

**МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

СВОД ПРАВИЛ

СП XX.XXXXXX.2023

КОНСТРУКЦИИ СТАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ
Правила обеспечения огнестойкости

Издание официальное

Москва 2023

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛЬ – АО «НИЦ «Строительство» - Центральный научно-исследовательский институт строительных конструкций (ЦНИИСК) имени В.А. Кучеренко (ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко), Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС России» (ФГБУ ВНИИПО МЧС России), ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Ассоциация развития стального строительства (АРСС).

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 "Строительство"

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

4 УТВЕРЖДЕН приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от ____ 202 г. № ____/пр и введен в действие с ____ 202 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в установленном порядке. Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет

© Минстрой России, 202X

Настоящий нормативный документ не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минстроя России

Содержание

1 Область применения	
2 Нормативные ссылки	
3 Термины и определения	
4 Общие положения	
5 Обеспечение огнестойкости стальных конструкций.....	
6 Свойства стали при огневом воздействии, до и после него	
7 Расчетно-аналитические методы определения пределов огнестойкости стальных конструкций.....	
8 Прочностной расчет стальных конструкций	
9 Теплофизический расчет стальных конструкций	
10 Оценка результатов расчета.....	
Приложение А Ведомость стальных конструкций подлежащих огнезащите (справочное)	
Приложение Б Данные об изменении механических свойств основных строительных сталей при повышенных температурах (справочное)	
Библиография	

Введение

Настоящий свод правил разработан в целях обеспечения соблюдения требований Федеральных законов от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» [1], от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [2].

Свод правил разработан авторским коллективом АО «НИЦ «Строительство» - ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (д-р техн. наук *И.И. Ведяков*, д-р. техн. наук *Ю.В. Кривцов*, канд. техн. наук *Д.В. Соловьев*, *И.А. Гришин*, *А.Н. Стрекалёв*, *М.В. Тимофеев*), ФГБУ ВНИИПО МЧС России (д-р техн. наук *В.И. Голованов*, канд. техн. наук *А.В. Пехотиков*, канд. техн. наук *Н.С. Новиков*, *В.В. Павлов*), ФГАОУ ВО СПбПУ (канд. техн. наук *М.В. Гравит*), АРСС (*Е.И. Антропов*), под общей редакцией ФГБУ «ЦНИИП Минстроя России» (канд. техн. наук *Д.Г. Пронин*).

СВОД ПРАВИЛ

КОНСТРУКЦИИ СТАЛЬНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ Правила обеспечения огнестойкости

Steel structures. Rules for ensuring of fire resistance

Дата введения – 202X–XX–XX

1 Область применения

1.1 Настоящий свод правил устанавливает правила обеспечения огнестойкости несущих стальных строительных конструкций из горячекатаного проката по признаку потери несущей способности для жилых, общественных и производственных зданий и сооружений.

1.2 Настоящий свод правил не распространяется на ограждающие стальные строительные конструкции (мембраны, оболочки), на стальные строительные тонкостенные конструкции из холодногнутых оцинкованных профилей и гофрированных листов.

1.3 Настоящий свод правил может быть использован при оценке соответствия стальных конструкций с огнезащитой и без нее требованиям Технических регламентов в сфере пожарной безопасности.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 9651–84 Металлы. Методы испытаний на растяжение при повышенных температурах

ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834-75) Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования

ГОСТ 30247.1–94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции

ГОСТ Р ЕН 1363-2–2014 Конструкции строительные. Испытания на огнестойкость. Альтернативные и дополнительные методы

ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119–2000 Информационная технология. Пакет программ. Требования к качеству и тестирование

Издание официальное

ГОСТ Р 57639–2017 (ИСО 16730-1:2015) Пожарно-технический анализ.

Часть 1. Валидация и верификация методов расчета

ГОСТ Р 21.101–2020 Система проектной документации для строительства. Основные требования к проектной и рабочей документации

ГОСТ Р 53295–2009 Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности

СП 2.13130.2020 Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты

СП 14.13330.2018 «СНиП II-7-81* Строительство в сейсмических районах»

СП 16.13330.2017 «СНиП II-23-81* Стальные конструкции»

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия»

СП 385.1325800.2018 Защита зданий и сооружений от прогрессирующего обрушения. Правила проектирования. Основные положения

Примечание – При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего свода правил в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 критическая температура: Средняя температура сечения стальной конструкции при которой наступает предельное состояние по потере несущей способности.

3.2

несущие конструкции (элементы): конструкции, воспринимающие постоянную и временную нагрузку, в том числе нагрузку от других частей зданий.

[ГОСТ 30247.1-94, пункт 3.1]

3.3

несущие элементы здания: Несущие конструкции, обеспечивающие общую прочность и пространственную устойчивость здания, а также предотвращающие прогрессирующее (лавинообразное) разрушение его конструкций за пределами очага пожара.

[СП 2.13130.2020, пункт 3.13]

3.4 Огнезащитная эффективность: показатель эффективности средства огнезащиты, который характеризуется временем в минутах от начала огневого воздействия при определенном температурном режиме пожара на стальные конструкции с различной приведенной толщиной металла и различной толщиной огнезащитного покрытия до достижения определенной (критической) температуры, определяется методами, изложенными в подразделах 9.3, 9.4 настоящего свода правил.

3.5 огнестойкость строительной конструкции: Способность строительной конструкции сохранять несущие функции в условиях пожара.

3.6 предел огнестойкости: Промежуток времени от начала огневого воздействия на строительную конструкцию в условиях стандартных испытаний до наступления предельного состояния по потере несущей способности.

3.7 собственный предел огнестойкости: Предел огнестойкости, который обеспечивается за счет параметров сечения строительной конструкции и свойств материала конструкции без применения средств огнезащиты.

3.8 фактический предел огнестойкости: Предел огнестойкости строительной конструкции, определённый по результатам испытаний или расчётов, в том числе с огнезащитой (при её применении);

3.9

приведенная толщина металла: Отношение площади поперечного сечения металлической конструкции к периметру ее обогреваемой поверхности.

[ГОСТ Р 53295-2009, пункт 3.10]

3.10

проект огнезащиты: Раздел проектной документации и (или) рабочей документации в составе мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, содержащий обоснование принятых проектных решений по способам и средствам огнезащиты строительных конструкций для обеспечения их предела огнестойкости, с учетом экспериментальных данных по огнезащитной эффективности средства огнезащиты, а также результатов прочностных и теплотехнических расчетов строительных конструкций с нанесенными средствами огнезащиты.

[СП 2.13130-2020, пункт 3.5]

3.11

средство огнезащиты: Огнезащитный состав или материал, обладающий огнезащитной эффективностью и предназначенный для огнезащиты различных объектов.

[ГОСТ Р 53295-2009, пункт 3.2]

3.12 сталь повышенной огнестойкости (огнестойкая сталь): Сталь, обладающая улучшенной сохранностью своих механических свойств при

повышенных температурах.

Примечание - В обозначении класса прочности сталь повышенной огнестойкости маркируется буквой «П».

3.13 температурный режим пожара: Зависимость температуры среды, воздействующей на строительную конструкцию при пожаре, от времени. Различают температурные режимы пожара:

- стандартный температурный режим, характеризуемый зависимостью (1) ГОСТ 30247.0;
- альтернативные температурные режимы по ГОСТ Р ЕН 1363-2;
- реальные температурные режимы, характеризуемые зависимостями, определяемыми на базе моделей пожара с учетом специальных физических параметров, определяющих состояние среды при пожаре.

4 Общие положения

4.1 Требования к проектированию и расчёту механической прочности несущих стальных строительных конструкций установлены соответствующими нормативно-техническими документами.

К несущим строительным конструкциям (элементам) здания не относятся элементы здания, если потеря ими несущей способности при огневом воздействии не приводит к нарушению общей прочности, геометрической неизменяемости и пространственной устойчивости здания.

Отнесение строительных конструкций к несущим элементам здания допускается обосновывать при использовании расчетных методик.

4.2 Требуемые пределы огнестойкости несущих строительных конструкций устанавливаются в зависимости от принятой степени огнестойкости зданий, сооружений и пожарных отсеков по [2, Статья 87], либо по нормативным документам по пожарной безопасности для конкретных зданий и сооружений.

Предел огнестойкости стальных конструкций определяется в условиях стандартных испытаний по ГОСТ 30247.1 или расчетно-аналитическим методом согласно требованиям разделов 7–9 по времени (в минутах) от начала огневого испытания или расчетного воздействия пожара до наступления предельного состояния по потере несущей способности.

4.3 Для выполнения требований нормативных документов к пределам огнестойкости стальных конструкций следует применять стандартный температурный режим пожара. При внедрении в специально оговоренных случаях, установленных нормативными документами по пожарной безопасности, нормирования времени огнестойкости при других температурных режимах пожара, следует учитывать особенности этих режимов при расчётах и испытаниях, в том числе при оценке эффективности огнезащиты. Сведения о применяемом температурном режиме пожара должны быть приведены в отчётных материалах (расчёты, протоколы испытаний и т.д.). Альтернативные и реальные режимы пожара также могут быть применены в дополнение к стандартному режиму пожара в добровольном порядке.

5 Обеспечение огнестойкости стальных конструкций

5.1 Требуемый предел огнестойкости несущих стальных конструкций и узлов их соединения должен обеспечиваться одним из следующих способов или их комбинацией:

- повышение собственного предела огнестойкости;
- применение различных средств и способов огнезащиты.

5.2 Повышение собственного предела огнестойкости стальных конструкций при применении стали повышенной прочности (таблица Б1, Приложение Б).и (или) при увеличении размеров сечения обеспечивается за счет увеличения несущей способности при неизменной нагрузке и, соответственно, повышения критической температуры.

Повышение собственного предела огнестойкости стальных конструкций при увеличении приведенной толщины обеспечивается за счет увеличения теплоемкости и уменьшения относительной площади обогреваемой поверхности конструкции, соответственно, снижения скорости ее прогрева.

Повышение собственного предела огнестойкости стальных конструкций при применении огнестойких сталей обеспечивается за счет повышения критической температуры вследствие обеспечения лучшей сохранности механических свойств огнестойких сталей при повышенных температурах.

Повышение собственного предела огнестойкости стальных конструкций при заполнении полостей бетоном обеспечивается за счет увеличения теплоемкости конструкции, а также повышения несущей способности при применении бетона.

Повышение предела огнестойкости стальных конструкций при применении различных способов и средств огнезащиты обеспечивается за счет создания на обогреваемой поверхности конструкции теплоизоляционного слоя, что способствует снижению скорости прогрева.

5.3 Мероприятия по обеспечению требуемых пределов огнестойкости стальных конструкций и узлов их соединения выполняются в два этапа.

На первом этапе проводится оценка соответствия собственных пределов огнестойкости стальных конструкций степени огнестойкости здания.

На втором этапе разрабатывается рабочая документация по огнезащите стальных конструкций (при необходимости).

5.3.1 Оценка соответствия собственных пределов огнестойкости стальных конструкций степени огнестойкости здания включает в себя последовательное выполнение следующих мероприятий:

- анализ проекта здания (сооружения), разложение общей схемы каркаса на составляющие стержневые конструкции;
- определение требуемых пределов огнестойкости стальных конструкций и узлов их соединения;
- определение температурного режима пожара по 4.3;
- выполнение прочностного расчета стальных конструкций, определение критической температуры по 8;
- проведение теплотехнического расчета по определению собственных

пределов огнестойкости стальных конструкций по 9;

- определение способа обеспечения требуемого предела огнестойкости стальных конструкций согласно 5.1;

- определение необходимости применения огнезащиты, разработки проектной и (или) рабочей документации огнезащиты, формирование номенклатуры стальных конструкций, для которых требуется огнезащита.

5.3.2 Разработка проектной и (или) рабочей документации огнезащиты стальных конструкций (далее - проект огнезащиты) выполняется в соответствии с требованиями ГОСТ Р 21.101 и включает в себя последовательное выполнение следующих мероприятий:

- подбор оптимальных способов и средств огнезащиты согласно 5.7, 5.8;
- проведение теплотехнического расчета по определению пределов огнестойкости стальных конструкций (времени нагрева конструкции с огнезащитой до критической температуры при установленном температурном режиме пожара) по 9;

- определение толщины огнезащитного покрытия для обеспечения требуемых пределов огнестойкости стальных конструкций согласно 9.4.3;

- составление ведомости стальных конструкций подлежащих огнезащите, с указанием их основных параметров и применяемом средстве огнезащиты (Приложение А).

5.4 Требования к определению способа обеспечения требуемого предела огнестойкости стальных конструкций зданий и сооружений в районах с повышенной сейсмичностью установлены СП 14.13330.

5.5 Для зданий и сооружений повышенного уровня ответственности [1], должны предусматриваться научно-техническое сопровождение при проектировании и производстве работ по огнезащите. Научно-техническое сопровождение при проектировании огнезащиты в условиях альтернативных и реальных режимов пожара должно предусматриваться вне зависимости от уровня ответственности зданий и сооружений.

5.6 Проект огнезащиты должен содержать обоснование принятых технических решений по обеспечению требуемого предела огнестойкости стальных конструкций по результатам испытаний на огнестойкость по ГОСТ 30247.1 или с использованием расчетно-аналитического метода в соответствии с требованиями разделов 7–9.

5.7 Выбор средства огнезащиты стальных конструкций должен осуществляться с учетом его огнезащитной эффективности при установленном температурном режиме пожара (толщине огнезащитного покрытия конструкций стальных строительных различной приведенной толщины необходимой для обеспечения требуемого предела огнестойкости), класса пожарной опасности, условий эксплуатации и установленного срока эксплуатации огнезащитного покрытия.

5.8 К применению для огнезащиты стальных конструкций допускаются средства огнезащиты (вспучивающиеся огнезащитные покрытия (огнезащитные краски), толстослойные напыляемые составы, штукатурки (в том числе смеси сухие строительные на цементном вяжущем), облицовки

плитными, листовыми (в том числе гипсокартонные листы (ГКЛ), гипсокартонные листы огнестойкие (ГКЛО), гипсоволкнистые листы (ГВЛ) и другие виды гипсовых листовых материалов, хризотилцементные листы и плиты), штучными материалами, а также сочетание различных способов огнезащитной обработки), имеющие документ по подтверждению соответствия (сертификат соответствия требованиям [3]).

Техническая документация на применяемые средства огнезащиты должна содержать информацию о технических показателях, характеризующих область их применения: огнезащитная эффективность при установленном температурном режиме пожара в соответствии с 9.4, класс пожарной опасности стальных конструкций с огнезащитным покрытием, способ подготовки поверхности, виды и марки грунтовок, способы нанесения (монтажа) на защищаемую поверхность, расход средства огнезащиты, сухой остаток, условия сушки, применение дополнительных покрытий для придания декоративного вида и (или) обеспечения устойчивости к неблагоприятному климатическому воздействию, условия и сроки эксплуатации (сохранения огнезащитной эффективности) огнезащитных покрытий, меры безопасности при проведении огнезащитных работ, порядок транспортирования и хранения. В технической документации дополнительно указываются сведения о результатах идентификации средства огнезащиты методами термического анализа по ГОСТ Р 53293.

5.9 Для обеспечения огнестойкости узлов соединений стальных конструкций следует применять проектные решения по огнезащите, используемые для обеспечения огнестойкости соединяемых конструкций. Допускается применять иные способы и средства обеспечения огнестойкости узлов соединений стальных конструкций, при наличии соответствующих обоснований.

6 Свойства стали при огневом воздействии

6.1 Свойства стали при нормальных условиях эксплуатации должны соответствовать требованиям СП 16.13330.

Данные об изменении механических свойств основных строительных сталей при повышенных температурах приведены в таблице Б1 (Приложение Б), рисунках Б.1 – Б.8 (Приложение Б).

6.2 Основными механическими свойствами стали, определяющими несущую способность стальных конструкций, являются предел текучести и модуль упругости. При нагреве несущая способность стальных конструкций снижается при снижении предела текучести и модуля упругости вследствие изменений структуры стали и накопления деформации температурной ползучести, а также за счет влияния температурного расширения стальных конструкций.

Потеря несущей способности стальных сжатых конструкций наступает при нагреве до критической температуры в результате потери прочности (снижение предела текучести стали до рабочих напряжений в сечении конструкции) или в результате потери устойчивости (при снижении модуля

упругости до критического значения).

Растянутые и изгибаемые стальные конструкции теряют несущую способность при нагреве до критической температуры в результате потери прочности (снижение предела текучести стали до рабочих напряжений в сечении конструкции).

7 Расчетно-аналитические методы определения пределов огнестойкости стальных конструкций

7.1 Пределы огнестойкости несущих строительных конструкций с огнезащитой или без огнезащиты определяют расчетно-аналитическим методом, включающим совместное решение прочностной задачи (прочностной расчет), с учетом заданных условий нагружения и опирания конструкции, и теплотехнической задачи, в том числе с использованием экспериментальных данных по огнезащитной эффективности средства огнезащиты.

7.2 Целью решения прочностной задачи является определение критической температуры стальной несущей конструкции, при достижении которой наступает предельное состояние по потере несущей способности.

При прочностном расчете стальных конструкций применяется статический подход, основанный на справочных данных об изменении механических свойств стали при повышенных температурах, приведенных в таблице Б1 (Приложение Б), рисунках Б.1 – Б.8 (Приложение Б). При этом не учитываются температурный режим пожара, фактор времени нахождения конструкции под высокотемпературным воздействием, неравномерность распределения температуры по сечению конструкции, влияние температурного расширения стальных конструкций.

7.3 Целью решения теплотехнической задачи является определение времени прогрева стальных конструкций с огнезащитой или без огнезащиты от начала температурного воздействия при установленном температурном режиме пожара до определенной (критической) температуры. Время прогрева стальной конструкции до критической температуры является ее фактическим пределом огнестойкости.

При наличии данных об огнезащитной эффективности определенного огнезащитного покрытия по 9.4.1, 9.4.2 время прогрева стальной конструкции с огнезащитой до определенной (критической) температуры определяется расчетно-аналитическим методом с использованием номограмм или матриц прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием согласно 9.4.3.

7.4 Для проведения теплотехнических расчетов стальных конструкций допускается использовать программные комплексы, соответствующие ГОСТ Р 57639-2017 и ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119-2000, основанные на решении дифференциального уравнения теплопроводности Фурье. При этом задание граничных условий, физико-технических характеристик материалов и т.д. для решения теплотехнической задачи должно соответствовать положениям настоящего свода правил.

8 Прочностной расчет стальных конструкций

8.1 Значения и классификацию нагрузок следует принимать в соответствии с требованиями СП 20.13330. Расчет выполняется на особое сочетание нагрузок, включающее постоянные и длительные временные нагрузки, в том числе пониженные значения кратковременных нагрузок (кратковременные нагрузки не учитываются). Значения нагрузок при расчете принимаются равными их нормативным значениям (с коэффициентами надежности по нагрузке равными 1,0). Коэффициент надежности по ответственности принимается равным 1,0.

При проверке элементов вводится дополнительный коэффициент условий работы γ_{ct} особого предельного состояния равный 1,1.

Температурный коэффициент снижения прочности стали в конструкции при огневом воздействии определяется с учетом напряженно-деформированного состояния элемента.

8.2 Расчетные длины элементов при расчете следует принимать с учетом раздела 10 СП 16.13330, принимая при этом нормативные значения прочностных характеристик.

8.3 Расчет несущей способности стальной конструкции и узлов крепления выполняется по СП 16.13330, при этом расчетные прочностные характеристики материалов принимают равными их нормативным значениям.

8.4 Расчетное сопротивление стали по пределу текучести при нагреве:

$$R_{yt} = R_{yn} \gamma_T \quad (1)$$

где γ_T – температурный коэффициент снижения прочности стали при нагреве, определяемый по таблице Б1 (Приложение Б);

R_{yn} – предел текучести стали.

8.5 Модуль упругости стали при нагреве

$$E_t = E \gamma_e, \quad (2)$$

где γ_e – температурный коэффициент снижения модуля упругости стали при нагреве, определяемый по таблице Б1 (Приложение Б);

E – модуль упругости стали.

8.6 Критическая температура нагрева сечения, °С, по потере несущей способности определяется по наименьшей величине коэффициентов γ_T и γ_e , по таблице Б1 (Приложение Б). Коэффициент γ_e определяется при расчете по II-му предельному состоянию, при конструктивном ограничении прогиба элементов стальных конструкций при огневом воздействии.

8.7 При определении напряжений с использованием расчетных комплексов коэффициент γ_T допускается определять как $\gamma_T = \frac{\sigma_n}{R_{yn}}$, где σ_n – напряжения по результатам статического расчета.

Коэффициент γ_e следует определять, как $\gamma_e = f / f_u$, где f – наибольший прогиб в элементе, возникающая при расчете сооружения от сочетания нагрузок; f_u – предельный прогиб (деформация) в элементе, в соответствии с требованиями СП 20.13330.

8.8 Температурные коэффициенты снижения механических свойств строительных сталей следует определять по таблице Б1 (Приложение Б).

8.9 Расчет температурного коэффициента снижения прочности элементов при центральном растяжении и сжатии

8.9.1 Расчет температурного коэффициента снижения прочности элементов из стали при центральном растяжении силой N следует выполнять по формуле

$$\gamma_T = \frac{N}{A_n R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c}, \quad (3)$$

где A_n – площадь сечения нетто;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330.

8.9.2 Расчет температурного коэффициента снижения прочности стали с учетом устойчивости элементов сплошного сечения при центральном сжатии силой N , следует выполнять по формуле

$$\gamma_T = \frac{N}{\varphi_y A R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c}, \quad (4)$$

где A – площадь сечения брутто,

φ_y – коэффициент устойчивости при центральном сжатии, значение которого при $\bar{\lambda} \geq 0,6$ следует определять по п. 7.1.3 СП 16.13330, где $\bar{\lambda} = \lambda \sqrt{R_{yn}/E}$ – условная гибкость стержня;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330.

При значениях $\bar{\lambda} < 0,6$ для типов сечений a и b , определяемым по таблице 7 СП 16.13330, следует принимать $\varphi = 1$.

Значения коэффициента φ , следует принимать не более $7,6 / \bar{\lambda}^2$ при значениях условной гибкости свыше 3,8; 4,4 и 5,8 для типов сечений a , b и c , соответственно.

8.9.3 Критическая температура нагрева сечения, °С, при центральном растяжении или сжатии элемента по потере несущей способности определяется по величине коэффициента γ_T по таблице Б1 (Приложение Б).

8.10 Расчет температурного коэффициента снижения прочности при изгибе

8.10.1 Расчет температурного коэффициента по прочности изгибаемых балочных стальных конструкций следует выполнять по формулам:

- при действии момента в одной из главных плоскостей должно выполняться условие

$$\gamma_T = \frac{M}{W_{pl,min} R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c}, \quad (5)$$

где $W_{pl,min}$ – минимальный пластический момент сопротивления сечения;

- при действии в сечении поперечной силы

$$\gamma_T = \frac{QS}{It_w 0,58 R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c} \quad (6)$$

- при действии моментов в двух главных плоскостях (и при наличии бимоментов):

$$\gamma_T = \frac{M_x}{I_{xn}R_{yn}\gamma_{ct}\gamma_c}y \pm \frac{M_y}{I_{yn}R_{yn}\gamma_{ct}\gamma_c}x \pm \frac{B \cdot \omega}{I_{\omega n}R_{yn}\gamma_{ct}\gamma_c}, \quad (7)$$

где x и y – расстояния от главных осей до рассматриваемой точки сечения,

ω – секториальная координата этой точки;

I_{xn} , I_{yn} – моменты инерции сечения нетто относительно осей x - x и y - y соответственно;

M_x , M_y – изгибающие моменты относительно осей x - x и y - y соответственно;

$I_{\omega n}$ – секториальный момент инерции сечения нетто;

B – бимомент, изгибно-крутящий бимомент;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330.

- при одновременном действии в сечении момента и поперечной силы

$$\gamma_T = \frac{0,87}{R_{yn}\gamma_{ct}\gamma_c} \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2}; \quad \gamma_T \geq \tau_{xy} / 0,58\gamma_{ct}\gamma_c R_{yn}, \quad (8)$$

где $\sigma_x = M_x y / I_{xn}$ – нормальное напряжение в срединной плоскости сечения, параллельное продольной оси балки;

σ_y – то же, перпендикулярное к продольной оси балки, в том числе σ_{loc} ;

$\tau_{xy} = QS / (It_w)$ – касательное напряжение в сечении, где

I – момент инерции сечения брутто;

Q – поперечная сила, сила сдвига,

S – статический момент сдвигаемой части сечения брутто, относительно нейтральной оси,

t_w – толщина стенки сечения;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330.

Значение локального напряжения от сосредоточенной силы σ_{loc} , допускается определять по СП 16.13330, с заменой в формулах R_y на R_{yn} .

Напряжения σ_x и σ_y , принимаемые в формуле (8) со своими знаками, а также τ_{xy} следует определять в одной и той же точке сечения балки.

При расчете температурного коэффициента по прочности на действие поперечной силы на опоре для разрезных балок формулу (6) следует использовать без учета работы поясов.

8.10.2 Ослабление сечения отверстиями допускается учитывать по СП 16.13330.

8.10.3 Определение температурного коэффициента снижения прочности стали по общей устойчивости двутавровых балок 1-го класса, а также

бистальных балок 2-го класса по классификации СП 16.13330, кроме труб, следует выполнять по формулам:

- при изгибе в плоскости стенки, совпадающей с плоскостью симметрии сечения

$$\gamma_T = \frac{M_x}{\varphi_b W_{pl,x} R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c}; \quad (9)$$

- при изгибе в двух главных плоскостях (и при наличии бимоментов)

$$\gamma_T = \frac{M_x}{\varphi_b W_{pl,x} R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c} \pm \frac{M_y}{W_{pl,y} R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c} \pm \frac{B}{W_{c\omega} R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c}. \quad (10)$$

В формулах (9) и (10):

φ_b – коэффициент устойчивости при изгибе, определяемый по приложению Ж СП 16.13330 для балок с опорными сечениями, закрепленными от боковых смещений и поворота;

$W_{pl,x}$ – пластический момент сопротивления сечения относительно оси x - x ;

$W_{pl,y}$ – пластический момент сопротивления сечения относительно оси y - y , совпадающей с плоскостью изгиба;

$W_{c\omega}$ – секториальный момент сопротивления сечения, вычисленный для наиболее сжатого волокна сжатого пояса;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330.

Примечание – Знак «+» у второго и третьего членов в формуле (10) принимается, если в рассматриваемой точке соответствующее усилие вызывает сжатие. Пластический момент сопротивления определяется по правилам сопротивления материалов, как сумма статических моментов двух частей сечения, расположенных по разные стороны от плоскости изгиба.

8.10.4 Критическая температура нагрева сечения °С изгибаемых элементов по потере несущей способности определяется по наименьшей величине коэффициента γ_T , определенного по формулам раздела 8.10, по таблице Б1 (Приложение Б).

8.11 Расчет температурного коэффициента снижения прочности стали элементов при действии продольной силы с изгибом

8.11.1 Температурный коэффициент снижения прочности для внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) и внецентренно растянутых (растянуто-изгибаемых) элементов следует определять по формуле

$$\gamma_T = \frac{N}{A_n R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c} + \frac{M_x}{W_{pl,x} R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c} + \frac{M_y}{W_{pl,y} R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c} + \frac{B}{W_{c\omega} R_{yn} \gamma_{ct} \gamma_c}, \quad (11)$$

где N , M_x и M_y , B – абсолютные значения соответственно продольной силы, изгибающих моментов и бимоментов при наиболее неблагоприятном их сочетании;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330.

8.11.2 Температурный коэффициент снижения прочности элемента при расчете на устойчивость внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых)

элементов при действии момента в одной из главных плоскостей следует определять как в этой плоскости (плоская форма потери устойчивости), так и из этой плоскости (изгибно-крутильная форма потери устойчивости).

8.11.3 Температурный коэффициент снижения прочности для внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) элементов постоянного сечения (колонн многоэтажных зданий – в пределах этажа) в плоскости действия момента, совпадающей с плоскостью симметрии, при расчете на устойчивость, следует определять по формуле

$$\gamma_T = N / (\varphi_e A \gamma_{ct} \gamma_c R_{yn}). \quad (12)$$

В формуле (12) коэффициент устойчивости при сжатии с изгибом φ_e следует определять по п. 9.2.2 СП 16.13330 в зависимости от условной гибкости $\bar{\lambda}$ и приведенного относительного эксцентриситета m_{ef} , определяемого по формуле

$$m_{ef} = \eta m, \quad (13)$$

где η – коэффициент влияния формы сечения, определяемый по п. 9.2.2 СП 16.13330;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330;

$m = eA / W_{pl}$ – относительный эксцентриситет (здесь $e = M / N$ – эксцентриситет, при вычислении которого значения M и N следует принимать согласно требованиям 9.2.3 СП 16.13330;

W_{pl} – пластический момент сопротивления сечения, вычисленный для наиболее сжатого волокна.

При значениях $m_{ef} > 20$ расчет следует выполнять как для изгибаемых элементов.

8.11.4 Расчетные значения продольной силы N и изгибающего момента M в элементе следует принимать с учетом требований СП 16.13330.

8.11.5 Температурный коэффициент снижения прочности для внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) стержней сплошного постоянного сечения, кроме коробчатого, из плоскости действия момента при изгибе их в плоскости наибольшей жесткости ($I_x > I_y$), совпадающей с плоскостью симметрии, а также швеллеров, при расчете на устойчивость, следует определять по формуле

$$\gamma_T = N / (c \varphi_y A \gamma_{ct} \gamma_c R_{yn}), \quad (14)$$

где c – коэффициент, определяемый согласно требованиям 9.2.5 СП 16.13330;

φ_y – коэффициент устойчивости при центральном сжатии, определяемый согласно требованиям 8.9.2;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330.

8.11.6 Температурный коэффициент снижения прочности для внецентренно сжатых (сжато-изгибаемых) элементов постоянного сечения, изгибаемые в плоскости наименьшей жесткости ($I_y < I_x$ и $e_y \neq 0$), следует рассчитывать по формуле (12), а при гибкости $\lambda_x > \lambda_y$ – также проверять

расчетом на устойчивость из плоскости действия момента как центрально сжатые элементы по формуле

$$\gamma_T = N / (\varphi_x A \gamma_{ct} \gamma_c R_{yn}), \quad (15)$$

где φ_x – коэффициент устойчивости при центральном сжатии, определяемый согласно требованиям 8.9.2 СП 16.13330;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330.

8.11.7 Температурный коэффициент снижения прочности при расчете на устойчивость стержней сплошного постоянного сечения (кроме коробчатого), подверженных сжатию и изгибу в двух главных плоскостях, при совпадении плоскости наибольшей жесткости ($I_x > I_y$) с плоскостью симметрии, а также при сечении типа 3 (см. таблицу 21 СП 16.13330) следует определять по формуле

$$\gamma_T = N / (\varphi_{exy} A \gamma_{ct} \gamma_c R_{yn}), \quad (16)$$

где $\varphi_{exy} = \varphi_{ey} (0,6\sqrt[3]{c} + 0,4\sqrt[4]{c})$. (17)

Требования к вычислению коэффициентов принять по разделу 9.2 СП 16.13330, с учетом в расчетах соответствующих пластических моментов сопротивлений сечений.

8.11.8 Температурный коэффициент снижения прочности при расчете на устойчивость стержней сплошного постоянного коробчатого сечения при сжатии с изгибом в одной или в двух главных плоскостях следует определять по формулам

$$\gamma_T = N / (\varphi_{ey} A \gamma_{ct} \gamma_c R_{yn}) + M_x / (\delta_x W_{pl,x} \gamma_{ct} \gamma_c R_{yn}), \quad (18)$$

$$\gamma_T = N / (\varphi_{ex} A \gamma_{ct} \gamma_c R_{yn}) + M_y / (\delta_y W_{pl,y} \gamma_{ct} \gamma_c R_{yn}), \quad (19)$$

где φ_{ex} , φ_{ey} – коэффициенты устойчивости при сжатии с изгибом, определяемые по п.9.2.10 СП 16.13330;

γ_c – коэффициент условий работы, определяемый по СП 16.13330;

δ_x , δ_y – коэффициенты, определяемые по формулам

$$\delta_x = 1 - 0,1 N \bar{\lambda}_x^2 / (A R_{yn}) \text{ и } \delta_y = 1 - 0,1 N \bar{\lambda}_y^2 / (A R_{yn}) \quad (20)$$

и принимаемые равными 1,0 при $\bar{\lambda}_x \leq 1$ и $\bar{\lambda}_y \leq 1$ соответственно, при этом N следует принимать со знаком «–».

При изгибе в плоскости наибольшей жесткости ($I_x > I_y$; $M_y = 0$) вместо φ_{ey} следует принимать φ_y – коэффициент устойчивости при центральном сжатии, определяемый согласно требованиям 8.9.2.

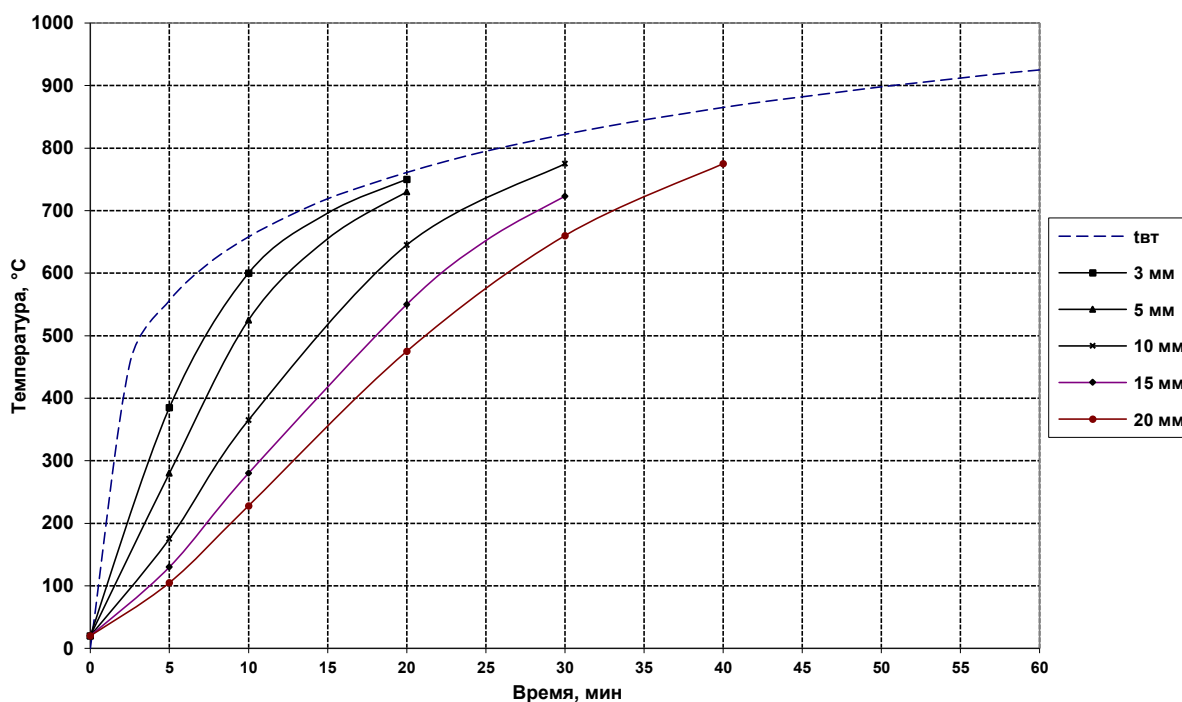
8.11.9 Критическая температура нагрева сечения °С элемента при действии продольной силы с изгибом по потере несущей способности определяется по наименьшей величине коэффициента γ_T , определенного по формулам подраздела 8.11 и таблице Б1 (Приложение Б).

9 Теплотехническая задача

9.1 При решении теплотехнической задачи температура стальных конструкций при воздействии пожара принимается равномерно распределенной по сечению.

9.2 Для стальных конструкций без огнезащиты время прогрева определяется с использованием графиков (номограмм) прогрева стальных конструкций различной приведенной толщины или расчетным методом.

9.2.1 Изменение температуры нагрева стальных конструкций без огнезащиты, в зависимости от приведенной толщины металла и времени температурного воздействия стандартного пожара определяется по номограмме (рисунок 1), промежуточные значения определяются методом линейной интерполяции.



t_{BT} — стандартная температурная кривая по ГОСТ 30247.0;

$\delta_{пр}$ — приведенная толщина металла: 3 мм, 5 мм, 10 мм, 15 мм, 20 мм.

Рисунок 1 – Номограмма прогрева незащищенных стальных конструкций при стандартном температурном режиме

9.2.2 Расчетный метод определения температуры незащищенных стальных конструкций при стандартном температурном режиме пожара заключается в пошаговом расчете с использованием зависимости:

$$t_{ст,\Delta\tau} = \frac{\Delta\tau}{\gamma_{см} \delta_{пр} (C_{ст} + D_{ст} t_{ст})} \alpha (t_{в,\tau} - t_{ст}) + t_{ст} \quad (21)$$

где $t_{ст,\Delta\tau}$ — температура стального стержня через расчетный интервал времени $\Delta\tau$, °C;

$t_{ст}$ — температура стержня в данный момент времени τ , °C;

$t_{в,\tau}$ — температура нагревающей среды в данный момент времени τ , °C;

α — коэффициент теплопередачи от нагревающей среды к поверхности

конструкции, Вт/(м² К);

$C_{ст}$ – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг·К);

$D_{ст}$ – коэффициент изменения удельной теплоемкости стали при нагреве, Дж/(кг К²);

$\gamma_{ст}$ – удельный вес стали, кг/м³;

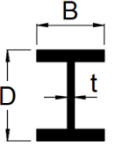

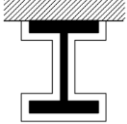

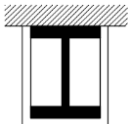
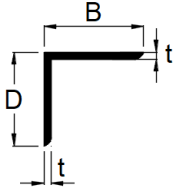

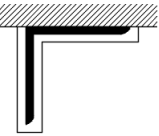
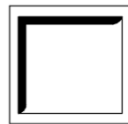
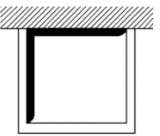
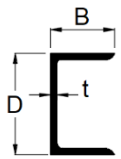



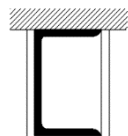
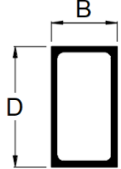
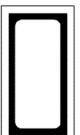
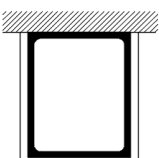
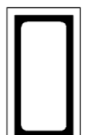
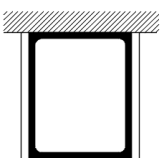
$\delta_{пр}$ – приведенная толщина металла стальной конструкции, м, определяется по формуле:

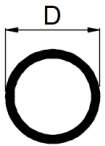

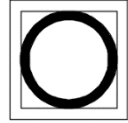
$$\delta_{пр} = \frac{F}{\Pi}, \quad (22)$$

где F – площадь поперечного сечения стержня, м²;

Π – обогреваемый периметр сечения стержня, м, определяемый по таблице 1.

Таблица 1 – Обогреваемый периметр стальных конструкций при различных условиях обогрева

Профиль	Обогреваемый периметр Π при различных условиях обогрева			
	Выполнение огнезащиты по контуру		Выполнение огнезащиты в виде короба	
	С 4-х сторон	С 3-х сторон	С 4-х сторон	С 3-х сторон
	 $2B+2D+2(B-t)$ $=4B+2D-2t$	 $B+2D+2(B-t)$ $=3B+2D-2t$	 $2B+2D$	 $B+2D$
	 $2B+2D$	 $B+2D$	 $2B+2D$	 $B+2D$
	 $2B+2D+2(B-t)$ $=4B+2D-2t$	 $B+2D+2(B-t)$ $=3B+2D-2t$	 $2B+2D$	 $B+2D$
	 $2B+2D$	 $B+2D$	 $2B+2D$	 $B+2D$

	 πD	-//-	 πD	-//-
---	--	------	--	------

Коэффициент теплопередачи α при стандартном температурном режиме определяется зависимостью:

$$\alpha = 29 + 5,77S_{\text{пр}} \frac{\left(\frac{T_B}{100}\right)^4 - \left(\frac{T_0}{100}\right)^4}{T_B - T_0}, \quad (23)$$

где $S_{\text{пр}}$ – приведенная степень черноты системы «огневая камера - поверхность конструкции»;

T_B – температура окружающей среды, соответствующая времени t , °C ;

T_0 – температура окружающей среды до начала теплового воздействия, °C.

Приведенная степень черноты определяется зависимостью

$$S_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{S_B} + \frac{1}{S_0} - 1} \quad (24)$$

где S_B – степень черноты среды огневой камеры;

S_0 – степень черноты поверхности стального стержня.

При отсутствии справочных данных о фактических значениях физических величин в расчете используются следующие данные:

$$\Delta\tau = 0,1 \text{ мин};$$

$$\gamma_{cm} = 7850 \text{ кг/м}^3 \text{ – при температуре } 20 \text{ °C} - 800 \text{ °C};$$

$$C_{cm} = 0,465 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K)};$$

$$D_{cm} = 0,00048 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{K}^2);$$

$$S_B = 0,85;$$

$$S_0 = 0,625.$$

9.3 Для стальных конструкций с огнезащитным покрытием теплотехническая задача решается с применением расчетно-аналитических методов в соответствии с 9.3.1 или 9.3.2.

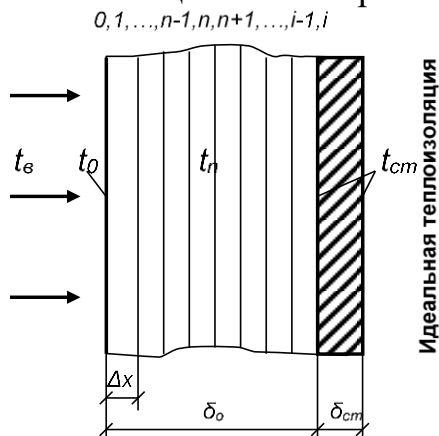
9.3.1 Расчетно-аналитический метод определения динамики прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием основывается на данных об огнезащитной эффективности огнезащитных покрытий, полученных по результатам проведения серии огневых испытаний стальных конструкций в соответствии с п. 4.11 ГОСТ Р 53295-2009.

При этом проводится серия из не менее, чем 9 огневых испытаний по определению огнезащитной эффективности покрытия различной толщины (минимальной, средней и максимальной) на образцах стальных колонн с различной приведенной толщиной металла (минимальной, средней и максимальной). При испытаниях контролируется скорость прогрева стальной конструкции (зависимость температуры прогрева конструкции от времени температурного воздействия). Испытания проводятся до достижения температуры конструкции 700 С для обычных сталей и 850 С для огнестойких сталей. На основе результатов испытаний оформляются номограммы и/или матрицы прогрева стальных конструкций с огнезащитой согласно 9.4. Промежуточные значения скорости прогрева стальных конструкций для других приведенных толщин металла и толщин огнезащитного покрытия определяются методом линейной интерполяции. Допускается распространять результаты испытаний стальных конструкций определенной приведенной толщины металла на конструкции с большей приведенной толщиной металла (при равных толщинах огнезащитного покрытия).

Для плитных, рулонных и других видов огнезащиты, предусматривающих один или два варианта толщины огнезащитного покрытия (в один слой или в два слоя) проводится серия из, соответственно, не менее, чем 3 или 6 огневых испытаний по определению огнезащитной эффективности покрытия на образцах стальных колонн с минимальной, средней и максимальной приведенной толщиной металла.

9.3.2 Для стальных конструкций с конструктивной огнезащитой допускается решение теплотехнической задачи на основе данных об огнезащитной эффективности огнезащитных покрытий, полученных по результатам определения динамики прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием при пошаговом расчете по толщине для плоских конструкций с одномерным потоком тепла в соответствии со схемой (рисунок 2). При этом огнезащитное покрытие толщиной δ_0 разбивается на n -ое число слоев Δx .

В расчете не учитываются грунтовочные и финишные слои огнезащитного покрытия, если их теплоизоляционные свойства существенно ниже, чем у основного слоя огнезащитного покрытия.



**Рисунок 2 – Схема к расчету прогрева стальной пластины с
огнезащитным покрытием**

Температура на стальной пластине $t_{ст,\Delta\tau}$, через расчетный интервал времени $\Delta\tau$, вычисляется по формулам:

- температура на обогреваемой поверхности огнезащитного покрытия

$$t_{0,\Delta\tau} = \frac{2\Delta\tau[A(t_1-t_0)+0,5B(t_1^2-t_0^2)+\alpha(t_{ст}-t_0)\Delta x]}{\gamma_0\Delta x^2(C+Dt_0)} + t_0 - t_{\phi}, \quad (25)$$

- температура во внутренних слоях огнезащитного покрытия

$$t_{n,\Delta\tau} = \frac{\Delta\tau[A(t_{n-1}-2t_n+t_{n+1})+0,5B(t_{n-1}^2-2t_n^2+t_{n+1}^2)]}{\gamma_0\Delta x^2(C+Dt_0)} + t_n - t_{\phi}, \quad (26)$$

- температура на стальной пластине

$$t_{ст,\Delta\tau} = \frac{2\Delta\tau[A(t_n-t_{ст})+0,5B(t_n^2-t_{ст}^2)]}{\Delta x[\gamma_0\Delta x(C+Dt_{ст})+2\gamma_{ст}\delta_{ст}(C_{ст}+D_{ст}t_{ст})]} + t_{ст} - t_{\phi}, \quad (27)$$

где α – коэффициент теплопередачи (температуропроводности) от нагревающей среды к поверхности конструкции, Вт/(м²·К);

γ_0 – плотность огнезащитного покрытия кг/м³;

$t_0, t_1 \dots t_n$ – температуры на границах слоев;

$t_{ст}$ – температура на стальной пластине, °С;

Δx – слой для определения температур в расчетный интервал времени;

$C_{ст}$ – удельная теплоемкость стали, Дж/(кг·К);

$D_{ст}$ – коэффициент изменения удельной теплоемкости стали при нагреве, Дж/(кг·К²);

$\gamma_{ст}$ – удельный вес стали, кг/м³;

$\delta_{пр}$ – приведенная толщина металла стальной конструкции, м;

A – начальный коэффициент теплопроводности огнезащитного покрытия, Вт/(м·К);

B – коэффициент изменения теплопроводности огнезащитного покрытия при нагреве, Вт/(м·К²);

C – начальный коэффициент теплоемкости огнезащитного покрытия, Дж/(кг·град);

D – коэффициент изменения теплоемкости огнезащитного покрытия при нагреве, Дж/(кг·К²);

t_{ϕ} – фиктивная температура, определяемая по формуле:

$$t_{\phi} = \frac{p_{в}r}{100[(C+Dt_{ст})+\frac{2\gamma_{ст}\delta_{ст}(C_{ст}+D_{ст}t_{ст})}{\gamma_0\Delta x}]}, \quad (28)$$

где $p_{в}$ – начальная весовая влажность огнезащитного покрытия, %;

r – скрытая теплота парообразования воды, $r = 2260 \cdot 10^3$ Дж/кг.

Теплотехнические свойства конкретных огнезащитных покрытий (A – начальный коэффициент теплопроводности огнезащитного покрытия, B – коэффициент изменения теплопроводности огнезащитного покрытия при нагреве, C – начальный коэффициент теплоемкости огнезащитного покрытия, D – коэффициент изменения теплоемкости огнезащитного покрытия при нагреве) определяются по экспериментальным данным путем решения обратной задачи теплопроводности. Для получения экспериментальных данных проводятся огневые испытания стальных пластин размером $0,6 \times 0,6$ м, обогреваемых со стороны защищенной поверхности при наличии на другой стороне практически идеальной теплоизоляции. Испытания проводятся на 2-х образцах защищенных пластин с минимальной, средней и максимальной толщинами огнезащитного покрытия в соответствии с технической документацией на средство огнезащиты.

Примечание: при использовании расчетных комплексов допускается определять и использовать далее в расчетах нелинейные теплофизические характеристики материалов.

9.3.3 В целях валидации и верификации результатов расчета времени прогрева стальных конструкций с огнезащитой (данных об огнезащитной эффективности огнезащитного покрытия), выполненного согласно 9.3.2, должны быть проведены огневые испытания образцов стальных колонн в соответствии с п. 4.11 ГОСТ Р 53295.

Результаты расчета времени прогрева стальной конструкции с огнезащитой (данные об огнезащитной эффективности огнезащитного покрытия) не должны отличаться более чем $\pm 20\%$ от результатов огневого испытания образцов стальных колонн и результатов сертификационных испытаний средства огнезащиты по ГОСТ Р 53295.

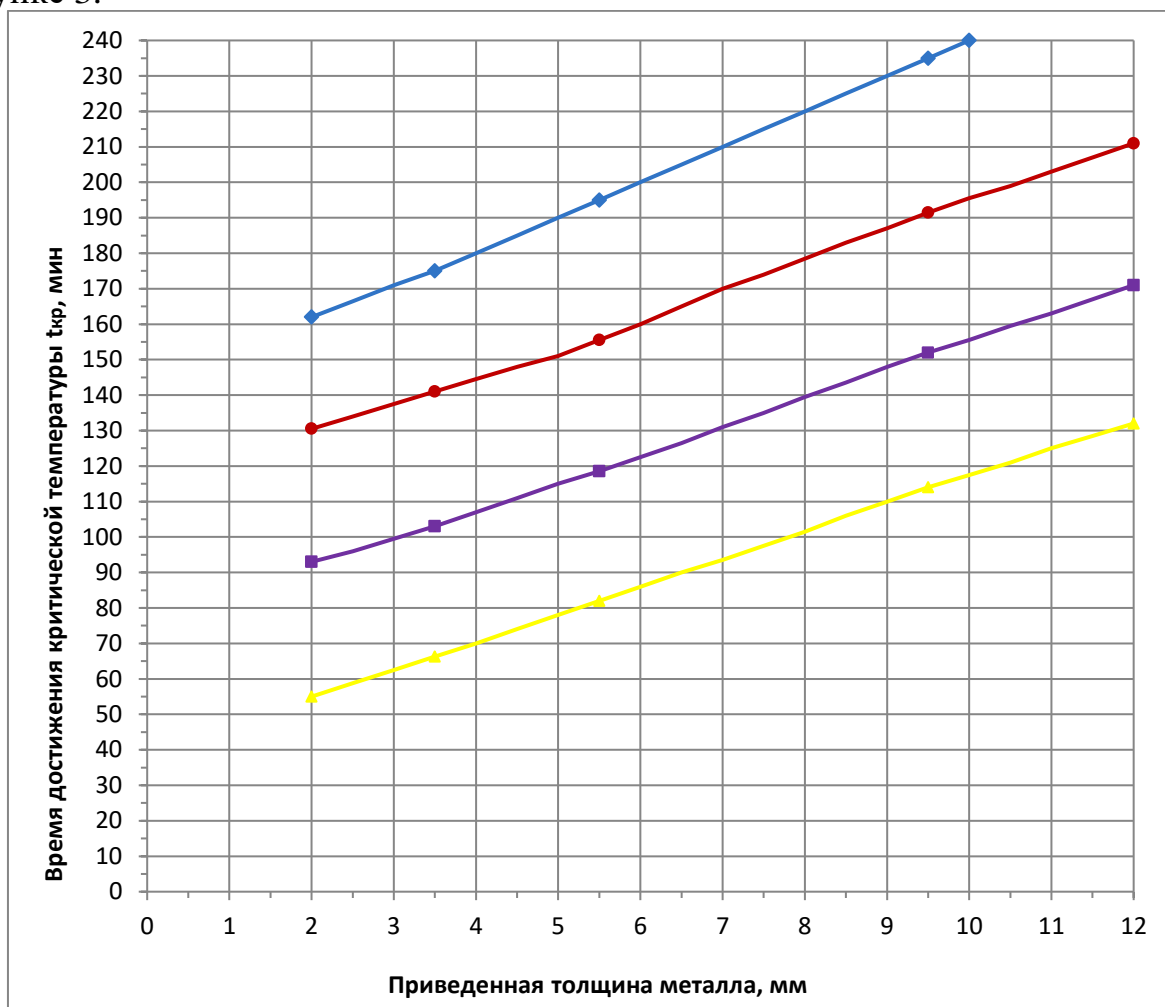
9.4 Результаты решения теплотехнических задач, выполненных согласно 9.3.1, 9.3.2 в целях получения данных об огнезащитной эффективности огнезащитных покрытий, оформляются в виде номограмм и (или) матриц прогрева стальных конструкций с огнезащитой при установленном температурном режиме пожара, отражающих огнезащитную эффективность огнезащитных покрытий. Сведения об огнезащитной эффективности огнезащитных покрытий в виде номограмм и (или) матриц должны содержаться в технической документации на средство огнезащиты.

9.4.1 Номограммы прогрева стальных конструкций с огнезащитой оформляются для температур от $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ для обычных сталей и до $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ для огнестойких сталей, с шагом $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Номограммы строятся при установленном температурном режиме пожара в координатах: "Приведенная толщина металла, мм" - "Время, мин", где "Время" - время достижения заданной критической температуры стальной конструкции. Каждая точка номограммы соответствует пределу огнестойкости стальной конструкции с определенной приведенной толщиной металла и толщиной огнезащитного покрытия для определенной температуры. Точки номограммы, соответствующие конструкциям с одной и

той же толщиной огнезащитного покрытия, соединены линиями одного цвета и обозначены в виде значений толщины огнезащитного покрытия (мм). Для определения промежуточных значений приведенной толщины металла и толщины огнезащитного покрытия используется метод линейной интерполяции.

Пример номограммы прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием при стандартном температурном режиме пожара приведен на рисунке 3.



Толщина огнезащитного покрытия:

— 12,5 мм — 25 мм — 37,5 мм — 45 мм

Рисунок 3 – Пример номограммы прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием при стандартном температурном режиме пожара до $t_{кр} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$

9.4.2 Матрицы прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием при установленном температурном режиме пожара оформляются для критических температур от $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ для обычных сталей и до $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ для огнестойких сталей, с шагом $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Матрица прогрева стальных конструкций для определенных значений критической температуры формируется на основе результатов теплотехнических расчетов согласно 9.3. Каждое значение времени

достижения заданной температуры соответствует пределу огнестойкости стальной конструкции с определенной приведенной толщиной металла и толщиной огнезащитного покрытия для определенной при прочностном расчете критической температуры. Промежуточные значения времени достижения заданной температуры для других приведенных толщин металла и толщин огнезащитного покрытия определяются методом линейной интерполяции.

Пример оформления матрицы прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием до температуры 550 °С по результатам серии из 9 огневых испытаний образцов колонн при температурном режиме стандартного пожара с приведенной толщиной металла 2,4 мм, 8,7 мм и 15 мм и толщиной огнезащитного покрытия 10 мм, 27 мм и 45 мм приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Пример оформления матрицы прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием при стандартном температурном режиме пожара

Температурный режим стандартного пожара. Время достижения температуры 550 °С стальных конструкций с различной приведенной толщиной металла (ПТМ) в зависимости от толщины огнезащитного покрытия (ОЗП)											
	Толщина ОЗП (мм) / Время достижения температуры 550 °С (мин)										
ПТМ мм	10	13	17	20	24	27	29	33	37	41	45
2,4	17,2	60,7	70,2	77,3	86,3	92,0	99,3	114,0	128,7	143,3	152,4
3	52,2	60,6	71,0	78,8	88,6	94,9	102,5	117,7	132,8	148,0	163,2
3,7	50,1	60,4	71,9	80,5	91,3	98,2	106,1	121,9	137,7	153,5	169,2
4,3	48,3	60,3	72,7	82,0	93,7	101,1	109,3	125,6	141,9	158,1	174,4
5	46,2	60,2	73,6	83,7	96,4	104,5	112,9	129,8	146,7	163,6	180,5
5,6	44,3	60,1	74,4	85,2	98,7	107,4	116,1	133,5	150,9	168,3	185,7
6,2	42,5	60,0	75,2	86,7	101,0	110,2	119,2	137,1	155,0	173,0	190,9
6,8	40,7	59,8	76,0	88,1	103,4	113,1	122,3	140,8	159,2	177,6	196,1
7,4	38,9	59,7	76,8	89,6	105,7	116,0	125,5	144,4	163,4	182,3	201,3
8	37,1	59,6	77,6	91,1	108,0	118,9	128,6	148,1	167,5	187,0	206,4
8,7	75,2	49,3	69,5	84,7	103,8	154,0	125,1	143,3	161,6	179,8	212,8
9,3	35,3	50,1	71,2	87,0	106,8	119,5	128,9	147,8	166,8	185,7	204,6
10	35,6	51,1	73,1	89,6	110,3	123,5	133,4	153,1	172,8	192,5	212,2
10,6	35,9	52,0	74,8	91,8	113,3	127,0	137,2	157,6	178,0	198,4	218,8
11,3	36,2	53,0	76,7	94,5	116,8	131,1	141,7	162,9	184,1	205,3	226,5
11,9	36,5	53,8	78,3	96,7	119,8	134,5	145,5	167,4	189,3	211,2	233,0
12,5	36,8	54,7	80,0	98,9	122,8	138,0	149,3	171,9	194,5	217,0	239,6
13,1	37,1	55,5	81,6	101,2	125,8	141,5	153,1	176,4	199,7	222,9	246,2
13,7	37,4	56,4	83,3	103,4	128,8	145,0	156,9	180,9	204,9	228,8	252,8
14,3	37,7	57,2	84,9	105,7	131,7	148,4	160,8	185,4	210,0	234,7	259,3

15	94,6	58,2	86,8	108,3	135,2	204,0	165,2	190,7	216,1	241,6	267,0
----	-------------	------	------	-------	-------	--------------	-------	-------	-------	-------	--------------

Жирным шрифтом выделены результаты серии из 9 испытаний образцов колонн с приведенной толщиной 2,4 мм, 8,7 мм и 15 мм и толщиной огнезащитного покрытия 10 мм, 27 мм и 45 мм, курсивом отображены данные, полученные с применением метода линейной интерполяции.

9.4.3 Предел огнестойкости стальной конструкции с огнезащитой (время прогрева до определенной критической температуры) при установленном температурном режиме пожара определяется с использованием номограмм или матриц прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием в следующем порядке:

- выбирается номограмма прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием для определенной критической температуры конструкции. На поле номограммы отображены графики зависимости времени прогрева стальной конструкции до критической температуры в зависимости от приведенной толщины металла для различных значений толщины огнезащитного покрытия. Для соответствующей приведенной толщины металла конструкции (горизонтальная ось) на графике с определенной толщиной огнезащитного покрытия находится точка, проекцией которой на вертикальную ось является время достижения критической температуры (предел огнестойкости конструкции);

- выбирается матрица прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием для определенной критической температуры конструкции. В матрице приведены данные о времени прогрева стальных конструкций до критической температуры для различных значений приведенной толщины металла и толщины огнезащитного покрытия. Для соответствующей приведенной толщины металла конструкции и определенной толщины огнезащитного покрытия находится время достижения критической температуры (предел огнестойкости конструкции).

При определении времени достижения критической температуры для промежуточных значений приведенной толщины металла и толщины огнезащитного покрытия с использованием номограмм и матриц прогрева стальных конструкций допускается применять метод линейной интерполяции.

Номограммы и матрицы прогрева стальных конструкций с огнезащитным покрытием могут использоваться для решения обратных задач: определения минимальной толщины огнезащитного покрытия для обеспечения требуемого предела огнестойкости стальной конструкции определенной приведенной толщины металла для заданной критической температуры.

10 Оценка результатов расчета

10.1 За результат прочностного расчета, проведенного по 8, принимается критическая температура стальной конструкции, при которой наступает предельное состояние по потере несущей способности.

10.2 За результат решения теплотехнической задачи, выполненной по 9 принимается время от начала теплового воздействия до достижения определенной (критической) температуры металла конструкции.

10.3 Время прогрева стальной конструкции до критической температуры является ее фактическим пределом огнестойкости.

Условное обозначение предела огнестойкости стальной конструкции по потере несущей способности при температурном режиме стандартного пожара содержит буквенное обозначения предельного состояния R и время достижения предельного состояния по [2, Статья 35].

10.4 Результаты расчета динамики прогрева стальных конструкций с различной приведенной толщиной металла при различных значениях толщины огнезащитного покрытия, выполненного в соответствии с 9.3, 9,4 являются данными об огнезащитной эффективности средства огнезащиты.

Приложение А

Ведомость стальных конструкций, подлежащих огнезащите

Таблица А.1

№ п/п	Марка элемента	Сечение		Расход металлопроката		Расчетные параметры сечения			Расчетные параметры огнезащиты	
		Эскиз	Профиль по ГОСТ	Масса, т	Кол- во, м	Кол-во обогр. сторон	Обогр. периметр, мм	Приведен- ная толщина $\delta_{пр}$, мм	Марка/ Толщина δ_o , мм	Площадь S_o , м ²

Приложение Б

Данные об изменении механических свойств основных строительных сталей при повышенных температурах

Таблица Б.1 — Температурные коэффициенты снижения механических свойств строительных сталей

Температура нагрева, °C	Температурный коэффициент снижения модуля упругости γ_e	Температурный коэффициент снижения предела текучести γ_T
Стали обычной прочности C235, C245, C255		
20	1,00	1,00
250	1,00	1,00
300	0,94	0,84
350	0,89	0,78
400	0,84	0,72
450	0,79	0,67
500	0,73	0,61
550	0,67	0,54
600	0,59	0,45
650	0,52	0,34
700	0,43	0,20
Стали повышенной прочности (C345, C345K, C355, C355-1, C355-K, C375)		
20	1,00	1,00
250	1,00	1,00
300	0,96	0,84
350	0,92	0,75
400	0,88	0,70
450	0,85	0,65
500	0,81	0,60
550	0,75	0,55
600	0,66	0,46
650	0,53	0,34
700	0,35	0,18
Стали высокой прочности (C390, C390-1, C440, C550, C590)		
20	1,00	1,00
250	1,00	1,00
300	0,95	0,89
350	0,90	0,83
400	0,86	0,79
450	0,82	0,75

500	0,78	0,71
550	0,73	0,66
600	0,68	0,58
650	0,62	0,47
700	0,54	0,32
Огнестойкие стали (С355П, С390П)		
20	1,00	1,00
250	1,00	1,00
300	0,96	0,96
350	0,93	0,95
400	0,90	0,92
450	0,86	0,89
500	0,82	0,83
550	0,77	0,76
600	0,71	0,68
650	0,65	0,58
700	0,58	0,47
750	0,50	0,33
800	0,42	0,20
850	0,33	0,02
<p>Примечания</p> <p>1 Для сталей высокой прочности (С390, С390-1, С440, С550, С590) температурные коэффициенты снижения механических свойств следует применять после проведения испытаний по ГОСТ 9651 при условии сохранения прочности по пределу текучести при нагреве до 600 °С не менее 55% от предела текучести при 20 °С. Для сталей высокой прочности не соответствующих указанным условиям следует применять коэффициенты как для сталей повышенной прочности.</p> <p>2 При разработке новых видов огнестойких сталей температурные коэффициенты снижения механических свойств строительных сталей применяются после проведения испытаний по ГОСТ 9651 по определению физико-механических свойств при повышенных температурах, при условии сохранения прочности по пределу текучести при нагреве до 600 °С не менее 60 % от предела текучести при 20 °С.</p>		

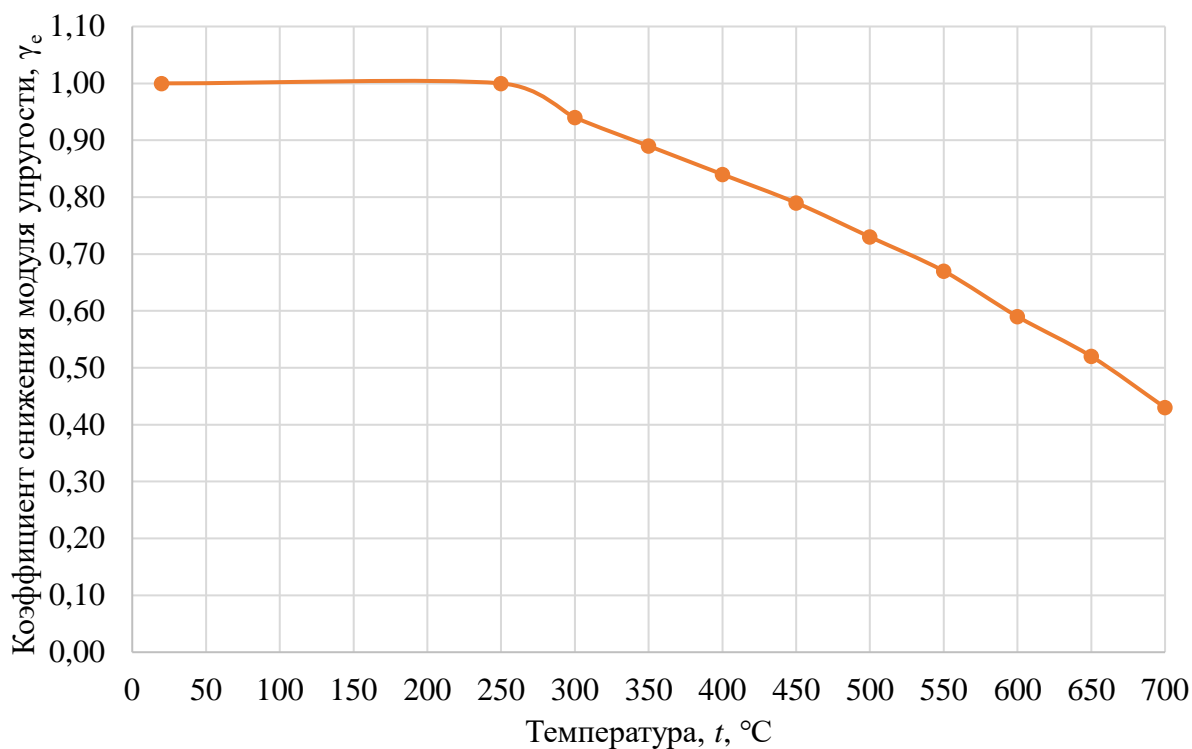
Температурные коэффициенты снижения модуля упругости, γ_e **Стали обычной прочности (С235, С245, С255)**

Рисунок Б.1 – Температурный коэффициент снижения модуля упругости, γ_e сталей обычной прочности С235, С245, С255

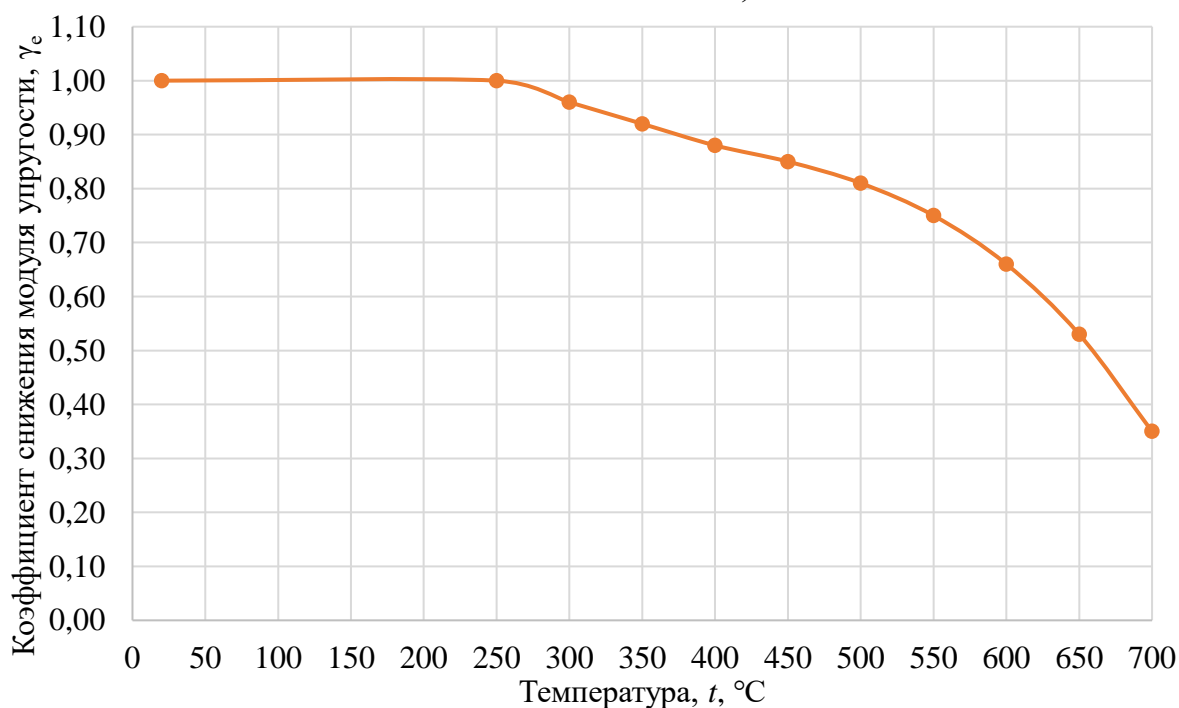
Стали повышенной прочности (С345, С345К, С355, С355-1, С355-К, С375)

Рисунок Б.2 – Температурный коэффициент снижения модуля упругости, γ_e сталей повышенной прочности (С345, С345К, С355, С355-1, С355-К, С375)

Стали высокой прочности (С390, С390-1, С440, С550, С590)

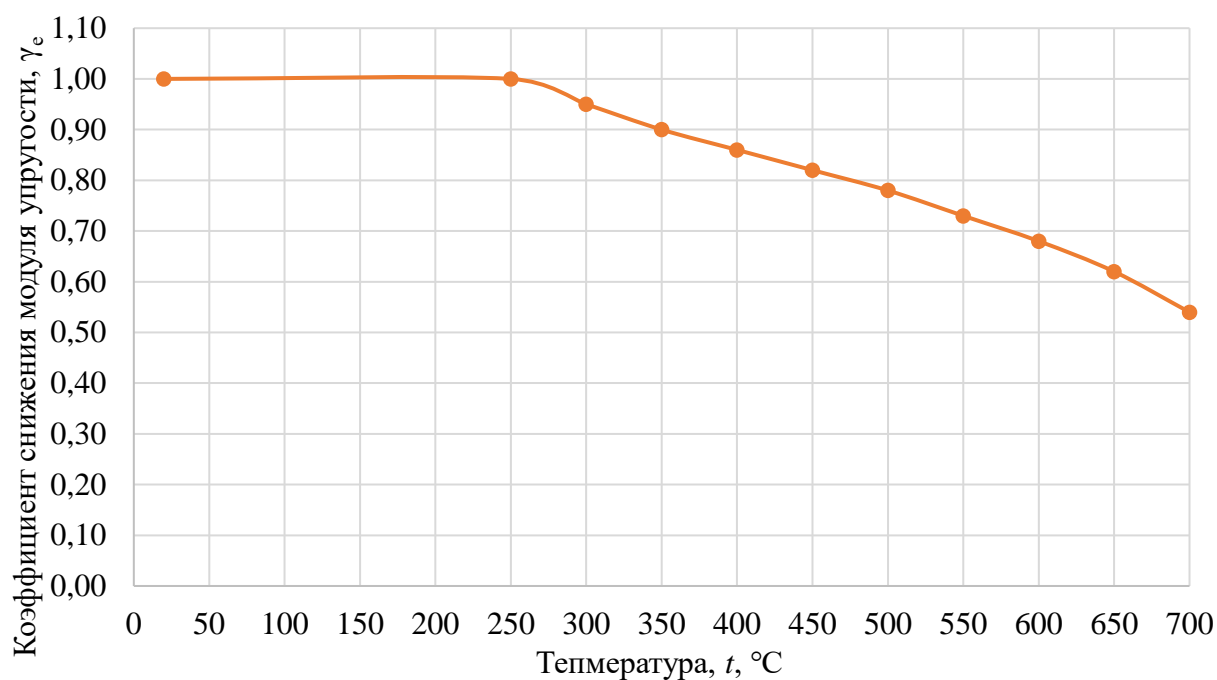


Рисунок Б.3 – Температурный коэффициент снижения модуля упругости, γ_e сталей высокой прочности (С390, С390-1, С440, С550, С590)

Огнестойкие стали (С355П, С390П)

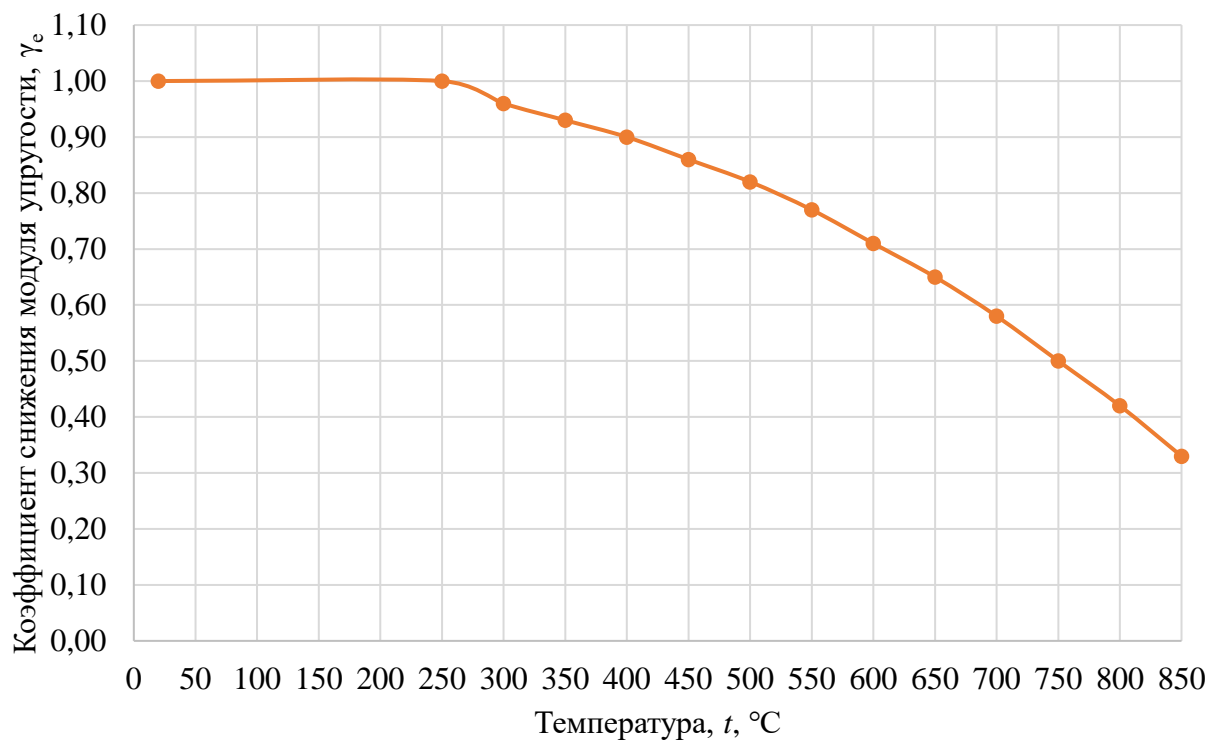


Рисунок Б.4 – Температурный коэффициент снижения модуля упругости, γ_e огнестойких сталей (С355П, С390П)

Температурные коэффициент снижения предела текучести, γ_t

Стали обычной прочности (C235, C245, C255)

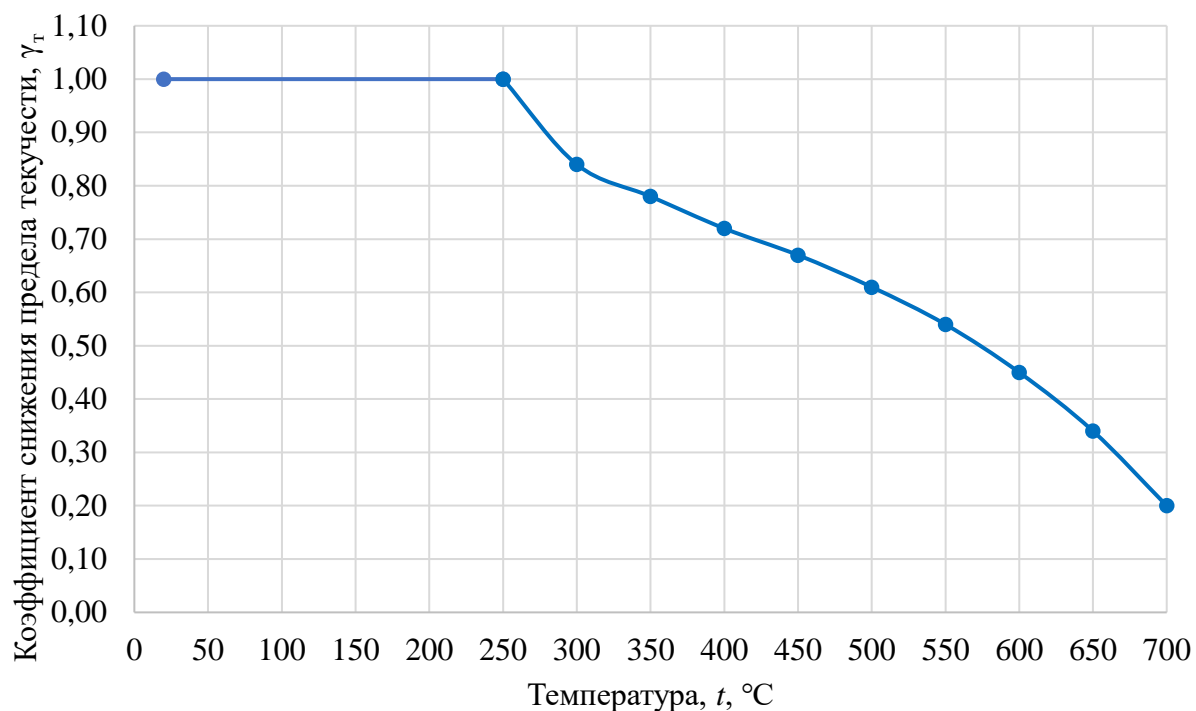


Рисунок Б.5 – Температурный коэффициент снижения предела текучести, γ_t сталей обычной прочности C235, C245, C255

Стали повышенной прочности (C345, C345K, C355, C355-1, C355-K, C375)

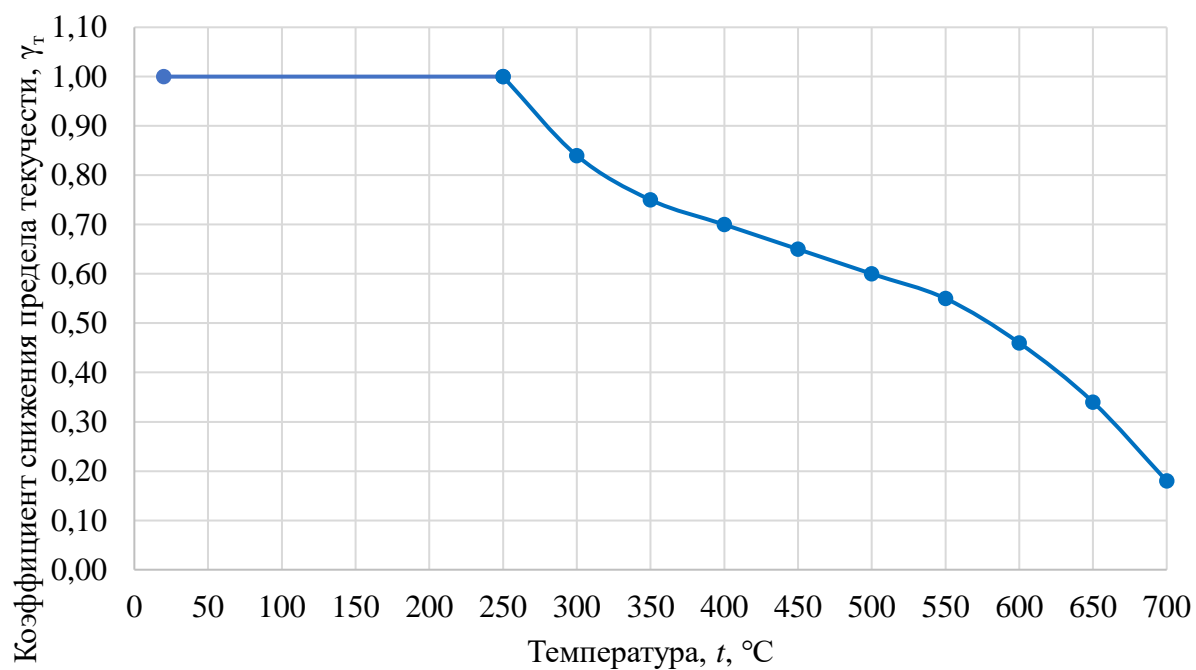


Рисунок Б.6 - Температурный коэффициент снижения предела текучести, γ_t сталей повышенной прочности (C345, C345K, C355, C355-1, C355-K, C375)

Стали высокой прочности (С390, С390-1, С440, С550, С590)

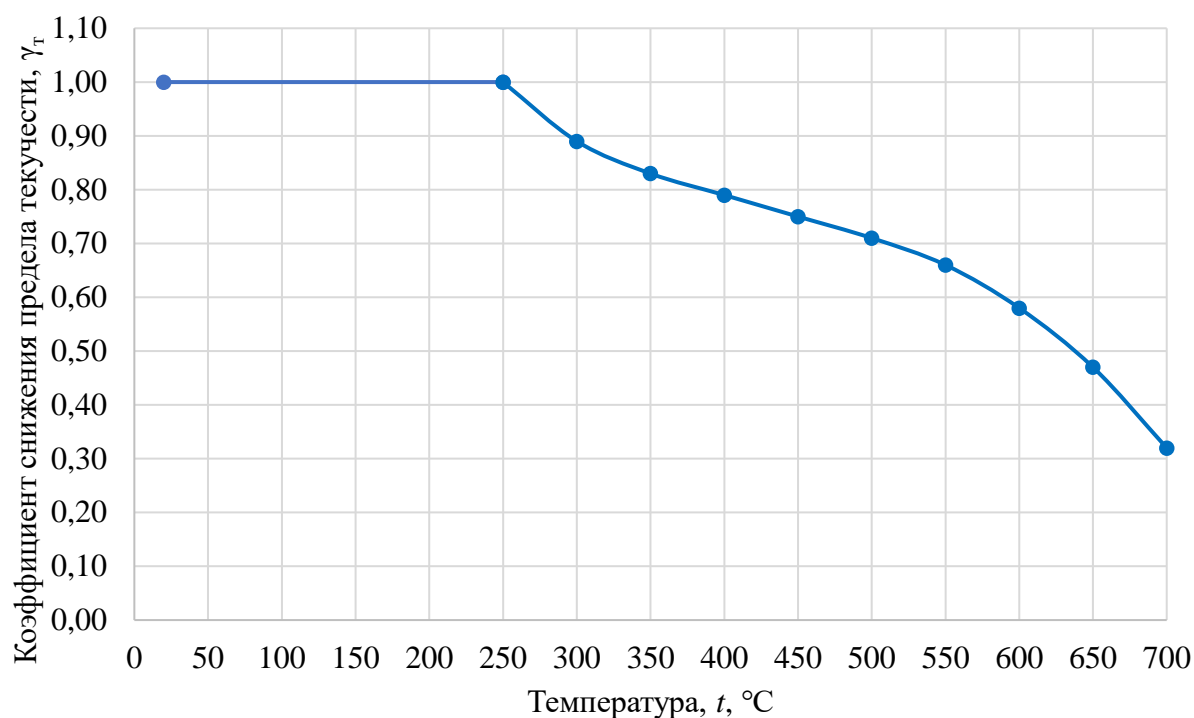


Рисунок Б.7 – Температурный коэффициент снижения предела текучести, γ_t сталей высокой прочности (С390, С390-1, С440, С550, С590)

Огнестойкие стали (С355П, С390П)

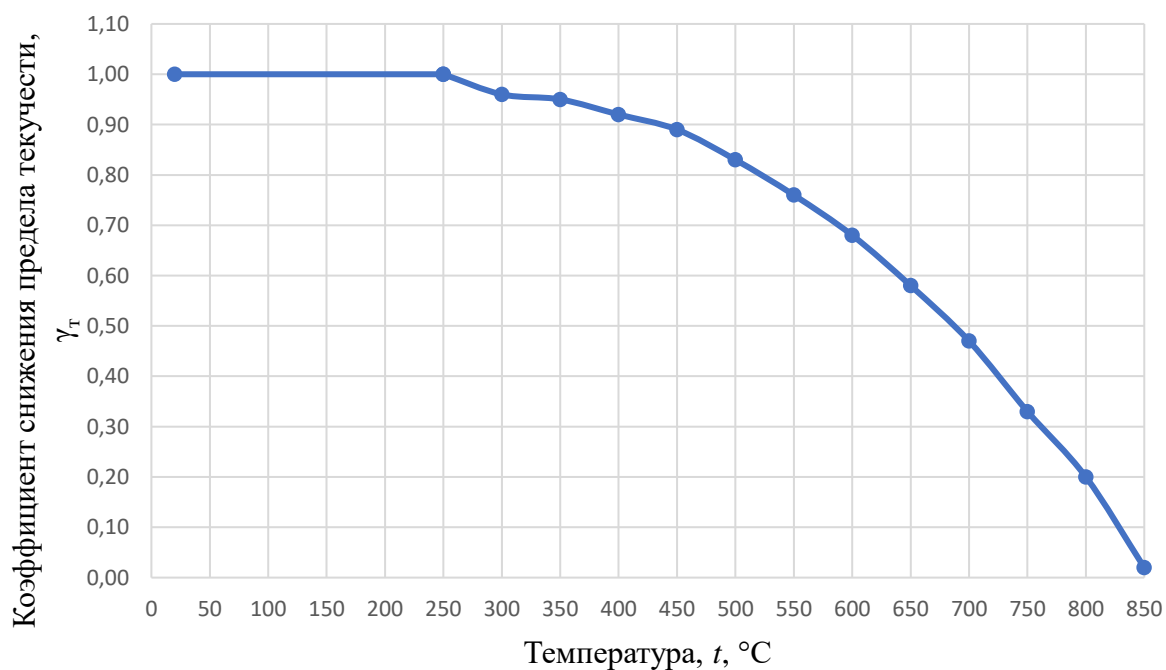


Рисунок Б.8 – Температурный коэффициент снижения предела текучести, γ_t огнестойкой стали (С355П, С390П)

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] Федеральный закон от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений»
- [2] Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»
- [3] ТР ЕАЭС 043/2017 Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения»

УДК 69+ 624.014.2

ОКС 91.080.13

Ключевые слова: стальные строительные конструкции, температурный режим пожара, критическая температура, механические свойства, предел текучести, прочностной расчет, теплотехнический расчет, проектирование стальных конструкций, предел огнестойкости, огнезащита

РУКОВОДИТЕЛЬ ОРГАНИЗАЦИИ-РАЗРАБОТЧИКА

Ассоциация развития стального строительства

Генеральный директор

А.Н. Данилов

При участии ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (АО «НИЦ «Строительство»)

Директор, д.т.н., проф.

И.И. Ведяков

Ответственный исполнитель Заведующий сектором
НЭБ ПБС

А.Н. Стрекалев

Исполнитель Начальник отдела
НЭБ ПБС

М.В. Тимофеев