

УКРАИНСКИЙ ЦЕНТР
СТАЛЬНОГО
СТРОИТЕЛЬСТВА

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ В СООТВЕТСТВИИ С ЕВРОКОДОМ 3 и национальными приложениями Украины



Константин Калафат
Артем Билык
Никита Беляев
Эльвира Ковалевская

**РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ
СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ
В СООТВЕТСТВИИ С ЕВРОКОДОМ 3
и национальными приложениями
Украины**

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ В СООТВЕТСТВИИ С ЕВРОКОДОМ 3 и национальными приложениями Украины

К.В. Калафат, руководитель комитета по огнезащите Украинского Центра Стального Строительства, директор Регионального испытательного центра безопасности строительных материалов и конструкций ООО «Донстройтест»

А.С. Билык, кандидат технических наук, доцент Киевского национального университета строительства и архитектуры, руководитель Инженерного Центра Украинского Центра Стального Строительства

Н.А. Беляев, магистр технических наук, ведущий инженер-конструктор Инженерного Центра Украинского Центра Стального Строительства

Э.А. Ковалевская, магистр технических наук, ведущий инженер-конструктор Инженерного Центра Украинского Центра Стального Строительства

В данной публикации представлена методология проектирования стальных конструкций согласно Еврокоду 3 с учетом требований по огнестойкости. Она содержит основы проектирования и поведения стальных конструкций в условиях пожара и соответствующих аварийных расчетных ситуаций.

Поведение конструкций в условиях пожара во многом обусловлено расчетной температурно-временной зависимостью, называемой также расчетным сценарием пожара. В работе описаны основные варианты температурно-временных зависимостей, а расчетные методы и справочные материалы даны для условий стандартного пожара, которые применяются в большинстве случаев.

Характеристики стали изменяются при повышенной температуре. В данной публикации описаны и проиллюстрированы зависимости свойств стали от температуры.

Еврокоды позволяют определять огнестойкость с помощью простых или уточненных (продвинутых) методов расчета. Публикация приводит классификацию и описание методов расчета конструкций в условиях пожара и случаи, в которых они применяются. Дается обоснование применения в большинстве случаев упрощенных методов расчета, для которых приводятся подробный алгоритм расчета и рабочие примеры.

Подробное описание упрощенных методов расчета разделено на две основные части:

Часть 1 – Расчет стальных конструкций, который выполняется инженером-конструктором разделов КМ (конструкции металлические) и КМД (конструкции металлические деталировочные).

Часть 2 – Проектирование огнезащиты, которое выполняется разработчиками проекта огнезащитных работ.

В первой части дана теоретическая база и справочные материалы для двух основных упрощенных методов расчета по прочностным параметрам и по критической температуре. Вторая часть дополняет первую и содержит алгоритм расчета на этапах от получения значений критической температуры до оформления проекта производства огнезащитных работ. Для каждой из частей приводятся рабочие примеры, разделенные по характеру работы рассматриваемых элементов конструкции (растяжение, сжатие, изгиб и т. д.).

Данная публикация рекомендована Украинским институтом стальных конструкций им. В.Н.Шимановского в качестве учебно-практического пособия для специалистов в области проектирования, изготовления и монтажа строительных металлоконструкций.

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

ПРЕДИСЛОВИЕ

Данная публикация предназначена для ознакомления проектировщиков с принципами проектирования стальных конструкций с учетом огнестойкости в соответствии с Еврокодами.

Общие сведения о Еврокодах – см. в публикации УЦСС-005-14 «Расчет стальных конструкций зданий в соответствии с Еврокодом 3 и национальными приложениями Украины». В ней изложены основы проектирования стальных конструкций и определения нагрузок и воздействий на них.

В этой публикации даются дополнительные рекомендации относительно проектирования конструкций с учетом огнестойкости, которые определяются следующими нормативными документами:

| | |
|---------------------------|---|
| ДСТУ-Н Б EN 1990:2008 | Еврокод. Основы проектирования конструкций |
| ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 | Еврокод 1. Воздействие на строительные конструкции. Часть 1-2. Общие воздействия. Воздействия на конструкции в условиях пожара |
| ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010 | Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для сооружений |
| ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010 | Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-2. Общие положения. Расчет конструкций на огнестойкость |
| ДСТУ-Н Б EN 1993-1-3:2012 | Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-3. Общие правила. Дополнительные правила для холодно-формованных элементов и профилированных листов |
| ДСТУ-Н Б EN 1993-1-4:2012 | Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-4. Дополнительные правила для нержавеющей стали |
| ДСТУ-Н Б EN 1993-1-5:2012 | Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-5. Пластинчатые элементы конструкций |
| ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6:2011 | Еврокод 3. Проектирование стальных конструкций. Часть 1-6. Прочность и устойчивость оболочек |
| ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2:2012 | Еврокод 4. Проектирование сталежелезобетонных конструкций. Часть 1-2. Общие положения. Расчет конструкций на огнестойкость |
| ДСТУ Б В.1.1-4-98* | Защита от пожара. Строительные конструкции. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования |
| ДСТУ Б В.1.1-13:2007 | Защита от пожара. Балки. Методы испытания на огнестойкость |
| ДСТУ Б В.1.1-14:2007 | Защита от пожара. Колонны. Методы испытания на огнестойкость |
| ДСТУ Б В.1.1-17:2007 | Защита от пожара. Огнезащитные покрытия для строительных несущих металлических конструкций. Методы определения огнезащитной способности |
| ДСТУ EN 10025:2005 | Изделия горячекатаные из нелегированных конструкционных сталей. Технические условия на поставку |
| ДСТУ EN 10210-1:2009 | Профили полые, изготовленные горячим деформированием из нелегированных и мелкозернистых конструкционных сталей. Технические требования к поставке |
| ДСТУ EN 10219-1:2009 | Профили полые сварные конструкционные, отформованные в холодном состоянии, из нелегированных и мелкозернистых сталей. Технические условия поставки |
| ДБН В.1.1-7-2002 | Защита от пожара. Пожарная безопасность объектов строительства |
| ДБН В.2.2-15-2005 | Здания и сооружения. Жилые здания. Основные положения |
| ДБН В.2.2-24:2009 | Здания и сооружения. Проектирование высотных жилых и общественных зданий |
| НАПБ Б.01.012-2007 | Правила по огнезащите |

СОДЕРЖАНИЕ

| | | | |
|--|----|---|----|
| ПРЕДИСЛОВИЕ | 3 | 2.4.1.2 Плотность | 22 |
| РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ | | 2.4.2 Теплотехнические свойства углеродистых сталей | 22 |
| 1.1 Область применения | 6 | 2.4.2.1 Температурное удлинение | 22 |
| 1.2 Структура | 6 | 2.4.2.2 Удельная теплоемкость | 23 |
| 1.3 Термины и определения | 6 | 2.4.2.3 Теплопроводность | 23 |
| 1.4 Обозначения | 7 | РАЗДЕЛ 3. СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ - УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА. ЧАСТЬ 1 - РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ | |
| РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА | | 3.1 Метод расчета по прочностным параметрам при повышенной температуре | 24 |
| 2.1 Основные принципы расчета конструкций в условиях пожара | 10 | 3.1.1 Сфера применения | 24 |
| 2.2 Температурные режимы | 11 | 3.1.2 Алгоритм (блок-схема) расчета по прочностным параметрам при повышенной температуре | 24 |
| 2.2.1 Номинальные температурно-временные зависимости | 11 | 3.1.3 Статический расчет | 25 |
| 2.2.1.1 Стандартный пожар | 11 | 3.1.3.1 Основные положения | 25 |
| 2.2.1.2 Наружный пожар | 11 | 3.1.3.2 Механические воздействия | 25 |
| 2.2.1.3 Углеводородный пожар | 12 | 3.1.4 Классификация поперечных сечений | 25 |
| 2.2.2 Параметрические температурно-временные зависимости | 12 | 3.1.5 Определение понижающего коэффициента η_f для расчета уровня нагружения в условиях пожара | 28 |
| 2.2.2.1 Параметрические температурно-временные режимы пожаров в противопожарных отсеках | 13 | 3.1.6 Определение расчетных сочетаний усилий $E_{f,d}$ в условиях пожара | 29 |
| 2.2.2.2 Расчетные режимы локальных пожаров | 14 | 3.1.7 Определение зависимости несущей способности от температуры стали | 29 |
| 2.2.2.3 Расчетные режимы локальных пожаров | 14 | 3.1.7.1 Растянутые конструкции | 30 |
| 2.2.3 Рабочий пример | 15 | 3.1.7.2 Сжатые конструкции с поперечными сечениями Класса 1, 2 или 3 | 30 |
| 2.2.3.1 Пример расчета параметрической температурно-временной зависимости в офисном здании | 15 | 3.1.7.3 Изгибаемые элементы с поперечными сечениями Классов 1, 2 или 3 | 32 |
| 2.3 Методы расчета огнестойкости | 18 | 3.1.7.4 Элементы с Классами сечений 1, 2 или 3, работающие на срез | 34 |
| 2.3.1 Классификация расчетных методов по уровням разделения конструктивной схемы | 19 | 3.1.7.5 Сжато-изогнутые и внецентренно сжатые элементы с Классами сечений 1, 2 или 3 | 34 |
| 2.3.1.1 Расчет отдельной конструкции | 19 | 3.1.8 Рабочие примеры | 35 |
| 2.3.1.2 Расчет части конструктивной схемы | 19 | 3.1.8.1 Расчет центрально сжатых элементов, подверженных потере устойчивости | 35 |
| 2.3.1.3 Расчет всей конструктивной схемы | 20 | 3.1.8.2 Расчет изгибаемых элементов, подверженных потере устойчивости | 39 |
| 2.3.2 Методы расчета | 20 | 3.1.8.3 Расчет сжато-изогнутых и внецентренно сжатых элементов, подверженных потере устойчивости | 44 |
| 2.3.2.1 Упрощенные расчетные модели | 20 | | |
| 2.3.2.2 Уточненные расчетные модели | 20 | | |
| 2.3.2.3 Определение огнестойкости с помощью табличных данных | 20 | | |
| 2.3.2.4 Определение огнестойкости на основании испытаний | 20 | | |
| 2.4 Свойства материалов | 21 | | |
| 2.4.1 Механические свойства углеродистых сталей | 21 | | |
| 2.4.1.1 Прочность и деформация | 21 | | |

| | | | | | |
|--|---|----|---------|--|----|
| 3.2 | Метод расчета критической температуры | 50 | 4.2.6.2 | Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений балки | 66 |
| 3.2.1 | Сфера применения | 50 | 4.2.6.3 | Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений колонны | 67 |
| 3.2.2 | Алгоритм (блок-схема) расчета критической температуры стальных конструкций | 50 | 4.2.6.4 | Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений раскоса фермы | 67 |
| 3.2.2.1 | Определение коэффициента использования μ_0 | 51 | 4.2.6.5 | Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений балки | 68 |
| 3.2.2.2 | Расчет критической температуры | 51 | 4.3 | Определение времени t_{cr} необходимого для достижения критической температуры стали $\theta_{a,cr}$ | 69 |
| 3.2.3 | Рабочие примеры | 52 | 4.3.1 | Расчет огнестойкости незащищенных стальных конструкций | 69 |
| 3.2.3.1 | Расчет растянутых элементов | 52 | 4.3.2 | Расчет огнестойкости стальных конструкций, защищенных огнезащитными материалами | 71 |
| 3.2.3.2 | Расчет изгибаемых элементов, не подверженных потере устойчивости | 54 | 4.4 | Определение характеристик огнезащитного покрытия по критерию критической температуры | 73 |
| 3.2.4 | Расчет огнестойкости соединений | 58 | 4.4.1 | Рабочий пример | 74 |
| РАЗДЕЛ 4. СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ - УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА. ЧАСТЬ 2 - ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ | | | 4.4.1.1 | Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной колонны с целью повышения класса огнестойкости до R60 | 75 |
| 4.1 | Определение необходимого предела огнестойкости конструкции | 59 | 4.4.1.2 | Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной балки с целью повышения класса огнестойкости до R45 | 77 |
| 4.1.1 | Общие понятия | 59 | 4.4.1.3 | Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной колонны с целью повышения класса огнестойкости до R150 | 78 |
| 4.1.2 | Методы определения предела огнестойкости стальных конструкций | 59 | 4.4.1.4 | Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для элемента фермы с целью повышения класса огнестойкости до R30 | 79 |
| 4.1.2.1 | Основные методы | 60 | 4.4.1.5 | Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной балки с целью повышения класса огнестойкости до R60 | 80 |
| 4.1.2.2 | Упрощенные и уточненные расчетные модели | 60 | 4.5 | Разработка проекта производства огнезащитных работ | 81 |
| 4.1.2.3 | Испытания | 60 | | | |
| 4.1.3 | Нормирование классов огнестойкости стальных строительных конструкций | 61 | | | |
| 4.2 | Расчет коэффициентов сечения стальных конструкций | 61 | | | |
| 4.2.1 | Коэффициент сечения незащищенной стальной конструкции A_m/V или коэффициент профильного сечения | 61 | | | |
| 4.2.2 | Коэффициент коробчатого сечения стальной конструкции A_{mk}/V | 63 | | | |
| 4.2.3 | Коэффициент прямоугольного сечения стальной конструкции $[A_m/V]_b$ | 63 | | | |
| 4.2.4 | Коэффициент сечения стальной конструкции, покрытой огнезащитным материалом A_p/V | 63 | | | |
| 4.2.5 | Коэффициент сечения стальной конструкции с учетом теневого эффекта $[A_m/V]_{sh}$ | 64 | | | |
| 4.2.6 | Рабочие примеры | 65 | | | |
| 4.2.6.1 | Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений колонны | 65 | | | |

РАЗДЕЛ 1. ВВЕДЕНИЕ

1.1 Область применения

Цель настоящей публикации: в первой части – предоставить инженерам нормативную базу, справочные материалы и рабочие примеры для расчета огнестойкости стальных конструкций в зданиях и сооружениях согласно Еврокодам; во второй части публикация приводит алгоритм действий для организаций, выполняющих проектирование огнезащиты на объектах при использовании огнезащитной продукции, прошедшей огневые испытания в соответствии с действующими стандартами.

Публикация обобщает и сводит воедино информацию из различных частей Еврокодов и приводит основные справочные материалы, которые позволяют значительно сократить количество расчетов.

Методы расчета и несущие конструкции, подробно рассматриваемые данной публикацией, предполагают:

1. Расположение конструкций внутри здания;
2. Равномерное распределение температуры стали по сечению;
3. Использование стандартной температурно-временной зависимости;
4. Использование стали S235-S460 по ДСТУ EN 10025 и всех марок согласно ДСТУ EN 10210-1 и ДСТУ EN 10219-1.

В соответствии с пунктами 2.3(4) и 3.17(1) данной публикации, указанные выше предположения в общем случае справедливы для всех металлоконструкций, расположенных внутри здания.

Для конструкций, к которым нельзя применить эти допущения, следует руководствоваться ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2 и ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2.

1.2 Структура

Все разделы и параграфы в данной публикации имеют сквозную нумерацию. Ссылки на разделы и пункты документов, из которых берется то или иное правило, указываются на поле справа каждой страницы.

В Еврокодах разделяют принципы и правила применения. Принципы маркируются буквой Р после номера раздела. Правила применения – это общепринятые положения, которые соответствуют Принципам и удовлетворяют их требованиям. Это разделение сохранено в данной публикации.

Дополнительная информация приводится на сером фоне, например, как данный текст. Есть несколько типов такой информации:

- пояснения правил Еврокодов;
- общие пояснения к расчетам (такие как предпочтения по выбору материалов и решений);
- справочная информация (такая как табличные данные, графики и номограммы, основанные на положениях и формулах Еврокодов);
- дополнительные правила проектирования, взятые из вспомогательных источников.

Обратите внимание, что в Еврокодах нет понятия дополнительной информации. Это просто информация, взятая из другого источника, которая дополняет Еврокоды, но не противоречит им.

1.3 Термины и определения

- (1) В общем случае определение терминов дается там, где они впервые встречаются по тексту. Терминология Еврокодов в большинстве случаев дана таким образом, чтобы избежать неточностей и двусмысленностей.
- (2) Основные термины и определения:

Огнестойкость – способность конструкции, ее части или отдельного элемента при заданном уровне нагрузки выполнять требуемые функции (несущие и/или ограждающие) на протяжении установленного времени в условиях расчетного пожара.

Огнезащитные материалы – любые материалы либо их сочетания, применяемые к конструктивному элементу с целью повышения его огнестойкости.

Критическая температура элемента стальной конструкции – температура, при которой для заданного уровня нагрузки ожидается отказ элемента стальной конструкции в случае равномерного распределения температуры по площади сечения.

Противопожарный отсек – пространство в здании, в пределах одного или нескольких этажей, окруженное ограждающими конструкциями, предупреждающими распространение огня в течение пожара соответствующей длительности.

Температурный режим пожара – установленное при проектировании развитие пожара.

Проектный сценарий пожара – установленный сценарий пожара, для которого производится расчет.

Расчетная плотность потока – плотность потока, принимаемая для определения тепловых воздействий при расчете огнестойкости; её значения учитывает неопределенности.

Плотность потока – пожарная нагрузка на единицу площади этажа q_f или площади всех ограждающих конструкций, включая проемы.

Пожарная нагрузка – вся тепловая энергия, которая выделяется при сгорании всех горючих материалов в пространстве.

Сценарий пожара – качественное описание развития пожара с указанием времени для ключевых моментов, которые характеризуют пожар и отличают его от других возможных пожаров. Сценарий обычно описывается процессами возгорания и развития пожара, стадиями его полного развития и затухания во взаимосвязи с окружающей средой и систем, которые влияют на развитие пожара.

Температурные режимы – зависимость температуры среды, окружающей поверхности конструкции, от времени. Различают:

- номинальные: традиционные температурные режимы, которые принимаются для классификации и подтверждения огнестойкости (например: стандартный температурный режим, температурный режим наружного пожара и температурный режим пожара углеводородов);
- параметрические: зависимости, основанные на модели пожара и специальных физических параметрах, определяющих состояние среды в противопожарном отсеке.

1.4 Обозначения

- (1) В общем случае обозначения поясняются в месте, где они встречаются по тексту.
- (2) Система символов в Еврокодах и данной публикации, как правило, совпадает с общепринятыми в практике проектирования. Для разделения близких по смыслу переменных, например, осевого усилия и несущей способности на сжатие, широко применены подстрочные индексы. Если необходимо, используется несколько индексов, например, для разделения сопротивления изгибу в осях y - y и z - z . Каждый подстрочный индекс при перечислении разделяется запятой.
- (3) Наиболее распространенные обозначения:

Параметры противопожарных отсеков

A_f – площадь пола противопожарного отсека;

A_t – суммарная площадь ограждений (стены, покрытия и полы, включая проемы);

A_v – суммарная площадь вертикальных проемов во всех стенах;

O – коэффициент проемности пожарного отсека;

b – теплопоглощающая способность ограждения;

c – удельная теплоемкость;

λ – коэффициент теплопроводности;

ρ – плотность;

Γ – временной коэффициент, зависящий от коэффициента проемности O и теплопоглощающей способности b .

Температурно-временные характеристики

Θ_{max} – максимальная температура;

t – время.

Характеристики пожарной нагрузки

$q_{f,d}$ – расчетная удельная пожарная нагрузка, отнесенная к площади пола A_f ;

$q_{t,d}$ – расчетная пожарная нагрузка, отнесенная к площади поверхности A_t ;

$q_{f,k}$ – нормативная удельная пожарная нагрузка, отнесенная к площади пола A_f .

Коэффициенты

δ_{ni} – коэффициент, учитывающий наличие специальных противопожарных мероприятий;

δ_{q1} – коэффициент учета риска возникновения пожара в зависимости от размеров помещения (пожарной секции);

δ_{q2} – коэффициент учета риска возникновения пожара в зависимости от назначения здания;

m – масса, коэффициент горения.

Параметры температуры

θ – температура;

θ_a – температура стали;

$\theta_{a,cr}$ – критическая температура стали;

θ_g – температура окружающей газовой среды;

$\theta_{g,t}$ – температура окружающей газовой среды в момент времени t .

Свойства материалов

f_y – предел текучести при 20°C;

$f_{y,\theta}$ – расчетный предел текучести при достижении сталью температуры θ_a ;

E_a – модуль упругости стали при нормальной температуре;

$E_{a,\theta}$ – модуль упругости стали (тангенс угла наклона линейного участка области упругих деформаций) при достижении температуры θ_a ;

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести стали при достижении температуры θ_a в момент времени t ;

$k_{E,\theta}$ – коэффициент снижения модуля упругости стали при достижении температуры θ_a в момент времени t ;

ρ_a – плотность стали;

$\Delta l/l$ – относительное температурное удлинение стали;

c_a – удельная теплоемкость стали;

λ_a – коэффициент теплопроводности стали.

Геометрические характеристики сечений

A – площадь поперечного сечения брутто;

$W(W_{pl,y}, W_{pl,z}, W_{el,y}, W_{el,z})$ – моменты сопротивления сечения;

i – радиус инерции относительно рассматриваемой оси, определяемый для сечения брутто;

$[A_m/V]$ – коэффициент сечения для незащищенных стальных элементов;

$[A_m/V]_b$ – коробчатый коэффициент сечения незащищенных стальных элементов;

$[A_m/V]_{sh}$ – коробчатый коэффициент сечения незащищенных стальных элементов с учетом теневого эффекта.

Характеристики элементов

L_{cr} – расчетная длина в рассматриваемой плоскости;

χ_{fi} – понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости в условиях пожара;

$\bar{\lambda}_{\theta}$ – условная гибкость при достижении сталью температуры θ_a ;

$\bar{\lambda}$ – условная гибкость;

$\chi_{LT,fi}$ – понижающий коэффициент для потери устойчивости плоской формы изгиба в условиях пожара;

$\bar{\lambda}_{LT,\theta}$ – условная гибкость для потери устойчивости плоской формы изгиба при достижении сталью температуры θ_a ;

$\bar{\lambda}_{LT}$ – условная гибкость для потери устойчивости плоской формы изгиба.

Нагрузки и воздействия

$E_{fi,d,t}(M_{fi,Ed}, N_{fi,Ed}, V_{fi,Ed})$ – расчетный результат воздействия при пожаре в момент времени t ;

G_k – нормативное значение постоянного воздействия;

$Q_{k,l}$ – преобладающее или главное (первое) переменное воздействие;

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагруженности в условиях пожара.

Несущая способность сечений, компонентов и элементов

$R_{fi,d,t}(M_{fi,t,Rd}, N_{fi,t,Rd}, V_{fi,t,Rd})$ – расчетная несущая способность элемента при пожаре в момент времени t ;

μ_0 – коэффициент использования несущей способности элемента в момент времени $t=0$.

Частные коэффициенты надежности

$\gamma_{M0} = 1.0$ – частный коэффициент для определения несущей способности по прочности вне зависимости от Класса сечения;

$\gamma_{Mfi} = 1.0$ – частный коэффициент надежности для соответствующей характеристики материала в условиях пожара.

РАЗДЕЛ 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ПОЖАРА

2.1 (3)P
ДСТУ-НБ
EN 1990

(1)P В случае пожара должен быть обеспечен достаточный запас несущей способности на протяжении требуемого периода времени.

2.1 Основные принципы расчета конструкций в условиях пожара

5.1.4 (1)P
ДСТУ-НБ
EN 1990

(1)P Анализ несущей конструкции с точки зрения противопожарной защиты следует проводить с применением установленных для заданных расчетных ситуаций моделей термических и механических воздействий, а также параметров несущей конструкции при повышенных температурах.

2.1.1. (1)P
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

(2)P В случаях, когда требуется обеспечение механической прочности в условиях пожара, стальные конструкции должны быть спроектированы и смонтированы таким образом, чтобы они могли выполнять свою несущую функцию в течение соответствующего времени воздействия пожара.

2.5 (2)
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

(3) Огнестойкость подтверждается выполнением следующих условий:

- во временных параметрах

$$t_{fi,d} \geq t_{fi,requ};$$

- в прочностных параметрах

$$R_{fi,d,t} \geq E_{fi,d,t};$$

- в температурных параметрах

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

где:

$t_{fi,d}$ – расчетный предел огнестойкости;

$t_{fi,requ}$ – требуемый предел огнестойкости;

$R_{fi,d,t}$ – расчетная несущая способность элемента при пожаре в момент времени t ;

$E_{fi,d,t}$ – расчетный результат воздействия при пожаре в момент времени t ;

θ_d – расчетная температура материала;

$\theta_{cr,d}$ – расчетная критическая температура материала.

Сравнение по временным параметрам напрямую, как правило, применяется только в случае использования уточненных (продвинутых) методов расчета огнестойкости. Непрямо в упрощенных методах расчета оно используется для определения необходимости в огнезащите элемента.

При расчете по прочностным параметрам определяется уменьшенная несущая способность через необходимый промежуток времени. На этом критерии основывается упрощенный метод расчета для стальных элементов, подверженных потере устойчивости. Он используется в комбинации со сравнением по температурным и временным параметрам.

Сравнение по температурным параметрам является наиболее распространенным методом по Еврокоду 3, когда определяется критическая температура для нагрузки. Оно применяется в обоих подробно описанных данной публикацией упрощенных методах расчета.

Все условия взаимосвязаны и одновременно учитываются расчетом.

2.1 (1)
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

(4) Расчет огнестойкости включает следующие этапы:

- выбор возможных расчетных сценариев пожара;
- определение соответствующих проектных сценариев пожаров;

2.4.1. (1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

2.1 (3)
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

5.1.4 (6)
ДСТУ-Н Б
EN 1990

2.3 (2)
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

НБ 2.2. национальное
приложение к
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

3.2
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

3.2.1
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

3.2.2
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

- расчет повышения температуры в конструкциях (теплотехнический расчет);
 - расчет механических характеристик конструкций в условиях пожара (статический расчет).
- (5) Принятая при анализе модель конструктивной системы должна отражать ожидаемое поведение конструкции в условиях пожара.
- (6) Воздействия на конструкции в условиях пожара классифицируются как чрезвычайные согласно 6.4.3.3(4) ДСТУ-Н Б EN 1990.
- (7) Поведение элементов конструкции при повышенных температурах следует принимать нелинейным.

2.2 Температурные режимы

- (1) Одним из основных критериев (см. 2.1(4)) для расчета огнестойкости любой строительной конструкции является определение температурно-временной зависимости развития пожара, которая должна относиться только к одному противопожарному отсеку здания, если в проектной сценарии развития пожара не указано другое. Различают номинальные и параметрические температурные режимы.
- (2) Для проектирования стальных конструкций в национальных нормах проектирования используют номинальные температурные режимы.
- (3) Методы моделирования реального (параметрического) пожара могут быть применены во время разработки мер по противопожарной защите зданий и сооружений.

2.2.1 Номинальные температурно-временные зависимости

- (1) Номинальные температурно-временные зависимости - это общепринятые режимы развития пожара, которые адаптированы для классификации и подтверждения огнестойкости различных строительных материалов, изделий и конструкций.
- (2) ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2 Еврокод 1 устанавливает следующие номинальные температурные режимы: стандартный температурный режим развития пожара, температурный режим внешнего пожара и режим углеводородного пожара (НС).

К общепринятым номинальным режимам развития пожара также относятся: температурный режим медленно развивающегося пожара (Приложение В к ДСТУ Б В.1.1-4-98*), модифицированная температурно-временная зависимость развития углеводородного пожара (НСМ), режимы развития пожара в тоннелях (кривые зависимости RWS, RABT ZTV и др.). Кривые зависимости некоторых номинальных режимов развития пожара представлены на рисунке 2.1.

2.2.1.1 Стандартный пожар

- (1) Стандартный пожар – температурно-временная зависимость, определенная в ISO 834, для представления сценария полностью развившегося пожара в противопожарном отсеке.
- (2) Стандартный температурный режим определяется по формуле:

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

где:

θ_g – температура окружающей газовой среды в противопожарном отсеке (°C);

t – время развития пожара (мин).

2.2.1.2 Наружный пожар

- (1) Температурный режим наружного пожара создает условия менее жесткие, чем при испытаниях в стандартном температурном режиме. Данную температурно-временную зависимость используют при определении предела огнестойкости наружных стен зданий.
- (2) Температурный режим наружного пожара определяется по формуле:

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

где:

Θ_g – температура окружающей газовой среды в противопожарном отсеке (°C);

t – время развития пожара (мин).

2.2.1.3 Углеводородный пожар

(1) Углеводородный температурный режим относится к более жестким режимам, чем режим стандартного пожара. Данный режим необходимо использовать при определении предела огнестойкости строительных конструкций, применяемых на объектах нефтяной промышленности, температура горения которых возрастает значительно быстрее и имеет большие значения, чем при горении любых других строительных и облицовочных материалов.

(2) Температурный режим углеводородного пожара определяется по формуле:

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

2.2.2 Параметрические температурно-временные зависимости

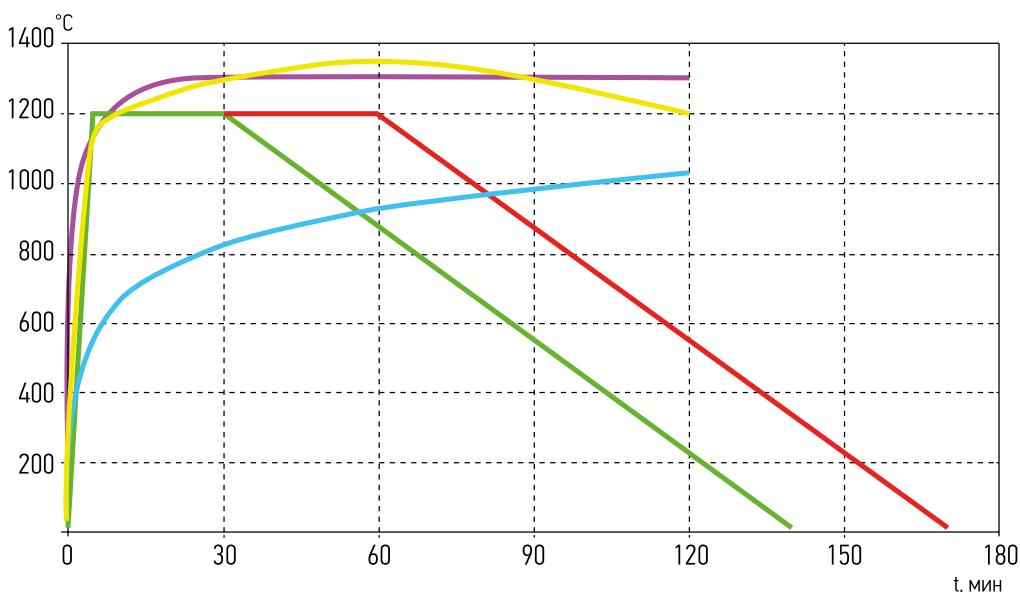


Рисунок 2.1 Номинальные температурно-временные зависимости развития пожаров

- кривая стандартного пожара
- кривая RABT ZTV (для автомобильных тоннелей)
- кривая RABT ZTV (для железнодорожных тоннелей)
- кривая углеводородного пожара (НС)
- кривая модифицированного углеводородного пожара (НС)
- кривая RWS (имитирует горение 50 м³ бензовоза в тоннелях)

(1) Параметрический пожар - это температурно-временные зависимости, которые установлены на базе моделей пожара и специальных физических параметров, определяющих состояние окружающей газовой среды в помещении при пожаре.

(2) Различают объемные пожары (пожары в противопожарном отсеке) и локальные пожары. Для объемных пожаров распределение температуры в зависимости от времени принимается равномерным (средне-объемным), а для локальных пожаров – неравномерным.

(3) Расчет температуры газовой среды для пожаров в противопожарном отсеке должен учитывать физические параметры помещения, удельную пожарную нагрузку, условия вентиляции и т. д.

3.2.3
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

3.3.1.1 (2)
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

- (4) Расчет температуры (тепловых воздействий) газовой среды локального пожара должен быть приведен при невозможности объемного воспламенения.

2.2.2.1 Параметрические температурно-временные режимы пожаров в противопожарных отсеках

(1) Приложение А
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

- (1) Данные режимы применимы для пожарных отсеков площадью до 500 м², высотой до 4 метров и без проемов в покрытии. За основу расчета принимается полное выгорание пожарной нагрузки в рассматриваемом отсеке.

- (2) Параметрический температурно-временной режим включает в себя две основные фазы: фазу нагревания и фазу охлаждения.

(A1) Приложение А
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

- (3) Температурный режим на стадии нагрева определяется по формуле:

$$\Theta_g = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}),$$

где:

Θ_g – температура окружающей газовой среды в противопожарном отсеке (°C);

$t^* = t \cdot \Gamma$ (час),

где:

t – время развития пожара (час);

Γ – коэффициент, включающий в себя параметры противопожарного отсека – теплопоглощающую способность, удельную теплоемкость, теплопроводность, плотность ограждающих конструкций, их площадь и площадь вертикальных проемов, высоту окон, а также расчетную удельную пожарную нагрузку.

(A11 а, б, с)
Приложение А
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

- (4) Температурный режим на стадии охлаждения определяется формулами:

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 625 \cdot (t^* - t_{max}^* x), \text{ если } t^*_{max} < 0,5;$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250 \cdot (3 - t^*_{max} x) \cdot (t^* - t^*_{max} x), \text{ если } 0,5 < t^*_{max} < 2;$$

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 250 \cdot (t^* - t^*_{max} x), \text{ если } t^*_{max} > 2,$$

где:

Θ_g – температура окружающей газовой среды в противопожарном отсеке (°C);

Θ_{max} – максимальная температура (°C);

$t^* = t \cdot \Gamma$ (час),

t – время развития пожара (час);

Γ – коэффициент, рассчитанный согласно п. 2.2.2.1 (3);

$$t^*_{max} = (0,2 \cdot 10^{-3} q_{t,d} / O) \cdot \Gamma \text{ (}^\circ\text{C)};$$

$q_{t,d}$ – расчетная пожарная нагрузка, отнесенная к площади поверхности (МДж/м²);

$x = 1,0$, если $t_{max} > t_{lim}$, или $x = t_{lim} \cdot \Gamma / t^*_{max}$, если $t_{max} = t_{lim}$;

t_{lim} – время достижения максимальной температуры параметрического пожара, определяемое пожарной нагрузкой (час).

Приложения А, Е
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

- (5) Время достижения максимальной температуры пожара t_{lim} , регулируемого пожарной нагрузкой, также зависит от функционального назначения помещений и принимается:

- 15 минут для быстрого развития пожара (торговые центры, библиотеки, кинотеатры);
- 20 минут для среднего развития пожара (жилые и офисные помещения, больницы, школы, гостиницы);
- 25 минут для медленного развития пожара (вокзалы).

2.2.2.2 Расчетные режимы локальных пожаров

- (1) Оценивание огневых воздействий локальных пожаров не имеет широкого применения на практике, однако при необходимости допускается проведение расчетов различных сценариев локальных пожаров согласно Приложению С к ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2, при этом учитывается два основных параметра: высота пламени и высота помещения.
- (2) При выполнении расчетов рассматриваются два основных сценария локальных пожаров: когда высота пламени (L_f) меньше высоты помещения (H) и когда высота пламени больше высоты помещения (рисунок 2.2).

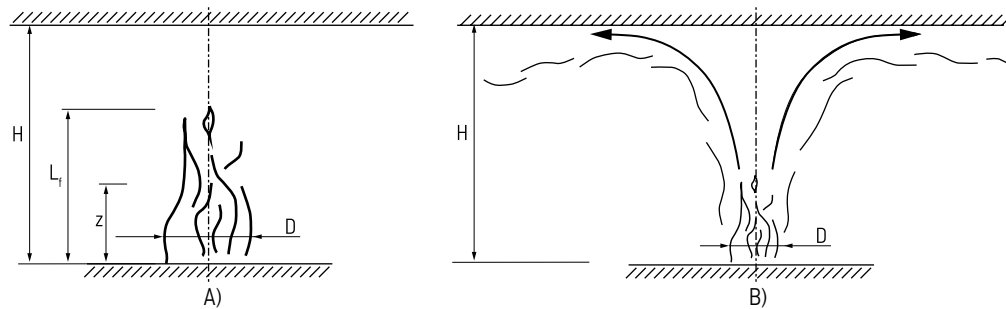


Рисунок 2.2 Вид двух сценариев развития локального пожара:

A) $H > L_f$

B) $H \leq L_f$

- (3) Данные модели локальных пожаров чаще всего используются для расчета тепловых воздействий (в условиях теплового потока в результате воздействия радиационной части и конвективной части) на горизонтальные элементы стальных конструкций. На настоящий момент нет ни одного доступного метода для расчета воздействия на вертикальные стальные элементы, при воздействии на них локализованного пожара.
- (4) Подходы к расчетным режимам локального пожара ограничены случаями, когда диаметр пожара D составляет менее 10 м, а скорость теплового потока Q меньше 50 МВт.

Кривые зависимости некоторых вариантов параметрических режимов развития пожара представлены на рисунке 2.3.

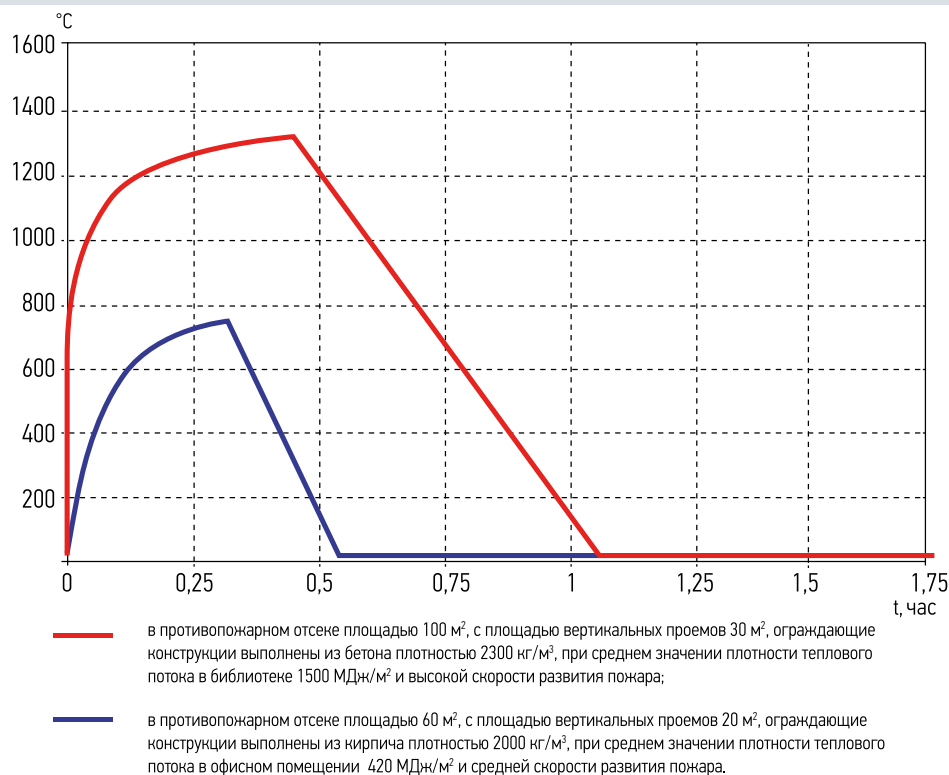


Рисунок 2.3 Параметрические температурно-временные зависимости развития пожаров

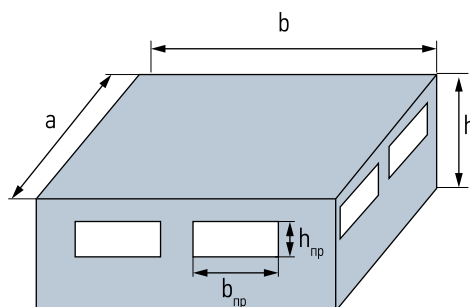
2.2.3 Рабочий пример

Формулы или параметры, отмеченные на полях данного раздела символом IND, относятся только к данному примеру.

2.2.3.1 Пример расчета параметрической температурно-временной зависимости в офисном здании

Исходные данные: Противопожарный отсек размером 12×15 м
Высота помещения - 3,6 м
Средняя высота окон на всех стенах, $h_{eq} = 1,6$ м
Общая площадь вертикальных проемов - 25,2 м²
Материал ограждающих конструкций - бетон
При проектировании и строительстве предусмотрены все противопожарные мероприятия

1. Определение геометрических параметров помещения:



- площадь помещения A_f

$$A_f = a \times b = 12 \times 15 = 180 \text{ м}^2;$$

- площадь вертикальных проемов A_v

$$A_v = n \times h_{пр} \times b_{пр} = 12 \times 1,5 \times 1,4 = 25,2 \text{ м}^2$$

(n - количество проемов);

- общая площадь ограждающих конструкций A_t

$$A_t = 2ab + 2ah + 2bh = 2 \times 12 \times 15 + 2 \times 12 \times 3,6 + 2 \times 15 \times 3,6 = 554,4 \text{ м}^2;$$

- коэффициент учета проемов O

$$O = A_v \times (h_{eq})^{0,5} / A_t = 25,2 \times 1,60,5 / 554,4 = 0,0575 \text{ м}^{0,5}.$$

Справочные
данные,
IND

2. Характеристики ограждающих конструкций помещения:

- плотность материала ограждающих конструкций (бетон), $\rho = 2300 \text{ кг/м}^3$;
- удельная теплоемкость поверхности ограждающих конструкций, $c = 1000 \text{ Дж/кгК}$;
- коэффициент теплопроводности ограждающих конструкций, $\lambda = 1,6 \text{ Вт/мК}$;

3. Расчет пожарной нагрузки:

- расчетная удельная пожарная нагрузка, приведенная к суммарной площади поверхности ограждающих конструкций A_t , определяется по формуле:

$$q_{f,d} = q_{f,r} \times A_f / A_t$$

где:

$q_{f,d}$ – расчетная удельная пожарная нагрузка, приведенная к суммарной площади пола A_f (МДж/м²);

(7) Приложение А
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

Е.1 (3)
Приложение Е
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

- расчетная удельная пожарная нагрузка определяется по формуле:

$$q_{f,d} = q_{f,k} \times m \times \delta_{q1} \times \delta_{q2} \times \delta_{qn}$$

Е.3 (2)
Приложение Е
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2, IND

где:

m - коэффициент полноты сгорания. Для большинства целлюлозных материалов коэффициент принимается 0,8;

Таблица Е.1 Приложение Е
ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2

δ_{q1} - коэффициент учета риска возникновения пожара, зависящий от размеров противопожарного отсека;

Таблица Е.1 Приложение Е
ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2

δ_{q2} - коэффициент учета риска возникновения пожара в зависимости от назначения помещения;

Таблица Е.2; Е.1 (4)
Приложение Е
ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2
IND

δ_{qn} - коэффициент, учитывающий наличие специальных мер (противопожарных мероприятий) для тушения пожара. Для обычных решений противопожарных мероприятий коэффициент принимается 1,0. Если противопожарные мероприятия не предусмотрены, коэффициент принимается 1,5;

Таблица Е.4
Приложение Е
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

$q_{f,k}$ - нормативная пожарная нагрузка, приведенная к площади этажа (МДж/м²).

Таким образом:

$$q_{f,d} = 420 \times 0,8 \times 1,5 \times 1 \times 1 = 504 \text{ МДж/м}^2;$$

$$q_{t,d} = 504 \times 180/554,4 = 163,6 \text{ МДж/м}^2.$$

(3) Приложение А
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

4. Температурный режим параметрического пожара в фазе нагрева определяется по формуле:

$$\Theta_g = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}),$$

где:

$$t^* = t \times \Gamma;$$

$$\Gamma = (O/b)^2 / (0,04/1160)^2;$$

$$b = (\rho c \lambda)^{0,5};$$

t - время (часов).

Таким образом:

$$b = (2300 \times 1000 \times 1,6)^{0,5} = 1918,333 \text{ Дж/м}^2\text{с}^{0,5}\text{К};$$

$$\Gamma = (0,0575/1918,333)^2 / (0,04/1160)^2 = 0,7558;$$

$$\Theta_g = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,1512t} - 0,204e^{-1,2849t} - 0,472e^{-14,36t}).$$

(3) и (7) Приложение А
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

5. Расчет максимальной температуры пожара Θ_{max} :

- максимальная температура в фазе нагрева наступает при $t_{max} = t^*_{max}$,

$$\Theta_{max} = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,2t^*_{max}} - 0,204e^{-1,7t^*_{max}} - 0,472e^{-19t^*_{max}});$$

$$t^*_{max} = t_{max} \times \Gamma;$$

$$t_{max} = 0,0002 \times q_{t,d} / O \text{ или } t_{max} = t_{lim}$$

Величина t_{max} принимается большей из двух значений: либо вычисленное по формуле, либо значение, соответствующее t_{lim} .

(10) Приложение А;
Таблица Е.5
Приложение Е
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

- время достижения максимальной температуры пожара t_{lim} для среднего развития пожара принимается 20 минут (0,333 часа).

$$t_{lim} = 0,333 \text{ часа};$$

$$t_{max} = 0,0002 \times 163,6 / 0,0575 = 0,569 \text{ часа}.$$

Таким образом, в качестве t_{max} принимается значение, равное 0,569 часа.

$$t^*_{max} = 0,569 \times 0,7558 = 0,43 \text{ часа};$$

$$\Theta_{max} = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,2 \times 0,43} - 0,204e^{-1,7 \times 0,43} - 0,472e^{-19 \times 0,43}) = 820,8^\circ\text{C}.$$

6. Температурный режим параметрического пожара в фазе охлаждения (для $t_{max}^* \leq 0,5$) определяется по формуле:

$$\Theta_g = \Theta_{max} - 625(t^* - t_{max}^* \times X),$$

IND

Где:

$$t^* = t \times \Gamma;$$

$$t_{max}^* = t_{max} \times \Gamma;$$

$$X=1 \text{ при } t_{max} > t_{lim}.$$

IND

Таким образом, температурный режим в стадии охлаждения:

$$\Theta_g = 820,8 - 625(t^* - 0,43 \times I);$$

$$\Theta_g = 820,8 - 625(0,7558 \times t - 0,43) = 1089,55 - 472,38t.$$

7. Заключение.

Температурный режим (таблица 2.1, рисунок 2.4) параметрического пожара в соответствии с условиями задачи будет определяться зависимостями температуры в противопожарном отсеке Θ_g ($^\circ\text{C}$) в момент времени t (часов):

- в фазе нагрева (фаза нагрева продлится 34 минуты, при этом температура достигнет 820°C)

$$\Theta_g = 20 + 1325 (1 - 0,324e^{-0,1512t} - 0,204e^{-1,2849t} - 0,472e^{-14,36t});$$

- в фазе охлаждения (фаза охлаждения начнется с 35-й минуты и будет продолжаться до полного остывания):

$$\Theta_g = 1089,55 - 472,38t.$$

Таблица 2.1 Зависимость температуры в противопожарном отсеке Θ_g в момент времени t при заданных исходных данных

| t, мин | $\Theta_g, ^\circ\text{C}$ | t, мин | $\Theta_g, ^\circ\text{C}$ | t, мин | $\Theta_g, ^\circ\text{C}$ |
|--------|----------------------------|--------|----------------------------|--------|----------------------------|
| 0 | 20,0 | 45 | 735,3 | 105 | 262,9 |
| 15 | 718,3 | 60 | 617,2 | 120 | 144,8 |
| 30 | 804,3 | 75 | 499,1 | 135 | 26,7 |
| 34 | 820,8 | 90 | 381,0 | 150 | 20,0 |

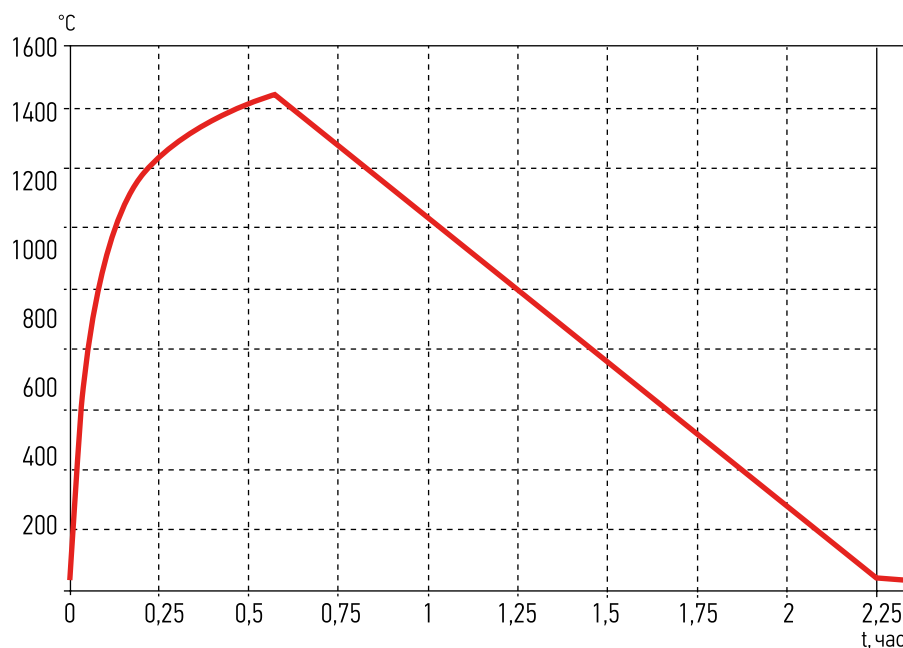


Рисунок 2.4 Параметрическая температурно-временная зависимость развития пожара в офисном помещении при заданных параметрах

2.3 Методы расчета огнестойкости

(1) Варианты методов расчета огнестойкости схематически показаны на Рисунке 2.5.

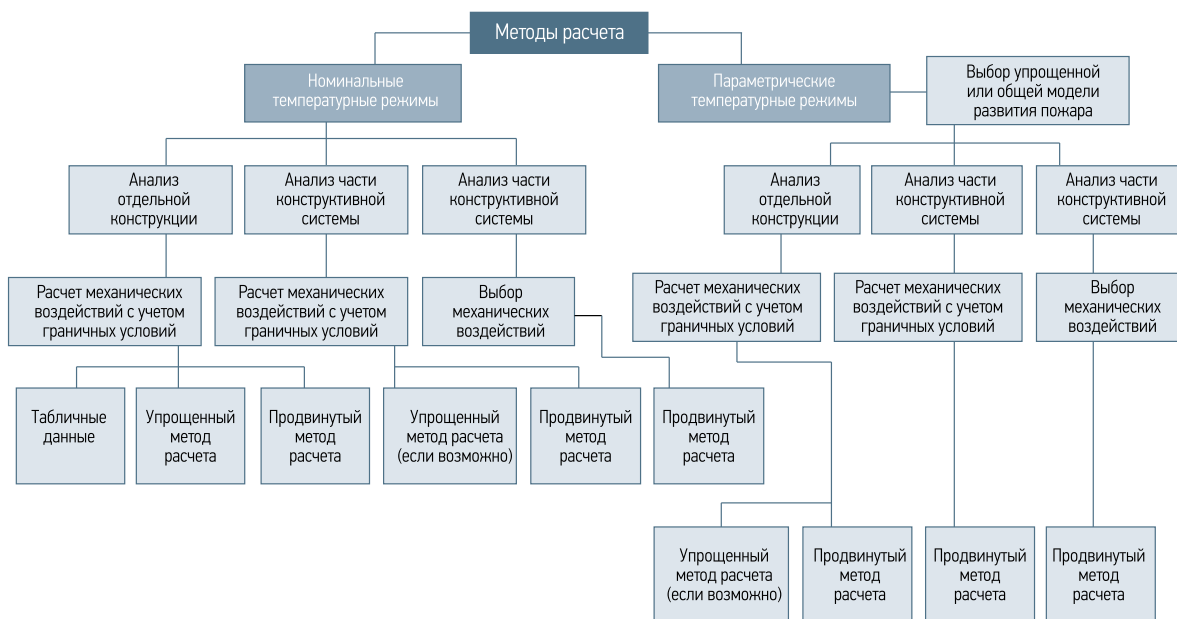


Рисунок 2.5 Варианты методов расчета

ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2 и ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2 классифицируют методы расчета по:

1. Выбранным температурным режимам, которые разделяются на:

- (а) номинальные - общепринятые зависимости в соответствии с ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2, к которым относятся:
 - стандартный температурный режим;
 - температурный режим наружного пожара;
 - температурный режим пожара углеводородов;
- (б) параметрические - зависимости, определенные на базе моделей пожара и специальных физических параметров, определяющих состояние среды в помещении при пожаре.

Более подробно о температурных режимах - см. Раздел 2.2 настоящей публикации.

2. В зависимости от деления расчетной схемы на части:

- (а) анализ отдельной конструкции;
- (б) анализ части конструктивной схемы;
- (в) анализ всей конструктивной схемы.

Более подробно о классификации по уровням деления конструктивной схемы - см. Раздел 2.3.1 настоящей публикации.

3. В зависимости от этого могут применяться:

- (а) расчет огнестойкости по табличным данным;
- (б) упрощенные методы расчета;
- (в) уточненные (продвинутые) методы расчета;
- (г) испытания.

Более подробное описание отдельных методов расчета - см. Раздел 2.3.2 настоящей публикации.

2.3 (3)
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

Примечание 2 к
2.4.1 (3)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

- (4) Если для конструкций национальные нормы устанавливают требования по огнестойкости, в качестве расчетного принимается стандартный пожар, если не установлено иное.
- (5) Для проверки соответствия стандартным требованиям по огнестойкости достаточно проведения анализа отдельной конструкции.

Для анализа отдельных элементов конструкции с простыми граничными условиями, как правило, применяются упрощенные расчетные модели и метод табличных данных.

2.3.1 Классификация расчетных методов по уровням разделения конструктивной схемы

5.1.4 (2)
ДСТУ-НБ
EN 1990

- (1) Соответствие несущей конструкции требованиям противопожарной защиты должно осуществляться на основании анализа всей конструктивной схемы, частей конструктивной схемы или отдельных ее элементов, а также по табличным или опытным данным.

Условное деление конструкции показано на Рисунке 2.6.

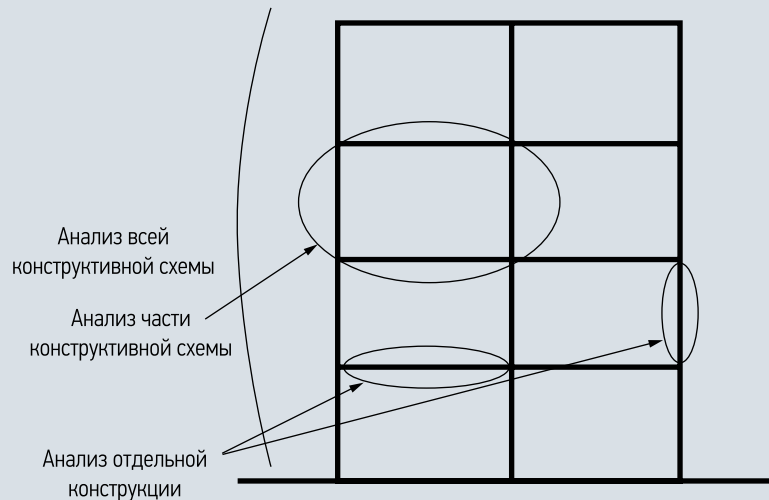


Рисунок 2.6 Классификация расчетных методов по уровням разделения конструктивной схемы

2.3.1.1 Расчет отдельной конструкции

2.4.2 (5)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

- (1) При таком методе расчета каждая конструкция рассматривается отдельно, учитывая соответствующие воздействия и условия раскрепления (граничные условия).
- (2) Граничные условия на опорах и краях конструкции могут быть приняты неизменными на протяжении всего времени воздействия пожара.

Этот метод рекомендуется для большинства случаев - см. Раздел 2.3 (5) настоящей публикации.

2.3.1.2 Расчет части конструктивной схемы

2.4.3 (3)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

- (1) Деление конструктивной системы на части производится на основании анализа возможных температурных расширений и деформаций таким образом, чтобы их взаимодействие можно было оценить при помощи независимых от времени граничных условий и схемы опирания в течение всей продолжительности пожара.

2.4.3 (4)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

- (2) При расчете части конструктивной системы должны приниматься во внимание принятая схема разрушения при воздействии пожара, характеристики материалов в зависимости от температуры их нагрева, жесткость конструкций, результаты влияния температурных расширений и деформаций (косвенные воздействия пожара).

2.4.3 (5)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

- (3) Граничные условия на опорах, силы и моменты на краях части конструктивной системы могут быть приняты как неизменяющиеся в течение всего времени воздействия пожара.

2.4.4 (1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

2.3.1.3 Расчет всей конструктивной схемы

- (1) Анализ всей конструктивной схемы в условиях пожара должен включать обоснование принятой схемы разрушения, характеристики материалов в зависимости от температуры их нагрева, жесткости конструкций, результатов температурных расширений и деформаций (косвенные воздействия пожара).

Расчет части конструктивной схемы и всей конструкции используется в уточненных моделях определения огнестойкости, которые выполняются с применением соответствующих программных продуктов, основанных на Методе Конечных Элементов (МКЭ) и Методе Конечных Разностей (МКР). Уточненные модели применимы также при расчете отдельных конструкций.

2.3.2 Методы расчета

2.3.2.1 Упрощенные расчетные модели

Расчетный метод, описанный в стандарте ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2, основан на простой расчетной модели, которая анализирует отдельные элементы конструкции, работающие на растяжение, сжатие, изгиб и т. д. В этом стандарте также представлен упрощенный прямой метод расчета критической температуры.

4.3.1.(1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

2.3.2.2 Уточненные расчетные модели

- (1) Уточненные методы расчета должны обеспечивать реалистичный анализ конструктивной системы, подвергающейся воздействию пожара. Они должны основываться на основном физическом поведении таким образом, чтобы обеспечивать приемлемый уровень приближения к ожидаемому поведению соответствующего конструктивного элемента в условиях пожара.

4.3.1.(3)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (2) Уточненные методы расчета должны включать отдельные расчетные модели для определения:

- увеличения и распределения температуры внутри конструктивных элементов (теплотехнический расчет);
- механического поведения конструктивной системы или любой ее части (статический расчет).

4.3.2.(2)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (3) Модель теплотехнического расчета должна рассматривать:

- соответствующее тепловое воздействие, установленное в ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2;
- изменение теплотехнических свойств материала в зависимости от температуры – см. Раздел 2.4.

4.3.3.(3)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (4) Модель статического расчета также должна учитывать:

- общее влияние механических воздействий, геометрических отклонений и тепловых воздействий;
- температурную зависимость механических свойств материала – см. Раздел 2.4;
- влияние геометрической нелинейности;
- влияние неоднородности характеристик материала, включая неблагоприятные эффекты вследствие нагружения и разгружения несущей конструкции.

Как указывалось выше, уточненные расчетные модели создаются при помощи специального программного обеспечения.

2.3.2.3 Определение огнестойкости с помощью табличных данных

Такой метод в качестве альтернативы может применяться для железобетонных конструкций. ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2 также содержит упрощенные методы расчета, но дополнительно дает табличные данные, которые определяют необходимые геометрические параметры конструкций, для которых допускается принимать стандартные пределы огнестойкости.

2.3.2.4 Определение огнестойкости на основании испытаний

2.4.1 (4)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (1) Как альтернативный вариант проектированию расчетным методом, противопожарные решения могут быть обоснованы экспериментально по результатам огневых испытаний или сочетанием расчетного и экспериментального методов.

2.4 Свойства материалов

При повышенной температуре все материалы теряют свою прочность, поэтому чтобы установить зависимость несущей способности элемента конструкции от температуры, необходимо располагать данными о характере снижения прочности материала. Кроме того, чтобы определить насколько быстро элемент нагревается до температуры, при которой он уже не способен выдерживать нагрузки, действующие на него в условиях пожара, необходимо провести теплотехнический расчет исходя из соответствующих свойств материала. Поэтому для заданного материала необходимо иметь данные для диапазона температур, достигаемых при расчетном пожаре.

2.4.1 Механические свойства углеродистых сталей

2.3 (1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (1) Расчетные значения механических (прочностных и деформационных) характеристик материала $X_{d,fi}$ определяются по формуле:

$$X_{d,fi} = \frac{k_{\theta} X_k}{\gamma_{M,fi}}$$

где:

X_k - характеристическое значение прочностных или деформационных характеристик (обычно f_k или E_k) по ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1 при нормальной температуре;

k_{θ} - коэффициент снижения прочностных или деформационных характеристик ($X_{k,\theta}/X_k$), зависящий от температуры материала, см. п. 2.4.1.1;

$\gamma_{M,fi} = 1.0$ - частный коэффициент надежности для соответствующей характеристики материала в условиях пожара.

3.2.1 (3)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

2.4.1.1 Прочность и деформация

- (1) В Таблице 2.2 приведены значения понижающих коэффициентов для диаграммы деформирования стали при повышенных температурах, изображенной на Рисунке 2.7. Понижающие коэффициенты определяются следующим образом:

- расчетный предел текучести относительно предела текучести при 20°C

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

- предел упругости относительно предела текучести при 20°C

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

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

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

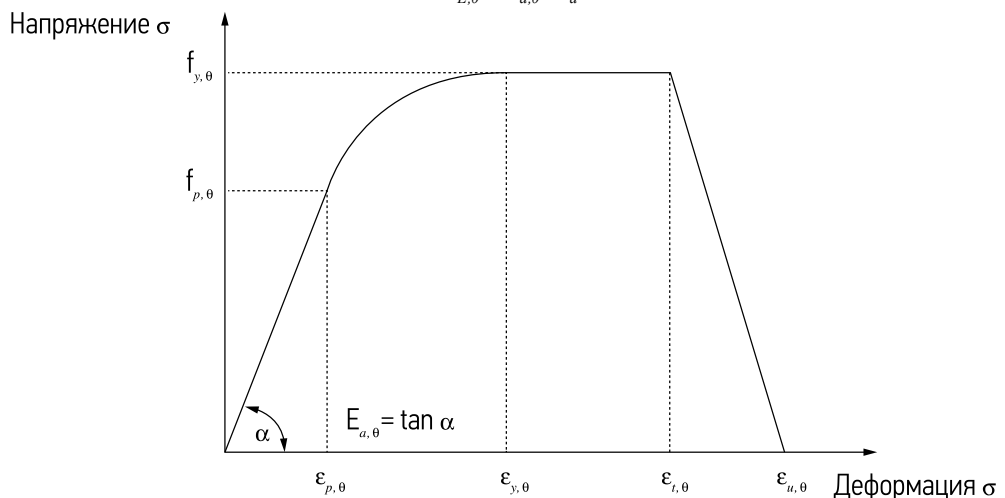


Рисунок 2.7 Диаграмма деформирования углеродистых сталей при повышенных температурах

Таблица 3.1
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

Таблица 2.2 Понижающие коэффициенты для диаграммы деформирования углеродистых сталей

| Температура стали $\theta_a, ^\circ\text{C}$ | Понижающие коэффициенты при температуре стали θ_a относительно значений f_y и E_a при 20°C | | |
|--|---|---|---|
| | Коэффициент снижения (относительно f_y) расчетного предела текучести $k_{y,\theta} = f_{y,\theta}/f_y$ | Коэффициент снижения (относительно f_y) предела упругости $k_{p,\theta} = f_{p,\theta}/f_y$ | Коэффициент снижения (относительно E_a) для наклонного линейного участка области упругих деформаций $k_{E,\theta} = E_{a,\theta}/E_a$ |
| 20 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 100 | 1.000 | 1.000 | 1.000 |
| 200 | 1.000 | 0.807 | 0.900 |
| 300 | 1.000 | 0.613 | 0.800 |
| 400 | 1.000 | 0.420 | 0.700 |
| 500 | 0.780 | 0.360 | 0.600 |
| 600 | 0.470 | 0.180 | 0.310 |
| 700 | 0.230 | 0.075 | 0.130 |
| 800 | 0.110 | 0.050 | 0.090 |
| 900 | 0.060 | 0.0375 | 0.0675 |
| 1000 | 0.040 | 0.0250 | 0.0450 |
| 1100 | 0.020 | 0.0125 | 0.0225 |
| 1200 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |

Примечание. Значение коэффициентов для промежуточных температур определяется линейной интерполяцией

2.4.1.2 Плотность

3.2.2 (1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (1) Плотность стали ρ_a может приниматься не зависящей от ее температуры. При расчетах допускается использование следующего значения: $\rho_a = 7850 \text{ кг/м}^3$.

2.4.2 Теплотехнические свойства углеродистых сталей

2.3 (2)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (1) Расчетные значения теплотехнических характеристик материала $X_{d,fi}$ определяются следующим образом:

- если увеличение характеристики благоприятно для обеспечения безопасности:

$$X_{d,fi} = \frac{X_{k,\theta}}{\gamma_{M,fi}};$$

- если увеличение характеристики неблагоприятно для обеспечения безопасности:

$$X_{d,fi} = \gamma_{M,fi} X_{k,\theta},$$

где:

$X_{k,\theta}$ – значение характеристики материала при расчетном пожаре, как правило, зависит от температуры материала, см. ниже;

$\gamma_{M,fi} = 1.0$ – частный коэффициент надежности для соответствующей характеристики материала в условиях пожара.

2.4.2.1 Температурное удлинение

3.4.1.1 (1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (1) Относительное температурное удлинение стали $\Delta l/l$ определяется следующим образом:

- для $20^{\circ}\text{C} < \theta_a < 750^{\circ}\text{C}$

$$\frac{\Delta l}{l} = 1,2 \cdot 10^{-5} \theta_a + 0,4 \cdot 10^{-8} \theta_a^2 - 2,416 \cdot 10^{-6};$$

- для $750^{\circ}\text{C} < \theta_a < 860^{\circ}\text{C}$

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

- для $860^{\circ}\text{C} < \theta_a < 1200^{\circ}\text{C}$

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

где:

l – длина при 20°C ;

Δl – изменение длины, вызванное повышением температуры;

θ_a – температура стали ($^{\circ}\text{C}$).

2.4.2.2 Удельная теплоемкость

Удельная теплоемкость материала – это объем тепловой энергии, необходимой для увеличения температуры единицы массы на 1 К (единица измерения – Дж/кг · К).

3.4.1.2 (1)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

- (1) Удельная теплоемкость стали c_a определяется:

- для $20^{\circ}\text{C} < \theta_a < 600^{\circ}\text{C}$

$$c_a = 425 + 7,73 \cdot 10^{-1} \theta_a - 1,69 \cdot 10^{-3} \theta_a^2 + 2,22 \cdot 10^{-6} \theta_a^3 \text{ Дж/(кгК)};$$

- для $600^{\circ}\text{C} < \theta_a < 735^{\circ}\text{C}$

$$c_a = 666 + \frac{13\,002}{738 - \theta_a} \text{ Дж/(кгК)};$$

- для $735^{\circ}\text{C} < \theta_a < 900^{\circ}\text{C}$

$$c_a = 545 + \frac{17\,820}{\theta_a - 731} \text{ Дж/(кгК)};$$

- для $900^{\circ}\text{C} < \theta_a < 1200^{\circ}\text{C}$

$$c_a = 650 \text{ Дж/(кгК)},$$

где:

θ_a – температура стали ($^{\circ}\text{C}$).

2.4.2.3 Теплопроводность

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).

3.4.1.3 (1)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

- (1) Теплопроводность стали определяется следующим образом:

- для $20^{\circ}\text{C} < \theta_a < 800^{\circ}\text{C}$

$$\lambda_a = 54 - 3,33 \cdot 10^{-2} \theta_a \text{ Вт/(мК)};$$

- для $800^{\circ}\text{C} < \theta_a < 1200^{\circ}\text{C}$

$$\lambda_a = 27,3 \text{ Вт/(мК)},$$

где:

θ_a – температура стали ($^{\circ}\text{C}$).

РАЗДЕЛ 3. СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ – УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА

ЧАСТЬ 1 – РАСЧЕТ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

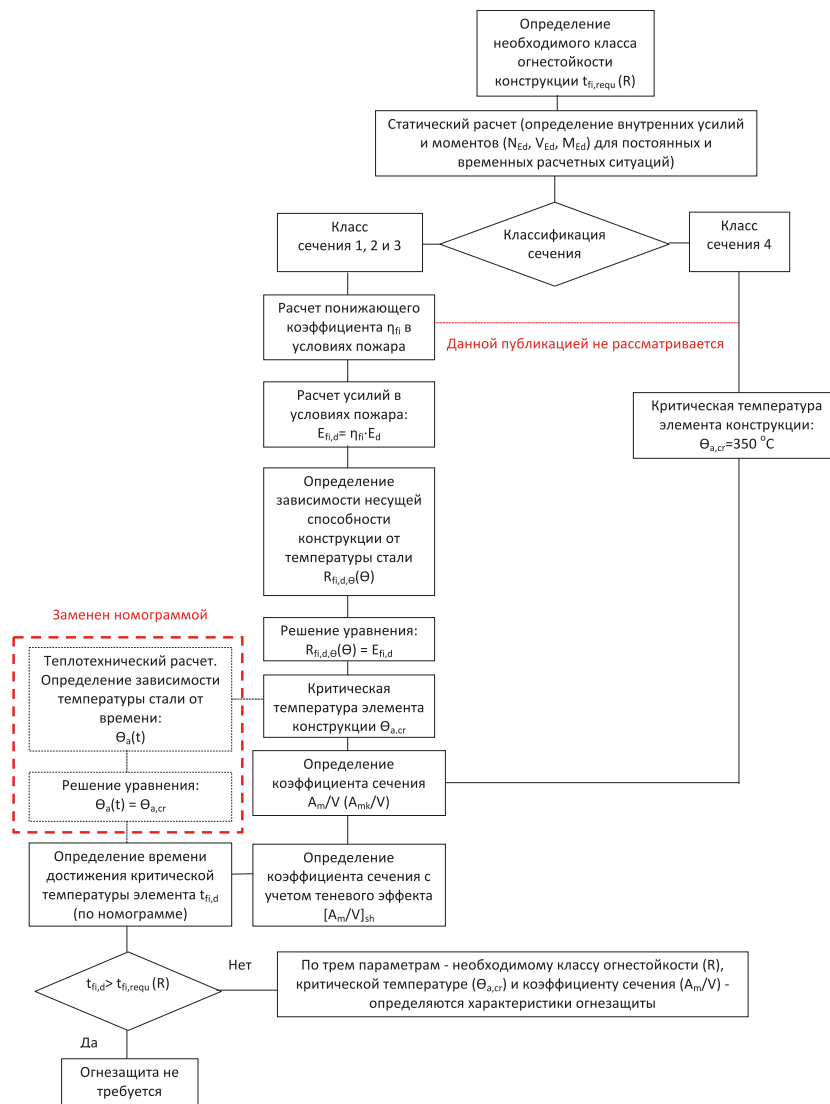
3.1 Метод расчета по прочностным параметрам при повышенной температуре

3.1.1 Сфера применения

Данный метод следует применять при возможности потери устойчивости элемента. Для случаев, когда не учитывается критерий деформаций и исключается потеря устойчивости, следует использовать более простой метод расчета критической температуры, описанный в Разделе 3.2.

Для сечений Класса 4 алгоритм значительно упрощается, поскольку допускается без расчета принимать $\Theta_{a,cr} = 350^\circ\text{C}$.

3.1.2 Алгоритм (блок-схема) расчета по прочностным параметрам при повышенной температуре



3.1.3 Статический расчет

3.1.3.1 Основные положения

5.1.1 (1)-(3)P
ДСТУ-Н Б
EN 1990

- (1)P В основу статических расчетов должны быть заложены соответствующие модели несущих конструкций с определяющими величинами.
- (2) Модели несущих конструкций должны с достаточной точностью учитывать рассматриваемые предельные состояния.
- (3)P Статические модели должны соответствовать современному уровню развития техники. При необходимости они могут подтверждаться испытаниями.

3.1.3.2 Механические воздействия

4.3.1. (1)P
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

- (1)P Сочетание механических воздействий для получения расчетного значения результата воздействия в условиях пожара $E_{fi,d,t}$ производится согласно ДСТУ-Н Б EN 1990 для аварийной расчетной ситуации.

6.4.3.3.
ДСТУ-Н Б
EN 1990
Формула (6.11б)

- (2) Комбинации нагрузок для аварийных расчетных ситуаций могут быть выражены в виде:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + A_d + (\psi_{1,i} \text{ или } \psi_{2,i}) Q_{k,i} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} Q_{k,i},$$

где:

A_d – расчетное значение чрезвычайного воздействия;

$\psi_{1,i}$ – коэффициент ψ_1 для частого значения переменной нагрузки $Q_{k,i}$;

$\psi_{2,i}$ – коэффициент ψ_2 для квазипостоянного значения переменной нагрузки $Q_{k,i}$.

4.3.1. (2)
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

- (3) Расчетное значение доминирующего переменного воздействия Q_1 учитывается как частое $\psi_{2,1} Q_1$ или, в качестве альтернативы, как почти постоянное $\psi_{1,1} Q_1$.

Примечание. Национальным приложением рекомендуется использовать сочетание $\psi_{2,1} Q_1$.

4.2.1. (1)
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2
4.1. (4)
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

- (4)P Воздействия учитываются как при нормальной температуре, если они действуют в условиях пожара.
- (5) Непрямые воздействия (от температурного расширения и т. д.) от примыкающих конструкций не учитываются, если противопожарные требования к конструкции установлены для стандартного температурного режима.

4.2.2 (1)
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2
4.3.2 (2)
ДСТУ-Н Б
EN 1991-1-2

- (6) Одновременность возникновения других независимых чрезвычайных воздействий не учитывается.
- (7) В качестве упрощения, результаты воздействий в условиях пожара $E_{fi,d}$ допускается определять с использованием результатов, полученных при нормальных температурах:

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

и
2.4.2
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

где:

E_d – расчетное значение соответствующей силы или момента при нормальной температуре, для основных сочетаний воздействий согласно ДСТУ-Н Б EN 1990;

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения в условиях пожара.

Тепловые воздействия данной публикацией не рассматриваются, поскольку в ней даются методы, исключаящие непрямые механические воздействия (вызванные температурным расширением) и заменяющие теплотехнический расчет номограммой.

3.1.4 Классификация поперечных сечений

4.2.2 (1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (1) При использовании упрощенных методов поперечные сечения могут классифицироваться как при нормальной температуре с использованием уменьшенного значения ϵ по формуле:

$$\epsilon = 0,85 \left[\frac{235}{f_y} \right]^{0,5},$$

где:

f_y – предел текучести при 20°C.

Примечание. Понижающий коэффициент 0,85 учитывает влияние повышенной температуры.

5.5.2(6)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-1

(2) Поперечное сечение классифицируется по наивысшему (наименее благоприятному) классу его сжатых частей.

5.5.2(8)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-1

(3) Предельные соотношения для сжатых частей Классов 1, 2 и 3 определяются по Таблице 3.1.

5.5.2(8)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-1

(4) Части сечений, которые не соответствуют Классу 3, относятся к Классу 4.

Для выступающих частей при поперечном изгибе в запас могут использоваться предельные значения для осевого сжатия (Таблица 3.1, страница 2).

Классификация с учетом коэффициента 0,85 применяется для условий пожара и не применяется для других расчетов.

С учетом коэффициента 0,85 класс одного и того же сечения при нормальной температуре и в условиях пожара может быть разным.

Таблица 5.2
страница 1
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-1 со
сниженным
значением ϵ

Таблица 3.1 (страница 1 из 3). Максимальные отношения ширины к толщине для сжатых участков сечений в условиях пожара

| Сжатые внутренние части | | | |
|---|-----------------------|-----------------------|--|
| | | | |
| Класс | Изгибаемый элемент | Сжимаемый элемент | Сжато-изогнутый элемент |
| Распределение напряжений в частях сечений (сжатие положительно) | | | |
| 1 | $c/t \leq 72\epsilon$ | $c/t \leq 33\epsilon$ | если $\alpha > 0,5$: $c/t \leq \frac{396\epsilon}{13\alpha-1}$ если: $\alpha \leq 0,5$ $c/t \leq \frac{36\epsilon}{\alpha}$ |
| 2 | $c/t \leq 83\epsilon$ | $c/t \leq 38\epsilon$ | если: $\alpha > 0,5$ $c/t \leq \frac{456\epsilon}{13\alpha-1}$ если: $\alpha \leq 0,5$ $c/t \leq \frac{41,5\epsilon}{\alpha}$ |
| Распределение напряжений в частях сечений (сжатие положительно) | | | |

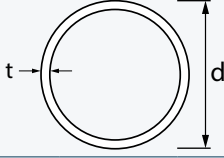
Таблица 5.2
 страница 2
 ДСТУ-НБ
 EN 1993-1-1 со
 сниженным
 значением ϵ

Продолжение Таблицы 3.1 (страница 2 из 3). Максимальные отношения ширины к толщине для сжатых участков сечений в условиях пожара

| Класс | | Изгибаемый элемент | | Сжимаемый элемент | | Сжато-изогнутый элемент | |
|---|--|--|------|--|------|--|------|
| 3 | | $c/t \leq 124\epsilon$ | | $c/t \leq 42\epsilon$ | | если: $\psi > -1$ $c/t \leq \frac{42\epsilon}{0,67+0,33\psi}$ если $\psi \leq -1^*$: $c/t \leq 62\epsilon(1-\psi)\sqrt{(-\psi)}$ | |
| $\epsilon = 0,85 \left[\frac{235}{f_y} \right]^{0,5}$ | | f_y | 235 | 275 | 355 | 420 | 460 |
| | | ϵ | 0,85 | 0,78 | 0,69 | 0,64 | 0,60 |
| Свесы полок | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Прокатные профили | | | | Сварные профили | | | |
| Класс | | Сжимаемая часть | | Сжато-изогнутая часть | | | |
| | | | | Сжатие на конце | | Растяжение на конце | |
| Распределение напряжений в частях сечений (сжатие положительно) | | | | | | | |
| 1 | | $c/t \leq 9\epsilon$ | | $c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha}$ | | $c/t \leq \frac{9\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ | |
| 2 | | $c/t \leq 10\epsilon$ | | $c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha}$ | | $c/t \leq \frac{10\epsilon}{\alpha\sqrt{\alpha}}$ | |
| Распределение напряжений в частях сечений (сжатие положительно) | | | | | | | |
| 3 | | $c/t \leq 14\epsilon$ | | $c/t \leq 21\epsilon\sqrt{k_\sigma}$ Для k_σ см. ДСТУ-НБ EN 1993-1-5 | | | |
| $\epsilon = 0,85 \left[\frac{235}{f_y} \right]^{0,5}$ | | f_y | 235 | 275 | 355 | 420 | 460 |
| | | ϵ | 0,85 | 0,79 | 0,69 | 0,64 | 0,61 |
| Угловые профили | | | | | | | |
| Также относится к свесам полок | | | | | | Не применяется для уголков при непрерывном закреплении к другим деталям | |
| Класс | | Сжатые сечения | | | | | |
| Распределение напряжений в частях сечений (сжатие положительно) | | | | | | | |
| 3 | | $h/t \leq 15\epsilon : \frac{b+h}{2t} \leq 11,5\epsilon$ | | | | | |

Таблица 5.2
страница 3
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-1 со
сниженным
значением ϵ

Продолжение Таблицы 3.1 (страница 3 из 3). Максимальные отношения ширины к толщине для сжатых участков сечений в условиях пожара

| Трубчатое сечение | | | | | | |
|--|---|------|------|------|------|------|
|  | | | | | | |
| Класс | Изгибаемые и/или сжатые сечения | | | | | |
| 1 | $d/t \leq 50\epsilon^2$ | | | | | |
| 2 | $d/t \leq 70\epsilon^2$ | | | | | |
| 3 | $d/t \leq 90\epsilon^2$ ПРИМЕЧАНИЕ. Касательно $d/t > 90\epsilon^2$ см. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-6 | | | | | |
| $\epsilon = 0,85 \left[\frac{235}{f_y} \right]^{0,5}$ | f_y | 235 | 275 | 355 | 420 | 460 |
| | ϵ | 0,85 | 0,79 | 0,69 | 0,64 | 0,61 |
| | ϵ^2 | 0,72 | 0,62 | 0,48 | 0,40 | 0,37 |

3.1.5 Определение понижающего коэффициента η_{fi} для расчета уровня нагружения в условиях пожара

2.4.2 (3)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

Формула
(2.5)

(1) Понижающий коэффициент η_{fi} для сочетания нагрузок согласно формуле (6.10) ДСТУ-Н Б EN 1990 определяется по формуле:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,l}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,l} Q_{k,l}}$$

или для сочетания воздействий по формулам (6.10)а и (6.10)б ДСТУ-Н Б EN 1990 - как наименьшее значение из:

Формула
(2.5)

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,l}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,l} \psi_{0,l} Q_{k,l}}$$

Формула
(2.5)б

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,l}}{\xi \gamma_G G_k + \gamma_{Q,l} Q_{k,l}}$$

где:

$Q_{k,l}$ – характеристическое значение преобладающего или главного (первого) переменного воздействия;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

γ_G – частный коэффициент надежности для постоянных воздействий;

$\gamma_{Q,l}$ – частный коэффициент надежности для первого переменного воздействия;

ψ_{fi} – коэффициент сочетания воздействий, принимается равным $\psi_{2,l}$ (см. Таблицу 3.2.);

ξ – понижающий коэффициент для учета неблагоприятных постоянных воздействий.

Примечание 1. Определяемая Формулой (2.5) зависимость коэффициента η_{fi} от отношения воздействий $Q_{k,l}/G_k$ с различными значениями ψ_{fi} , приведена на Рисунке 3.1 со следующими допущениями: $\gamma_G = 1,35$ и $\gamma_Q = 1,5$. Формулы (2.5а) и (2.5б) дают немного более высокие значения.

Примечание 2. В качестве упрощения рекомендуется использовать значение $\eta_{fi} = 0,65$, за исключением случаев приложения нагрузки категории Е по ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1 (площади, предназначенные для накопления продукции, включая зоны приемки), для которых рекомендуется значение, равное 0,7.

С учетом указанных коэффициентов формулы (2.5), (2.5)а и (2.5)б приобретают вид:

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{2,l} Q_{k,l}}{1,35 G_k + 1,5 Q_{k,l}} \text{ - преобразовано из Формулы (2.5);}$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{2,l} Q_{k,l}}{1,35 G_k + 1,5 \psi_{0,l} Q_{k,l}} \text{ - преобразовано из Формулы (2.5)а;}$$

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{2,l} Q_{k,l}}{1,15 G_k + 1,5 Q_{k,l}} \text{ - преобразовано из Формулы (2.5)б,}$$

где:

$\Psi_{2,l}$ и $\Psi_{0,l}$ - коэффициенты сочетаний, принимаемые по Таблице 3.2.

Таблица 3.2 Значение коэффициентов Ψ для зданий

Таблица
НБ.2.2
ДСТУ-Н Б
EN 1990

| Нагрузки и воздействия | Ψ_0 | Ψ_1 | Ψ_2 |
|--|----------|----------|----------|
| Полезные нагрузки в зданиях, категории (см. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-1) | | | |
| Категория А: жилые помещения | 0.7 | 0.5 | 0.35 |
| Категория В: офисные помещения | 0.7 | 0.5 | 0.35 |
| Категория С: помещения с возможным скоплением людей | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| Категория D: торговые площади | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| Категория E: складские площади | 1.0 | 0.9 | 0.8 |
| Категория F: проезжая часть для транспортных средств весом: | | | |
| а) не более 30кН | 0.7 | 0.7 | 0.6 |
| б) более 30кН, но не более 160 кН | 0.7 | 0.5 | 0.3 |
| Категория H: крыши | 0.7 | 0 | 0 |
| Снеговые нагрузки на здания (см. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-3) | 0.6 | 0.5 | 0.3 |
| Ветровые нагрузки на здания (см. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-4) | 0.6 | 0.2 | 0 |
| Тепловое воздействие (без пожара) в зданиях (см. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-5) | 0.6 | 0.5 | 0 |

Рисунок 2.1
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

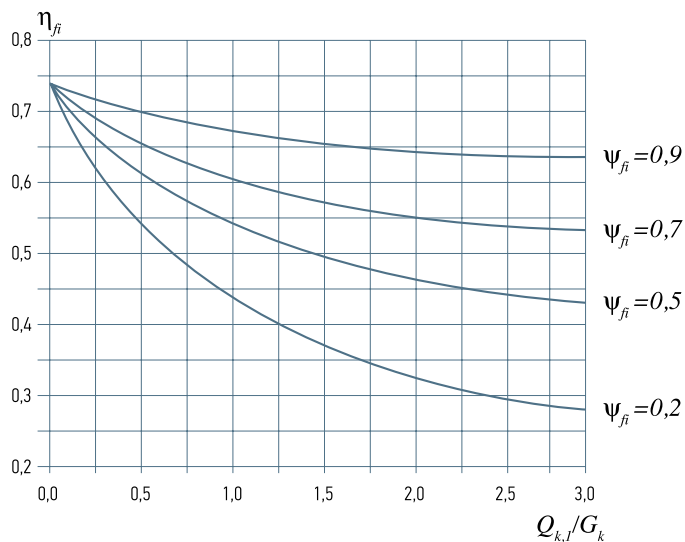


Рисунок 3.1 Зависимость коэффициента η_{fi} от отношения воздействий $Q_{k,l}/G_k$

3.1.6 Определение расчетных сочетаний усилий $E_{fi,d}$ в условиях пожара

Расчетные сочетания усилий определяются в соответствии с пунктом 3.1.3.2 (7) данной публикации.

3.1.7 Определение зависимости несущей способности от температуры стали

4.2.1(2)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (1) Расчетное сопротивление $R_{fi,d,t}$ ($M_{fi,t,Rd}$, $N_{fi,t,Rd}$, $V_{fi,t,Rd}$) в момент времени t обычно определяется в предположении равномерного распределения температуры по площади поперечного сечения, путем корректировки расчетного сопротивления при нормальной температуре по ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1, с учетом изменения механических свойств стали при повышенных температурах - см. Раздел 2.4 данной публикации.

В данной публикации не рассматривается определение несущей способности элементов при нормальной температуре M_{Rd} , N_{Rd} , V_{Rd} . Для наиболее распространенных типов конструкций эти методики описываются в публикации УЦСС-005-14 «Расчет стальных конструкций зданий в соответствии с Еврокодом 3 и национальными приложениями Украины».

4.2.3.1(1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

3.1.7.1 Растянутые конструкции

- (1) Расчетное сопротивление $N_{fi,\theta,Rd}$ конструкции растяжению при равномерно распределенной температуре θ_a определяется по формуле:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} N_{Rd} \frac{\lambda_{M,O}}{\lambda_{M,fi}}$$

где:

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при достижении стальной температуры θ_a в момент времени t , см. п. 2.4.1.1;

N_{Rd} – расчетное сопротивление поперечного сечения $N_{pl,Rd}$ при проектировании для условий эксплуатации при нормальной температуре, в соответствии с ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1.

Для растянутых элементов рационально применять более простой метод расчета критической температуры, описанный в Разделе 3.2, где:

$$N_{fi,d,0} = N_{fi,20,Rd} = N_{Rd}$$

4.2.3.2(1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

3.1.7.2 Сжатые конструкции с поперечными сечениями Класса 1, 2 или 3

- (1) Расчетная несущая способность по потере устойчивости в форме продольного изгиба $N_{b,fi,t,Rd}$ сжатой конструкции с поперечными сечениями Класса 1, 2 или 3 при равномерном распределении температуры θ_a в момент времени t определяется по формуле:

$$N_{b,fi,t,Rd} = k_{y,\theta} N_{Rd} \frac{\lambda_{M,O}}{\lambda_{M,fi}}$$

где:

χ_{fi} – понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости в условиях пожара;

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при достижении стальной температуры θ_a в момент времени t , см. Разделе 2.4.1.1.

- (2) Значение χ_{fi} принимается меньшим из значений $\chi_{y,fi}$ и $\chi_{z,fi}$, определяемых по формуле:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\Phi_{\theta} + \sqrt{\Phi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}}$$

где:

$$\Phi_{\theta} = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2 \right];$$

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

Условная гибкость $\bar{\lambda}$ при достижении стальной температуры θ_a принимается равной:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right]^{0,5}$$

6.3.1.3(1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-1

- (3) Для продольного изгиба $\bar{\lambda}$ определяется из выражения:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}$$

для поперечных сечений Классов 1, 2 и 3,

где:

L_{cr} – расчетная длина в рассматриваемой плоскости;

i – радиус инерции относительно рассматриваемой оси, определяемый для сечения брутто

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9 \epsilon$$

С учетом того, что $\gamma_{M,fi} = 1.0$, $N_{b,fi,Rd}$ для Классов сечений 1, 2 и 3 при равномерном распределении температуры θ_a можно выразить следующим образом:

$$N_{b,fi,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y = f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} \cdot A,$$

где:

A – площадь поперечного сечения;

$$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} = \chi_{fi} \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y$$

- это предельное напряжение сжатия для заданной температуры стали θ_a и условной гибкости $\bar{\lambda}$.

Исходя из вышеприведенных выражений, для наиболее распространенных классов стали были рассчитаны таблицы 3.3, 3.4 и 3.5 с зависимостью предельного напряжения от условной гибкости при нормальной температуре и от температуры стали. По этим таблицам, зная действующие в сечении расчетные напряжения, можно определить значение критической температуры.

Таблица 3.3 Предельное сжимающее напряжение $f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ для стали S235

| $\bar{\lambda}$ (20°C) | Температура стали θ_a | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 400°C | 500°C | 600°C | 700°C | 800°C | 900°C |
| | $f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ (МПа) | | | | | |
| 0.0 | 235 | 183 | 110 | 54 | 26 | 14 |
| 0.1 | 218 | 171 | 102 | 50 | 24 | 13 |
| 0.2 | 202 | 159 | 94 | 46 | 22 | 13 |
| 0.3 | 187 | 147 | 87 | 42 | 21 | 12 |
| 0.4 | 171 | 136 | 80 | 38 | 19 | 11 |
| 0.5 | 156 | 124 | 72 | 34 | 18 | 10 |
| 0.6 | 140 | 113 | 65 | 30 | 16 | 10 |
| 0.7 | 126 | 102 | 58 | 26 | 15 | 9 |
| 0.8 | 112 | 91 | 51 | 23 | 13 | 8 |
| 0.9 | 99 | 81 | 45 | 20 | 12 | 7 |
| 1.0 | 88 | 73 | 40 | 18 | 11 | 7 |
| 1.1 | 78 | 65 | 35 | 16 | 9 | 6 |
| 1.2 | 70 | 58 | 31 | 14 | 8 | 6 |
| 1.3 | 62 | 52 | 28 | 12 | 8 | 5 |
| 1.4 | 56 | 47 | 25 | 11 | 7 | 5 |
| 1.5 | 50 | 42 | 22 | 10 | 6 | 4 |
| 1.6 | 45 | 38 | 20 | 9 | 6 | 4 |
| 1.7 | 41 | 35 | 18 | 8 | 5 | 4 |
| 1.8 | 37 | 31 | 17 | 7 | 5 | 3 |
| 1.9 | 34 | 29 | 15 | 7 | 4 | 3 |
| 2.0 | 31 | 26 | 14 | 6 | 4 | 3 |

Таблица 3.4 Предельное сжимающее напряжение $f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ для стали S355

| $\bar{\lambda}$ (20°C) | Температура стали θ_a | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 400°C | 500°C | 600°C | 700°C | 800°C | 900°C |
| | $f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ (МПа) | | | | | |
| 0.0 | 355 | 277 | 167 | 82 | 39 | 21 |
| 0.1 | 334 | 261 | 157 | 76 | 37 | 20 |
| 0.2 | 313 | 246 | 147 | 71 | 35 | 19 |
| 0.3 | 293 | 231 | 137 | 66 | 33 | 18 |
| 0.4 | 272 | 215 | 126 | 60 | 31 | 17 |

Продолжение таблицы 3.4 Предельное сжимающее напряжение $f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ для стали S355

| $\bar{\lambda}$ (20°C) | Температура стали θ_a | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 400°C | 500°C | 600°C | 700°C | 800°C | 900°C |
| | $f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ (МПа) | | | | | |
| 0.5 | 250 | 199 | 116 | 54 | 28 | 16 |
| 0.6 | 227 | 182 | 105 | 49 | 26 | 15 |
| 0.7 | 204 | 165 | 94 | 43 | 24 | 14 |
| 0.8 | 182 | 148 | 83 | 38 | 21 | 13 |
| 0.9 | 161 | 132 | 73 | 33 | 19 | 12 |
| 1.0 | 143 | 118 | 65 | 29 | 17 | 11 |
| 1.1 | 126 | 105 | 57 | 25 | 15 | 10 |
| 1.2 | 112 | 93 | 51 | 22 | 14 | 9 |
| 1.3 | 100 | 83 | 45 | 19 | 12 | 8 |
| 1.4 | 89 | 75 | 40 | 17 | 11 | 8 |
| 1.5 | 80 | 67 | 36 | 15 | 10 | 7 |
| 1.6 | 72 | 61 | 32 | 14 | 9 | 6 |
| 1.7 | 65 | 55 | 29 | 13 | 8 | 6 |
| 1.8 | 59 | 50 | 26 | 11 | 7 | 5 |
| 1.9 | 54 | 46 | 24 | 10 | 7 | 5 |
| 2.0 | 49 | 42 | 22 | 9 | 6 | 4 |

Таблица 3.5 Предельное сжимающее напряжение $f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ для стали S460

| $\bar{\lambda}$ (20°C) | Температура стали θ_a | | | | | |
|------------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 400°C | 500°C | 600°C | 700°C | 800°C | 900°C |
| | $f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ (МПа) | | | | | |
| 0.0 | 460 | 359 | 216 | 106 | 51 | 28 |
| 0.1 | 435 | 341 | 204 | 100 | 48 | 26 |
| 0.2 | 412 | 323 | 193 | 93 | 46 | 25 |
| 0.3 | 388 | 305 | 181 | 87 | 43 | 24 |
| 0.4 | 362 | 286 | 169 | 80 | 41 | 23 |
| 0.5 | 335 | 266 | 155 | 73 | 38 | 22 |
| 0.6 | 305 | 245 | 141 | 66 | 35 | 21 |
| 0.7 | 276 | 222 | 127 | 58 | 32 | 19 |
| 0.8 | 246 | 200 | 112 | 51 | 29 | 18 |
| 0.9 | 218 | 179 | 99 | 44 | 26 | 16 |
| 1.0 | 193 | 159 | 87 | 39 | 23 | 15 |
| 1.1 | 170 | 142 | 77 | 34 | 21 | 14 |
| 1.2 | 151 | 126 | 68 | 30 | 19 | 12 |
| 1.3 | 134 | 112 | 60 | 26 | 17 | 11 |
| 1.4 | 119 | 100 | 54 | 23 | 15 | 10 |
| 1.5 | 107 | 90 | 48 | 21 | 13 | 9 |
| 1.6 | 96 | 81 | 43 | 18 | 12 | 8 |
| 1.7 | 87 | 73 | 39 | 17 | 11 | 8 |
| 1.8 | 79 | 67 | 35 | 15 | 10 | 7 |
| 1.9 | 72 | 61 | 32 | 14 | 9 | 6 |
| 2.0 | 66 | 56 | 29 | 12 | 8 | 6 |

3.1.7.3 Изгибаемые элементы с поперечными сечениями Классов 1, 2 или 3

4.2.3.3(1) и
4.2.3.4(1)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

- (1) Расчетная несущая способность $M_{fi,\theta,Rd}$ поперечных сечений Классов 1, 2 и 3 на изгибающий момент при равномерно распределенной температуре θ_a определяется по формуле:

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} M_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,o}}{\gamma_{M,\theta}} \right],$$

где:

M_{Rd} – соответствующая несущая способность сечения брутто по прочности при нормальной температуре, определяемая следующим образом:

$M_{Rd} = M_{pl,Rd}$ или $M_{pl,V,Rd}$ – для сечений Классов 1 и 2 в пластической стадии соответственно без учета и с учетом влияния перерезывающего усилия (при $V_{Ed} \geq 0,5V_{Rd}$);

$M_{Rd} = M_{el,Rd}$ или $M_{el,V,Rd}$ – для сечений Класса 3 в упругой стадии соответственно без учета и с учетом влияния перерезывающего усилия (при $V_{Ed} \geq 0,5V_{Rd}$);

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при достижении сталью температуры θ_a в момент времени t , см. п. 2.4.1.1.

4.2.3.3(3),
4.2.3.4(2)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

Для балок с композитной (сталебетонной) или бетонной плитой на одной из сторон в целях повышения критической температуры и соответствующего уменьшения необходимой огнезащиты рекомендуется учитывать неравномерное распределение температуры введением коэффициентов k_1 и k_2 . Тогда несущая способность балки по прочности в условиях пожара определяется формулой:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} M_{Rd} \frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi} k_1 k_2},$$

где коэффициенты k_1 и k_2 принимают значения:

4.2.3.3(7)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

- для **незащищенной** балки, подвергающейся огневому воздействию с трех сторон с композитной (сталебетонной) или бетонной плитой на четвертой - $k_1 = 0.7$;
- для **защищенной** балки, подвергающейся огневому воздействию с трех сторон с композитной (сталебетонной) или бетонной плитой на четвертой - $k_1 = 0.85$;
- $k_2 = 1.0$ рекомендуется принимать во всех случаях.

4.2.3.3(8)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

Аналогичная рекомендация сохраняется для метода расчета критической температуры согласно Разделу 3.2.

4.2.3.3(4) и
4.2.3.4(3)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

(2) Расчетная несущая способность $M_{b,fi,t,Rd}$ по потере устойчивости плоской формы изгиба нераскрепленной конструкции с поперечным сечением Классов 1, 2 и 3 в момент времени t определяется по формуле:

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

где:

W_y – соответствующий момент сопротивления сечения, определяемый следующим образом:

$W_y = W_{pl,y}$ для поперечных сечений Классов 1 и 2;

$W_y = W_{el,y}$ для поперечных сечений Класса 3;

$\chi_{LT,fi}$ – понижающий коэффициент для потери устойчивости плоской формы изгиба в условиях пожара.

4.2.3.3(5)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

(3) Значение $\chi_{LT,fi}$ определяется в соответствии со следующей зависимостью:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta} + \sqrt{(\phi_{LT,\theta})^2 - (\bar{\lambda}_{LT,\theta})^2}},$$

где:

$$\phi_{LT,\theta} = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta} + (\bar{\lambda}_{LT,\theta})^2 \right];$$

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

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right]^{0,5}.$$

Условная гибкость $\bar{\lambda}$ зависит от критического момента M_{cr} потери устойчивости плоской формы изгиба в упругой стадии. Методика его определения для различных типов балок приведена в публикации УЦСС-005-14 «Расчет стальных конструкций зданий в соответствии с Еврокодом 3 и национальными приложениями Украины».

Если перерезывающее усилие превышает 50% соответствующей несущей способности, это необходимо учитывать снижением предела текучести.

Когда исключена потеря балкой устойчивости, рационально использовать метод определения критической температуры, изложенный в Разделе 3.2 данной публикации.

3.1.7.4 Элементы с Классами сечений 1, 2 или 3, работающие на срез

4.2.3.3(6) и
4.2.3.4(4)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (1) Расчетное сопротивление на срез $V_{fi,t,Rd}$ поперечных сечений Классов 1, 2 и 3 в момент времени t определяется по формуле:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta} V_{Rd} \left(\frac{\gamma_{M,O}}{\gamma_{M,fi}} \right),$$

где:

V_{Rd} – несущая способность на срез поперечного сечения брутто по ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1 при нормальной температуре;

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при достижении сталью температуры θ_a в момент времени t , см. в Разделе 2.4.1.1.

3.1.7.5 Сжато-изогнутые и внецентренно сжатые элементы с Классами сечений 1, 2 или 3

4.2.3.5(1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (1) Расчетная несущая способность по прочности и устойчивости сжато-изогнутых и внецентренно сжатых элементов Классов сечений 1, 2 или 3 в момент времени t определяется по формулам:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_z k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0;$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT} W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_z k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0,$$

где:

W_y и W_z – соответствующий момент сопротивления сечения, определяемый следующим образом:

$W_{pl,y}$ и $W_{pl,z}$ для поперечных сечений Классов 1 и 2;

$W_{el,y}$ и $W_{el,z}$ для поперечных сечений Класса 3;

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при достижении сталью температуры θ_a в момент времени t , см. п. 2.4.1.1;

$\chi_{min,fi}$ – см. п. 3.1.7.2;

$\chi_{z,fi}$ – см. п. 3.1.7.2;

$\chi_{LT,fi}$ – см. п. 3.1.7.3(3);

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \quad \mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \quad \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9;$$

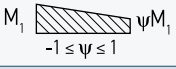
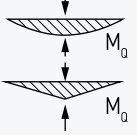
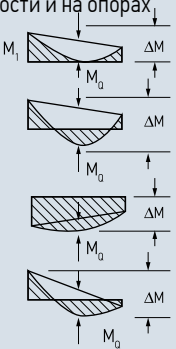
$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3,$$

при $\mu_y = (1,2\beta_{M,y} - 3) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} - 0,29 \leq 0,8$

$$k_z = 1 - \frac{\mu_z N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3,$$

при $\mu_z = (2\beta_{M,z} - 5) \bar{\lambda}_{z,\theta} + 0,44\beta_{M,z} - 0,29 \leq 0,8$ и $\bar{\lambda}_{z,\theta} \leq 1,1$.

Таблица 3.6 Коэффициенты эквивалентного равномерно распределенного момента β_M

| Эпюра моментов | Коэффициент эквивалентного равномерно распределенного момента β_M |
|---|--|
| <p>Опорные изгибающие моменты</p>  <p>M_1 ψM_1 $-1 \leq \psi \leq 1$</p> | $\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi$ |
| <p>Изгибающие моменты в результате действия поперечных нагрузок, приложенных в одной плоскости</p>  <p>M_0 M_0</p> | $\beta_{M,Q} = 1,3$ $\beta_{M,Q} = 1,4$ |
| <p>Изгибающие моменты от совместного действия нагрузок в плоскости и на опорах</p>  <p>M_1 M_0 ΔM M_0 ΔM M_0 ΔM M_0 ΔM</p> | $\beta_M = \beta_{M,\psi} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{M,Q} - \beta_{M,\psi})$ <p>$M_Q = \max M$ только от поперечной нагрузки в плоскости</p> $\Delta M \begin{cases} \max M \text{ при эпюре моментов без знакопеременности} \\ \max M + \min M \text{ при знакопеременной эпюре моментов} \end{cases}$ |

3.1.8 Рабочие примеры

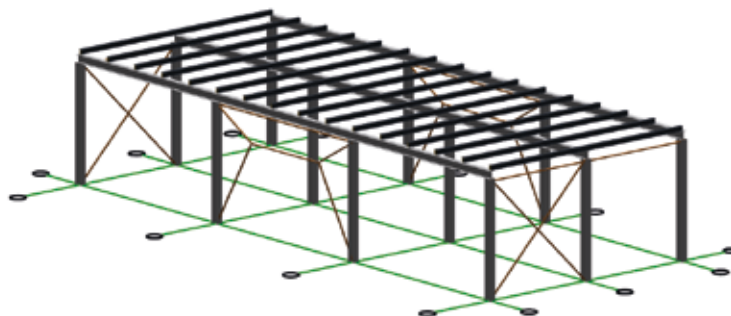
Данные примеры **не являются** типовыми решениями. Конструктивные схемы были выбраны таким образом, чтобы максимально продемонстрировать весь диапазон расчетных ситуаций.

3.1.8.1 Расчет центрально сжатых элементов, подверженных потере устойчивости

Рассматриваемый каркас представляет собой балочную клетку, которая располагается внутри объема существующего здания.

Подобные конструкции используют в промышленном строительстве для размещения технологического оборудования при организации производственных процессов в нескольких уровнях, а также в гражданском строительстве с целью организации антресольных этажей. В данном примере считается, что балочная клетка предназначена для складирования по всей площади негорючих упакованных материалов в таре.

Колонны и главные балки в каркасе приняты из сварных профилей, составленных из листов; второстепенные балки приняты из прокатных двутавров, а элементы связей – из труб. В данном примере рассмотрена центрально сжатая колонна, которая находится на пересечении осей «Б» и «2». Высота колонны 4,65 м.

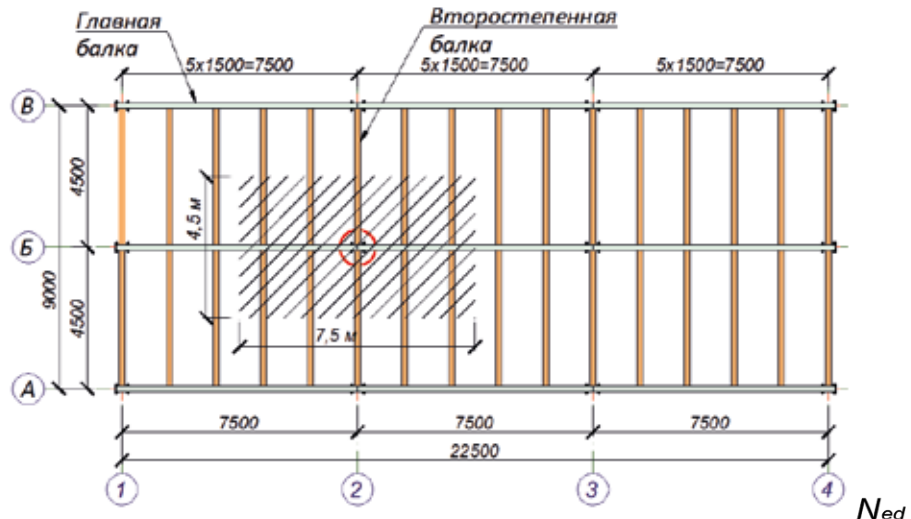


Пример 6.1.4
Публикации УЦСС-006-14

Таблица 3.1
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-1

4.2.3.2(1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

2.4.2(2)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2



1. Суммарное расчетное значение нагрузки на колонну:

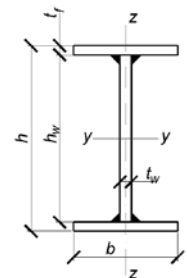
$$N_{ed} = 307,7 \text{ кН.}$$

2. Характеристики сечения колонны:

Колонна принята из стали S235. При предварительной максимальной толщине элементов сечения колонны $t \leq 40$ мм предел текучести равен $f_y = 235 \text{ Н/мм}^2$.

3. Предварительно принимаем колонну следующего сечения:

| | |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Высота поперечного сечения | $h = 300 \text{ мм}$ |
| Ширина поперечного сечения | $b = 200 \text{ мм}$ |
| Высота стенки | $h_w = 276 \text{ мм}$ |
| Толщина стенки | $t_w = 10 \text{ мм}$ |
| Толщина полки | $t_f = 12 \text{ мм}$ |
| Площадь поперечного сечения колонны | $A = 75,6 \text{ см}^2$ |



Согласно публикации УЦСС-006-14 “Примеры расчета стальных конструкций зданий в соответствии с Еврокодом 3 и национальными приложениями Украины”, данное сечение колонны при нормальной температуре окружающей среды относится к 1-му Классу.

4. Расчетная несущая способность по потере устойчивости в форме продольного изгиба $N_{b,fi,t,Rd}$ колонны при равномерном распределении температуры θ_a в момент времени t определяется по формуле:

$$N_{b,fi,t,Rd} = \frac{\chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}}$$

где:

χ_{fi} – понижающий коэффициент для соответствующей кривой потери устойчивости в условиях пожара;

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при достижении сталью температуры θ_a в момент времени t .

5. Расчетная нагрузка в условиях пожара:

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

где:

E_d – расчетное значение соответствующей силы или момента при нормальной температуре, для основных сочетаний воздействий согласно ДСТУ-Н Б EN 1990; в рассматриваемом случае $E_d = N_{ed}$;

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения в условиях пожара;

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,l}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,l} Q_{k,l}},$$

где:

$Q_{k,l}$ – характеристическое значение преобладающего или главного (первого) переменного воздействия;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

γ_G – частный коэффициент надежности для постоянных воздействий;

$\gamma_{Q,l}$ – частный коэффициент надежности для первого переменного воздействия;

ψ_{fi} – коэффициент сочетания воздействий, принимается равным $\psi_{2,l}$ (см. Таблицу 3.2.).

Таким образом, согласно примеру 5.1.4 публикации УЦСС-006-14:

$$Q_{k,l} = 4,9 \cdot 4,5 \cdot 7,5 = 165,375 \text{ кН};$$

$$G_k = 1,02 \cdot 4,5 \cdot 7,5 \text{ (вес настила)} + (10 \cdot 0,81225 \div 2 + 2 \cdot 7,67 \div 2) \text{ (вес балок перекрытия)} = 46,16 \text{ кН};$$

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_{Q,l} = 1,5;$$

$$\psi_{fi} = \psi_2 = 0,8 \text{ (для складских площадей).}$$

Понижающий коэффициент:

$$\eta_{fi} = \frac{46,16 + 0,8 \cdot 165,375}{1,35 \cdot 46,16 + 1,5 \cdot 165,375} = 0,575.$$

Таким образом, расчетная нагрузка в условиях пожара:

$$E_{fi,d} = N_{fi,d} = 0,575 \cdot 307,7 = 176,9 \text{ кН.}$$

6. Несмотря на то, что сечение колонны при нормальной температуре относится к 1-му Классу, в условиях повышенной температуры оно может переходить в другие классы, поскольку

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,85 \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,85.$$

Для полки:

Свес полки:

$$c = \frac{b - t_w - 2k_f}{2} = \frac{200 - 10 - 2 \cdot 6}{2} = 89 \text{ мм},$$

где k_f - минимальное значение катета сварного шва колонны.

$$c/t_f = 89/12 = 7,42.$$

Предельное соотношение свеса полки к толщине для 1-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,85 = 7,65.$$

Проверяем условие:

$$7,42 < 7,65.$$

Таким образом, полка поперечного сечения колонны относится к 1-му Классу.

Для стенки:

При сжатии:

$$c = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot k_f = 300 - 2 \cdot 12 - 2 \cdot 6 = 264 \text{ мм.}$$

$$c/t_w = 264/10 = 26,4.$$

Предельное соотношение высоты стенки к толщине для 1-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon = 33 \times 0,85 = 28,1.$$

Проверяем условие:

$$26,4 < 28,1.$$

Условие выполняется, следовательно, стенка относится к 1-му Классу.

Таким образом, даже при воздействии повышенной температуры сечение колонны относится к 1-му Классу.

7. Определяем коэффициент устойчивости χ_{fi} :

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\varphi_{\theta} + \sqrt{\varphi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}},$$

где:

$$\varphi_{\theta} = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \lambda_{\theta}^2 \right];$$

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

Условная гибкость колонны $\bar{\lambda}$ (при нормальной температуре окружающей среды) определяется из выражения:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1},$$

где:

L_{cr} – расчетная длина в рассматриваемой плоскости, $L_{cr} = 4,65$ м;

i – радиус инерции относительно рассматриваемой оси, определяемый для сечения брутто;

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 93,9\varepsilon = 93,9 \sqrt{\frac{235}{235}} = 93,9.$$

Для данного сечения $i_z = 46$ мм, тогда

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{4650}{46} \cdot \frac{1}{93,9} = 1,07.$$

Условная гибкость $\bar{\lambda}$ при достижении температуры стали θ_a принимается равной:

$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \sqrt{\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}}}.$$

Определяем относительную гибкость и коэффициент χ_{fi} соответственно при температурах 400, 500, 600, 700 и 800 °С:

4.2.3.2
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

| Температура стали θ_a , °С | $k_{y,\theta}$ | $k_{E,\theta}$ | λ_{θ} | φ_{θ} | χ_{fi} |
|-----------------------------------|----------------|----------------|--------------------|--------------------|-------------|
| 400 | 1,0 | 0,7 | 1,28 | 1,73 | 0,3444 |
| 500 | 0,78 | 0,6 | 1,22 | 1,64 | 0,3652 |
| 600 | 0,47 | 0,31 | 1,32 | 1,796 | 0,3315 |
| 700 | 0,23 | 0,13 | 1,42 | 1,98 | 0,299 |
| 800 | 0,11 | 0,09 | 1,18 | 1,58 | 0,3791 |

8. Определяем критическую температуру θ_{cr} , °С, при которой расчетное значение несущей способности падает ниже уровня действующих усилий (в данном случае это $E_{fi,d} = N_{fi,d} = 176,9$ кН).

$$N_{b,fi,Rd} = \frac{\chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y}{\gamma_{M,fi}},$$

где:

$\gamma_{M,fi}$ – коэффициент надежности для материала во время пожара, $\gamma_{M,fi} = 1,0$;

4.2.3.2(1)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

A - площадь поперечного сечения колонны, A=75,6 см².

| Температура стали $\Theta_a, ^\circ\text{C}$ | χ_{fi} | $N_{b,fi,t,Rd}$ |
|--|-------------|-----------------|
| 400 | 0,3444 | 611,87 |
| 500 | 0,3652 | 506,17 |
| 600 | 0,3315 | 276,78 |
| 700 | 0,299 | 122,15 |
| 800 | 0,3791 | 74,09 |

Методом интерполяции определяем **критическую температуру для колонны** при расчетной нагрузке в условиях пожара $E_{fi,d} = N_{fi,d} = 176,9$ кН:

$$\theta_{cr} = 600 + \frac{176,9 - 276,78}{122,15 - 276,78} \cdot \frac{700 - 600}{1} = \mathbf{664,6^\circ\text{C}}.$$

9. В качестве альтернативы можно определить **критическую температуру** упрощенным способом, используя Таблицу 3.3 данной публикации.

При равномерном распределении температуры θ_a и с учетом того, что $\gamma_{M,fi} = 1,0$, $N_{fi,\theta,Rd}$ определяется по формуле:

$$N_{b,fi,Rd} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta} \cdot f_y = f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} \cdot A,$$

где:

A - площадь поперечного сечения, A = 75,6 см²;

$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ – это предельное напряжение потери устойчивости для заданной температуры стали Θ_a при условной гибкости $\bar{\lambda}$

$$f'_{y,\theta,\bar{\lambda}} = \chi_{fi} \cdot A \cdot k_{y,\theta}.$$

Для рассматриваемого сечения

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{Af_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{4650}{46} \cdot \frac{1}{93,9} = 1,07.$$

Тогда, используя Таблицу 3.3 (сталь S235), методом интерполяции получим:

| Температура стали $\Theta_a, ^\circ\text{C}$ | $f'_{y,\theta,\bar{\lambda}}$ | A | $N_{b,fi,t,Rd}$ |
|--|-------------------------------|----------------------|-----------------|
| 400 | 82,3 | 75,6 см ² | 622,12 |
| 500 | 68,43 | | 517,33 |
| 600 | 37,14 | | 280,78 |
| 700 | 16,86 | | 127,46 |
| 800 | 9,86 | | 74,54 |

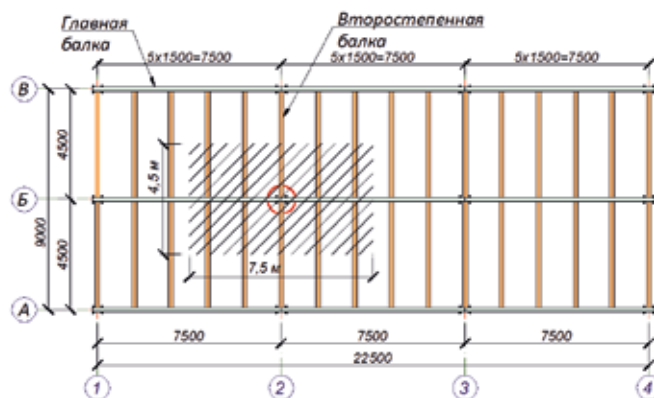
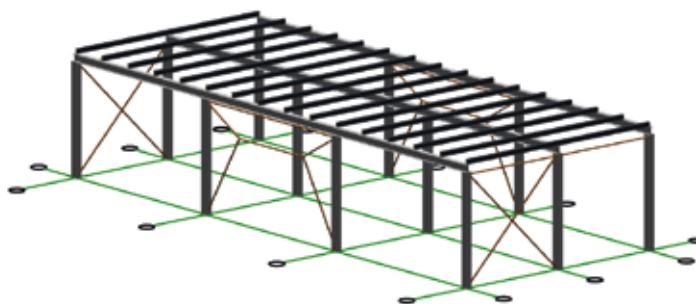
Далее, методом интерполяции определяем критическую температуру для колонны при расчетной нагрузке при пожаре $E_{fi,d} = N_{fi,d} = 176,9$ кН:

$$\theta_{cr} = 600 + \frac{176,9 - 280,78}{127,46 - 280,78} \cdot \frac{700 - 600}{1} = \mathbf{667,75^\circ\text{C}}.$$

Как видим, погрешность вычислений по таблицам незначительна.

3.1.8.2 Расчет изгибаемых элементов, подверженных потере устойчивости

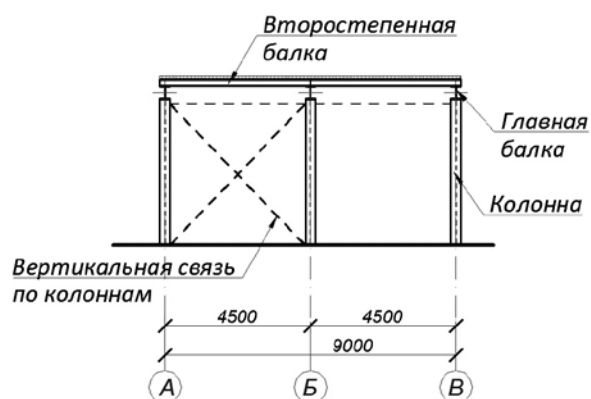
Рассмотрим главную балку, расположенную по оси «Б» в осях «2»-«3». Принято, что балка шарнирно закреплена на колоннах, и ее верхний пояс не является раскрепленным из плоскости, так как второстепенные балки опираются поэтажно. Пролет главной балки составляет L = 7,5 м, а шаг – 4,5 м.



Разрез 1-1

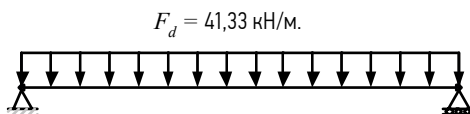


Разрез 2-2



1. Суммарная погонная расчетная нагрузка на главную балку:

$$F_d = 41,33 \text{ кН/м.}$$



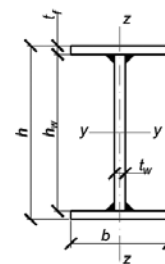
2. Максимальный изгибающий момент в главной балке при равномерно распределенной нагрузке находится в середине пролета:

$$M_{y,ED} = \frac{F_d L^2}{8} = \frac{41,33 \cdot 7,5^2}{8} = 290,6 \text{ кНм.}$$

3. Принимаем балку из стали S 235. При предварительной максимальной толщине сечения элемента $t \leq 40$ мм предел текучести для выбранной стали равен $f_y = 235$ Н/мм².

4. Принимаем сварную балку, составленную из листов следующих размеров:

| | |
|-----------------------------------|---------------------------|
| Высота поперечного сечения | h= 400 мм |
| Ширина поперечного сечения | b = 300 мм |
| Высота стенки | h _w = 368 мм |
| Толщина стенки | t _w = 10 мм |
| Толщина полки | t _f = 16 мм |
| Площадь поперечного сечения балки | A = 132,8 см ² |



Примечание. Согласно публикации УЦСС-006-14 (Пример 5.1.3), сечение балки при нормальной температуре окружающей среды относится к 1-му Классу.

5. Расчетная нагрузка в условиях пожара:

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

где:

E_d – расчетное значение соответствующей силы или момента при нормальной температуре, для основных сочетаний воздействий согласно ДСТУ-Н Б EN 1990; в данном случае $E_d = M_{Ed}$;

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения в условиях пожара;

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}},$$

где:

$Q_{k,1}$ – характеристическое значение преобладающего или главного (первого) переменного воздействия;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

γ_G – частный коэффициент надежности для постоянных воздействий;

$\gamma_{Q,1}$ – частный коэффициент надежности для первого переменного воздействия;

ψ_{fi} – коэффициент сочетания воздействий, принимается равным $\psi_{2,1}$ (см. Таблицу 3.2).

Таким образом:

$$Q_{k,1} = 4,9 \text{ кН/м}^2;$$

$$G_k = 1,02 \text{ (вес покрытия)} + 0,483 \text{ (вес балок перекрытия)} = 1,503 \text{ кН/м}^2;$$

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5;$$

$$\psi_{fi} = \psi_2 = 0,8 \text{ (для складских площадей).}$$

4.2.2
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

Понижающий коэффициент:

$$\eta_{fi} = \frac{1,053 + 0,8 \cdot 4,9}{1,35 \cdot 1,053 + 1,5 \cdot 4,9} = 0,57.$$

Следовательно, расчетная нагрузка в условиях пожара:

$$E_{fi,d} = M_{fi,d} = 0,57 \cdot 290,6 = 165,64 \text{ кНм.}$$

6. Несмотря на то, что сечение балки при нормальной температуре относится к 1-му Классу, в условиях повышенной температуры оно может переходить в другие классы, поскольку

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,85 \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,85.$$

Для полки:

Свес полки:

$$c = \frac{b - t_w - 2k_t}{2} = \frac{300 - 10 - 2 \cdot 6}{2} = 139 \text{ мм,}$$

где k_t - минимальное значение катета сварного шва балки.

$$\frac{c}{t_f} = \frac{139}{16} = 8,69$$

Предельное соотношение ширины полки к толщине для 1-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,85 = 7,65.$$

Проверяем условие:

$$8,69 > 7,65.$$

Условие выполняется, таким образом, полка поперечного сечения балки не относится к 1-му Классу.

Предельное соотношение ширины полки к толщине для 2-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t} \leq 10\varepsilon = 10 \cdot 0,85 = 8,5.$$

Проверяем условие:

$$8,69 > 8,5.$$

Следовательно, полка поперечного сечения балки не относится к 2-му Классу.

Предельное соотношение ширины полки к толщине для 3-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t} \leq 14\varepsilon = 14 \cdot 0,85 = 11,9.$$

Проверяем условие:

$$8,69 < 11,9.$$

Таким образом, полка поперечного сечения балки относится к 3-му Классу.

Для стенки:

При чистом изгибе:

$$c = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot k_f = 400 - 2 \cdot 16 - 2 \cdot 6 = 356 \text{ мм.}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{356}{10} = 35,6$$

Предельное соотношение высоты стенки к толщине для 1-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,85 = 61,2.$$

Проверяем условие:

$$35,6 < 61,2.$$

Следовательно, стенка при чистом изгибе относится к 1-му Классу.

Таким образом, при воздействии повышенной температуры сечение балки относится к **3-му Классу**.

7. Несущая способность поперечного сечения балки на изгиб при равномерно распределенной температуре θ_a определяется по формуле:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,max} M_{Rd} \frac{\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi}}{k_1 k_2},$$

где:

4.2.3.3(7)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

k_1 – поправочный коэффициент для учета неравномерного распределения температуры по ширине поперечного сечения; $k_1 = 1,0$ (для незащищенных балок, подвергающихся огневому воздействию с трех сторон и имеющих композитную или бетонную плиту с четвертой стороны, данный коэффициент $k_1 = 0,7$);

4.2.3.3(8)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

k_2 – поправочный коэффициент для учета неравномерного распределения температуры по длине балки; $k_2 = 1,0$;

M_{Rd} – соответствующая несущая способность сечения брутто по прочности при нормальной температуре, определяемая следующим образом:

$M_{Rd} = M_{el,Rd}$ для сечений Класса 3 в упругой стадии соответственно без учета или с учетом влияния перерезывающего усилия (при $V_{Ed} \geq 0,5V_{Rd}$)

$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} = \frac{1972,622 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-3} = 463,67 \text{ кНм};$$

Таблица 3.1
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при достижении стальной температуры θ_a в момент времени t , см. п. 2.4.1.1;

частный коэффициент надежности по несущей способности при температуре окружающей среды $\lambda_{M,0} = 1,0$;

частный коэффициент надежности по материалу при повышенной температуре $\lambda_{M,fi} = 1,0$.

8. Определяем критическую температуру θ_{cr} , °С, при которой расчетное значение несущей способности $M_{fi,\theta,Rd}$ падает ниже уровня действующих усилий (в данном случае это $E_{fi,d} = M_{fi,d} = 165,64 \text{ кНм}$).

| Температура стали θ_a , °С | $k_{y,\theta}$ | $M_{fi,\theta,Rd}$ |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|
| 400 | 1,0 | 662,39 |
| 500 | 0,78 | 516,66 |
| 600 | 0,47 | 311,31 |
| 700 | 0,23 | 152,34 |
| 800 | 0,11 | 72,86 |

Методом интерполяции определяем критическую температуру для балки для расчетного усилия при пожаре $E_{fi,d} = M_{fi,d} = 165,64 \text{ кНм}$:

$$\theta_{cr} = 600 + \frac{165,64 - 311,31}{152,34 - 311,31} \cdot \frac{700 - 600}{1} = \mathbf{691,63^\circ\text{C}}.$$

9. Расчетная несущая способность по потере устойчивости плоской формы изгиба балки в момент времени t определяется по формуле:

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

где:

W_y – соответствующий момент сопротивления сечения, $W_y = W_{el,y} = 1972,622 \text{ см}^3$ для сечения балки (3 Класс сечения);

$\chi_{LT,fi}$ – понижающий коэффициент для потери устойчивости плоской формы изгиба в условиях пожара;

значение коэффициента устойчивости $\chi_{LT,fi}$ определяется в соответствии со следующей зависимостью:

$$\chi_{LT,\theta} = \frac{1}{\Phi_{LT,\theta} + \sqrt{(\Phi_{LT,\theta})^2 - (\bar{\lambda}_{LT,\theta})^2}},$$

где:

$$\Phi_{LT,\theta} = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_{LT,\theta} + (\bar{\lambda}_{LT,\theta})^2 \right];$$

$$\bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right]^{0,5},$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = 0,93;$$

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

Таким образом, определяем относительную гибкость и коэффициент χ_{fi} соответственно при температурах 400, 500, 600, 700 и 800°C:

| Температура стали $\theta_a, ^\circ\text{C}$ | $k_{y,\theta}$ | $k_{E,\theta}$ | $\lambda_{LT,\theta}$ | Φ_θ | χ_{fi} |
|--|----------------|----------------|-----------------------|---------------|-------------|
| 400 | 1,0 | 0,7 | 1,11 | 1,48 | 0,41 |
| 500 | 0,78 | 0,6 | 1,06 | 1,41 | 0,43 |
| 600 | 0,47 | 0,31 | 1,15 | 1,53 | 0,39 |
| 700 | 0,23 | 0,13 | 1,23 | 1,67 | 0,36 |
| 800 | 0,11 | 0,09 | 1,03 | 1,36 | 0,44 |

10. Определяем критическую температуру θ_{cr} , °C, при которой расчетное значение несущей способности $M_{b,fi,t,Rd}$ падает ниже уровня действующих усилий (в данном случае это $E_{fi,d} = M_{fi,d} = 165,64$ кНм).

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

где:

$\gamma_{M,fi}$ – коэффициент надежности для материала во время пожара, $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

2.3(1)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

| Температура стали $\theta_a, ^\circ\text{C}$ | χ_{fi} | $M_{b,fi,t,Rd}$ |
|--|-------------|-----------------|
| 400 | 0,41 | 188,84 |
| 500 | 0,43 | 155,1 |
| 600 | 0,39 | 85,8 |
| 700 | 0,36 | 38,3 |
| 800 | 0,44 | 22,6 |

Методом интерполяции определяем критическую температуру для балки при расчетном усилии в условиях пожара $E_{fi,d} = M_{fi,d} = 165,64$ кНм:

$$\theta_{cr} = 400 + \frac{165,64 - 188,84}{155,1 - 188,84} \cdot \frac{500 - 400}{1} = 468,8^\circ\text{C}.$$

Принимаем худшее из двух значений. Следовательно, **критическая температура для балки равна $\theta_{cr} = 468,8^\circ\text{C}$.**

3.1.8.3 Расчет сжато-изогнутых и внецентренно сжатых элементов, подверженных потере устойчивости

В данном примере колонна рамного поперечника здания с шарнирным опиранием сверху ферм покрытия. Шаг рам из плоскости составляет 6 м. Колонна в составе рамы здания работает как сжато-изогнутая, поскольку воспринимает ветровую нагрузку, приводящую к появлению изгибающих моментов. Принято также, что сечение работает только в пределах упругой стадии.

Пример 5.2.3
Публикация УЦСС-
006-14

Рассматриваемое сечение колонны имеет главную ось у-у и второстепенную - z-z. При геометрической высоте колонны $l_{ef,y} = 700$ см ее расчетная длина в плоскости рамы будет составлять:

$$L_{cr,y} = \mu \cdot l_{ef,y} = 700 \cdot 2 = 1400 \text{ см.}$$

Здесь коэффициент расчетной длины принято ориентировочно $\mu = 2$, учитывая жесткое закрепление колонны в базе и шарнирное присоединение фермы на оголовке, которое не обеспечивает закрепление от смещения верха. В реальном проектировании коэффициенты расчетной длины подлежат уточнению согласно подобранным жесткостным параметрам и реальным условиям закрепления элементов.

Принято, что из плоскости колонна надежно раскреплена системой связей, и усилия в этом направлении в ней не возникают. Связи из плоскости поставлены с шагом 3,5 м, а коэффициент расчетной длины участков между точками раскрепления составляет $\mu = 1$.

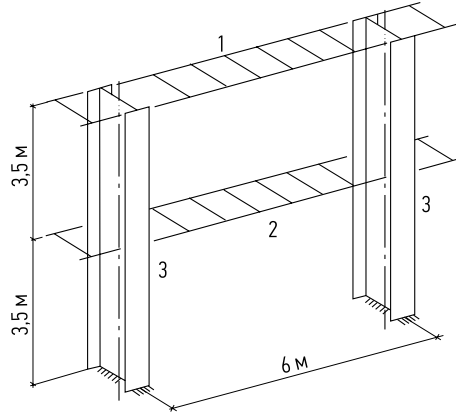
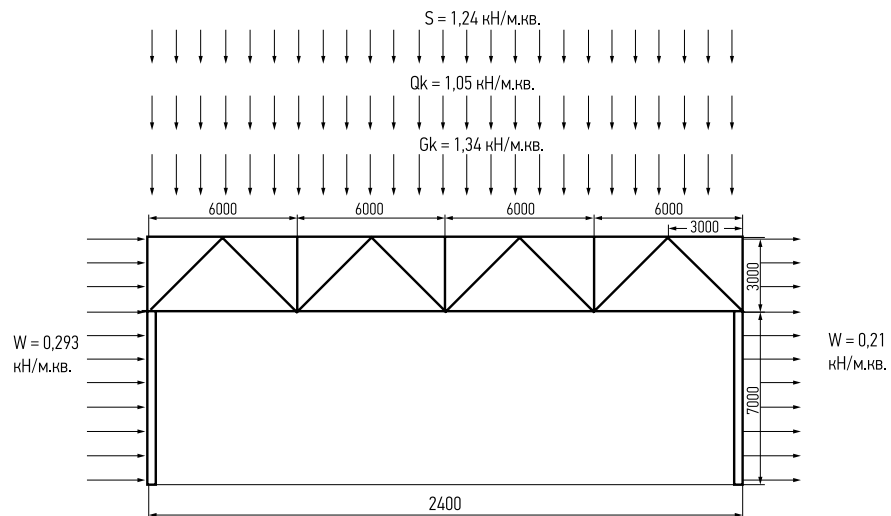
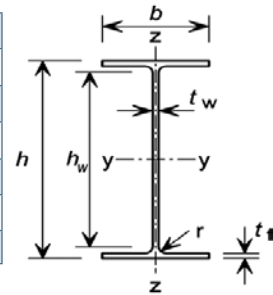


Схема раскрепления колонн из плоскости: 1 - горизонтальные связи по верху колонн; 2 - промежуточные горизонтальные связи раскрепления из плоскости; 3 - колонны.

1. Сечение колонны - двутавр № 50, по сортаменту ГОСТ 8239-89, который имеет следующие геометрические характеристики:

| | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| $A = 100,0 \text{ см}^2$ | $i_z = 3,23 \text{ см}$ |
| $I_y = 39\,727 \text{ см}^4$ | $t_w = 10,0 \text{ мм}$ |
| $I_z = 1\,043 \text{ см}^4$ | $t_f = 15,2 \text{ мм}$ |
| $W_y = 1\,589 \text{ см}^3$ | $r = 17,0 \text{ мм}$ |
| $W_z = 123 \text{ см}^3$ | $h = 500,0 \text{ мм}$ |
| $W_{pl,y} = 1\,852,8 \text{ см}^3$ | $h_w = h - 2t_f = 469,6 \text{ мм}$ |
| $i_y = 19, \text{ см}$ | $b = 170 \text{ мм}$ |



| Расчетная схема поперечника здания | | | | | | |
|------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------|--------|---------|---------------|--|
| | Собственный вес G_k | Полезная нагрузка (переменная) Q_k | Снег S | Ветер W | Сочетание | Формула |
| M | 7,3 | 5,7 | 6,8 | 68,4 | 131,2 | $G_k \cdot 1,35 + (Q_k + S + W) \cdot 1,5$ |
| N | -110,6 | -77,1 | -91 | -0,6 | -402,4 | $G_k \cdot 1,35 + (Q_k + S + W) \cdot 1,5$ |
| Q | -1 | -0,8 | -1 | -14,3 | -25,5 | $G_k \cdot 1,35 + (Q_k + S + W) \cdot 1,5$ |

Следовательно, принимаем в расчет левую колонну, в которой возникают большие, чем в правой, усилия по результатам сочетаний.

Согласно публикации УЦСС-006-14 (Пример 5.1.3), сечение колонны при нормальной температуре окружающей среды относится к 1-му Классу.

2. Расчетная нагрузка в условиях пожара:

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

где:

E_d – расчетное значение соответствующей силы или момента при нормальной температуре, для основных сочетаний воздействий согласно ДСТУ-Н Б EN 1990; в данном случае $E_d = M_{Ed}$ и $E_d = N_{Ed}$;

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения в условиях пожара

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,1}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,1} Q_{k,1}},$$

где:

$Q_{k,1}$ – характеристическое значение преобладающего или главного (первого) переменного воздействия;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

γ_G – частный коэффициент надежности для постоянных воздействий;

$\gamma_{Q,1}$ – частный коэффициент надежности для первого переменного воздействия;

ψ_{fi} – коэффициент сочетания воздействий, принимается равным $\psi_{2,1}$ (см. Таблицу 3.2).

Таким образом:

$$Q_{k,1} = 91 \text{ кН};$$

$$G_k = 110,6 \text{ кН};$$

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5;$$

$$\psi_{fi} = \psi_2 = 0,8 \text{ (для складских площадей).}$$

Понижающий коэффициент:

$$\eta_{fi} = \frac{110,6 + 0,8 \cdot 91}{1,35 \cdot 110,6 + 1,5 \cdot 91} = 0,64.$$

Таким образом, расчетная нагрузка в условиях пожара:

$$N_{fi,d} = 0,64 \cdot 402,4 = 257,54 \text{ кН};$$

$$M_{fi,d} = 0,64 \cdot 131,2 = 83,97 \text{ кНм}.$$

3. Несмотря на то, что сечение колонны при нормальной температуре относится к 1-му классу, в условиях повышенной температуры оно может переходить в другие классы, поскольку

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,85 \sqrt{\frac{235}{270}} = 0,793.$$

2.4.2(2)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

2.4.2(3)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

4.2.2
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

Колонна принята из стали С275, для которой при номинальной толщине элемента $t \leq 40$ мм предел текучести равен: $f_y = 270$ Н/мм².

Для рассматриваемого двутавра имеем:

Для стенки:

$$c = d = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot r = 500 - 2 \cdot 15,2 - 2 \cdot 17 = 435,6 \text{ мм.}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{435,6}{10} = 43,56.$$

В данном случае относительная высота сжатой зоны стенки $\alpha = 0,7$.

Для 1-го класса поперечных сечений имеем:

$$\frac{c}{t_w} \leq 396 \varepsilon / (13\alpha - 1);$$

$$396 \varepsilon / (13\alpha - 1) = 38,8.$$

Проверяем условие:

$$43,56 > 38,8.$$

Для 2-го класса поперечных сечений:

$$\frac{c}{t_w} \leq 456 \varepsilon / (13\alpha - 1) = 44,6.$$

Проверяем условие:

$$43,56 < 44,6.$$

Для полки:

$$c = (b - t_w) / 2 - r = (170 - 10) / 2 - 17 = 63,0.$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{63,0}{15,2} = 4,14,$$

$$\frac{c}{t_f} \leq 9 \varepsilon = 7,1$$

Проверяем условие:

$$4,14 < 7,1.$$

Таким образом, при воздействии повышенной температуры данное сечение колонны относится к **2-му Классу**.

4. Определяем гибкость сечения при температуре окружающей среды:

$$\bar{\lambda} = \lambda \cdot [f_y / E]^{0,5} \cdot \frac{[\beta_A]^{0,5}}{\pi},$$

где $\beta_A = A_{eff} / A = 1$ для поперечных сечений Классов 1, 2 или 3;

в плоскости

$$\lambda_y = 1400 / 19,9 = 70,35;$$

из плоскости

$$\lambda_z = 350 / 3,23 = 108,36.$$

Отсюда:

в плоскости

$$\bar{\lambda}_y = 70,35 \cdot [270 / 206000]^{0,5} \cdot \frac{[1]^{0,5}}{\pi} = 0,81;$$

из плоскости

$$\bar{\lambda}_z = 108,36 \cdot [270 / 206000]^{0,5} \cdot \frac{[1]^{0,5}}{\pi} = 1,27.$$

4.2.3.5
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

5. Расчетная несущая способность по прочности и устойчивости колонны в момент времени t определяется по формулам:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_z k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0;$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT} W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_z M_{z,fi,Ed}}{W_z k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0,$$

где:

W_y и W_z – соответствующие моменты сопротивления сечения;

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при достижении температуры стали θ_a в момент времени t .

Для сечения, которое работает только в пределах упругой стадии:

$$W_y = W_{el,y} = 1\,589 \text{ см}^3.$$

Для рассматриваемой колонны изгибающий момент в верхнем сечении стержня (шарнирный узел сопряжения с фермой) равен нулю ($M = 0$ кНм), а момент в жестко заземленной базе колонны является максимальным M_f . Следовательно, коэффициент соотношения моментов $\psi = 0$. Тогда коэффициент учета влияния момента будет равен:

$$\beta_{M,\psi} = 1,8 - 0,7\psi = 1,8.$$

Так как изгиб происходит только в плоскости рамы (относительно оси y - u), то формулы расчетной несущей способности приобретают следующую форму:

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0;$$

$$\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT} W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 1,0,$$

χ_{fi} – понижающий коэффициент потери устойчивости в плоской формы изгиба в условиях пожара.

Значение χ_{fi} определяется согласно следующей зависимости:

$$\chi_n = \frac{1}{\phi_\theta + \sqrt{(\phi_\theta)^2 - (\bar{\lambda}_\theta)^2}},$$

где:

$$\phi_\theta = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_\theta + (\bar{\lambda}_\theta)^2 \right];$$

$$\bar{\lambda}_\theta = \bar{\lambda} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right]^{0,5};$$

$$\alpha = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,65 \cdot \sqrt{\frac{235}{270}} = 0,61.$$

Значение понижающего коэффициента для прокатных сечений при изгибе определяется как:

$$\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta} + \sqrt{(\phi_{LT,\theta})^2 - (\bar{\lambda}_{LT,\theta})^2}}.$$

Условная гибкость $\bar{\lambda}_{LT,\theta} = \bar{\lambda}_{LT} \cdot \left[\frac{k_{y,\theta}}{k_{E,\theta}} \right]^{0,5}$, где $\bar{\lambda}_{LT} = 0,902$.

$$\phi_{LT,\theta} = \frac{1}{2} \left[1 + \alpha \cdot \bar{\lambda}_{LT,\theta} + (\bar{\lambda}_{LT,\theta})^2 \right]$$

4.2.3.3(5)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

5.2.3.3
Публикация
УЦСС-006-14

Для расчета в плоскости рамы принимаем кривую потери устойчивости "b" (поскольку $h/b=500/170=2,94>2$) и, следовательно, коэффициент учета несовершенств $\alpha_{LT}=0,34$.

Отсюда определяем условную гибкость и коэффициент χ_{fi} , χ_{LT} при температурах 300, 400, 500, 600, 700 °С:

| Температура стали θ_a , °С | $k_{y,\theta}$ | $k_{E,\theta}$ | $\lambda_{z,\theta}$ | $\lambda_{y,\theta}$ | $\lambda_{LT,\theta}$ | $\Phi_{z\theta}$ | $\Phi_{y\theta}$ | $\Phi_{LT,\theta}$ | $\chi_{z,fi}$ | $\chi_{y,fi}$ | $\chi_{LT,fi}$ |
|-----------------------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------|------------------|--------------------|---------------|---------------|----------------|
| 300 | 1,0 | 0,8 | 1,52 | 0,97 | 1,08 | 2,12 | 1,26 | 1,41 | 0,28 | 0,48 | 0,43 |
| 400 | 1,0 | 0,7 | 1,45 | 0,92 | 1,03 | 1,99 | 1,21 | 1,34 | 0,30 | 0,50 | 0,45 |
| 500 | 0,78 | 0,6 | 1,56 | 1,00 | 1,11 | 2,20 | 1,30 | 1,46 | 0,27 | 0,47 | 0,42 |
| 600 | 0,47 | 0,31 | 1,69 | 1,08 | 1,2 | 2,44 | 1,41 | 1,59 | 0,24 | 0,43 | 0,38 |
| 700 | 0,23 | 0,13 | 1,40 | 0,90 | 1,00 | 1,91 | 1,17 | 1,30 | 0,31 | 0,52 | 0,47 |

4.2.3.5
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

Определяем коэффициент k_y и k_{LT} :

$$k_{LT} = 1 - \frac{\mu_{LT} N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}$$

при $\mu_{LT} = 0,15 \bar{\lambda}_{z,\theta} \beta_{M,LT} - 0,15 \leq 0,9$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_y N_{fi,Ed}}{\chi_{y,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} \leq 3,$$

при $\mu_y = (1,2\beta_{M,y} - 3) \bar{\lambda}_{y,\theta} + 0,44\beta_{M,y} - 0,29 \leq 0,8$;

частный коэффициент надежности при повышенной температуре $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

Таким образом:

| Температура стали θ_a , °С | μ_{LT} | μ_y | k_{LT} | k_y |
|-----------------------------------|------------|---------|----------|-------|
| 300 | 0,26 | -0,31 | 0,91 | 1,06 |
| 400 | 0,24 | -0,27 | 0,90 | 1,07 |
| 500 | 0,27 | -0,34 | 0,79 | 1,15 |
| 600 | 0,31 | -0,40 | 0,47 | 1,39 |
| 700 | 0,23 | -0,25 | 0,36 | 1,42 |

Зная все необходимые параметры, определяем коэффициенты использования при различных температурах:

| Температура стали θ_a , °С | $\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{min,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_y M_{y,fi,Ed}}{W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}$ | $\frac{N_{fi,Ed}}{\chi_{z,fi} A k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}} + \frac{k_{LT} M_{y,fi,Ed}}{\chi_{LT} W_y k_{y,\theta} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}}$ |
|-----------------------------------|---|--|
| 300 | 0,55<1 | 0,75<1 |
| 400 | 0,68<1 | 0,91>1 |
| 500 | 1,24<1 | 1,55>1 |
| 600 | 2,92>1 | 2,78>1 |
| 700 | 5,31>1 | 4,16>1 |

6. Далее методом интерполяции находим критическую температуру для колонны, при которой коэффициент использования равен единице:

$$\theta_{cr1} = 400 + \frac{1 - 0,68}{1,24 - 0,68} \cdot \frac{500 - 400}{1} = 457,1^\circ\text{C};$$

$$\theta_{cr2} = 400 + \frac{1 - 0,91}{1,24 - 0,91} \cdot \frac{500 - 400}{1} = 414,1^\circ\text{C}.$$

Принимаем худшее значение из двух. Следовательно, **критическая температура для колонны равна $\theta_{cr} = 414,1^\circ\text{C}$.**

3.2 Метод расчета критической температуры

3.2.1 Сфера применения

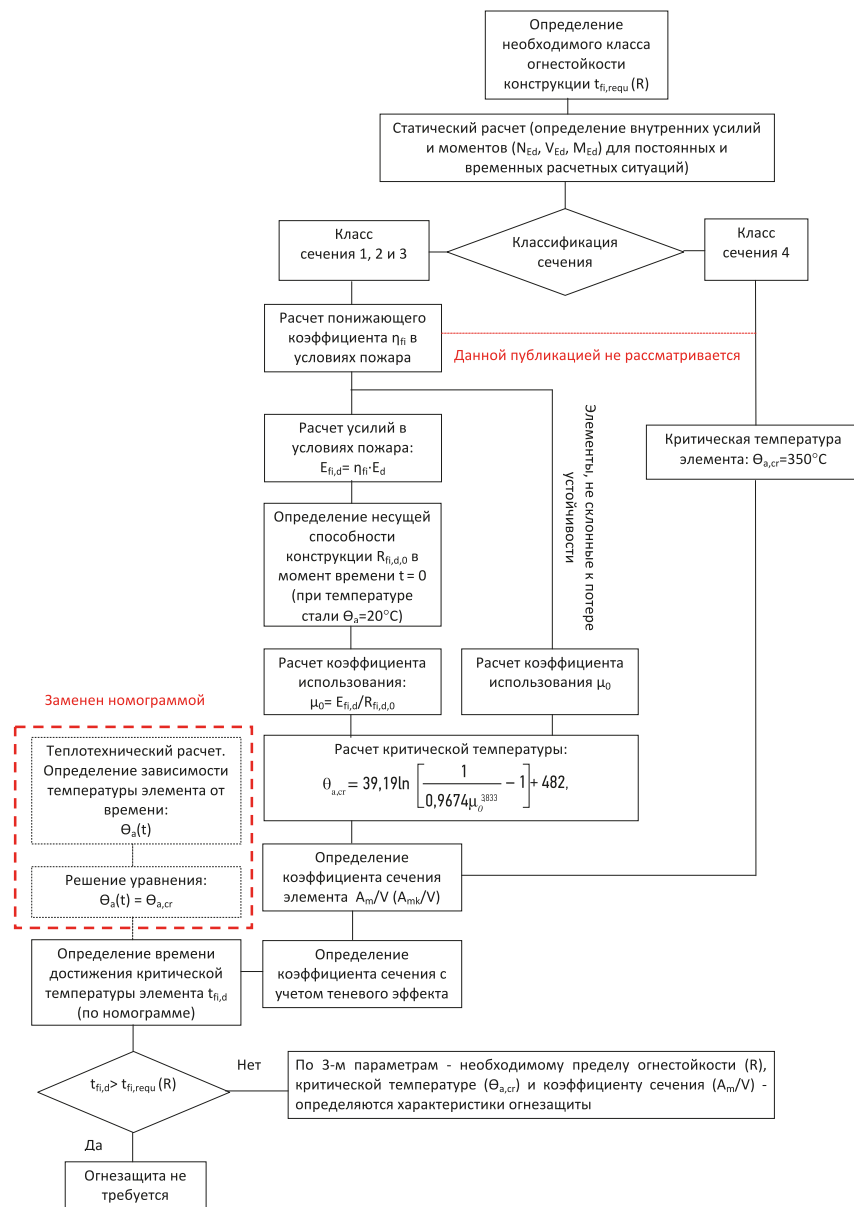
Дополнительно для использования этого метода требуется выполнение следующих условий:

1. Не учитывается критерий деформаций;
2. В конструкции полностью исключена потеря устойчивости.

Эти правила 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.

Для сечений Класса 4 алгоритм также значительно упрощается, поскольку допускается без расчета принимать $\theta_{a,cr} = 350^\circ\text{C}$.

3.2.2 Алгоритм (блок-схема) расчета критической температуры стальных конструкций



Статический расчет – см. Раздел 3.1.3.

Определение понижающего коэффициента для расчета уровня нагружения в условиях пожара $\eta_{fi,t}$ – см. Раздел 3.1.5.

Определение расчетных сочетаний усилий в условиях пожара $E_{fi,d}$ – см. Раздел 3.1.6.

Определение несущей способности элемента $R_{fi,d,0}$ при пожаре в момент времени $t=0$ с – см. Раздел 3.1.7. $R_{fi,d,0}$ определяется при условиях $t=0$ с и $\theta_a=20^\circ\text{C}$, если не указано иное.

3.2.2.1 Определение коэффициента использования μ_0

4.2.4(3)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

- (1) Для конструкций с поперечными сечениями 1, 2 или 3 Класса и для всех растянутых конструкций, у которых не наступает потеря устойчивости, коэффициент использования несущей способности μ_0 может быть определен по формуле:

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

где:

$R_{fi,d,0}$ – значение $R_{fi,d,t}$ в момент времени $t = 0$, в соответствии с Разделом 3.1.7;

$E_{fi,d}$ и $R_{fi,d,t}$ принимаются в соответствии с Разделами 3.1.6 и 3.1.7.

4.2.4(4)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

- (2) Как альтернативный вариант, для растянутых конструкций и для балок, у которых не наступает потеря устойчивости плоской формы изгиба, μ_0 может быть определен по формуле:

$$\mu_0 = \eta_{fi} \left[\frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_{M,0}} \right],$$

где:

η_{fi} – коэффициент, определяемый по Разделу 3.1.5.

4.2.4(2)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

μ_0 принимается не менее 0,013.

По аналогии с методом, указанным в Разделе 3.1, для балок с композитной (сталебетонной) или бетонной плитой на одной из сторон следует учитывать неравномерное распределение температуры введением коэффициентов k_1 и k_2 . Тогда коэффициент использования несущей способности рассчитывают как:

4.2.3.3(3),
4.2.3.4(2)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

$$\mu_0 = k_1 k_2 \frac{M_{fi,d}}{M_{fi,0,Rd}},$$

где коэффициенты k_1 и k_2 принимают значения:

4.2.3.3(7)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

- для **незащищенной** балки, подвергающейся огневому воздействию с трех сторон и композитной (сталебетонной) или бетонной плитой, опирающейся на четвертую сторону балки, $k_1 = 0.7$;

4.2.3.3(8)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

- для **защищенной** балки, подвергающейся огневому воздействию с трех сторон с композитной (сталебетонной) или бетонной плитой на четвертой – $k_1 = 0.85$;

- коэффициент k_2 рекомендуется принимать во всех случаях равным 1.0.

3.2.2.2 Расчет критической температуры

4.2.4(2)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

- (1) За исключением случаев, когда необходимо учитывать критерий деформации или явление устойчивости, критическая температура стали $\theta_{a,cr}$ при равномерном распределении температуры по конструкции, выполненной из углеродистых сталей S235-S460 по ДСТУ EN 10025 и всех марок по ДСТУ EN 10210 и ДСТУ EN 10219, в момент времени t может быть определена на основании коэффициента использования несущей способности μ_0 в момент времени $t = 0$ с использованием следующей формулы:

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

Значения $\theta_{a,cr}$ для заданных значений μ_0 в интервале от 0,16 до 1,00 приведены в Таблице 3.7.

Таблица 3.7 Значения критической температуры стали $\theta_{a,cr}$
в зависимости от коэффициента использования несущей способности μ_0

| μ_0 | $\theta_{a,cr}, ^\circ\text{C}$ | μ_0 | $\theta_{a,cr}, ^\circ\text{C}$ | μ_0 | $\theta_{a,cr}, ^\circ\text{C}$ | μ_0 | $\theta_{a,cr}, ^\circ\text{C}$ | μ_0 | $\theta_{a,cr}, ^\circ\text{C}$ |
|---------|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|---------------------------------|---------|---------------------------------|
| 0,16 | 758,5 | 0,33 | 649,3 | 0,50 | 584,7 | 0,67 | 534,3 | 0,84 | 482,6 |
| 0,17 | 749,4 | 0,34 | 644,7 | 0,51 | 581,5 | 0,68 | 531,5 | 0,85 | 479,0 |
| 0,18 | 740,8 | 0,35 | 640,3 | 0,52 | 578,3 | 0,69 | 528,6 | 0,86 | 475,3 |
| 0,19 | 732,7 | 0,36 | 636,0 | 0,53 | 575,2 | 0,70 | 525,8 | 0,87 | 471,4 |
| 0,20 | 725,0 | 0,37 | 631,8 | 0,54 | 572,1 | 0,71 | 522,9 | 0,88 | 467,3 |
| 0,21 | 717,6 | 0,38 | 627,7 | 0,55 | 569,1 | 0,72 | 520,1 | 0,89 | 463,0 |
| 0,22 | 710,6 | 0,39 | 623,7 | 0,56 | 566,1 | 0,73 | 517,2 | 0,90 | 458,4 |
| 0,23 | 703,9 | 0,40 | 619,8 | 0,57 | 563,1 | 0,74 | 514,3 | 0,91 | 453,5 |
| 0,24 | 697,5 | 0,41 | 616,0 | 0,58 | 560,1 | 0,75 | 511,3 | 0,92 | 448,3 |
| 0,25 | 691,4 | 0,42 | 612,2 | 0,59 | 557,2 | 0,76 | 508,4 | 0,93 | 442,5 |
| 0,26 | 685,4 | 0,43 | 608,6 | 0,60 | 554,3 | 0,77 | 505,4 | 0,94 | 436,1 |
| 0,27 | 679,7 | 0,44 | 605,0 | 0,61 | 551,4 | 0,78 | 502,3 | 0,95 | 428,9 |
| 0,28 | 674,2 | 0,45 | 601,4 | 0,62 | 548,5 | 0,79 | 499,2 | 0,96 | 420,6 |
| 0,29 | 668,9 | 0,46 | 598,0 | 0,63 | 545,7 | 0,80 | 496,1 | 0,97 | 410,6 |
| 0,30 | 663,8 | 0,47 | 594,6 | 0,64 | 542,8 | 0,81 | 492,8 | 0,98 | 397,9 |
| 0,31 | 658,8 | 0,48 | 591,2 | 0,65 | 540,0 | 0,82 | 489,5 | 0,99 | 380,1 |
| 0,32 | 654,0 | 0,49 | 587,9 | 0,66 | 537,1 | 0,83 | 486,1 | 1,00 | 349,1 |

3.2.3 Рабочие примеры

3.2.3.1 Расчет растянутых элементов

Пример 5.2.2
Публикация
УЦСС-006-14

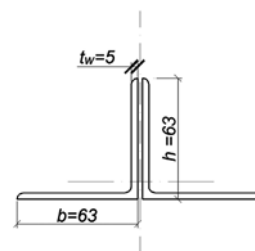
В данном примере рассмотрим растянутый элемент фермы - раскос.

$N_{Ed} = 326\text{кН}$ – расчетное усилие в растянутом раскосе;

$t_\phi = 14\text{ мм}$ - толщина фасонки;

$l_{ef,x} = 435\text{ см}$ – расчетная длина в плоскости фермы;

$l_{ef,y} = 435\text{ см}$ – расчетная длина вне плоскости фермы.



Раскос принят из спаренных горячекатаных равнополочных уголков согласно сортаменту ГОСТ 8509-93: 2шт 63×5 мм.

1. Геометрические характеристики одного уголка:

$A = 6,13\text{ см}^2$;

$i_x = 1,94\text{ см}$;

$i_y = 3,12\text{ см}$.

2. Расчетная нагрузка в условиях пожара:

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

где:

E_d – расчетное значение соответствующего усилия или момента при нормальной температуре, для основных сочетаний воздействий согласно ДСТУ-Н Б EN 1990. В данном случае $E_d = N_{Ed}$;

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения в условиях пожара

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,l}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,l} Q_{k,l}},$$

2.4.2(2)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

2.4.2(3)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

где:

$Q_{k,l}$ – характеристическое значение преобладающего или главного (первого) переменного воздействия;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

γ_G – частный коэффициент надежности для постоянных воздействий;

$\gamma_{Q,l}$ – частный коэффициент надежности для первого переменного воздействия;

ψ_{fi} – коэффициент сочетания воздействий, принимается равным $\psi_{2,l}$ (см. Таблицу 3.2).

Таким образом:

$$Q_{k,l} = 1,24 \text{ кН/м}^2;$$

$$G_k = 1,34 \text{ кН/м}^2;$$

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_{Q,l} = 1,5;$$

$$\psi_{fi} = \psi_2 = 0,8 \text{ (для складских площадей).}$$

Понижающий коэффициент:

$$\eta_{fi} = \frac{1,34 + 0,8 \cdot 1,24}{1,35 \cdot 1,34 + 1,5 \cdot 1,24} = 0,64.$$

Следовательно, расчетное усилие в условиях пожара:

$$E_{fi,d} = 0,64 \cdot 326 = 208,64 \text{ кН.}$$

3. Критическая температура стали $\theta_{a,cr}$ при равномерном распределении температуры в раскосе в момент времени t может быть определена на основании коэффициента использования несущей способности μ_0 в момент времени $t = 0$ с использованием следующей формулы:

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

где коэффициент использования несущей способности μ_0 определяется следующим образом:

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

где:

$R_{fi,d,0}$ – значение расчетной несущей способности $R_{fi,d,t}$ в момент времени $t = 0$ (то есть расчетная несущая способность на растяжение до повышения температуры), $R_{fi,d,0} = N_{fi,d,0}$;

$E_{fi,d}$ – расчетное усилие в условиях пожара $E_{fi,d} = N_{fi,d} = 208,64 \text{ кН}$.

$$N_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} \frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}},$$

где:

N_{Rd} – расчетная несущая способность поперечного сечения $N_{pl,Rd}$ при нормальной температуре

$$N_{Rd} = N_{pl,Rd} = 2 \frac{A f_y}{\gamma_{MO}} = 331,02 \text{ кН};$$

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при температуре окружающей среды $\theta_a = 20^\circ\text{C}$ в момент времени $t=0$, $k_{y,\theta} = 1,0$;

частный коэффициент надежности по несущей способности при нормальной температуре $\gamma_{MO} = 1,0$;

частный коэффициент надежности по материалу в условиях пожара $\gamma_{M,fi} = 1,0$.

4.2.4(2)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

4.2.4(3)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

6.2.3(2)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-1

Таблица 3.1
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

Отсюда:

$$N_{\beta, \theta \cdot R_d} = k_{\gamma, \theta} \cdot N_{Rd} \cdot \frac{\gamma_{M, \theta}}{\gamma_{M, \beta}} = 1,0 \cdot 331,02 \cdot \frac{1,0}{1,0} = 331,02 \text{ кН}.$$

Следовательно, коэффициент μ_0 равен:

$$\mu_0 = \frac{208,64}{331,02} = 0,63.$$

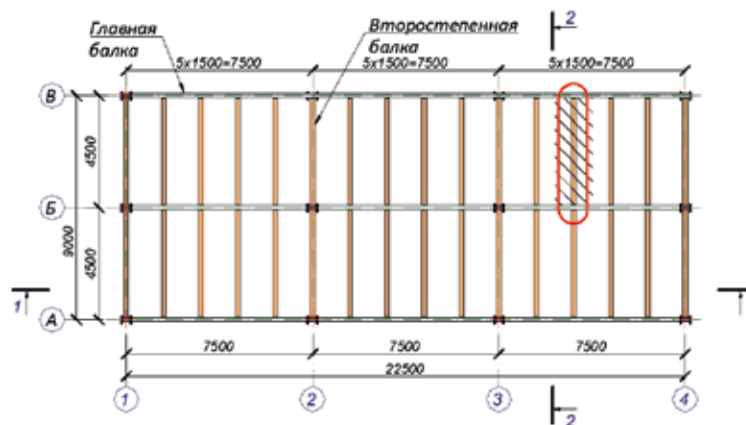
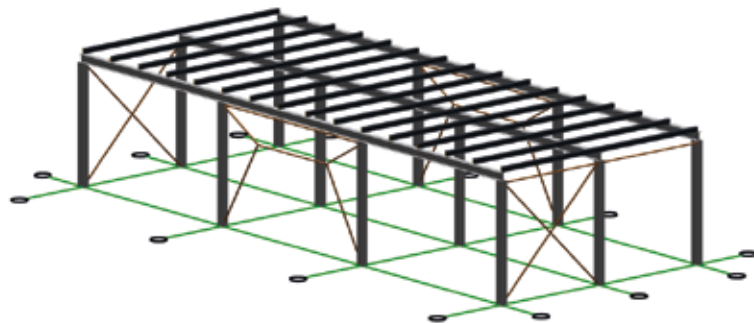
По Таблице 3.7 данной публикации определяем **критическую температуру θ_{cr} , °С:**

$$\theta_{cr} = 545,7^\circ\text{С}.$$

3.2.3.2 Расчет изгибаемых элементов, не подверженных потере устойчивости

В данном примере рассмотрим второстепенную балку в осях "2", "Б"-"В". Пролет балки - $L=4,5$ м. Ширина, с которой собирается нагрузка на балку, составляет 1,5 м.

Рассматриваемый каркас представляет собой стальную конструкцию, в которой колонны и главные балки приняты из сварных профилей, второстепенные балки - из прокатных двутавров, а связи - из замкнутых трубчатых сечений.

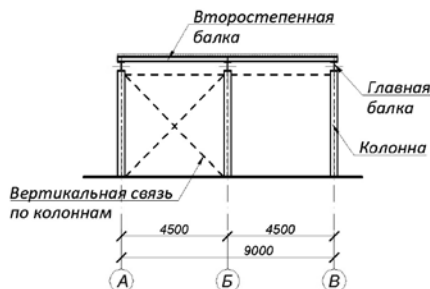


Разрез 1-1



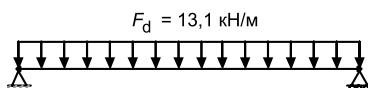
Разрез 2-2

Пример 6.1.3
Публикация
УЦСС-006-14



1. Суммарная расчетная нагрузка на второстепенную балку равна:

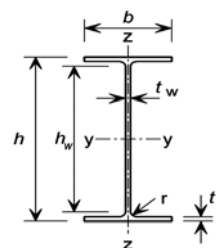
$$F_d = 13,1 \text{ кН/м.}$$



Пролет шарнирно опертой однопролетной балки равен $L = 4,5$ м.

2. Максимальный изгибающий момент в середине пролета:

$$M_{y,ED} = \frac{F_d L^2}{8} = \frac{13,1 \cdot 4,5^2}{8} = 33,16 \text{ кНм.}$$



3. Балка принята из стали **S235**, для которой при номинальной толщине элемента $t \leq 40$ мм предел текучести равен $f_y = 235$ Н/мм².

4. Двутавровая горячекатаная балка №18 имеет следующие геометрические размеры и характеристики сечения:

| | |
|---|-------------------------------------|
| Высота поперечного сечения | $h = 180,0$ мм |
| Высота стенки | $h_w = h - 2t_f = 163,8$ мм |
| Ширина полки | $b = 90$ мм |
| Толщина стенки | $t_w = 5,1$ мм |
| Толщина полки | $t_f = 8,1$ мм |
| Радиус закругления между полкой и стенкой | $r = 9,0$ мм |
| Площадь поперечного сечения | $A = 23,4$ см ² |
| Момент инерции относительно оси y-y | $I_y = 1290,0$ см ⁴ |
| Момент инерции относительно оси z-z | $I_z = 82,6$ см ⁴ |
| Радиус инерции сечения относительно оси z-z | $i_z = 1,88$ см |
| Момент сопротивления сечения в упругой стадии относительно оси y-y; | $W_{el,y} = 143,0$ см ³ |
| | $W_{pl,y} = 160,16$ см ³ |
| Модуль упругости | $E = 210000$ Н/мм ² |

Примечание. Согласно произведенным ранее расчетам в публикации УЦСС-006-14 (Пример 5.1.3), сечение балки при нормальной температуре окружающей среды относится к 1-му Классу.

5. Расчетная нагрузка в условиях пожара:

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

где:

E_d – расчетное значение соответствующего усилия или момента при нормальной температуре, для основных сочетаний воздействий согласно ДСТУ-Н Б EN 1990. В данном случае $E_d = M_{Ed}$;

η_{fi} – понижающий коэффициент для расчета уровня нагружения в условиях пожара

$$\eta_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} Q_{k,l}}{\gamma_G G_k + \gamma_{Q,l} Q_{k,l}},$$

2.4.2(2)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

2.4.2(3)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

где:

$Q_{k,1}$ – характеристическое значение преобладающего или главного (первого) переменного воздействия;

G_k – характеристическое значение постоянного воздействия;

γ_G – частный коэффициент надежности для постоянных воздействий;

$\gamma_{Q,1}$ – частный коэффициент надежности для первого переменного воздействия;

Ψ_{fi} – коэффициент сочетания воздействий, принимается равным $\Psi_{2,1}$ (см. Таблицу 3.2).

Таким образом:

$$Q_{k,1} = 4,9 \text{ кН/м}^2;$$

$$G_k = 1,02 \text{ кН/м}^2;$$

$$\gamma_G = 1,35;$$

$$\gamma_{Q,1} = 1,5;$$

$$\Psi_{fi} = \Psi_2 = 0,8 \text{ (для складских площадей).}$$

Понижающий коэффициент:

$$\eta_{fi} = \frac{1,02 + 0,8 \cdot 4,9}{1,35 \cdot 1,02 + 1,5 \cdot 4,9} = 0,57.$$

Следовательно, расчетная нагрузка в условиях пожара:

$$E_{fi,d} = M_{fi,d} = 0,57 \cdot 33,16 = 18,9 \text{ кНм.}$$

6. Несмотря на то, что сечение балки при нормальной температуре относится к 1-му Классу, в условиях повышенной температуры она может переходить в другие классы, поскольку

$$\varepsilon = 0,85 \sqrt{\frac{235}{f_y}} = 0,85 \sqrt{\frac{235}{235}} = 0,85.$$

Для полки:

Свес полки:

$$c = \frac{b - t_w - 2r}{2} = \frac{90 - 5,1 - 2 \cdot 9}{2} = 33,45 \text{ мм}$$

$$\frac{c}{t_f} = \frac{33,45}{8,1} = 4,13$$

Предельное соотношение свеса полки к толщине для 1-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t} \leq 9\varepsilon = 9 \cdot 0,85 = 7,65.$$

Проверяем условие:

$$4,13 < 7,65.$$

Таким образом, полка поперечного сечения балки относится к 1-му Классу.

Для стенки при изгибе:

$$c = d = 180 - 8,1 \cdot 2 = 145,8 \text{ мм.}$$

$$\frac{c}{t_w} = \frac{145,8}{5,1} = 28,6$$

Предельное соотношение высоты стенки к толщине для 1-го Класса поперечных сечений равно:

$$\frac{c}{t} \leq 72\varepsilon = 72 \cdot 0,85 = 61,2.$$

Проверяем условие:

$$28,6 < 61,2.$$

Следовательно, стенка при чистом изгибе относится 1-му Классу.

Таким образом, при воздействии повышенной температуры сечение балки относится к 1-му Классу.

7. Критическая температура стали $\theta_{a,cr}$ при равномерном распределении температуры по балке в момент времени t может быть определена на основании коэффициента использования несущей способности μ_0 в момент времени $t = 0$ с использованием следующей формулы:

4.2.4(2)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

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

где коэффициент использования несущей способности μ_0 определяется как:

4.2.4(3)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

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

где:

$R_{f_i,d,0}$ – значение расчетной несущей способности $R_{f_i,d,t}$ в момент времени $t = 0$ (то есть расчетная несущая способность элемента на изгиб до воздействия повышенной температуры), $R_{f_i,d,0} = M_{f_i,d,0}$;

$E_{f_i,d}$ – расчетное усилие в условиях пожара $E_{f_i,d} = M_{f_i,d} = 18,9$ кНм.

Для балок рекомендуется учитывать возможное неравномерное распределение температуры введением коэффициентов k_1 и k_2 :

$$M_{f_i,t,Rd} = \frac{M_{f_i,\theta,Rd}}{k_1 k_2},$$

где:

4.2.3.3(7)
ДСТУ-Н Б EN
1993-1-2

k_1 – поправочный коэффициент для учета неравномерного распределения температуры по ширине поперечного сечения, $k_1 = 1,0$ (для незащищенных балок, подвергающихся огневому воздействию с трех сторон при опирании композитной или бетонной плиты на четвертую сторону, данный коэффициент $k_1 = 0,7$);

Примечание. В данном примере балка считается раскрепленной из плоскости, однако не посредством бетонной или композитной плиты, а посредством связей, поэтому $k_1 = 1,0$.

4.2.3.3(8)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

k_2 – поправочный коэффициент для учета неравномерного распределения температуры по длине балки, $k_2 = 1,0$;

$$M_{f_i,\theta,Rd} = k_{y,\theta} M_{Rd} \frac{\gamma_{M,O}}{\gamma_{M,f_i}},$$

где:

M_{Rd} – соответствующая несущая способность сечения брутто по прочности при нормальной температуре, определяемая следующим образом:

$M_{Rd} = M_{pl,Rd}$ для сечений Класса 1 в пластичной стадии соответственно без учета либо с учетом влияния перерезывающего усилия (при $V_{Ed} \geq 0,5V_{Rd}$)

$$M_{Rd} = \frac{W_y \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{160,16 \cdot 235}{1,0} \cdot 10^{-3} = 37,64 \text{ кНм};$$

Таблица 3.1
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

$k_{y,\theta}$ – коэффициент снижения предела текучести при температуре окружающей среды $\theta_a = 20^\circ\text{C}$ в момент времени $t=0$, $k_{y,\theta} = 1,0$;

частный коэффициент надежности по несущей способности при температуре окружающей среды $\gamma_{MO} = 1,0$;

частный коэффициент надежности по материалу в условиях пожара $\gamma_{M,f_i} = 1,0$.

Отсюда:

$$M_{f_i,t,Rd} = \left[1,0 \cdot 37,64 \cdot \frac{1,0}{1,0} \right] / [1,0 \cdot 1,0] = 37,64 \text{ кНм}.$$

Коэффициент использования μ_0 :

$$\mu_0 = \frac{18,9}{37,64} = 0,5.$$

Согласно Таблице 3.7 данной публикации, определяем критическую температуру θ_{cr} , $^\circ\text{C}$:

$$\theta_{cr} = 584,7^\circ\text{C}.$$

3.2.4 Расчет огнестойкости соединений

4.2.1(5)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

(1) Разрушение по площади нетто в местах расположения крепежных отверстий допускается не учитывать при условии наличия крепежного элемента в каждом отверстии, так как температура стали в месте соединения по причине присутствия дополнительного материала будет ниже, чем в сечении.

4.2.1(6)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

(2) Предел огнестойкости болтового или сварного соединения может быть оценен как достаточный при выполнении следующих условий:

(а) Сопротивление теплопередаче $(d_f / \lambda_f)_c$ огнезащиты в месте соединения равно или превышает минимальное значение сопротивления теплопередаче $(d_f / \lambda_f)_m$ огнезащиты, используемой для любой из соединяемых конструкций,

где:

d_f – толщина огнезащитного материала ($d_f = 0$ для незащищенной конструкции);

λ_f – расчетный коэффициент теплопроводности огнезащитного материала.

(б) Коэффициент использования несущей способности соединения не должен превышать максимальное значение коэффициента использования несущей способности любой из соединяемых конструкций.

С целью упрощения сравнение степени использования несущей способности соединений и соединяемых конструкций может проводиться при комнатной температуре.

(с) Прочность соединения при температуре окружающей среды должно удовлетворять требованиям ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8.

4.2.1(7)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

(3) Как альтернативный вариант способу, указанному в 3.2.4(2), предел огнестойкости соединения может быть определен с использованием метода, приведенного в Приложении D, ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2.

На практике огнестойкость соединений должна быть не ниже огнестойкости соединяемых элементов. При использовании пассивных методов огнезащиты конструкций (покрытия, плиты и облицовка) данное условие считается выполненным, если запроектированные в соответствии с ДСТУ-Н Б EN 1993-1-8 соединения покрываются слоем огнезащитного материала. Толщина материала при этом должна быть не менее той, которая используется для соединяемых элементов.

РАЗДЕЛ 4. СТАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ – УПРОЩЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА.

ЧАСТЬ 2 – ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ

4.1 Определение необходимого предела огнестойкости конструкции

4.1.1 Общие понятия

- (1) Предел огнестойкости конструкции является одним из характеристических показателей сопротивляемости строительных конструкций в условиях пожара. Согласно ДСТУ Б В.1.1-4, предел огнестойкости конструкции – это показатель огнестойкости конструкции, определяемый временем от начала огневого испытания при стандартном температурном режиме до наступления одного из нормируемых для данной конструкции предельных состояний по огнестойкости.
- (2) Различают такие основные виды предельных состояний строительных конструкций:
 - по признаку потери несущей способности (условное буквенное обозначение R);
 - по признаку потери целостности (условное буквенное обозначение E);
 - по признаку потери теплоизолирующей способности (условное буквенное обозначение I);
 - по признаку потери теплоизолирующей способности по величине плотности теплового излучения (условное буквенное обозначение W);
 - по признаку потери дымогазонепроницаемости (условное буквенное обозначение S).
- (3) Строительные конструкции в зависимости от нормированных предельных состояний по огнестойкости и пределов огнестойкости делятся на классы огнестойкости. Обозначение классов огнестойкости строительных конструкций состоит из условных буквенных обозначений предельных состояний и числа, соответствующего нормированному пределу огнестойкости (в минутах), выбранного из ряда: 15; 30; 45; 60; 90; 120; 150; 180; 240; 360.

Например:

Класс огнестойкости R 120 обозначает, что по признаку потери несущей способности конструкции значение предела огнестойкости должно быть не менее 120 минут и не превышать 150 минут.

Класс 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.

- (4) Основным показателем огнестойкости для нормирования пределов огнестойкости несущих стальных конструкций – колонн, балок, ферм, арок и рам – является показатель потери несущей способности конструкций и узлов R.
- (5) Пределы огнестойкости большинства незащищенных стальных конструкций чрезвычайно малы и находятся в пределах 10÷15 минут. Исключением являются стальные колонны массивного сплошного сечения, у которых класс огнестойкости без систем огнезащитных покрытий может достигать R30÷R45, но применение таких конструкций на практике крайне ограничено (более подробно расчет огнестойкости незащищенных стальных конструкций рассматривается в Разделе 4.3.1).
- (6) Быстрая потеря при пожаре несущей способности незащищенных стальных конструкций кроется в больших значениях коэффициента теплопроводности (κ) и малых значениях теплоемкости при постоянном давлении (c_p), что ведет к большим значениям температуропроводности стали (χ), которая характеризует скорость распространения температуры внутри стальной конструкции при определенной плотности стали (ρ).

$$\chi = \frac{\kappa}{c_p \cdot \rho}$$

- (7) Высокая теплопроводность стали практически не вызывает температурного градиента внутри конструкции, что приводит к быстрому достижению критических температур прогрева стальных конструкций, при которых происходит снижение прочностных (несущих) характеристик стальных элементов до величин, при которых конструкция становится неспособной выдерживать приложенную к ней внешнюю нагрузку.

В результате этого наступает предельное состояние стальной конструкции по признаку потери несущей способности (R).

- (8) Некоторые значения критической температуры $\theta_{a,cr}$ прогрева различных стальных конструкций для различных марок стали при нормативной эксплуатационной нагрузке приведены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 Критические температуры стальных элементов для различных марок стали

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

4.1.2 Методы определения предела огнестойкости стальных конструкций

4.1.2.1 Основные методы

- (1) Для определения предела огнестойкости стальных конструкций при проектировании (см. Раздел 2.3.2) допускается использование следующих методов:

- упрощенные расчетные модели;
- уточненные расчетные модели;
- натурные огневые испытания.

4.1.2.2 Упрощенные и уточненные расчетные модели

- (1) Упрощенные расчетные модели основываются на традиционных допущениях и являются упрощенными методами расчета конструкций на огнестойкость (см. п. 2.3.2.1).
- (2) Уточненные (или продвинутые) методы расчета являются способами расчета, при которых соответствующим образом используются инженерные принципы для решения специфических прикладных задач (см. п. 2.3.2.2).
- (3) Уточненные расчетные модели рекомендуется использовать для воспроизведения целой конструктивной системы, части конструктивной системы или отдельной конструкции.

4.1.2.3 Испытания

- (1) Огневые испытания для определения предела огнестойкости несущих стальных конструкций проводят в соответствии с национальными стандартами ДСТУ Б В.1.1-4, ДСТУ Б В.1.1-13, ДСТУ Б В.1.1-14 и ДСТУ Б В.1.1-17. В них подробно изложены требования к методам испытаний конструкций в условиях номинальных режимов развития пожара (см. Раздел 2.2.1).
- (2) Суть методов испытаний стальных конструкций заключается в определении времени от начала теплового воздействия по номинальному температурному режиму, до наступления одного из предельных состояний по огнестойкости. При проведении огневых испытаний образцов стальных конструкций предельным состоянием по признаку потери несущей способности (R) является обрушение образца или возникновение предельных деформаций, возникающих под действием нормативной нагрузки – граничное значение прогибов (продольных смещений) или граничное значение скорости нарастания деформаций.

4.1 (2)
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

НБ 2.4.
Национальное
приложение к
ДСТУ-Н Б
EN 1993-1-2

- (3) Проведения испытаний по определению пределов огнестойкости стальных конструкций с системами огнезащитных покрытий согласно ДСТУ Б В.1.1-13, ДСТУ Б В.1.1-14 не дают возможность минимизировать расходы по подбору оптимальных толщин огнезащитных покрытий для той или иной конструкции, так как допускают принимать предельное состояние по признаку несущей способности, как превышение температуры стальной конструкции над её начальной температурой на 480°C (в общем случае это время достижения температуры в 500°C).

Иными словами, результатом испытаний, проведенных согласно требованиям вышеуказанных стандартов, является информация, что некая рассматриваемая конструкция (с параметрами испытуемого образца) имеет класс огнестойкости (R, мин) при толщине покрытия (d, мм). Примененная при этом огнезащитная система может быть использована только для защиты стальных конструкций, которые имеют коэффициенты сечения, равные или большие той, которая подвергалась огневым испытаниям.

- (4) При проведении испытаний средств огнезащиты согласно ДСТУ Б В.1.1-17, который соответствует европейскому стандарту ENV 13381-4, зависимость предела огнестойкости стальной конструкции от толщины используемой системы огнезащиты определяется путем прогрева образцов в огневой печи при номинальном температурном режиме с последующим оцениванием полученных данных методами математического анализа. Оценка способности систем огнезащитных покрытий сохранять несущую способность стальных конструкций заключается в получении математической зависимости между минимальной толщиной огнезащитного покрытия, коэффициентом сечения конструкций и нормируемым пределом огнестойкости при различных критических температурах стальных элементов – 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C и 750°C.

4.1.3 Нормирование классов огнестойкости стальных строительных конструкций

- (1) Основные цели нормирования классов огнестойкости строительных конструкций следующие:
- установить требования к огнестойкости на протяжении заданного, но ограниченного промежутка времени, когда могут быть осуществлены необходимые эвакуационные и пожарно-спасательные мероприятия;
 - установить требования к огнестойкости основной конструкции, при которой она не потеряет свои основные функциональные характеристики в случае полного выгорания всех горючих материалов, без участия пожарно-спасательных подразделений.
- (2) Необходимые минимальные значения пределов огнестойкости строительных конструкций (в нашем случае стальных конструкций) для различных степеней огнестойкости зданий приведены в ДБН В.1.1-7 и других национальных нормах на проектирование зданий различного функционального назначения и этажности, например, ДБН В.2.2-24, ДБН В.2.2-15 и др.

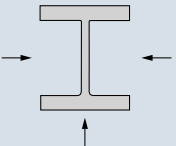
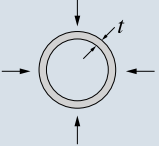
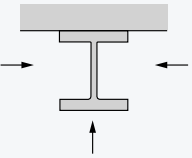
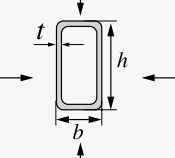
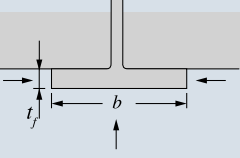
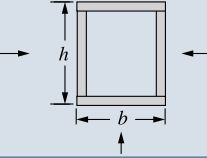
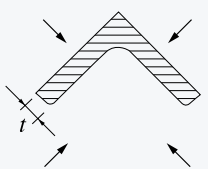
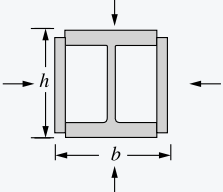
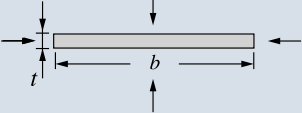
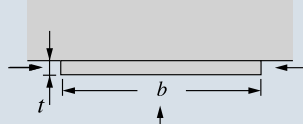
4.2 Расчет коэффициентов сечения стальных конструкций

4.2.1 Коэффициент сечения незащищенной стальной конструкции A_m/V , или профильный коэффициент сечения

- (1) Коэффициент сечения незащищенной стальной конструкции A_m/V является характеристической величиной ее сечения, равной отношению площади A_m поверхности в единице длины конструкции к ее объему V в той же единице длины.
- (2) 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.
- (3) Стальные конструкции с высоким коэффициентом A_m/V быстрее реагируют на тепловые и огневые нагрузки и имеют более низкий предел огнестойкости. Стальные конструкции с низким коэффициентом сечения A_m/V являются более массивными и имеют большую инерцию к прогреву всего объема конструкции, вследствие чего имеют более высокий предел огнестойкости.

(4) Примеры расчетов некоторых коэффициентов сечения стальных конструкций A_m/V приведены в Таблице 4.2.

Таблица 4.2 Примеры расчетов коэффициентов сечения A_m/V для незащищенных стальных конструкций

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

- (4) Понятие «профильный коэффициент сечения» является идентичным понятию «коэффициент сечения незащищенной стальной конструкции» и чаще всего используется при испытаниях или проектировании средств огнезащиты для стальных конструкций.
- (5) При проведении расчетов по определению коэффициентов сечения стальных конструкций и определению их предела огнестойкости необходимо учитывать только площадь (или периметр) обогреваемой поверхности стальной конструкции.
- (6) Примеры расчетов различных коэффициентов сечения стальных конструкций с огнезащитными материалами (окраской, облицовкой) приведены в Таблице 4.3.

По сути, профильный коэффициент сечения стальной конструкции A_m/V является величиной обратной общепринятому показателю сечения конструкций – приведенная толщина металла δ_{np} (мм), которая определяется как отношение площади сечения конструкции к её обогреваемому периметру.

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

ДСТУ Б В.1.1-17

4.2.2 Коробчатый коэффициент сечения стальной конструкции A_{mk}/V

- (1) При проектировании огнезащитных материалов, представляющих собой конструкционные материалы (плиты, маты и т. п.), предназначенные для облицовки стальных строительных конструкций, используется понятие «коробчатый коэффициент сечения».
- (2) Коробчатый коэффициент сечения – это отношение площади наименьшего прямоугольника или квадрата, которые могут быть описаны вокруг стального профиля, к его объему.
- (3) Так же, как и при расчете профильного коэффициента сечения (п. 4.2.1 (2)) в общих случаях, когда площадь сечения стальной конструкции не изменяется по всей длине элемента, коробчатый коэффициент сечения определяется как отношение периметра наименьшего прямоугольника или квадрата, которые могут быть описаны вокруг стального профиля, к её площади сечения. При расчетах необходимо учитывать только площадь (или периметр) обогреваемой поверхности стальной конструкции.
- (4) Примеры расчетов коробчатых коэффициентов сечения стальных конструкций с огнезащитными материалами (окраской, облицовкой) приведены в Таблице 4.3.

4.2.3 Прямоугольный коэффициент сечения стальной конструкции $[A_m/V]_b$

4.2.5.1 (2)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2


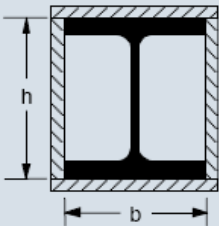
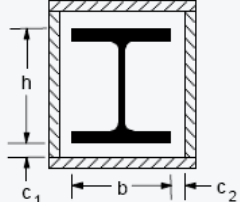
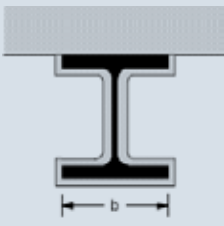
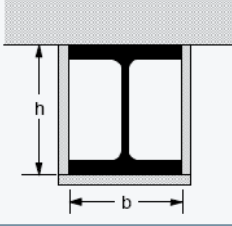
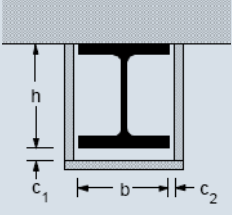
- (1) В расчетах предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций, в частности при расчете поправочного коэффициента учета влияния теневого эффекта k_{sh} , используется понятие, аналогичное коробчатому коэффициенту сечения – коэффициент прямоугольного поперечного сечения $[A_m/V]_b$.
- (2) Расчет коэффициента прямоугольного поперечного сечения производится по аналогии с расчетом коробчатого коэффициента сечения стальных конструкций (Раздел 4.2.2).

Таблица 4.3
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

4.2.4 Коэффициент сечения стальной конструкции, покрытой огнезащитным материалом A_p/V

- (1) 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 её объему V в той же единице длины.
- (2) За площадь огнезащитного материала A_p , как правило, принимается площадь его внутренней поверхности. Однако при облицовке с зазорами вокруг защищаемой стальной конструкции может быть использовано значение площади для полых облицовок без зазоров (Таблица 4.3).
- (3) Коэффициент сечения стальных конструкций, покрытых огнезащитным материалом A_p/V , является аналогом профильного и коробчатого коэффициентов сечения стальных конструкций.
- (4) Некоторые расчетные значения коэффициентов A_p/V приведены в Таблице 4.3.

Таблица 4.3 Коэффициент сечения стальных конструкций, покрытых огнезащитным материалом A_p/V

| Схематический чертеж | Описание конструкции | Коэффициент сечения (A_p/V) |
|---|--|--|
|  | Внешняя контурная облицовка одинаковой толщины | $\frac{\text{периметр стальной конструкции}}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$ |
|  | Полая облицовка одинаковой толщины | $\frac{2(b + h)}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$ |
|  | Полая облицовка одинаковой толщины | $\frac{2(b + h)}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$ c_1 и $c_2 < h/4$ |
|  | Облицовка одинаковой толщины по контуру, воздействие пожара с трех сторон периметра стальной конструкции | $\frac{\text{периметр стальной конструкции} - b}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$ |
|  | Полая облицовка одинаковой толщины, воздействие пожара с трех сторон | $\frac{2h + b}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$ c_1 и $c_2 < h/4$ |
|  | Полая облицовка воздействие пожара с трех сторон | $\frac{2h + b}{\text{площадь поперечного сечения стальной конструкции}}$ c_1 и $c_2 < h/4$ |

4.2.5 Коэффициент сечения стальной конструкции с учетом теневого эффекта

$[A_m/V]_{sh}$

- (1) Для расчета прироста температуры незащищенных стальных конструкций двутаврового сечения и, как следствие, определения предела огнестойкости конструкций используется поправочный коэффициент теневого эффекта k_{sh} , вычисляемый по формуле:

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

где:

A_m/V – коэффициент сечения незащищенных стальных конструкций;

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

- (2) Для стальных конструкций с иными формами поперечных сечений поправочный коэффициент теневого эффекта k_{sh} определяется по формуле:

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

- (3) Коэффициент сечения стальной конструкции с учетом теневого эффекта $[A_m/V]_{sh}$ – это произведение поправочного коэффициента k_{sh} и коэффициента сечения незащищенной стальной конструкции A_m/V :

$$[A_m/V]_{sh} = k_{sh} \times A_m/V.$$

Следует отметить, что для поперечных сечений замкнутого профиля (например, прямоугольного или трубного сечения), полностью расположенных в зоне действия пламени, теневой эффект не оказывает существенного влияния, вследствие чего поправочный коэффициент k_{sh} принимается равным единице, что приводит к традиционным решениям. Также теневой эффект не существенен при расчетах огнезащищенных стальных конструкций, в связи с чем коэффициент k_{sh} также принимается равным единице.

4.2.6 Рабочие примеры

- (1) В данном разделе будут рассмотрены примеры расчетов коэффициентов сечения стальных конструкций для дальнейшего проектирования различных систем огнезащиты: окрашивание, оштукатуривание или облицовывание.
- (2) Для обеспечения преемственности в настоящей публикации рабочие примеры расчета коэффициентов сечения приведены для стальных конструкций из Разделов 3.1.8 и 3.2.3.

Профильный коэффициент сечения стальной конструкции A_m/V равен отношению площади A_m поверхности в единице длины конструкции к объему V конструкции в той же единице длины конструкции.

Так как площади сечения рассматриваемых элементов не изменяются по всей длине (Раздел 4.2.1 (2)), то коэффициент сечения A_m/V (m^{-1}) определяется как отношение обогреваемого периметра к площади сечения конструкции.

Понятие «коэффициент прямоугольного поперечного сечения» $[A_m/V]_b$ часто используется в расчетах предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций. Данный коэффициент является аналогом коробчатого коэффициента сечения, который используется при проектировании огнезащитных материалов, представляющих собой конструкционные материалы (плиты, маты), предназначенные для облицовки стальных строительных конструкций. В сертификатах соответствия на конструкционные огнезащитные материалы данный коэффициент может быть обозначен как A_{mk}/V .

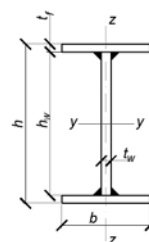
- (3) Коробчатый коэффициент сечения стальной конструкции A_{mk}/V равен отношению площади A_{mk} наименьшего прямоугольника или квадрата, которые могут быть описаны вокруг стального профиля, к его объему V .

Так как площади сечения рассматриваемых элементов не изменяются по всей длине (Раздел 4.2.2 (3)), то коэффициент сечения A_{mk}/V (m^{-1}) определяется как отношение периметра наименьшего прямоугольника или квадрата, которые могут быть описаны вокруг стального профиля, к его площади сечения.

4.2.6.1 Расчет профильного и коробчатого коэффициентов сечений колонны

Согласно п. 3.1.8.1, центральная колонна промышленного здания имеет следующие геометрические характеристики:

| | | |
|----|----------------------------|----------------|
| 1. | Высота поперечного сечения | $h = 300$ мм |
| 2. | Ширина поперечного сечения | $b = 200$ мм |
| 3. | Высота стенки | $h_w = 276$ мм |
| 4. | Толщина стенки | $t_w = 10$ мм |
| 5. | Толщина полки | $t_f = 12$ мм |



Расчет профильного коэффициента сечения

При воздействии огня колонна будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр равен:

$$P = 2b + 2(b - t_w) + 4t_f + 2h_w = 400 + 380 + 48 + 552 = 1380 \text{ (мм)} = 1,38 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения колонны:

$$S = 2 t_f b + t_w h_w = 4800 + 2760 = 7560 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,00756 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким образом, профильный коэффициент сечения A_m/V колонны равен:

$$A_m/V = 1,38/0,00756 = 183 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Расчет коробчатого коэффициента сечения

При воздействии огня колонна будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр прямоугольника, который может быть описан вокруг рассматриваемого стального профиля, равен:

$$P_k = 2h + 2b = 600 + 400 = 1000 \text{ (мм)} = 1 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения колонны:

$$S = 2 t_f b + t_w h_w = 4800 + 2760 = 7560 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,00756 \text{ (м}^2\text{)}.$$

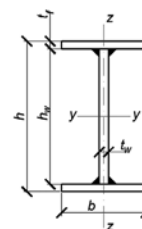
Таким образом, коробчатый коэффициент сечения A_{mk}/V колонны равен:

$$A_{mk}/V = 1/0,00756 = 132 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

4.2.6.2 Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений балки

Согласно п. 3.1.8.2, главная балка каркаса здания закреплена на колоннах, и её верхний пояс не является раскрепленным из плоскости. Балка имеет следующие геометрические характеристики:

| | | |
|----|----------------------------|------------------------|
| 1. | Высота поперечного сечения | $h = 400 \text{ мм}$ |
| 2. | Ширина поперечного сечения | $b = 300 \text{ мм}$ |
| 3. | Высота стенки | $h_w = 368 \text{ мм}$ |
| 4. | Толщина стенки | $t_w = 10 \text{ мм}$ |
| 5. | Толщина полки | $t_f = 16 \text{ мм}$ |



Расчет профильного коэффициента сечения

В соответствии с п. 4.1 (16) ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2, при воздействии огня балка будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр равен:

$$P = 2b + 2(b - t_w) + 4t_f + 2h_w = 600 + 580 + 64 + 736 = 1980 \text{ (мм)} = 1,98 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения балки:

$$S = 2 t_f b + t_w h_w = 9600 + 3680 = 13280 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,01328 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким образом, профильный коэффициент сечения A_m/V балки равен:

$$A_m/V = 1,98/0,01328 = 149 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Расчет коробчатого коэффициента сечения

При воздействии огня балка будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр прямоугольника, который может быть описан вокруг данного стального профиля, равен:

$$P_k = 2h + 2b = 800 + 600 = 1400 \text{ (мм)} = 1,4 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения балки:

$$S = 2 t_f b + t_w h_w = 9600 + 3680 = 13280 \text{ (мм}^2\text{)} = 0,01328 \text{ (м}^2\text{)}.$$

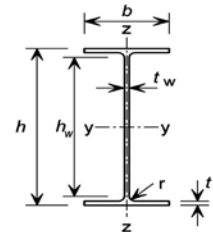
Таким образом, коробчатый коэффициент сечения A_{mk}/V балки равен:

$$A_{mk}/V = 1,4/0,01328 = 105 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

4.2.6.3 Расчет профильного и коробчатого коэффициентов сечений колонны

Согласно п. 3.1.8.3, колонна имеет следующие геометрические характеристики:

| |
|--------------------------|
| $A = 100,0 \text{ см}^2$ |
| $t_w = 10,0 \text{ мм}$ |
| $t_f = 15,2 \text{ мм}$ |
| $r = 17,0 \text{ мм}$ |
| $h = 500,0 \text{ мм}$ |
| $h_w = 469,6 \text{ мм}$ |
| $b = 170 \text{ мм}$ |



Расчет профильного коэффициента сечения

При воздействии огня колонна будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр равен:

$$P = 2b + 2(b - t_w) + 4t_f + 2h_w = 340 + 320 + 61 + 939 = 1660 \text{ (мм)} = 1,66 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения колонны:

$$S = 100 \text{ (см}^2\text{)} = 0,01 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким образом, профильный коэффициент сечения A_m/V колонны равен:

$$A_m/V = 1,66/0,01 = 166 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Расчет коробчатого коэффициента сечения

При воздействии огня колонна будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр прямоугольника, который может быть описан вокруг данного стального профиля, равен:

$$P_k = 2h + 2b = 1000 + 340 = 1340 \text{ (мм)} = 1,34 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения колонны:

$$S = 0,01 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким образом, коробчатый коэффициент сечения A_{mk}/V колонны равен:

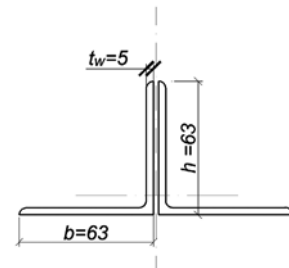
$$A_{mk}/V = 1,34/0,01 = 134 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

4.2.6.4 Расчет коэффициентов профильного и коробчатого сечений раскоса фермы

Согласно п. 3.2.3.1, раскос фермы представляет собой два спаренных равнополочных уголка №63×5 по ГОСТ 8509-93. Элемент фермы имеет следующий геометрический вид:

Уголок №63 имеет следующие размеры:

| | | |
|----|-----------------------------|-------------------------|
| 1. | Высота поперечного сечения | $h = 63 \text{ мм}$ |
| 2. | Ширина поперечного сечения | $b = 63 \text{ мм}$ |
| 3. | Толщина стенки | $t_w = 5 \text{ мм}$ |
| 4. | Площадь поперечного сечения | $S = 6,13 \text{ см}^2$ |



Расчет профильного коэффициента сечения

Раскос как отдельный элемент фермы будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр равен:

$$P = 6h = 378 \text{ (мм)} = 0,378 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения раскоса:

$$S_p = 2S = 12,26 \text{ (см}^2\text{)} = 0,001226 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким образом, профильный коэффициент сечения A_m/V раскоса, выполненного из спаренных уголков, равен:

$$A_m/V = 0,378/0,001226 = 308 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Расчет коробчатого коэффициента сечения

Данный элемент фермы будет обогреваться со всех сторон, соответственно обогреваемый периметр прямоугольника, который может быть описан вокруг данного элемента, равен:

$$P_k = 2h + 4b = 6h = 378 \text{ (мм)} = 0,378 \text{ (м)}.$$

Площадь поперечного сечения раскоса:

$$S_p = 2S = 12,26 \text{ (см}^2\text{)} = 0,001226 \text{ (м}^2\text{)}.$$

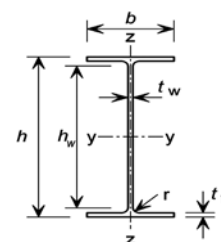
Коробчатый коэффициент сечения A_{mk}/V раскоса, выполненного из спаренных уголков, равен:

$$A_{mk}/V = 0,378/0,001226 = 308 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

4.2.6.5 Расчет профильного и коробчатого коэффициентов сечений балки

Согласно п. 3.2.3.2, второстепенная балка принята из прокатного двутавра №18 по ГОСТ 8239-89. Балка имеет следующие геометрические характеристики:

| | | |
|----|-----------------------------|--------------------------|
| 1. | Высота поперечного сечения | $h = 180 \text{ мм}$ |
| 2. | Ширина поперечного сечения | $b = 90 \text{ мм}$ |
| 3. | Высота стенки | $h_w = 163,8 \text{ мм}$ |
| 4. | Толщина стенки | $t_w = 5,1 \text{ мм}$ |
| 5. | Толщина полки | $t_f = 8,1 \text{ мм}$ |
| 6. | Площадь поперечного сечения | $S = 23,4 \text{ см}^2$ |



Расчет профильного коэффициента сечения

В соответствии с п. 4.1 (15) ДСТУ-Н Б EN 1994-1-2, при воздействии огня балка будет обогреваться с трех сторон, соответственно обогреваемый периметр равен:

$$P = b + 2(b - t_w) + 4t_f + 2h_w = 180 + 169,8 + 32,4 + 327,6 = 709,8 \text{ (мм)} = 0,71 \text{ (м)}.$$

Таким образом, профильный коэффициент сечения A_m/V колонны равен:

$$A_m/V = 0,71/0,00234 = 303 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

Расчет коробчатого коэффициента сечения

При воздействии огня балка будет обогреваться с трех сторон, соответственно обогреваемый периметр прямоугольника, который может быть описан вокруг данного профиля, равен:

$$P_k = 2h + b = 360 + 90 = 450 \text{ (мм)} = 0,45 \text{ (м)}.$$

Коробчатый коэффициент сечения A_{mk}/V второстепенной балки равен:

$$A_{mk}/V = 0,45/0,00234 = 192 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

4.3 Определение времени t_{cr} , необходимого для достижения критической температуры стального элемента $\theta_{a,cr}$

4.3.1 Расчет огнестойкости незащищенных стальных конструкций

- (1) Согласно блок-схеме расчета критической температуры стальных элементов (п. 3.2.2) и дальнейшего принятия решения о необходимости проведения огнезащитных работ, в некоторых случаях целесообразно производить расчет предела огнестойкости незащищенных стальных конструкций (т. е. без огнезащитного покрытия).
- (2) 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 $\theta_{a,cr}$ (п. 3.2.2.2).
- (3) Прирост температуры $\Delta\theta_{a,t}$ при равномерном распределении эквивалентной температуры в поперечном сечении незащищенной стальной конструкции за промежуток времени Δt определяются по формуле:

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

где:

k_{sh} – поправочный коэффициент, учитывающий влияние теневого эффекта;

A_m/V – коэффициент сечения незащищенных стальных конструкций, равный не менее 10 м⁻¹;

A_m – площадь поверхности конструкций на единицу длины;

V – объем конструкций на единицу длины;

c_a – удельная теплоемкость стали;

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

ρ_a – плотность стали, равная 7850 кг/м³;

Δt – промежуток времени, при этом $\Delta t \leq 5$ сек.

- (4) При проведении расчетов прироста температуры стальных конструкций с двутавровым сечением формула приобретает вид:

$$\Delta\theta_{a,t} = 0,9 \left[\frac{A}{V} \right]_b \frac{1}{c_a \cdot \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t.$$

Для остальных типов сечений формула имеет вид:

$$\Delta\theta_{a,t} = \left[\frac{A}{V} \right]_b \frac{1}{c_a \cdot \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t.$$

- (5) При использовании коэффициента сечения стальной конструкции с учетом теневого эффекта $[A_m/V]_{sh}$ формула расчета прироста температуры стальных конструкций различных сечений приобретает вид:

$$\Delta\theta_{a,t} = \left[\frac{A}{V} \right]_{sh} \frac{1}{c_a \cdot \rho_a} \dot{h}_{net} \Delta t,$$

где:

$$[A_m/V]_{sh} = k_{sh} \times A_m/V;$$

$$k_{sh} = \begin{cases} \frac{0,9 \cdot [A_m/V]_b}{[A_m/V]} \\ \frac{[A_m/V]_b}{[A_m/V]} \end{cases}.$$

Как указывалось выше, для поперечных сечений замкнутого профиля (например, прямоугольного или трубного сечения) поправочный коэффициент $k_{sh} = 1$.

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

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

4.2.5.1 (1)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

4.2.5.1 (5)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

3.2.2(1)
4.2.5.1 (4)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

3.1 (2)
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

где:

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

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

3.1 (3)
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

(7) Конвекционная составляющая поглощенного теплового потока $\dot{h}_{net,c}$ определяется по формуле:

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

где:

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

θ_m – температура поверхности стальной конструкции, °C;

α_c – коэффициент конвекционного теплообмена, равный:

– для стандартного температурного режима и режима внешнего пожара – 25 Вт/м²К;

– для углеводородного температурного режима – 50 Вт/м²К.

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

3.1 (6)
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

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

где:

3.1 (6) и 3.1 (7)
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

Φ – угловой коэффициент, равный в большинстве случаев 1;

ϵ_f – излучающая способность пламени, принимаемая 1;

σ – постоянная Больцмана, равная $5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/м²К⁴;

θ_m – температура поверхности стальной конструкции, °C;

2.2 (2)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

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

3.1 (8)
ДСТУ-НБ
EN 1991-1-2

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

3.4.1.2 (1)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

(9) Теплоемкость стали c_a (Дж/кгК) в момент времени t в зависимости от температуры стали θ_a определяют следующим образом:

- для $20^\circ\text{C} \leq \theta_a < 600^\circ\text{C}$

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

- для $600^\circ\text{C} \leq \theta_a < 735^\circ\text{C}$

$$c_a = 666 + \frac{13\,002}{738 - \theta_a};$$

- для $735^\circ\text{C} \leq \theta_a < 900^\circ\text{C}$

$$c_a = 545 + \frac{17\,820}{\theta_a - 731};$$

- для $900^\circ\text{C} \leq \theta_a \leq 1200^\circ\text{C}$

$$c_a = 650.$$

(10) После подстановки всех вышеприведенных значений в выражение по определению прироста температуры $\Delta\theta_{a,t}$ незащищенной стальной конструкции за промежутки времени $\Delta t = 5$ сек были получены зависимости между коэффициентом сечения и температурой стальной конструкции в различный период времени (Таблица 4.4, Рисунок 4.1).

Таблица 4.4 Температура незащищенных стальных элементов при воздействии стандартного температурного режима в течение 15=60 минут

| Коэффициент сечения $[A_m/V]_{sh}$ | Температура стальных элементов, °С | | | | Коэффициент сечения $[A_m/V]_{sh}$ | Температура стальных элементов, °С | | | |
|------------------------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|------------------------------------|------------------------------------|----------|----------|----------|
| | 15 минут | 30 минут | 45 минут | 60 минут | | 15 минут | 30 минут | 45 минут | 60 минут |
| 10 | 113 | 255 | 406 | 545 | 130 | 620 | 801 | 894 | 940 |
| 20 | 193 | 428 | 625 | 735 | 140 | 634 | 809 | 895 | 940 |
| 30 | 264 | 551 | 727 | 831 | 150 | 645 | 814 | 895 | 941 |
| 40 | 327 | 634 | 759 | 899 | 160 | 655 | 819 | 896 | 941 |
| 50 | 382 | 689 | 813 | 922 | 170 | 664 | 822 | 896 | 941 |
| 60 | 430 | 720 | 850 | 931 | 180 | 671 | 825 | 897 | 942 |
| 70 | 472 | 734 | 870 | 934 | 190 | 677 | 827 | 897 | 942 |
| 80 | 508 | 741 | 881 | 936 | 200 | 682 | 828 | 897 | 942 |
| 90 | 538 | 752 | 886 | 937 | 250 | 700 | 833 | 898 | 943 |
| 100 | 564 | 766 | 890 | 938 | 300 | 708 | 835 | 899 | 943 |
| 110 | 586 | 780 | 891 | 939 | 350 | 714 | 836 | 900 | 944 |
| 120 | 604 | 792 | 893 | 939 | 400 | 717 | 837 | 900 | 944 |

4.3.2 Расчет огнестойкости стальных конструкций, защищенных огнезащитными материалами

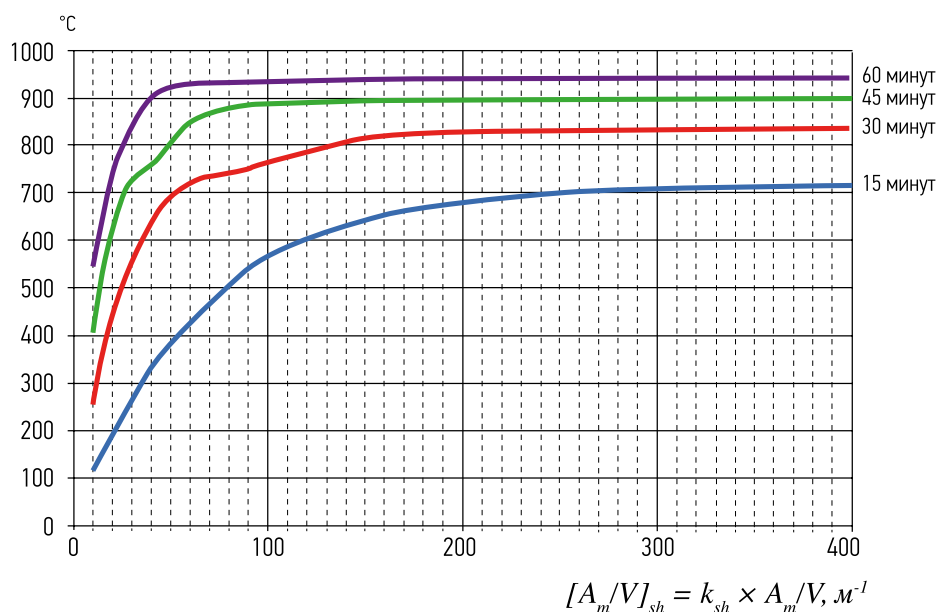


Рисунок 4.1 Номограмма зависимости температуры незащищенных стальных конструкций от коэффициента сечения $[A_m/V]_{sh}$ при воздействии стандартного температурного режима

- (1) Еврокод 3 часть 1-2 позволяет рассчитать огнестойкость стальных элементов с огнезащитными материалами исходя из их теплофизических характеристик. К огнезащитным материалам относятся любые материалы или их сочетания, примененные к конструктивному элементу с целью повышения его огнестойкости.
- (2) Следует отметить, что вышеуказанный стандарт вводит некоторые ограничения для применения в расчетах тех или иных огнезащитных материалов. В частности, необходимым условием использования при проектировании огнезащитных материалов является требование сохранения целост-

ности, оставаться сцепленными и составлять единое целое с основанием на всем протяжении соответствующего огневого воздействия.

- (3) В связи с вышеизложенным и на основании законодательных и нормативных документов Украины, свойства и эффективность огнезащитных материалов, используемых при проектировании, должны быть оценены путем проведения соответствующих испытаний. Таким образом, не каждый материал с известными справочными теплофизическими характеристиками может быть применен для проведения расчета огнестойкости строительных конструкций.
- (4) Прирост температуры $\Delta\theta_{a,t}$ за промежуток времени Δt для равномерного распределения температуры в поперечном сечении защищенной стальной конструкции определяют по формуле:

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

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

где:

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

A_p/V – коэффициент сечения стальных конструкций, покрытых огнезащитными материалами, м⁻¹;

A_m – площадь поверхности огнезащитного материала на единицу длины;

V – объем конструкций на единицу длины;

c_a – удельная теплоемкость стали, Дж/кгК;

c_p – удельная теплоемкость огнезащитного материала, не зависящая от температуры, Дж/кгК;

d_p – толщина огнезащитного материала, м;

Δt – промежуток времени, при этом $\Delta t \leq 30$ сек;

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

$\theta_{g,t}$ – температура среды (номинального пожара) в момент времени t , °С;

$\Delta\theta_{g,t}$ – прирост температуры среды (номинального пожара) в момент времени Δt , °С;

ρ_a – плотность стали, принимаемая 7850 кг/м³;

λ_p – коэффициент теплопроводности огнезащитной системы, Вт/Мк;

ρ_p – плотность огнезащитного материала, кг/м³.

- (5) Формула определения прироста температуры $\Delta\theta_{a,t}$ защищенной стальной конструкции может быть преобразована в следующее выражение:

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

- (6) В качестве упрощенного подхода к определению прироста температуры $\Delta\theta_{a,t}$ коэффициент ϕ может быть принят равным 0, что приводит к модифицированию коэффициента A_p/V :

$$\frac{A_p \cdot \lambda_p}{V \cdot d_p}$$

Данный модифицированный коэффициент, являющийся характеристической величиной огнезащитной системы, иногда называют термический (тепловой) коэффициент сечения.

- (7) Номограмма зависимости температуры стальных конструкций с различными термическими коэффициентами сечения $A_p \lambda_p / V d_p$ от времени при стандартном температурном режиме приведена на Рисунке 4.2.

4.2.5.2 (1)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

4.2.5.2 (3)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

3.2.2 (1)
ДСТУ-НБ
EN 1993-1-2

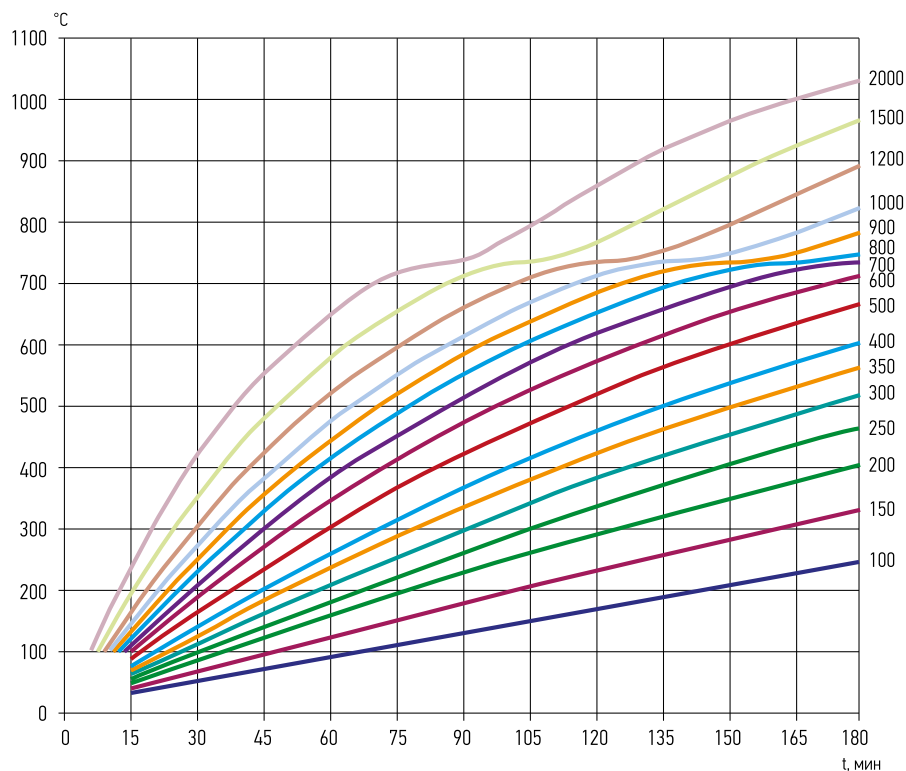


Рисунок 4.2 Номограмма зависимости температуры огнезащищенных стальных конструкций с различными коэффициентами сечения $A_p \lambda / V d_p$ от времени при воздействии стандартного температурного режима

Формула расчета прироста температуры $\Delta\theta_{a,t}$ огнезащищенных стальных конструкций 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.

4.4 Определение характеристик огнезащитного покрытия по критерию критической температуры

Качественное проведение огнезащиты стальных конструкций зависит от двух основных составляющих: правильности выбранных технических решений при составлении проекта проведения огнезащитных работ и правильном выборе огнезащитного материала. Способы и средства огнезащиты стальных конструкций определяются при составлении проекта проведения огнезащитных работ на конкретный объект строительства с учетом основных требований:

- класс огнестойкости конструкций, в соответствии со степенью огнестойкости здания, до которого необходимо довести строительный элемент;
- рассчитанные коэффициенты конструкций (профильного или коробчатого сечения);
- рассчитанные критические температуры стальных элементов.

При составлении проекта проведения огнезащитных работ немаловажную роль играют и сопутствующие факторы – эстетические, экономические, эксплуатационные и др., которые также влияют на выбор способа и средства огнезащиты, однако в данной публикации они не рассматриваются.

Наиболее применяемые средства огнезащиты можно разделить на следующие типы:

Реактивный способ – заключается в использовании тонкослойных покрытий, которые при действии огня образуют плотный теплоизоляционный слой и предохраняют конструкцию от температурного воздействия. Эти средства огнезащиты называют тонкослойными интумесцентными (вспучивающимися, терморасширяющимися) составами. Тонкослойные покрытия уверенно обеспечивают класс огнестойкости R60 для приведенной толщины металла $\delta_{np} \geq 4$ мм, R 90 для $\delta_{np} \geq 12$ мм.

Огнезащитные сухие строительные смеси (штукатурки) представляют собой, как правило, цементно-вермикулитовый состав с комплексом специальных добавок, который образует покрытие с высокой адгезионной способностью к стальным поверхностям и относительно низкой плотностью (400–600 кг/м³). Составы поставляются в виде сухих строительных смесей, которые наносятся на поверхность металлоконструкций толщиной 10–50 мм в зависимости от требуемого класса огнестойкости, который может достигать R 240.

Огнезащитные плиты и листовые волокнистые материалы представляют собой конструктивные методы, огнезащитное действие которых заключается в теплофизических свойствах используемого материала. Класс огнестойкости стальных конструкций, достигаемый при применении огнезащитных плит, может составлять до R 300.

В Таблице 4.5 приведены сравнительные характеристики наиболее распространенных средств пассивной огнезащиты, которые могут служить ориентиром при выборе огнезащитного материала для обеспечения требуемых классов огнестойкости с учетом конфигурации защищаемых стальных конструкций, требований экологического и эстетического плана, а также условий эксплуатации.

Таблица 4.5 Области применения огнезащитных материалов с учетом их особенностей

| Огнезащитный материал | Преимущества | Недостатки | Класс огнестойкости и область применения |
|---|--|--|---|
| Составы интумесцентного типа | Минимальная толщина и весовая нагрузка на конструкцию, технологичность работ по огнезащите, ремонтпригодность, вибростойкость, хорошие декоративные свойства | Ограниченные условия эксплуатации и огнезащитная эффективность, высокая токсичность продуктов горения | до R 90 Для стальных конструкций любой конфигурации (колонны, балки, носсоуры, ригели, фермы, связи) |
| Огнезащитные цементно-вермикулитовые штукатурки | Высокий предел огнестойкости, низкая стоимость материала, экологичность при эксплуатации и отсутствие токсичных продуктов горения, возможность применения на открытом воздухе | Трудоёмкость работ по нанесению, сложность восстановления и ремонта, низкие декоративные качества, слабая адгезия к поверхности, пониженная вибростойкость | до R 240 Для стальных конструкций несложной конфигурации (колонны, балки) |
| Огнезащитные плиты и листовые волокнистые материалы | Высокие предел огнестойкости и срок эксплуатации, повышенная вибростойкость за счет механических креплений к конструкциям, ремонтпригодность, отсутствие коррозионного воздействия на металл, хорошие декоративные свойства, экологичность при эксплуатации и отсутствие токсичных продуктов горения, точный контроль толщины огнезащитного слоя, сухой способ монтажа | Необходимость устройства крепежных систем и элементов, ограниченное применение для огнезащиты конструкций сложной конфигурации | до R 300 Для стальных конструкций несложной конфигурации (колонны, балки) |

4.4.1 Рабочий пример

- (1) Приведенные ниже примеры не являются типовыми и оптимальными огнезащитными решениями. Примеры были подобраны таким образом, чтобы максимально продемонстрировать возможные способы и средства огнезащиты стальных конструкций.
- (2) Подбор огнезащитных средств может быть осуществлен из ряда материалов, сертифицированных в Украине и прошедших испытания в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-17 «Защита от пожара. Огнезащитные покрытия для строительных несущих металлических конструкций. Методы определения огнезащитной способности (ENV 13381-4:2002, NEQ)». Испытания огнезащитных средств согласно методике, изложенной в данном стандарте, значительно расширяют области применения материалов, облегчают работу при проектировании огнезащиты и повышают степень надежности огнезащитной обработки стальных

конструкций. Данные, полученные при испытаниях, представляют собой ряды зависимостей толщины огнезащитного покрытия от различных коэффициентов сечения и критических температур потери несущей способности металлоконструкций при тех или иных классах огнестойкости.

Подбор огнезащитных средств для стальных конструкций, проектируемых по Еврокодам, также может быть осуществлен из материалов, прошедших испытания в соответствии с ДСТУ Б В.1.1-13 и ДСТУ Б В.1.1-14. Однако данные, полученные после проведения испытаний в соответствии с вышеприведенными стандартами, менее информативны и в общем случае дают только одну зависимость толщины огнезащитного покрытия от коэффициента сечения конструкции. Следует помнить, что проведение испытаний согласно указанным стандартам предусматривает определение предела огнестойкости стальной конструкции при достижении критической температуры равной $(500 \pm 15)^\circ\text{C}$, а соответственно и применять данные по толщине огнезащитного материала, испытанного по этим стандартам, возможно только при расчетной критической температуре стального элемента, равной или превышающей 500°C .

- (3) Подбор огнезащитных материалов произведен случайным образом из Публикации УЦСС-004-2014 «Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2014», включающей в себя данные, приведенные в сертификатах соответствия на различные огнезащитные материалы.
- (4) Для обеспечения преемственности в настоящей публикации рабочие примеры подбора средства огнезащиты будут приведены для стальных конструкций из Разделов 3.1.8 и 3.2.3 с коэффициентами сечений, рассчитанными согласно Разделу 4.2.6.

4.4.1.1 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной колонны с целью повышения класса огнестойкости до R 60

Согласно п.п. 3.1.8.1 и 4.2.6.1, критическая температура колонны в условиях пожара при заданной нагрузке составляет:

$$\theta_{cr} = 664,6^\circ\text{C},$$

при коэффициенте профильного сечения, равном

$$A_m/V = 183 \text{ (м}^{-1}\text{)},$$

и коэффициенте коробчатого сечения

$$A_{mk}/V = 132 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

1. Для повышения предела огнестойкости колонны до 60 минут возможно использование интумесцентных огнезащитных покрытий. К примеру, состав «POLYLACK А» испытан согласно методике, изложенной в ДСТУ Б В.1.1-17, и для класса огнестойкости R 60 имеет следующие значения толщин (Таблица 4.6):

Таблица 4.6 Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «POLYLACK А», при которых температура ниже проектной для R 60

| Проектная температура, °C | | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
|--|---|--|------|------|------|------|------|
| Приведенная толщина $\delta_{пр}$, мм | Коэффициент сечения, A_m/V , (м ⁻¹) | Класс огнестойкости R 60 | | | | | |
| | | Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм | | | | | |
| 14,49 | 69 | 0,86 | 0,73 | 0,60 | 0,48 | 0,35 | 0,26 |
| 14,29 | 70 | 0,87 | 0,74 | 0,61 | 0,49 | 0,36 | 0,26 |
| 12,50 | 80 | 0,99 | 0,86 | 0,72 | 0,59 | 0,46 | 0,34 |
| 11,11 | 90 | 1,11 | 0,97 | 0,83 | 0,69 | 0,56 | 0,43 |
| 10,00 | 100 | 1,22 | 1,07 | 0,93 | 0,79 | 0,65 | 0,52 |
| 9,09 | 110 | 1,32 | 1,18 | 1,03 | 0,89 | 0,74 | 0,60 |
| 8,33 | 120 | 1,43 | 1,27 | 1,12 | 0,98 | 0,83 | 0,69 |
| 7,69 | 130 | - | 1,37 | 1,21 | 1,05 | 0,91 | 0,77 |
| 7,14 | 140 | - | 1,46 | 1,30 | 1,15 | 0,99 | 0,84 |
| 6,67 | 150 | - | - | 1,39 | 1,23 | 1,07 | 0,91 |
| 6,25 | 160 | - | - | 1,47 | 1,30 | 1,14 | 0,98 |
| 5,88 | 170 | - | - | - | 1,38 | 1,21 | 1,05 |

Продолжение таблицы 4.6 Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «POLYLACK A», при которых температура ниже проектной для R 60

| Проектная температура, °С | | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
|--|---|--|-----|-----|------|------|------|
| Приведенная толщина $\delta_{пр}$, мм | Коэффициент сечения, A_m/V , (м ⁻¹) | Класс огнестойкости R 60 | | | | | |
| | | Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм | | | | | |
| 5,56 | 180 | - | - | - | 1,45 | 1,28 | 1,12 |
| 5,26 | 190 | - | - | - | - | 1,35 | 1,18 |
| 5,00 | 200 | - | - | - | - | 1,41 | 1,24 |
| 4,76 | 210 | - | - | - | - | - | 1,30 |
| 4,55 | 220 | - | - | - | - | - | 1,36 |
| 4,35 | 230 | - | - | - | - | - | 1,41 |
| 4,17 | 240 | - | - | - | - | - | 1,46 |

Из таблицы видим, что для рассматриваемого примера ближайшим значением профильного коэффициента сечения является 190 м⁻¹ (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее расчетного), а значением критической температуры – **650°С** (так как выбранное значение критической температуры должно быть не более расчетного).

Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции минимальная толщина огнезащитного покрытия «POLYLACK A» составляет:

$$d_p = 1,18 \text{ мм.}$$

2. В связи с тем, что расчетная критическая температура стальной колонны выше 500°С, возможно применение огнезащитных покрытий, испытанных по ДСТУ Б В.1.1-14. Покрытие «Экопласт», являясь огнезащитным средством конструктивной огнезащиты, поставляемое в виде плит, испытано согласно данному стандарту. Для класса огнестойкости R 60 покрытие имеет следующие значения толщин (Таблица 4.7):

Таблица 4.7 Минимальные значения толщин огнезащитной системы покрытия «Экопласт» для обеспечения класса огнестойкости R 60 стальных колонн

| Класс огнестойкости стальной конструкции | Приведенная толщина стальной конструкции, не менее, мм / Коэффициент сечения, A_{mk}/V , (м ⁻¹) | Общая толщина системы огнезащитного покрытия, при использовании плиты толщиной 20 мм, не менее, мм |
|--|---|--|
| R 60 | 4,74 / 151 | 22 при облицовке в один слой (с учетом слоя финишной штукатурки КНАУФСТАР толщиной 2 мм) |
| R 120 | | 42 при облицовке в два слоя (с учетом слоя финишной штукатурки КНАУФСТАР толщиной 2 мм) |
| R 180 | | 62 при облицовке в три слоя (с учетом слоя финишной штукатурки КНАУФСТАР толщиной 2 мм) |

Для рассматриваемого случая ближайшим и единственным значением коробчатого коэффициента сечения является **151 м⁻¹** (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее расчетного).

Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции система огнезащитного покрытия «Экопласт» должна состоять из одного слоя огнезащитной плиты толщиной 20 мм, оштукатуренной 2 мм финишной штукатурки КНАУФСТАР.

4.4.1.2 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной балки с целью повышения класса огнестойкости до R 45

Согласно п.п. 3.1.8.2, 4.2.6.2, критическая температура балки в условиях пожара при заданной нагрузке составляет:

$$\theta_{cr} = 468,8 \text{ } ^\circ\text{C},$$

при профильном коэффициенте сечения, равном

$$A_m/V = 149 \text{ (м}^{-1}\text{)},$$

и коробчатом коэффициенте сечения

$$A_{mk}/V = 105 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

1. Для повышения предела огнестойкости балки до 45 минут применяются интумесцентные огнезащитные покрытия. Как пример, огнезащитная краска «AMOTHERM STEEL WB» испытана согласно ДСТУ Б В.1.1-17 и для класса огнестойкости R 45 имеет следующие значения толщин (Таблица 4.8):

Таблица 4.8 Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «AMOTHERM STEEL WB», при которых температура ниже проектной для R 45

| Проектная температура, °С | | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
|--|---|--|------|------|------|------|------|
| Приведенная толщина $\delta_{пр}$, мм | Коэффициент сечения, A_m/V , (м ⁻¹) | Класс огнестойкости R 45 | | | | | |
| | | Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм | | | | | |
| 14,5 | 69 | 0,55 | 0,40 | 0,29 | 0,21 | 0,21 | 0,21 |
| 14,3 | 70 | 0,56 | 0,41 | 0,30 | 0,21 | 0,21 | 0,21 |
| 12,5 | 80 | 0,65 | 0,49 | 0,37 | 0,26 | 0,21 | 0,21 |
| 11,1 | 90 | 0,74 | 0,57 | 0,43 | 0,32 | 0,23 | 0,21 |
| 10,0 | 100 | 0,83 | 0,64 | 0,49 | 0,37 | 0,27 | 0,21 |
| 9,1 | 110 | 0,91 | 0,70 | 0,55 | 0,42 | 0,32 | 0,23 |
| 8,3 | 120 | 0,98 | 0,76 | 0,60 | 0,46 | 0,35 | 0,26 |
| 7,7 | 130 | 1,05 | 0,82 | 0,64 | 0,50 | 0,39 | 0,29 |
| 7,1 | 140 | 1,11 | 0,87 | 0,69 | 0,54 | 0,42 | 0,32 |
| 6,7 | 150 | 1,17 | 0,92 | 0,73 | 0,57 | 0,45 | 0,35 |
| 6,3 | 160 | 1,23 | 0,97 | 0,76 | 0,61 | 0,48 | 0,38 |
| 5,9 | 170 | - | 1,01 | 0,80 | 0,64 | 0,51 | 0,40 |
| 5,6 | 180 | - | 1,05 | 0,83 | 0,67 | 0,53 | 0,42 |
| 5,3 | 190 | - | 1,09 | 0,87 | 0,69 | 0,55 | 0,44 |
| 5,0 | 200 | - | 1,12 | 0,90 | 0,72 | 0,57 | 0,46 |
| 4,8 | 210 | - | 1,16 | 0,92 | 0,74 | 0,60 | 0,48 |
| 4,5 | 220 | - | 1,19 | 0,95 | 0,76 | 0,61 | 0,49 |
| 4,3 | 230 | - | 1,22 | 0,97 | 0,78 | 0,63 | 0,51 |
| 4,2 | 240 | - | 1,25 | 1,00 | 0,80 | 0,65 | 0,52 |
| 4,0 | 250 | - | - | 1,02 | 0,82 | 0,67 | 0,54 |
| 3,8 | 260 | - | - | 1,04 | 0,84 | 0,68 | 0,55 |
| 3,7 | 270 | - | - | 1,06 | 0,86 | 0,69 | 0,56 |
| 3,6 | 280 | - | - | 1,08 | 0,87 | 0,71 | 0,58 |
| 3,4 | 290 | - | - | 1,10 | 0,89 | 0,72 | 0,59 |
| 3,3 | 300 | - | - | 1,12 | 0,91 | 0,74 | 0,60 |
| 3,2 | 310 | - | - | 1,14 | 0,92 | 0,75 | 0,61 |
| 3,1 | 320 | - | - | 1,16 | 0,93 | 0,76 | 0,62 |

2. Из таблицы видим, что для рассматриваемого примера ближайшим значением профильного коэффициента сечения является 150 м⁻¹ (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно

быть не менее расчетного), а значение критической температуры – **450°C** (так как выбранное значение критической температуры должно быть не более расчетного).

Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции минимальная толщина огнезащитного покрытия «AMOTHERM STEEL WB» составляет:

$$d_p = 0,92 \text{ мм.}$$

4.4.1.3 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной колонны с целью повышения класса огнестойкости до R 150

Согласно п.п. 3.1.8.3, 4.2.6.3, критическая температура колонны в условиях пожара при заданной нагрузке составляет:

$$\theta_{cr} = 414,1^\circ\text{C},$$

при профильном коэффициенте сечения, равном

$$A_m/V = 166 \text{ (м}^{-1}\text{)},$$

и коробчатом коэффициенте сечения

$$A_{mk}/V = 134 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

1. Для повышения предела огнестойкости колонны до 150 минут возможно использование конструктивных методов в виде огнезащитных плит. Как пример, плита «Эндотерм 210104» испытана согласно методике, изложенной в ДСТУ Б В.1.1-17, и для класса огнестойкости R150 имеет следующие значения толщин (Таблица 4.9):

Таблица 4.9 Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «Плита «Эндотерм 210104», при которых температура ниже проектной для R 150

| Проектная температура, °C | | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 |
|-----------------------------------|---|--|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Приведенная толщина δ , мм | Коробчатый коэффициент сечения, A_{mk}/V_i (м ⁻¹) | Класс огнестойкости R 150 | | | | | | | | |
| | | Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм | | | | | | | | |
| 20,0 | 50 | 29,1 | 26,8 | 24,7 | 22,8 | 21,0 | 19,4 | 17,8 | 16,4 | 15,1 |
| 16,7 | 60 | 32,3 | 30,0 | 27,9 | 25,9 | 24,1 | 22,4 | 20,9 | 19,4 | 18,0 |
| 14,3 | 70 | 35,1 | 32,8 | 30,6 | 28,6 | 26,8 | 25,1 | 23,5 | 22,0 | 20,6 |
| 12,5 | 80 | 37,5 | 35,1 | 32,9 | 30,9 | 29,1 | 27,3 | 25,7 | 24,2 | 22,8 |
| 11,1 | 90 | 39,5 | 37,2 | 35,0 | 33,0 | 31,1 | 29,3 | 27,7 | 26,2 | 24,7 |
| 10,0 | 100 | 41,3 | 39,0 | 36,8 | 34,7 | 32,9 | 31,1 | 29,5 | 27,9 | 26,5 |
| 9,1 | 110 | 42,9 | 40,6 | 38,4 | 36,3 | 34,4 | 32,7 | 31,0 | 29,5 | 28,0 |
| 8,3 | 120 | 44,4 | 42,0 | 39,8 | 37,8 | 35,9 | 34,1 | 32,4 | 30,9 | 29,4 |
| 7,7 | 130 | 45,7 | 43,3 | 41,1 | 39,0 | 37,1 | 35,4 | 33,7 | 32,1 | 30,6 |
| 7,1 | 140 | 46,8 | 44,4 | 42,2 | 40,2 | 38,3 | 36,5 | 34,8 | 33,3 | 31,8 |
| 6,7 | 150 | 47,9 | 45,5 | 43,3 | 41,3 | 39,3 | 37,6 | 35,9 | 34,3 | 32,8 |
| 6,3 | 160 | 48,8 | 46,5 | 44,3 | 42,2 | 40,3 | 38,5 | 36,8 | 35,3 | 33,8 |
| 5,9 | 170 | 49,7 | 47,3 | 45,1 | 43,1 | 41,2 | 39,4 | 37,7 | 36,1 | 34,6 |
| 5,6 | 180 | 50,5 | 48,1 | 45,9 | 43,9 | 42,0 | 40,2 | 38,5 | 36,9 | 35,4 |
| 5,3 | 190 | 51,2 | 48,9 | 46,7 | 44,6 | 42,7 | 40,9 | 39,3 | 37,7 | 36,2 |
| 5,0 | 200 | 51,9 | 49,6 | 47,4 | 45,3 | 43,4 | 41,6 | 40,0 | 38,4 | 36,9 |
| 4,8 | 210 | 52,5 | 50,2 | 48,0 | 46,0 | 44,1 | 42,3 | 40,6 | 39,0 | 37,5 |
| 4,5 | 220 | 53,1 | 50,8 | 48,6 | 46,6 | 44,7 | 42,9 | 41,2 | 39,6 | 38,1 |
| 4,3 | 230 | 53,7 | 51,3 | 49,2 | 47,1 | 45,2 | 43,4 | 41,8 | 40,2 | 38,7 |
| 4,2 | 240 | 54,2 | 51,9 | 49,7 | 47,7 | 45,8 | 44,0 | 42,3 | 40,7 | 39,2 |
| 4,0 | 250 | 54,7 | 52,3 | 50,2 | 48,1 | 46,2 | 44,5 | 42,8 | 41,2 | 39,7 |

2. Из таблицы видим, что для рассматриваемого примера ближайшим значением коэффициента сечения является 140 м^{-1} (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее расчетного), а значение критической температуры - 400°C (так как выбранное значение критической температуры должно быть не более расчетного).

Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции минимальная толщина огнезащитного покрытия «Плита «Эндотерм 210104» составляет:

$$d_p = 44,4 \text{ мм.}$$

4.4.1.4 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для элемента фермы с целью повышения класса огнестойкости до R 30

Согласно п.п. 3.2.3.1, 4.2.6.4, критическая температура раскола в условиях пожара при заданной нагрузке составляет:

$$\theta_{cr} = 545,7^\circ\text{C,}$$

при профильном и коробчатом коэффициентах сечения

$$A_m/V = 308 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

1. Для повышения предела огнестойкости до 30 минут возможно использование интумесцентных огнезащитных покрытий. Как пример, состав «Феникс СТС» испытан согласно методике, изложенной в ДСТУ Б В.1.1-17, и для класса огнестойкости R 30 имеет следующие значения толщин (Таблица 4.10):

Таблица 4.10 Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «Феникс СТС», при которых температура ниже проектной для R 30

| Проектная температура, °C | | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
|--|---|--|------|------|------|------|------|
| Приведенная толщина $\delta_{пр}$, мм | Коэффициент сечения, A_m/V , (м ⁻¹) | Класс огнестойкости R 30 | | | | | |
| | | Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм | | | | | |
| 14,49 | 69 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 14,29 | 70 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 12,50 | 80 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 11,11 | 90 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 10,00 | 100 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 9,09 | 110 | 0,27 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 8,33 | 120 | 0,34 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 7,69 | 130 | 0,41 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 7,14 | 140 | 0,47 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 6,67 | 150 | 0,53 | 0,28 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 6,25 | 160 | 0,58 | 0,33 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 5,88 | 170 | 0,63 | 0,37 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 5,56 | 180 | 0,68 | 0,41 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 5,26 | 190 | 0,73 | 0,45 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 5,00 | 200 | 0,77 | 0,49 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 4,76 | 210 | 0,81 | 0,52 | 0,27 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 4,55 | 220 | 0,85 | 0,56 | 0,30 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 4,35 | 230 | 0,88 | 0,59 | 0,33 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 4,17 | 240 | 0,92 | 0,62 | 0,36 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 4,00 | 250 | 0,95 | 0,65 | 0,38 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 3,85 | 260 | 0,98 | 0,67 | 0,40 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 3,70 | 270 | 1,01 | 0,70 | 0,43 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 3,57 | 280 | 1,04 | 0,72 | 0,45 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 3,45 | 290 | 1,06 | 0,75 | 0,47 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| 3,33 | 300 | 1,09 | 0,77 | 0,49 | 0,24 | 0,23 | 0,23 |
| 3,23 | 310 | 1,11 | 0,79 | 0,51 | 0,25 | 0,23 | 0,23 |
| 3,13 | 320 | 1,13 | 0,81 | 0,53 | 0,27 | 0,23 | 0,23 |

2. Ближайшим значением профильного коэффициента сечения является 310 м^{-1} (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее расчетного), а значение критической температуры – 500°C (так как выбранное значение критической температуры должно быть не более расчетного).

Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции минимальная толщина огнезащитного покрытия «Феникс СТС» составляет:

$$d_p = 0,51 \text{ мм.}$$

На данном примере необходимо показать, что хотя в общем случае значение критической температуры металлоконструкции подбирается из ряда температур, приведенных в сертификатах соответствия с шагом в 50°C , возможно подобрать толщину огнезащитного покрытия для более точных значений критической температуры. Это может быть оправдано, если расчетная критическая температура стального элемента находится вблизи верхнего значения (в нашем случае $545,7^\circ\text{C}$ ближе к 550°C , но при вычислении толщины огнезащитного покрытия мы вынуждены брать в расчет 500°C), и толщины огнезащитного покрытия для ближайших верхних и нижних значений критических температур существенно отличаются (в нашем случае для 500°C – $0,51 \text{ мм}$, для 550°C – $0,25 \text{ мм}$).

При проведении испытаний согласно ДСТУ Б В.1.1-17 полученные первичные результаты обсчитываются методом числовой регрессии. В протоколе огневых испытаний, на основании которого оформляется сертификат соответствия, приводится аппроксимирующее уравнение регрессии, с помощью которого возможно рассчитать толщину огнезащитного покрытия для более точных значений критической температуры.

В нашем примере можно предположить, что толщина огнезащитного покрытия «Феникс СТС» при критической температуре $545,7^\circ\text{C}$ составит $0,28 \pm 0,30 \text{ мм}$, что против рассчитанной выше толщины $0,51 \text{ мм}$ даст экономию в огнезащитном материале практически в 2 раза.

4.4.1.5 Подбор огнезащитного средства и способа огнезащиты для стальной балки с целью повышения класса огнестойкости до R 60

Согласно п.п. 3.2.3.2, 4.2.6.5, критическая температура балки в условиях пожара при заданной нагрузке составляет:

$$\theta_{cr} = 584,7^\circ\text{C},$$

при профильном коэффициенте сечения, равном

$$A_m/V = 303 \text{ (м}^{-1}\text{)},$$

и коробчатом коэффициенте сечения

$$A_{mk}/V = 192 \text{ (м}^{-1}\text{)}.$$

1. Для повышения предела огнестойкости балки до 60 минут возможно использование интумесцентных огнезащитных покрытий. Как пример, состав «Эндотерм 400202» испытан согласно ДСТУ Б В.1.1-17 и для класса огнестойкости R 60 имеет следующие значения толщин (Таблица 4.11):

Таблица 4.11 Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «Эндотерм 400202», при которых температура ниже проектной для R 60

| Проектная температура, $^\circ\text{C}$ | | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
|---|---|--|------|------|------|------|------|
| Приведенная толщина $\delta_{пр}$, мм | Коэффициент сечения, A_m/V , (м $^{-1}$) | Класс огнестойкости R 60 | | | | | |
| | | Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм | | | | | |
| 14,3 | 70 | 1,42 | 1,09 | 0,85 | 0,67 | 0,53 | 0,42 |
| 12,5 | 80 | 1,59 | 1,23 | 0,98 | 0,78 | 0,63 | 0,51 |
| 11,1 | 90 | 1,73 | 1,36 | 1,09 | 0,89 | 0,72 | 0,59 |
| 10,0 | 100 | 1,86 | 1,48 | 1,19 | 0,98 | 0,80 | 0,66 |
| 9,1 | 110 | 1,97 | 1,58 | 1,29 | 1,06 | 0,88 | 0,73 |
| 8,3 | 120 | 2,07 | 1,67 | 1,37 | 1,13 | 0,94 | 0,79 |

Продолжение таблицы 4.11 Минимальные значения толщин огнезащитного покрытия «Эндотерм 400202», при которых температура ниже проектной для R 60

| Проектная температура, °С | | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
|--|---|--|------|------|------|------|------|
| Приведенная толщина $\delta_{пр}$, мм | Коэффициент сечения, A_m/V , (м ⁻¹) | Класс огнестойкости R 60 | | | | | |
| | | Минимальная толщина покрытия, при которой температура ниже проектной, мм | | | | | |
| 7,7 | 130 | - | 1,75 | 1,44 | 1,20 | 1,01 | 0,85 |
| 7,1 | 140 | - | 1,82 | 1,51 | 1,26 | 1,06 | 0,90 |
| 6,7 | 150 | - | 1,89 | 1,57 | 1,32 | 1,11 | 0,94 |
| 6,3 | 160 | - | 1,95 | 1,63 | 1,37 | 1,16 | 0,99 |
| 5,9 | 170 | - | 2,01 | 1,68 | 1,42 | 1,21 | 1,03 |
| 5,6 | 180 | - | 2,06 | 1,73 | 1,46 | 1,25 | 1,07 |
| 5,3 | 190 | - | - | 1,77 | 1,51 | 1,29 | 1,10 |
| 5,0 | 200 | - | - | 1,82 | 1,55 | 1,32 | 1,13 |
| 4,8 | 210 | - | - | 1,85 | 1,58 | 1,36 | 1,17 |
| 4,5 | 220 | - | - | 1,89 | 1,62 | 1,39 | 1,20 |
| 4,3 | 230 | - | - | 1,92 | 1,65 | 1,42 | 1,22 |
| 4,2 | 240 | - | - | 1,96 | 1,68 | 1,45 | 1,25 |
| 4,0 | 250 | - | - | 1,99 | 1,71 | 1,47 | 1,27 |
| 3,8 | 260 | - | - | 2,01 | 1,73 | 1,50 | 1,30 |
| 3,7 | 270 | - | - | 2,04 | 1,76 | 1,52 | 1,32 |
| 3,6 | 280 | - | - | 2,07 | 1,78 | 1,54 | 1,34 |
| 3,4 | 290 | - | - | 2,09 | 1,80 | 1,56 | 1,36 |
| 3,3 | 300 | - | - | - | 1,83 | 1,58 | 1,38 |
| 3,2 | 310 | - | - | - | 1,85 | 1,60 | 1,40 |
| 3,1 | 320 | - | - | - | 1,87 | 1,62 | 1,41 |
| 3,0 | 330 | - | - | - | 1,88 | 1,64 | 1,43 |
| 2,9 | 340 | - | - | - | 1,90 | 1,66 | 1,45 |

2. Из таблицы видим, что для нашего примера ближайшим значением профильного коэффициента сечения является **310 м⁻¹** (так как выбранное значение коэффициента сечения стальной конструкции должно быть не менее расчетного), а значением критической температуры - **550°С** (выбранное значение критической температуры должно быть не более расчетного).

Таким образом, для заданных параметров металлоконструкции минимальная толщина огнезащитного покрытия «Эндотерм 400202» составляет:

$$d_p = 1,85 \text{ мм.}$$

4.5 Разработка проекта производства огнезащитных работ

(1) Как уже указывалось выше, качество и надежность огнезащитной обработки стальных конструкций зависит от двух основных составляющих: правильности технических решений при составлении проекта проведения огнезащитных работ и адекватного выбора применяемого огнезащитного материала. Способы огнезащиты стальных конструкций необходимо определять при проектировании конкретного объекта с учетом следующих условий:

- требуемый класс огнестойкости конструкций в соответствии со степенью огнестойкости здания;
- тип конфигурации стальной конструкции и ее расположение в пространстве;
- коэффициенты сечения и критические температуры стальных элементов;
- ограничения по нагрузке огнезащитного покрытия на конструкции;
- условия проведения строительно-монтажных и огнезащитных работ;
- требуемые сроки проведения огнезащитной обработки;

- эстетические и экологические характеристики огнезащитного покрытия;
 - условия эксплуатации огнезащитного покрытия;
 - стоимость огнезащитной обработки, включающая цену огнезащитного материала и затраты на работы по огнезащите.
- (2) Согласно статье 11 «Лицензирование деятельности по предоставлению услуг и выполнение работ противопожарного назначения, сертификация и контроль продукции на соответствие требованиям пожарной безопасности» Закона Украины «О пожарной безопасности», хозяйственная деятельность, связанная с оказанием услуг и выполнением работ противопожарного назначения, в том числе проектирование огнезащиты, осуществляется на основании лицензий, выдаваемых в порядке, установленном законодательством.
- (3) Более подробно условия деятельности производителей работ по огнезащите объектов определены в «Лицензионных условиях проведения хозяйственной деятельности по предоставлению услуг и выполнению работ противопожарного назначения». В данном документе указано, что к огнезащитным работам и услугам, которые выполняются в пределах деятельности противопожарного назначения, относятся:
- проектирование систем огнезащитной обработки строительных конструкций;
 - защита огнезащитными материалами металлических, железобетонных и других конструкций;
 - оценка противопожарного состояния объектов;
 - проведение испытаний огнезащитных веществ, материалов, строительных конструкций и изделий на соответствие требований пожарной безопасности.
- (4) Огнезащитные работы выполняются на основании проекта проведения огнезащитных работ. НАПБ Б.01.012 «Правила по огнезащите» устанавливают основные требования по проектированию огнезащиты строительных конструкций. Проектирование пассивной огнезащиты несущих стальных конструкций подразумевает разработку проектной документации для зданий и сооружений, которая осуществляется в несколько этапов:
- составление технического задания и технико-экономического обоснования мероприятий по огнезащите, в котором обозначаются основные параметры огнезащитных работ: требуемый предел огнестойкости стальных конструкций, система огнезащиты с указанием грунтовочных и покрывных материалов, наименования материала для огнезащиты и толщина реактивного или пассивного огнезащитного покрытия, которые соответствуют требуемым пределам огнестойкости;
 - создание предварительного технического проекта и составление сметной документации на огнезащитные работы;
 - разработка проекта проведения работ по огнезащите.
- (5) Основные требования к проекту изложены в п. 6 НАПБ Б.01.012, где определены требования к основным разделам, содержащимся в проекте:
- А. Пояснительная записка. Эта часть проекта содержит:
- общие положения огнезащиты, степень огнестойкости здания и принятый при этом предел огнестойкости стальных конструкций;
 - обоснование применения конкретного огнезащитного материала с указанием технической документации производителя (обозначение и наименование ТУ, ДСТУ, ГОСТ и т. д.), Сертификат соответствия на применяемый огнезащитный материал и/или при необходимости - протокол огневых испытаний;
 - основные физико-химические характеристики запроецированного огнезащитного материала, условия и сроки его эксплуатации;
 - описание выполнения огнезащитных работ со ссылкой на Регламент работ по огнезащите в части технологии работ: подготовки поверхности стальных конструкций, определении допускаемых видов грунтовочных покрытий для металлических конструкций и защитных покрывных материалов, подробном описании инструкции по применению с конкретными решениями в вопросах охраны труда;

- расчетная часть, в которой приводится расчет площади поверхности стальных конструкций, подлежащей огнезащите, расчет расхода огнезащитного материала. Объем огнезащитных работ рассчитывается в квадратных метрах покрываемой поверхности по чертежам и спецификациям элементов конструкций с учетом фасонных изделий.

В. Чертежи конструкций и объектов огнезащиты, зданий (сооружений, помещений), в которых расположенные объекты огнезащиты (в случае выполнения проекта не в составе проектно-сметной документации на объект в целом).

С. Обязательные приложения:

- копия Сертификата соответствия на запроектированный огнезащитный материал;
 - копия токсиколого-гигиенического паспорта на огнезащитный материал;
 - копия лицензии субъекта хозяйствования - разработчика проекта;
 - копия Регламента работ по огнезащите на запроектированный огнезащитный материал.
- (6) При разработке проектов проведения огнезащитных работ применяются огнезащитные материалы, имеющие сертификат соответствия Государственной системы сертификации УкрСЕПРО, Регламент работ по огнезащите на применяемый огнезащитный материал, Заключение Государственной санитарно-эпидемиологической экспертизы, а также материалы отвечающие сфере применения и условиям эксплуатации.
- (7) Вся проектная документация разрабатывается на основании архитектурно-планировочного решения с учетом напряженно-деформированного состояния строительных конструкций и возможного влияния на них при пожаре.
- (8) В соответствии с НАПБ Б.01.012 «Правила по огнезащите», проект должен пройти экспертизу в органах государственного пожарного надзора и может быть использован только после получения положительного экспертного заключения.

Публикация

РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ
СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ОГНЕЗАЩИТЫ В СООТВЕТСТВИИ
С ЕВРОКОДОМ 3
И НАЦИОНАЛЬНЫМИ ПРИЛОЖЕНИЯМИ УКРАИНЫ

Формат 60x84x8. Условных печатных листов 9,76. Тираж 300 экземпляров.

Издатель ООО «НПП «Интерсервис»

Киев, ул. Бориспольская, 9

Свидетельство серии ДК № 3534 от 24.07.2009



РАСЧЕТ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОГНЕЗАЩИТЫ В СООТВЕТСТВИИ С ЕВРОКОДОМ 3 и национальными приложениями Украины

Данная публикация состоит из двух частей, в которых представлена методология проектирования стальных конструкций согласно Еврокоду 3 с учетом требований по огнестойкости. Она содержит основы проектирования и поведения стальных конструкций в условиях пожара и соответствующих аварийных расчетных ситуаций. Публикация приводит классификацию и описание методов расчета конструкций в условиях пожара и случаи, в которых они применяются, а также обоснование применения упрощенных методов расчета, для которых приводятся подробный алгоритм расчета и рабочие примеры.

В первой части дана теоретическая база и справочные материалы для двух основных упрощенных методов расчета по прочностным параметрам и по критической температуре. Вторая часть дополняет первую и содержит алгоритм расчета на этапах от получения значений критической температуры до оформления проекта производства огнезащитных работ.