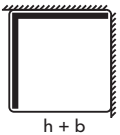
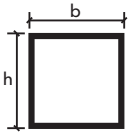
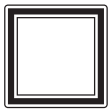
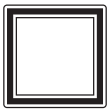
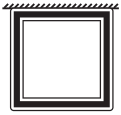
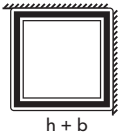


Рис. 4. Температурные кривые прогрева опытных образцов стальных колонн (двутавр № 20) с композицией огнезащитной выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 толщиной 80 мм и клея CONLIT Glue.

Таблица 3. Значения обогреваемого периметра для типовых стальных конструкций с огнезащитой, применяемых в строительстве

Профиль	Обогреваемый периметр $П$ при различных видах облицовки и условиях обогрева, мм				
	Облицовка по контуру		Облицовка в виде короба		
	с 4-х сторон	с 3-х сторон	с 4-х сторон	с 3-х сторон	с 2-х сторон
	 2h + 4b - 2s	 2h + 3b - 2s	 2h + 2b	 2h + b	 h + b
	 2h + 2b	 2h + b	 2h + 2b	 2h + b	 h + b
	 2h + 4b - 2s	 2h + 3b - 2s	 2h + 2b	 2h + b	 h + b
	 2h + 2b	 2h + b	 2h + 2b	 2h + b	 h + b
	 πd		 4d		

3.3 Построение номограмм с использованием расчетного метода

В данной работе был использован расчетный метод определения прогрева стальных конструкций с огнезащитой, общие положения которого представлены в приложении.

В результате сравнительного анализа данных по испытаниям были получены теплофизические характеристики материала облицовки из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150: плотность, влажность, степень черноты, коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоемкости, – при нормальных условиях, а также при воздействии температурного режима.

Для этого на ЭВМ было построено несколько моделей испытанных ранее конструкций и проведен ряд теплотехнических расчетов с использованием подобранных свойств материала минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150. Сравнительные расчеты проводились до достижения среднего расхождения между результатами расчетов и испытаний не более 20 %.

Теплофизические характеристики облицовки, полученные в результате анализа данных по испытаниям, далее были использованы для построения зависимостей (номограмм) огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при различных толщинах облицовки.

Для расчетов были построены модели стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 с разными значениями толщин облицовки и приведенной толщины металла.

Далее были проведены теплотехнические расчеты данных конструкций при воздействии температурного режима "стандартного пожара" и с использованием полученных свойств материала.

За предел огнестойкости конструкции принималось время нагревания, по истечении которого средняя температура стальной конструкции достигала критической величины. Критическая температура $t_{кр}$ принималась для значений: 450, 500 (по ГОСТ Р 53295), 550 и 600 °С.

В результате расчетов был получен ряд значений пределов огнестойкости конструкций при различных критических температурах $t_{кр}$. Все эти данные были сведены в таблицы пределов огнестойкости конструкций для 4-х значений критических температур, по которым были построены номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150, см. рис. 5-8.

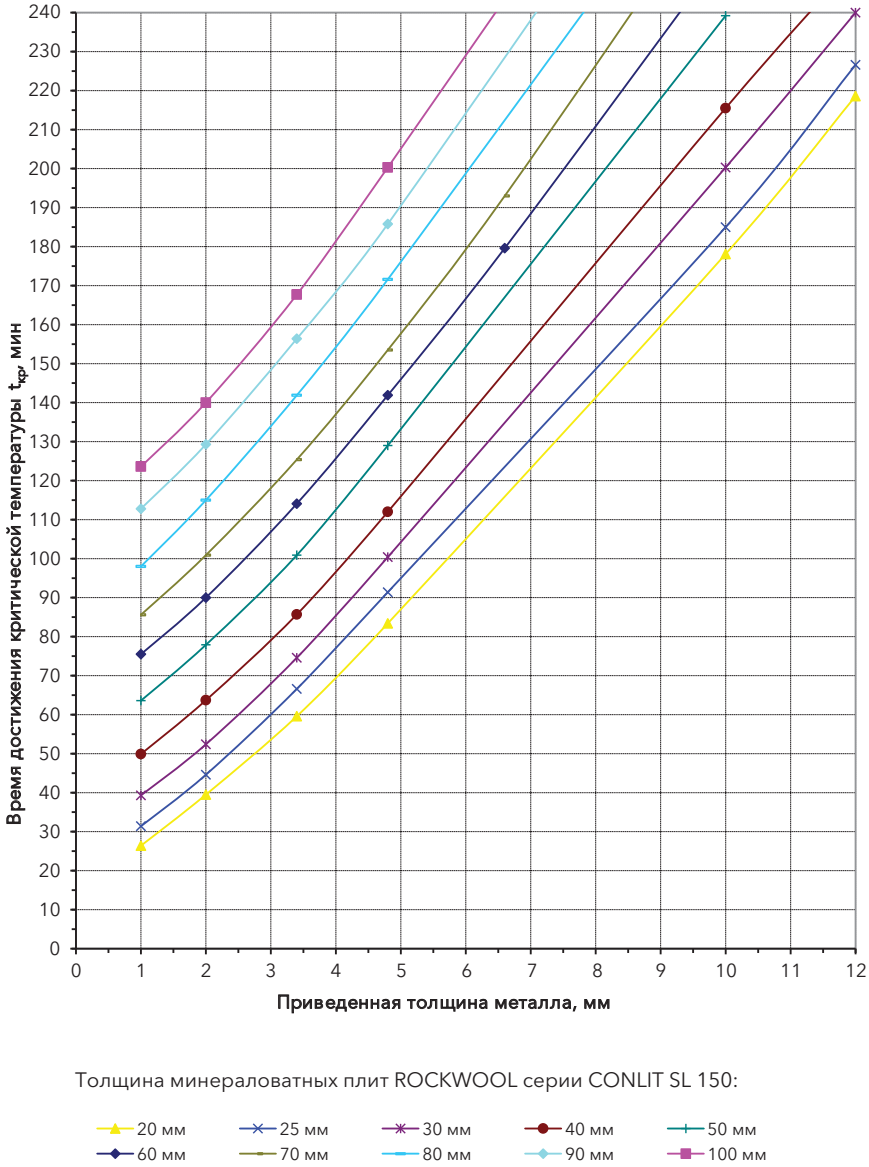
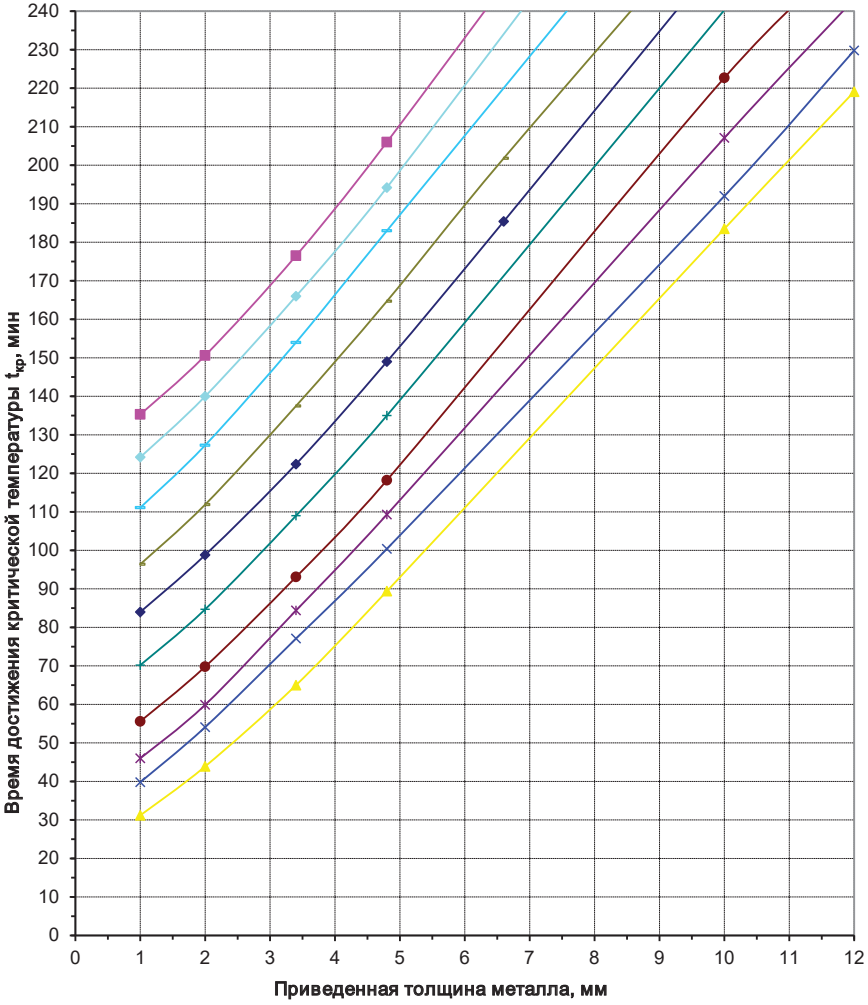


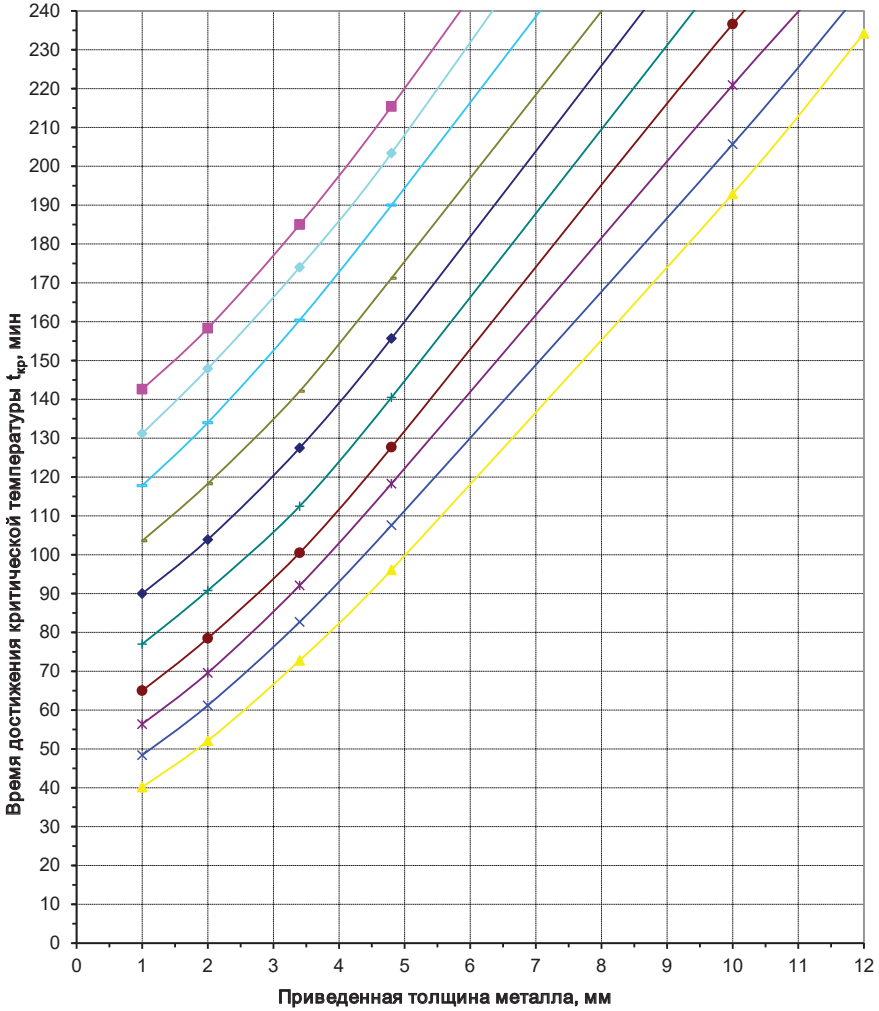
Рис. 5. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при $t_{кр}$ = 450 °С.



Толщина минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150:

20 мм 25 мм 30 мм 40 мм 50 мм
60 мм 70 мм 80 мм 90 мм 100 мм

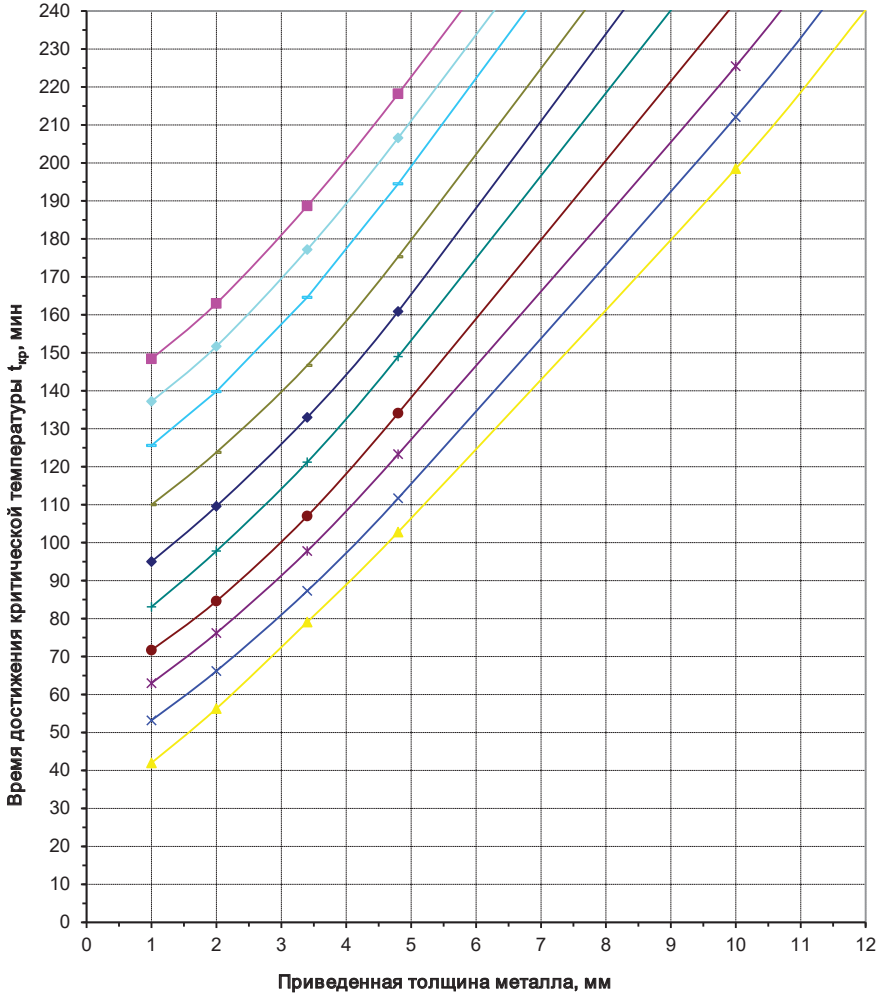
Рис. 6. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при $t_{кр}$ = 500 °С.



Толщина минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150:

20 мм 25 мм 30 мм 40 мм 50 мм
60 мм 70 мм 80 мм 90 мм 100 мм

Рис. 7. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при $t_{кр}$ = 550 °С.



Толщина минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150:

20 мм 25 мм 30 мм 40 мм 50 мм
60 мм 70 мм 80 мм 90 мм 100 мм

Рис. 8. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при $t_{кр}$ = 600 °С.

3.4 Использование номограмм

Номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 предназначены для определения пределов огнестойкости стальных конструкций при критических температурах стали: $t_{кр}$ = 450, 500, 550 и 600 °С, см. рис. 5-8 соответственно.

Номограммы построены в координатах: "Приведенная толщина металла, мм" – "Время, мин", где "Время" – время достижения предела огнестойкости конструкции. Каждая точка номограммы соответствует пределу огнестойкости стальной конструкции с определенной приведенной толщиной металла и толщиной минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150. Точки номограммы, соответствующие конструкциям с одной и той же толщиной минераловатных плит, соединены линиями одного цвета и обозначены в легенде в виде значений толщины облицовки (мм). Для поиска промежуточных значений приведенной толщины металла и толщины облицовки следует использовать интерполяцию графиков номограммы.

Для определения предела огнестойкости конструкции необходимо предварительно произвести статический расчет по п. 2 для определения критической температуры стали исследуемой конструкции и принять ближайшее значение $t_{кр}$ из приведенного выше ряда, либо принять нормативное значение $t_{кр}$. Далее следует определить приведенную толщину металла конструкции по формуле (5).

Определив критическую температуру и выбрав соответствующую ей номограмму, на поле номограммы находится график, соответствующий заданной толщине минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150, (см. легенду). Выбранный график является функцией зависимости времени предела огнестойкости конструкции от приведенной толщины металла и используется для определения предела огнестойкости стальной конструкции с огнезащитой минераловатными плитами ROCKWOOL серии CONLIT SL 150.

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

4. Пример расчета предела огнестойкости стальной колонны с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150

Исходные данные:

Дана стальная колонна, выполненная из двутавра № 20 по ГОСТ 8239-89, длиной 3,0 м, с шарнирным опиранием по концам, нагруженной центрально приложенной нагрузкой $N_н$=40 т. Колонна имеет огнезащиту из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 толщиной 30 мм. Определить предел огнестойкости колонны при условии 4-стороннего обогрева.

Расчет:

1. Согласно п. 2.2. вычисляем критическую температуру:

По формулам (1) и (2) вычисляем коэффициенты $\gamma_т$ и $\gamma_е$ при следующих параметрах:

$N_н$ = 40000 кг;

F = 26,8 см^2 – взято из справочника конструктора;

$R_н$ = 2800 кг/см^2 – для стали Ст5 по ГОСТ 380-71;

$E_н$= 2100000 кг/см^2;

l_0 = 300 см – для случая шарнирного опирания обеих концов;

J_{min} = 1840 см^4 – взято из справочника конструктора.

$\gamma_т$ = 0,53

$\gamma_е$= 0,09,

Для полученных коэффициентов $\gamma_т$ и $\gamma_е$ по таблице 1 находим значения температур и наименьшую принимаем за критическую температуру:

$t_{кр}$ = 519 °С.

2. По формуле (5) вычисляем приведенную толщину металла конструкции. Геометрические размеры и площадь сечения колонны берутся из ГОСТ 8239-89 для двутавра № 20.

$П$ = 789,6 мм – для случая 4-стороннего обогрева колонны;

F = 2680 мм^2.

$\delta_{пр}$ = 3,4 мм.

3. Определив критическую температуру конструкции $t_{кр}$ = 519 °С выбираем номограммы с ближайшими значениями $t_{кр}$ = 500 °С и $t_{кр}$ = 550 °С. Для заданной толщины минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 $\delta_{о}$ = 30 мм (см. легенду) и для найденной приведенной толщины металла $\delta_{пр}$ = 3,4 мм находим два значения предела огнестойкости конструкции при $t_{кр}$ = 500 °С и $t_{кр}$ = 550 °С:

τ_1 = 75 мин, τ_2 = 81 мин.

Интерполируя данный отрезок получаем значение предела огнестойкости при $t_{кр}$ = 519 °С:

τ = 77 мин.

Приложение: Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой.

ИСПОЛНИТЕЛИ

Начальник отдела 3.2
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
кандидат технических наук А.В. Пехотиков

Начальник сектора 3.2.1
ФГБУ ВНИИПО МЧС России В.В. Павлов

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОГНЕЗАЩИТОЙ

1. Расчет производится при условии изменения температуры нагревающей среды во времени по кривой "стандартного пожара" (ГОСТ 30247.0-94), уравнение которой имеет вид:

$$t_{в,\tau} = 345\lg(0{,}133\tau + 1) + t_{н} \quad (6)$$

где:

$t_{в,\tau}$ – температура нагревающей среды, °К;

τ – время в секундах;

$t_{н}$ – начальная температура нагревающей среды, °К.

2. Коэффициент передачи тепла – α, Вт/(м^2 К), от нагревающей среды с температурой $t_{в,\tau}$ к поверхности конструкции с температурой t_0 вычисляется по формуле:

$$\alpha = 29 + 5{,}7 \; s_{пр} \frac{(t_{в,\tau}/100)^4 - (t_0/100)^4}{t_{в,\tau} - t_0} \quad (7)$$

где $S_{пр}$ – приведенная степень черноты системы: "нагревающая среда - поверхность конструкции":

$$s_{пр} = \frac{1}{(1/s) + (1/s_0) - 1} \quad (8)$$

где S – степень черноты огневой камеры печи. S= 0,85;

S_0 – степень черноты обогреваемой поверхности конструкции.

3. Расчет температуры металлического стержня конструкций производится с помощью ЭВМ.

Программа для расчета составляется по алгоритму, который представляет собой ряд формул, полученных на основе решения краевой задачи теплопроводности методом элементарных балансов (конечно-разностный метод решения уравнения теплопроводности Фурье при внешней и внутренней нелинейности и наличии отрицательных источников тепла: испарение воды в облицовке и нагрев металла стержня). По этим формулам температура стержня вычисляется последовательно через расчетные интервалы времени - $\Delta\tau$ до заданного критического значения.

4. Начальные условия для расчета принимаются следующими:

Начальная температура во всех точках по сечению конструкции до пожара и температура окружающей среды вне зоны пожара одинакова и равна $t_{н}$ = 293 °К.

5. Величина расчетного интервала времени – $\Delta\tau$ (шаг программы) выбирается такой, чтобы она целое число раз укладывалась в интервале машинной записи результатов расчета. При

этом выбранная величина Δτ не должна превышать значения, которое вычисляется по формуле (11).

6. Незащищенные металлические конструкции

Алгоритмом для машинного расчета незащищенных металлических конструкций является формула, имеющая вид:

$$t_{ст,\Delta\tau} = \frac{\Delta\tau}{\gamma_{ст}\delta_{пр}\left(C_{ст} + D_{ст}t_{ст}\right)}\alpha\left(t_{в,\tau} - t_0\right) + t_H \quad (9)$$

где $t_{ст}$,Δτ – температура стержня через расчетный интервал времени - Δτ, °K;

$t_{ст}$ – температура стержня в данный момент времени - τ, °K;

$t_{в,\tau}$ – температура нагревающей среды в данный момент времени - τ, °K;

α – коэффициент передачи тепла от нагревающей среды к поверхности конструкции, Вт/(м^2 град);

$C_{ст}$ – начальный коэффициент теплоемкости металла, Дж/(кг град);

$D_{ст}$ – коэффициент изменения теплоемкости металла при нагреве, Дж/(кг град^2);

$\gamma_{ст}$ – удельный вес металла, кг/м^3;

$\delta_{пр}$ – приведенная толщина металла, м:

$$\delta_{пр} = \frac{F}{П} \quad (10)$$

где F – площадь поперечного сечения стержня, м^2;

$П$ – обогреваемый периметр сечения стержня, м.

7. Максимальный расчетный интервал времени – $\Delta\tau_{max}$ вычисляется по формуле:

$$\Delta\tau_{max} = \frac{\gamma_{ст}\delta_{пр}\left(C + D_{ст}t_{ст}\right)}{\alpha} \quad (11)$$

где α и $t_{ст}$ – максимально возможные значения в расчете.

8. Конструкции с огнезащитными облицовками

Для плоских конструкций с одномерным потоком тепла по толщине алгоритм машинного расчета составляется на основании схемы, изображенной на рис. 9. Огнезащитная облицовка толщиной δ_0 разбивается на n-ое число слоев Δx.

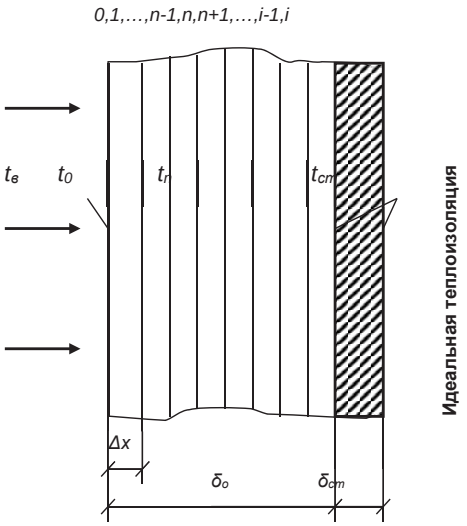


Рис. 9. Схема к расчету на ЭВМ прогрева стальной пластины с огнезащитной облицовкой.

9. Температура на стальной пластине – $t_{cm',\Delta\tau'}$ через расчетный интервал времени – $\Delta\tau$, вычисляется по формулам:

температура на обогреваемой поверхности облицовки:

$$t_{0,\Delta\tau} = \frac{2\Delta\tau\left[A(t_1 - t_0) + 0{,}5B\left(t_1^2 - t_0^2\right) + \alpha(t_в - t_0)\Delta x\right]}{\gamma_0 \Delta x^2 (C + Dt_0)} + t_0 - t_\phi \quad (12)$$

температура во внутренних слоях облицовки:

$$t_{n,\Delta\tau} = \frac{\Delta\tau\left[A(t_{n-1} - 2t_n + t_{n+1}) + 0{,}5B\left(t_{n-1}^2 - 2t_n^2 + t_{n+1}^2\right)\right]}{\gamma_0 \Delta x^2 (C + Dt_n)} + t_n - t_\phi \quad (13)$$

температура на стальной пластине:

$$t_{ст,\Delta\tau} = \frac{2\Delta\tau\left[A(t_n - t_{ст}) + 0{,}5B\left(t_n^2 - t_{ст}^2\right)\right]}{\Delta x\left[\gamma_0 \Delta x(C + Dt_{ст}) + 2\gamma_{ст}\delta_{ст}\left(C_{ст} + D_{ст}t_{ст}\right)\right]} + t_{ст} - t_\phi \quad (14)$$

где A – начальный коэффициент теплопроводности облицовки, Вт/(м град);

B – коэффициент изменения теплопроводности облицовки при нагреве, Вт/(м град^2);

C – начальный коэффициент теплоемкости облицовки, Дж/(кг град);

D – коэффициент изменения теплоемкости облицовки при нагреве, Дж/(кг град^2);

$$t_\phi = \frac{p_в r}{100\left[(C + Dt_{ст}) + \dfrac{2\gamma_{ст}\delta_{ст}\left(C_{ст} + D_{ст}t_{ст}\right)}{\gamma_0 \Delta x}\right]}$$

фиктивная температура.

где $p_в$ – начальная весовая влажность облицовки, %;

r – скрытая теплота парообразования воды, r=2260·10^3 Дж/кг.

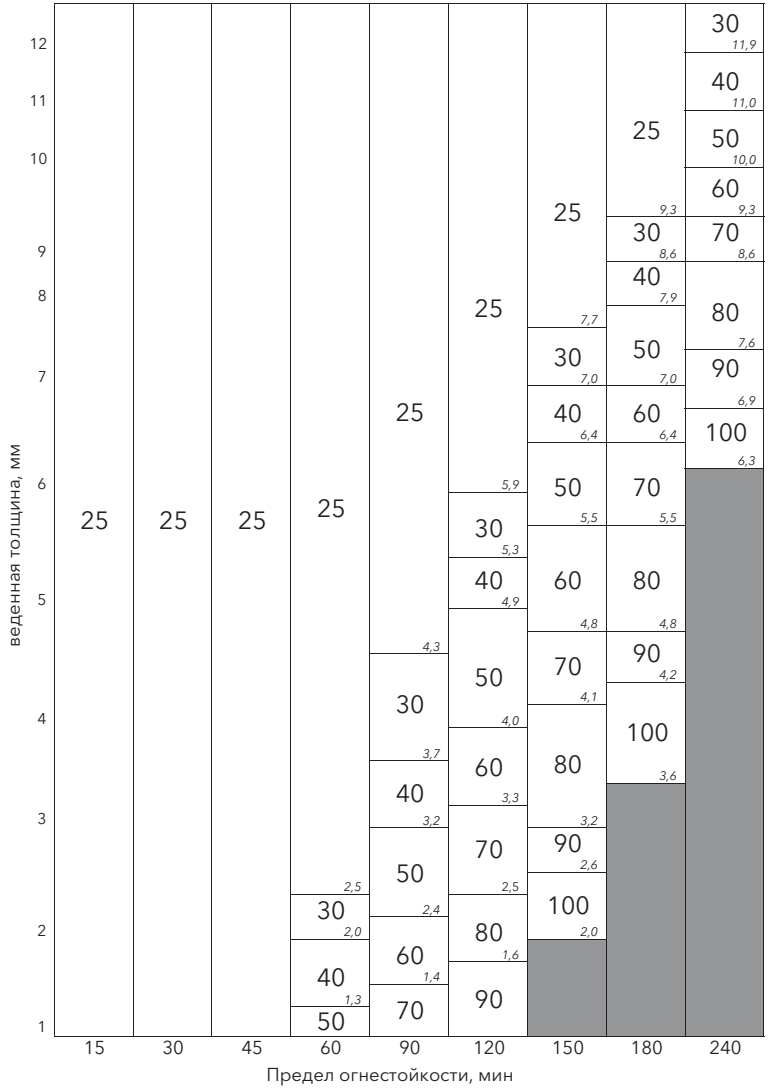


Рис. 10. Толщина материала CONLIT SL 150 в зависимости от предела огнестойкости и приведенной толщины металла

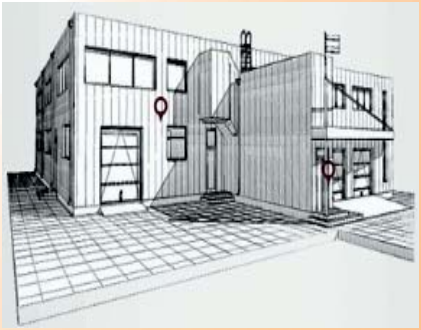
Приложение 5.6

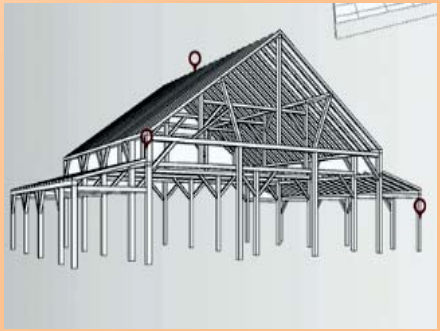
Решения компании ООО «ПРОМИЗОЛ»

ПРОМИЗОЛ

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Огнезащитная сетка «ПРОМИЗОЛ-СТК» является гибким конструктивным покрытием и представляет из себя систему из специальной огнестойкой сетки и нанесенной на нее огнезащитной композиции. Изготовлена по ТУ.23.99.14-004-16223937-2017









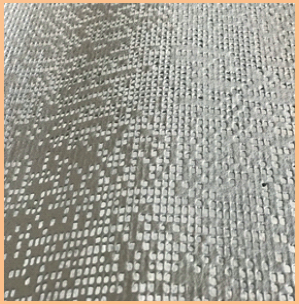
ПРОМИЗОЛ

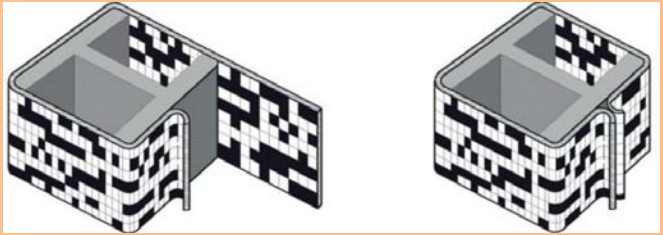
ОГНЕСТОЙКОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

«ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет» - огнезащитная сетка для огнезащиты элементов кровли, металлоконструкций ферм, балок и профлиста перекрытий. Также имеется возможность повышения пределов огнестойкости легких тонкостенных конструкций (ЛСТК). При возгорании сетка вспучивается и превращается в сплошной защитный барьер от огня, который способен задержать распространение пламени

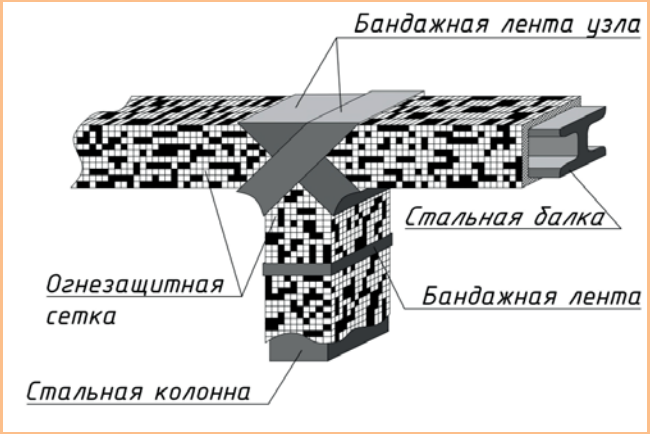








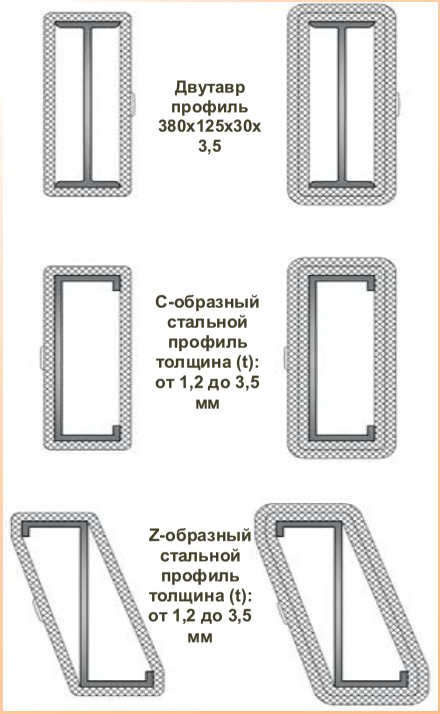
Принцип и внешний вид монтажа огнезащитной сетки «ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет»



ПРОМИЗОЛ

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ТОНКОСТЕННЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

№	Номенклатура	Время достижения критической t=500°С, мин	Приведенная толщина металла, мм	Кол-во слоев
1	ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет	15	2,0	1
2	ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет	45	2,4	2







Стальные конструкции с огнезащитной гибкой сеткой «ПРОМИЗОЛ-СТК-Мет»





Приложение 5.7

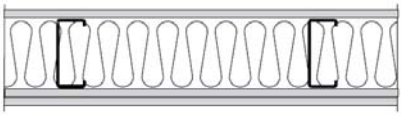
Конструкторские спецификации с ЛСТК
и гипсокартоном с различными пределами огнестойкости

Приложение А к Canadian Sheet Steel Building Institute (2002)
“CSSBI 57 Lightweight Steel Framing Architectural Design
Guide”, Canada

Предел огнестойкости

Ненесущие стены

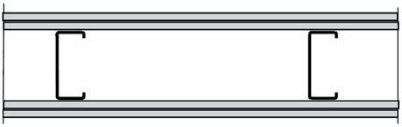
- 1 слой гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона



Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция		Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Тип	Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
F-07	31x92	610	Нет	-	Тип X	12,7	65
F-09	31x92	610	Стекловата	90	Тип X	12,7	65
F-10	31x92	610	Минеральная вата (584 мм шириной)	90	Тип X	12,7	60
F-10B	31x92	610	Минеральная вата (615 мм шириной)	90	Тип X	12,7	100
F-11	31x92	610	Целлюлозная вата (укладка напылением)	90	Тип X	12,7	62

Примечание:
1. Источник: отчет IRC-IR-675

- 2 слоя гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- 2 слоя гипсокартона



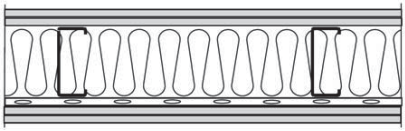
Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция		Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Тип	Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
F-03	31x92	610	Нет	-	RL	12,7	63
F-05	31x92	610	Нет	-	RH	12,7	69

Примечание:
1. Источник: отчет IRC-IR-674
2. RL – гипсокартон низкой плотности (7,35 кг/м^3), RH – гипсокартон низкой плотности (7,80 кг/м^3)

Предел огнестойкости

Несущие стены

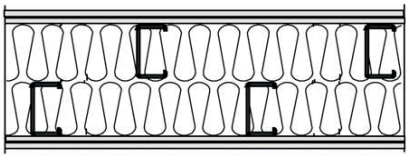
- 2 слоя гипсокартона
- Стальные профили
- Изоляционный материал
- Виброизолирующая металлическая рейка
- 2 слоя гипсокартона



Образец №	Профиль		Расстояние между рейками, мм	Изоляция		Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
	Толщина, мм	Расстояние, мм		Тип	Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
F37	0,91	406	406	Нет	-	Тип X	12,7	77
F39	0,91	406	Нет	Нет	-	Тип X	12,7	83
F27	0,91	406	406	Стекловата	90	Тип X	12,7	56
F35, 36	0,84	406	406	Стекловата	90	Тип X	12,7	68, 63
F38	0,91	406	406	Минеральная вата	90	Тип X	12,7	59
F28	0,91	406	406	Минеральная вата	90	Тип X	12,7	74
F31	0,91	406	406	Целлюлозная вата	90	Тип X	12,7	71

Примечание:
1. Тесты из отчета IRC-IR-833

- 2 слоя гипсокартона
- Стальные профили и изоляционный материал
- Зазор
- Стальные профили и изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона



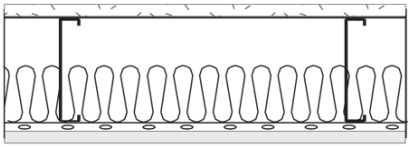
Образец №	Профиль		Изоляция		Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
	Толщина, мм	Расстояние, мм	Тип	Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
F30, F30R	0,91	406	Нет	-	Тип X	12,7	100, 102
F26	0,91	406	Минеральная вата	90	Тип X	12,7	84

Примечание:
1. Тесты из отчета IRC-IR-833

Предел огнестойкости

Перекрытия

- 1 слой основания напольного покрытия
- Стальной прогон перекрытия
- Изоляционный материал
- Виброизолирующая металлическая рейка, расположенная с шагом 406 мм
- 1 слой гипсокартона тип X, 12,7 мм

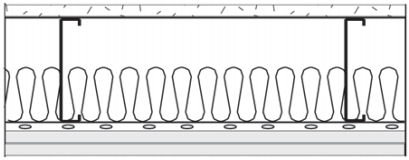


Образец №	Прогон			Основания напольного покрытия		Изоляция		Предел огнестойкости, мин
	Глубина, мм	Толщина, мм	Расстояние, мм	Тип	Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
FF-25	203	1,22	406	Фанера	15,9	Мин. вата	90	46

Примечание:

1. Источник: отчет IRC-IR-764

- 1 слой основания напольного покрытия
- Стальной прогон перекрытия
- Изоляционный материал
- Виброизолирующая металлическая рейка, расположенная с шагом 406 мм
- 2 слоя гипсокартона тип X, 12,7 мм

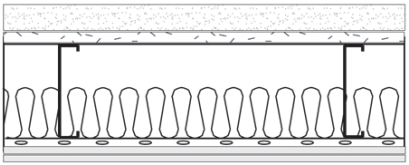


Образец №	Прогон			Основания напольного покрытия		Изоляция		Предел огнестойкости, мин
	Глубина, мм	Толщина, мм	Расстояние, мм	Тип	Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
FF-22	203	1,22	406	Фанера	15,9	Нет	-	74
FF-23	203	1,22	406	Фанера	15,9	Стекловолокно	90	68
FF-24	203	1,22	610	Фанера	15,9	Стекловолокно	90	69

Примечание:

1. Источник: отчет IRC-IR-764

- 38 мм бетонной стяжки
- 1 слой основания напольного покрытия
- Стальной прогон перекрытия
- Изоляционный материал
- Виброизолирующая металлическая рейка, расположенная с шагом 406 мм
- 1 слой гипсокартона тип X, 12,7 мм



Образец №	Прогон			Основания напольного покрытия		Изоляция		Предел огнестойкости, мин
	Глубина, мм	Толщина, мм	Расстояние, мм	Тип	Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
FF-27	203	1,22	406	Фанера	15,9	Стекловата	90	60

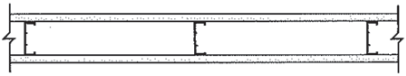
Примечание:

1. Источник: отчет IRC-IR-764

Тип конструкции - S1

Ненесущие стены

- 1 слой гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- Изоляционный материал
- 1 слой гипсокартона

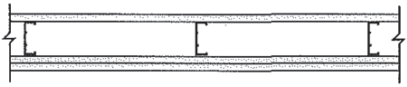


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S1a	31x64	600	65	Тип X	15,9	45
S1b	31x64	400	65	Тип X	15,9	45
S1c	31x64	400 или 600	-	Тип X	15,9	45

Тип конструкции - S2

Ненесущие стены

- 1 слой гипсокартона
- Стальные профили (0,46 мм толщиной), 25 мм отгиб
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона

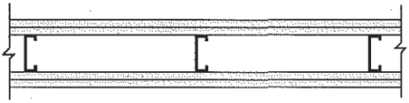


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S2a	31x64	600	65	Тип X	15,9	60
S2b	31x64	400	65	Тип X	15,9	60
S2c	31x64	600	65	Тип X	12,7	60
S2d	31x64	400	65	Тип X	12,7	60
S2e	31x64	600	-	Тип X	15,9	60
S2f	31x64	400	-	Тип X	15,9	60
S2g	31x64	600	-	Тип X	12,7	60
S2h	31x64	400	-	Тип X	12,7	60

Тип конструкции - S3

Ненесущие стены

- 2 слоя гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона

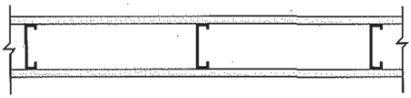


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S2a	31x64	600	65	Тип X	15,9	120
S2b	31x64	400	65	Тип X	15,9	120
S2c	31x64	600	65	Тип X	12,7	90
S2d	31x64	400	65	Тип X	12,7	90
S2e	31x64	600	65		12,7	60
S2f	31x64	400	65		12,7	60
S2g	31x64	600	-	Тип X	15,9	120
S2h	31x64	400	-	Тип X	15,9	120
S2i	31x64	600	-	Тип X	12,7	90
S2j	31x64	400	-	Тип X	12,7	90
S2k	31x64	600	-		12,7	60
S2l	31x64	400	-		12,7	60

Тип конструкции - S4

Ненесущие стены

- 1 слой гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- Изоляционный материал
- 1 слой гипсокартона

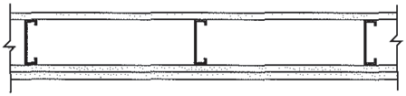


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S4a	31x92	600	89	Тип X	15,9	45 [60]
S4b	31x92	400	89	Тип X	15,9	45 [60]
S4c	31x92	600	-	Тип X	15,9	45
S4d	31x92	400	-	Тип X	15,9	45

Тип конструкции - S5

Ненесущие стены

- 1 слой гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона

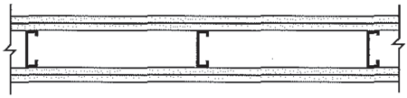


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S5a	31x92	600	89	Тип X	15,9	60 [90]
S5b	31x92	400	89	Тип X	15,9	60 [90]
S5c	31x92	600	89	Тип X	12,7	60 [90]
S5d	31x92	400	89	Тип X	12,7	60 [90]
S5e	31x92	600	-	Тип X	15,9	60
S5f	31x92	400	-	Тип X	15,9	60
S5g	31x92	600	-	Тип X	12,7	60
S5h	31x92	400	-	Тип X	12,7	60

Тип конструкции - S6

Ненесущие стены

- 2 слоя гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона

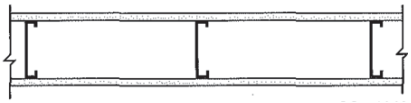


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S6a	31x92	600	89	Тип X	15,9	120
S6b	31x92	400	89	Тип X	15,9	120
S6c	31x92	600	89	Тип X	12,7	90
S6d	31x92	400	89	Тип X	12,7	90
S6e	31x92	600	89		12,7	60
S6f	31x92	400	89		12,7	60
S6g	31x92	600	-	Тип X	15,9	120
S6h	31x92	400	-	Тип X	15,9	120
S6i	31x92	600	-	Тип X	12,7	90
S6j	31x92	400	-	Тип X	12,7	90
S6k	31x92	600	-		12,7	60
S6l	31x92	400	-		12,7	60

Тип конструкции - S7

Ненесущие стены

- 1 слой гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- Изоляционный материал
- 1 слой гипсокартона

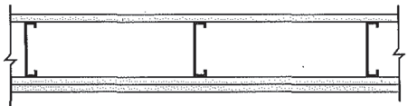


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S7a	31x152	600 или 400	150	Тип X	15,9	45 [60]
S7b	31x152	600 или 400	-	Тип X	15,9	45

Тип конструкции - S8

Ненесущие стены

- 1 слой гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона

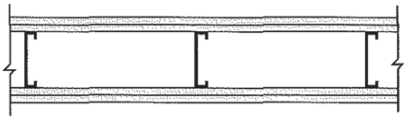


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S8a	31x152	600 или 400	150	Тип X	15,9	60 [90]
S8b	31x152	600 или 400	150	Тип X	12,7	60 [90]
S8c	31x152	600 или 400	-	Тип X	15,9	60
S8d	31x152	600 или 400	-	Тип X	12,7	60

Тип конструкции - S9

Ненесущие стены

- 2 слоя гипсокартона
- Стальные профили (толщина 0,46 мм), отгиб профиля 25 мм
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона

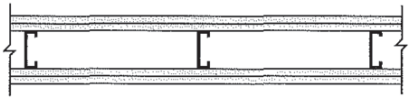


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S9a	31x152	600 или 400	150	Тип X	15,9	120
S9b	31x152	600 или 400	150	Тип X	12,7	90
S9c	31x152	600 или 400	150		12,7	60
S9d	31x152	600 или 400	-	Тип X	15,9	120
S9e	31x152	600 или 400	-	Тип X	12,7	90
S9f	31x152	600 или 400	-		12,7	60

Тип конструкции - S10

Несущие стены

- 2 слоя гипсокартона
- Стальные профили (0,84-1,52 мм толщиной)
- Крестообразные раскосы
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона

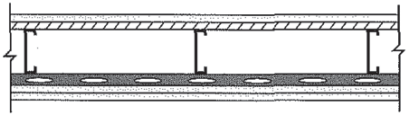


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S10a	41x92	600 или 400	89	Тип X	15,9	60
S10b	41x92	600 или 400	89	Тип X	12,7	45 [60]
S10c	41x92	600 или 400	89		12,7	-
S10d	41x92	600 или 400	-	Тип X	15,9	60
S10e	41x92	600 или 400	-	Тип X	12,7	60
S10f	41x92	600 или 400	-		12,7	-

Тип конструкции - S13

Несущие стены

- 1 слой гипсокартона
- 1 слой мембраны толщиной 12,7 мм
- Стальные профили (0,84-1,52 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки, расположенные с шагом 400 мм
- 2 слоя гипсокартона

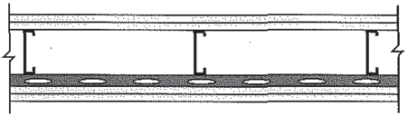


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S13a	41x92	600 или 400	89	Тип X	12,7	30

Тип конструкции - S14

Несущие стены

- 2 слоя гипсокартона
- Стальные профили (0,84-1,52 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 2 слоя гипсокартона

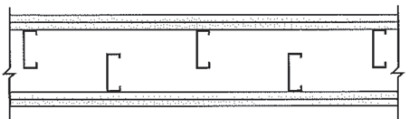


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
				Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S14a	41x92	600 или 400	600	89	Тип X	15,9	60
S14b	41x92	600 или 400	600	89	Тип X	12,7	45 [60]
S14c	41x92	600 или 400	600	89		12,7	-
S14d	41x92	600 или 400	600	-	Тип X	15,9	60
S14e	41x92	400	600	-	Тип X	12,7	60
S14f	41x92	600	600	-		12,7	60
S14g	41x92	600 или 400	600	-		12,7	-
S14h	41x92	400	400	89	Тип X	15,9	60
S14i	41x92	600	400	89	Тип X	15,9	60
S14j	41x92	600 или 400	400	89	Тип X	12,7	45 [60]
S14k	41x92	400	400	-	Тип X	15,9	60
S14l	41x92	600	400	-	Тип X	15,9	60
S14m	41x92	600 или 400	400	-	Тип X	12,7	60

Тип конструкции - S15

Несущие стены

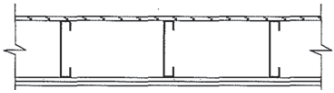
- 2 слоя гипсокартона
- 2 ряда стальных профилей (0,84-1,52 мм)
- Крестообразные раскосы
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона



Образец №	Диаметр профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Изоляция	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
			Толщина, мм	Тип	Толщина, мм	
S15a	92	600 или 400	89	Тип X	12,7	60
S15b	92	600 или 400	-	Тип X	12,7	60
S15c	92	600 или 400	89	Тип X	15,9	60
S15d	92	600 или 400	-	Тип X	15,9	90

Тип конструкции - F40

Перекрытия

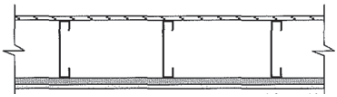


- Напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- 2 слоя гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
				Тип	Толщина, мм	
F40a	41x203	400	нет	Тип X	15,9	60
F40b	41x203	600	нет	Тип X	15,9	45
F40c	41x203	400	да	Тип X	15,9	45
F40d	41x203	600	да	Тип X	15,9	45
F40e	41x203	400	нет	Тип X	12,7	60
F40f	41x203	600	нет	Тип X	12,7	45
F40g	41x203	400	да	Тип X	12,7	45
F40h	41x203	600	да	Тип X	12,7	45

Тип конструкции - F41

Перекрытия

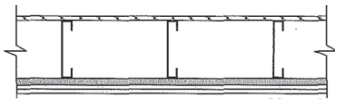


- Напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 1 слой гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F41a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	-
F41b	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	-
F41c	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	30 [45]
F41d	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	30
F41e	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	-
F41f	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	-
F41g	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	30 [45]
F41h	41x203	600	600	да	Тип X	12,7	30
F41i	41x203	600	400	нет		12,7	<30
F41j	41x203	600	600	нет		12,7	<30
F41k	41x203	600	400	да		12,7	<30
F41l	41x203	600	600	да		12,7	<30

Тип конструкции - F42

Перекрытия

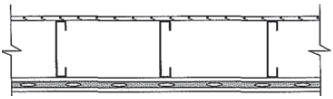


- Напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 2 слоя гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F42a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	60
F42b	41x203	400	600	нет	Тип X	15,9	45
F42c	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	45
F42d	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	60
F42e	41x203	400	600	да	Тип X	15,9	45 [60]
F42f	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	45 [60]
F42g	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	60
F42h	41x203	400	600	нет	Тип X	12,7	45
F42i	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	45
F42j	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	60
F42k	41x203	400	600	да	Тип X	12,7	45 [60]
F42l	41x203	600	600	да	Тип X	12,7	45 [60]

Тип конструкции - F43

Перекрытия

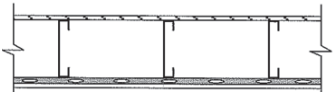


- Напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- 1 слой гипсокартона
- Виброизолирующие металлические рейки
- 1 слой гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F43a	41x203	600	400 или 600	нет	Тип X	15,9	60
F43b	41x203	600	400 или 600	да	Тип X	15,9	60
F43c	41x203	600	400 или 600	нет	Тип X	12,7	60
F43d	41x203	600	400 или 600	да	Тип X	12,7	60

Тип конструкции - F44

Перекрытия

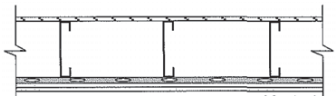


- Напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 1 слой гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F44a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	-
F44b	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	-
F44c	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	30 [45]
F44d	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	30
F44e	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	-
F44f	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	-
F44g	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	30 [45]
F44h	41x203	600	600	да	Тип X	12,7	30
F44i	41x203	600	400	нет		12,7	<30
F44j	41x203	600	600	нет		12,7	<30
F44k	41x203	600	400	да		12,7	<30
F44l	41x203	600	600	да		12,7	<30

Тип конструкции - F45

Перекрытия

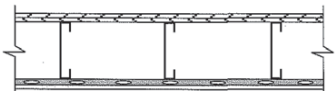


- Напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 2 слоя гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F45a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	60
F45b	41x203	400	600	нет	Тип X	15,9	45
F45c	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	45
F45d	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	60
F45e	41x203	400	600	да	Тип X	15,9	45 [60]
F45f	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	45 [60]
F45g	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	60
F45h	41x203	400	600	нет	Тип X	12,7	45
F45i	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	45
F45j	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	60
F45k	41x203	400	600	да	Тип X	12,7	45 [60]
F45l	41x203	600	600	да	Тип X	12,7	45 [60]

Тип конструкции - F47

Перекрытия

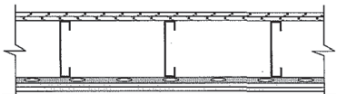


- 2 слоя напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 1 слой гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F47a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	30
F47b	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	30
F47c	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	30 [45]
F47d	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	30 [45]
F47e	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	30
F47f	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	-
F47g	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	30 [45]
F47h	41x203	600	600	да	Тип X	12,7	-

Тип конструкции - F48

Перекрытия

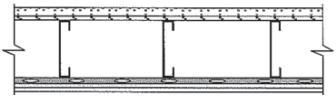


- Напольное покрытие шлифованная фанера 11 мм, ОСП или вафельная плита
- Напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 2 слоя гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F48a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	60
F48b	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	60
F48c	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	60
F48d	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	60
F48e	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	60
F48f	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	-
F48g	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	60

Тип конструкции - F52

Перекрытия

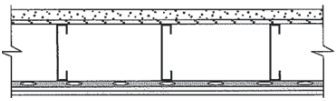


- Гипсобетонное покрытие 25 мм (44 кг/м^2)
- Напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 2 слоя гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F52a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	60
F52b	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	60
F52c	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	60
F52d	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	45 [60]
F52e	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	60
F52f	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	60
F52g	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	60
F52h	41x203	600	600	да	Тип X	12,7	45 [60]

Тип конструкции - F56

Перекрытия



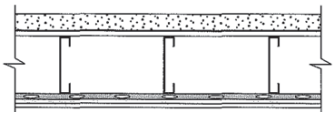
- Бетонное покрытие 38 мм (70 кг/м^2)
- Напольное покрытие фанера 15,5 мм, ОСП или вафельная плита, или пазогребневые плиты 17 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 2 слоя гипсокартона

Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F56a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	60
F56b	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	60
F56c	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	60
F56d	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	45 [60]
F56e	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	60
F56f	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	60
F56g	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	60
F56h	41x203	600	600	да	Тип X	12,7	45 [60]

Тип конструкции - F60

Перекрытия

- 50 мм бетон
- 0,46 мм металлическая панель с ребром 19 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 2 слоя гипсокартона

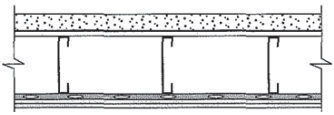


Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F60a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	60
F60b	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	60
F60c	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	60
F60d	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	45 [60]
F60e	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	60
F60f	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	60
F60g	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	60
F60h	41x203	600	600	да	Тип X	12,7	45 [60]

Тип конструкции - F61

Перекрытия

- 50 мм бетон
- 0,38 мм металлическая панель с ребром 16 мм
- Балки перекрытия из холодногнутой стали (1,22 мм толщиной)
- Изоляционный материал
- Виброизолирующие металлические рейки
- 2 слоя гипсокартона



Образец №	Размеры профиля, мм	Расстояние между профилями, мм	Расстояние между рейками, мм	Наличие изоляции	Гипсокартон		Предел огнестойкости, мин
					Тип	Толщина, мм	
F61a	41x203	600	400	нет	Тип X	15,9	60
F61b	41x203	400	600	нет	Тип X	15,9	60
F61c	41x203	600	600	нет	Тип X	15,9	-
F61d	41x203	600	400	да	Тип X	15,9	60
F61e	41x203	400	600	да	Тип X	15,9	60
F61f	41x203	600	600	да	Тип X	15,9	-
F61g	41x203	600	400	нет	Тип X	12,7	60
F61h	41x203	400	600	нет	Тип X	12,7	60
F61i	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	-
F61j	41x203	600	400	да	Тип X	12,7	60
F61k	41x203	400	600	да	Тип X	12,7	60
F61l	41x203	600	600	нет	Тип X	12,7	-

Гравит Марина Викторовна
Дмитриев Иван Игоревич

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Монография

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

Подписано в печать 08.09.2020. Формат 60×84/16. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 13,5. Тираж 500. Заказ 1534.

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного авторами,
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.
195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.
Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.

М. В. Гравит
И. И. Дмитриев

ОГНЕСТОЙКОСТЬ ЛЕГКИХ СТАЛЬНЫХ ТОНКОСТЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ