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

Федеральное государственное учреждение
Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ФГУ ВНИИПО МЧС России)

УТВЕРЖДАЮ
Начальник
ФГУ ВНИИПО МЧС России
доктор техн. наук, профессор
Н.П. Копылов
"28" 03 2006 г.

ИНСТРУКЦИЯ

по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит «Conlit» производства фимы «Rockwool»

(договор № 1974/Н-3.2 от 11.01.2006 г.)

Заместитель начальника
ФГУ ВНИИПО МЧС России
доктор техн. наук, профессор
И.А. Болодьян

МОСКВА 2006

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 3
1. Общие положения 4

2. Статический расчет 4
   2.1. Общие положения 4
   2.2. Центрально-нагруженные стержни 5
   2.3. Изгибаемые и внецентренно-нагруженные стержни 6
   2.4. Фермы 7

3. Номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой минераловатными плитами "Conlit" 8
   3.1. Результаты экспериментальных исследований 8
   3.2. Приведенная толщина металла конструкций 10
   3.3. Построение номограмм с использованием расчетного метода 10
   3.4. Использование номограмм 18

4. Пример расчета предела огнестойкости стальной колонны с огнезащитой минераловатными плитами "Conlit" 19

Приложение "Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой" 21

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена на основании договора № 1974/Н-3.2 от 11.01.2006 г., заказчик: ЗАО "Минеральная вата", адрес: 143980, Россия, г. Железнодорожный, ул. Автозаводская, д. 48 а.

В работе использованы положения следующих нормативных документов:

- ГОСТ 30247.0-94 "Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования" [1];
- НПБ 236-97 "Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности" [2];
- Технологический регламент 11-06 "Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит Rockwool серии Conlit марки Conlit 150 с сеткой из стекловолокна и клея Conlit Glue" [3].

Расчет производился на ЭВМ "Intel Pentium" при использовании комплекса вычислительных программ для расчета теплового состояния конструкций.

В результате проведенной во ВНИИПО серии экспериментальных исследований по определению огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" фирмы "Rockwool" получены расчетные теплофизические характеристики материалов, на основании которых были рассчитаны номограммы огнестойкости стальных конструкций с данной облицовкой.

Полученные номограммы, в сочетании с представленным ниже расчетным методом, позволяют производить оценку огнестойкости стальных конструкций любой конфигурации, при различных толщинах облицовки из минераловатных плит "Conlit", а также решение обратных задач.

ИНСТРУКЦИЯ ПО РАСЧЕТУ ФАКТИЧЕСКИХ ПРЕДЕЛОВ ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОГНЕЗАЩИТОЙ ИЗ МИНЕРАЛОВАТНЫХ ПЛИТ “CONLIT” ПРОИЗВОДСТВА ФИРМЫ “ROCKWOOL”

1. Общие положения

1.1. Расчет пределов огнестойкости стальных конструкций производится по признаку потери несущей способности в нагретом состоянии - R (по классификации ГОСТ 30247.0-94 [1]).
1.2. Сущность метода заключается в определении критической температуры стали исследуемой конструкции, в результате которой наступает ее предел огнестойкости – *статический расчет* и определении времени от начала теплового воздействия до достижения критической температуры – *теплотехнический расчет*.
1.3. Статический расчет конструкции производится по формулам (1…4) настоящей инструкции.
1.4. Теплотехнический расчет производится с помощью номограмм огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой минераловатными плитами "Conlit" по п.3 настоящей инструкции.

2. Статический расчет

2.1. Общие положения

Предел огнестойкости стальных конструкций наступает в результате прогрева их сечения или отдельных его частей до критической температуры.

Критическая температура стальных конструкций, находящихся под действием нагрузки, рассчитывается в зависимости от вида конструкции, схемы ее опирания, марки металла и величины нагрузки.

2.2. Центрально-нагруженные стержни

Предел огнестойкости центрально-нагруженных стержней наступает в результате прогрева их сечения до критической температуры.

Критическая температура центрально-сжатых стержней определяется как наименьшая величина из двух найденных по таблице 1 значений в зависимости от коэффициентов $\gamma_т$ и $\gamma_е$.

Таблица 1

Значения коэффициентов $\gamma_т$ и $\gamma_е$, учитывающих изменения нормативного сопротивления $R^н$ и модуля упругости E стали в зависимости от температуры.

Температура в °С	$\gamma_т$	$\gamma_е$
20	1,0	1,0
100	0,99	0,96
150	0,93	0,95
200	0,85	0,94
250	0,81	0,92
300	0,77	0,90
350	0,74	0,88
400	0,70	0,86
450	0,65	0,84
500	0,58	0,80
550	0,45	0,77
600	0,34	0,72
650	0,22	0,68
700	0,11	0,59

Коэффициенты $\gamma_т$ и $\gamma_е$ вычисляются по формулам:

$$\gamma_т = \frac{N_н}{F\,R^н} \qquad (1)$$

$$\gamma_е = \frac{N_н l_0^2}{\pi^2 E_н J_{min}} \qquad (2)$$

где
$N_н$ - нормативная нагрузка, кг;
F - площадь поперечного сечения стержня, см^2;
$R_н$ - начальное нормативное сопротивление металла, кг/см^2;
$E_н$ - начальный модуль упругости металла, кг/см^2,
для сталей - $E_н$= 2100000 кг/см^2;
l_0 - расчетная длина стержня, см;
J_{min} - наименьший момент инерции сечения стержня, см^4.

Расчетная длина - l_0 стержня принимается равной:
- шарнирное опирание по концам - l;

где
l - длина стержня, см;
- защемление по концам - 0,5 l;
- один конец защемлен другой свободен - 2 l;
- один конец защемлен, другой шарнирно оперт - 0,7 l.

Критическая температура центрально-растянутых стержней определяется по таблице 1 в зависимости от коэффициента $\gamma_т$, вычисленного по формуле (1).

2.3. Изгибаемые и внецентренно-нагруженные элементы

Предел огнестойкости изгибаемых и внецентренно-нагруженных элементов наступает в результате повышения температуры их наиболее напряженной грани до критической величины.

В случае незащищенных элементов и защищенных элементов сплошного сечения температура наиболее напряженной грани принимается равной температуре всего сечения. В случае элементов, изготовленных из прокатных профилей, температура наиболее напряженной грани принимается равной температуре соответствующей полки (стенки) поперечного сечения.

Критическая температура изгибаемых элементов определяется по таблице 1 в зависимости от коэффициента $\gamma_т$, вычисляемого по формуле:

$$\gamma_т = \frac{M_н}{W R^н} \qquad (3)$$

где

$M_н$ - максимальный изгибающий момент от действия нормативных нагрузок, кг·см.

W - момент сопротивления сечения, см^3.

Критическая температура внецентренно-сжатых стержней определяется как наименьшая величина из двух найденных по таблице 1 значений в зависимости от коэффициентов $\gamma_т$ и γ_e.

Коэффициент $\gamma_т$ вычисляется по формуле:

$$\gamma_т = \frac{N_н}{R^н}\left(\frac{e}{W} + \frac{1}{F}\right) \qquad (4)$$

где

e - эксцентриситет приложения нормативной нагрузки - N_i, см.

Коэффициент γ_e находится по формуле (2).

Критическая температура внецентренно-растянутых стержней определяется по таблице 1 в зависимости от коэффициента $\gamma_т$, вычисляемого по формуле (4).

2.4. Фермы

Предел огнестойкости металлических ферм наступает в результате потери несущей способности наиболее слабого, с точки зрения огнестойкости, элемента.

Для выявления такого элемента определяются пределы огнестойкости всех нагруженных стоек, раскосов и поясов фермы. Критическая температура этих элементов находится по формулам (1 ... 4).

3. Номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой минераловатными плитами "Conlit"

3.1. Результаты экспериментальных исследований

Для построения номограмм были обобщены результаты огневых испытаний стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit", проведенные во ВНИИПО (отчеты № 6088 от 25.01.06 г., № 6166 от 26.02.06 г., № 3293 от 22.04.2002 г., № 4520 от 23.12.2003 г., № 1469 от 09.12.98 г. и № 1235 от 29.06.98 г.), с подробным описанием конструкций, их геометрических размеров, условий проведения испытаний, поведения конструкций во время испытаний, а также температурные кривые прогрева в различных точках конструкций при воздействии температурного режима "стандартного пожара".

Испытания проводились в соответствии со следующими нормативными документами:

- ГОСТ 30247.0-94 "Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования" [1];
- НПБ 236-97 "Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности" [2].

В качестве опытных образцов, на которые устанавливалась огнезащита, были использованы стальные колонны двутаврового профиля, высотой 1700 мм, с разной приведенной толщиной металла, в количестве 12 штук.

Схема установки огнезащиты на опытные образцы показана на рис. 1. Минераловатные плиты "Conlit" крепились на колонны в виде коробчатого сечения при помощи спец. клея "Conlit Glue" производства фирмы "Rockwool". Порядок крепления плит описан в отчетах по испытаниям и соответствовал технологическому регламенту 11-06 "Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит Rockwool серии Conlit марки Conlit 150 с сеткой из стекловолокна и клея Conlit Glue" [3].

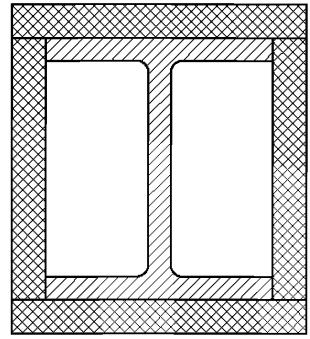


Рис. 1. Схема установки огнезащиты из минераловатных плит "Conlit" на опытные образцы колонн

Для построения номограмм были использованы температурные кривые прогрева колонн, облицованных минераловатными плитами "Conlit", со следующими параметрами:

№ п/п	Приведенная толщина металла, мм	Толщина огнезащиты, мм	Время достижения критической температуры 500 °С, мин
1	3,4	50	101
2	3,4	30	75
3	4,8	50	130
4	4,8	20	84
5	3,4	20+50=70	122
6	6,54	30	127
7*	3,4	20	60,5
8*	3,4	50	97,5
9*	3,4	50	100
10	3,4	50	95
11	6,1	2x50=100	185
12*	3,4	20	62

** - представленные данные, получены в ходе проведения сертификационных испытаний композиции огнезащитной выполненной из минераловатных плит Rockwool серии Conlit марки Conlit 150 (с сеткой) и клея Conlit Glue (отчеты № 1235 от 29.06.98 г., № 3293 от 22.04.2002 г., № 4520 от 23.12.2003 г., № 6088 25.01.2006 г.).*

Испытания колонн проводились при четырехстороннем тепловом воздействии по стандартному температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0. Порядок проведения испытаний и испытательное оборудование представлено в вышеуказанных отчетах.

Результаты испытаний стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" были проанализированы и обобщены. Температурные кривые прогрева испытанных конструкций с различными приведенными толщинами и толщинами облицовки показаны на рис. 2.

3.2. Приведенная толщина металла конструкций

Для представления сложной геометрии двухмерной конструкции в одном измерении необходимо использовать единый параметр для всех видов сечений – приведенную толщину металла, вычисляемую формуле:

$$\delta_{пр} = \frac{F}{П} \qquad (5)$$

где

F - площадь поперечного сечения металлической конструкции, мм ;

$П$ - обогреваемая часть периметра конструкции по таблице 3, мм.

3.3. Построение номограмм с использованием расчетного метода

В данной работе был использован расчетный метод определения прогрева стальных конструкций с огнезащитой, общие положения которого представлены в приложении.

Экспериментальные кривые прогрева стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит «CONLIT» фирмы «Rockwool»

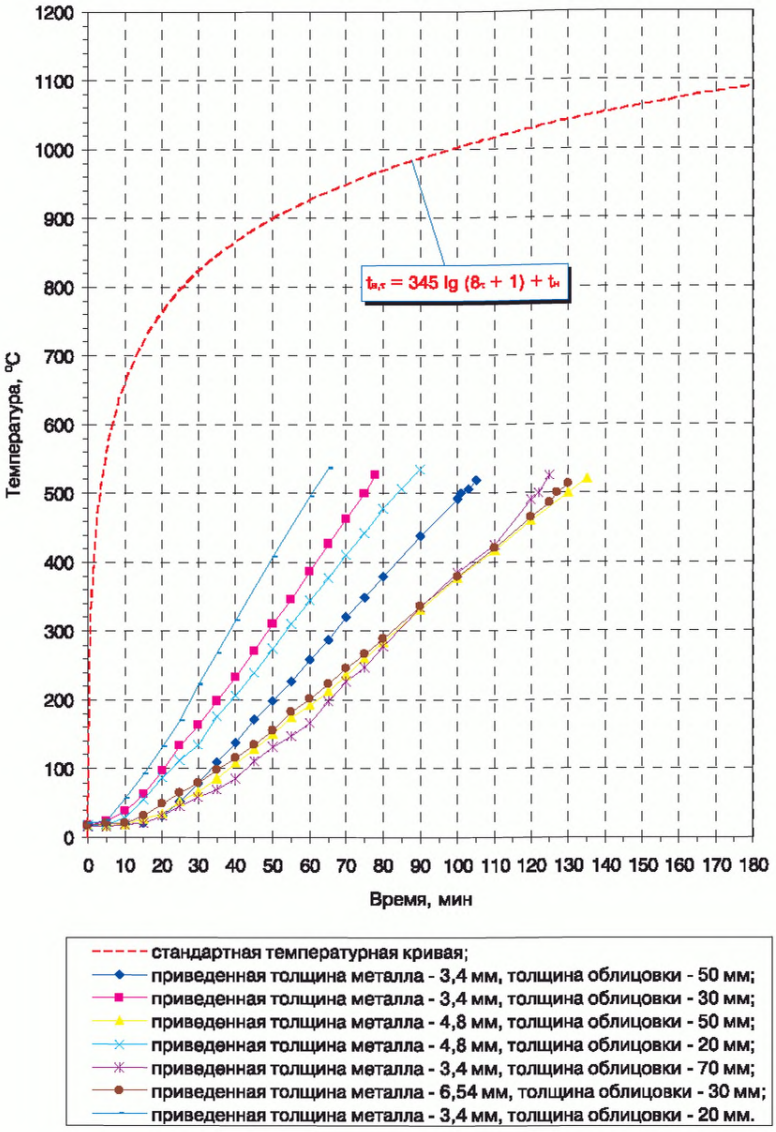
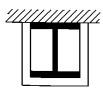
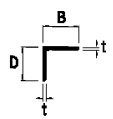
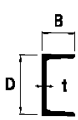
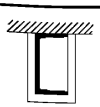
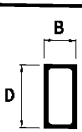
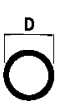


Рис. 2.

Значения обогреваемого периметра для типовых стальных конструкций с огнезащитой, применяемых в строительстве

Профиль	Обогреваемый периметр $\check{I}$ при различных видах облицовки и условиях обогрева, мм			
	Облицовка по контуру		Облицовка в виде короба	
	с 4-х сторон	с 3-х сторон	с 4-х сторон	с 3-х сторон
	 2B + D + 2(B - t) = 4B + 2D - 2t	 2B + D + 2(B - t) = 4B + 2D - 2t	 2B + 2D	 B + 2D
	 2B + 2D	 B + 2D	 2B + 2D	 B + 2D
	 2B + 2D + 2(B - t) = 4B + 2D - 2t	 B + 2D + 2(B - t) = 3B + 2D - 2t	 2B + 2D	 B + 2D
	 2B + 2D	 B + 2D	 2B + 2D	 B + 2D
	 πD	- // -	 πD	- // -

В результате сравнительного анализа данных по испытаниям были получены теплофизические характеристики материала облицовки из минераловатных плит "Conlit": плотность, влажность, степень черноты, коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоемкости, – при нормальных условиях, а также при воздействии температурного режима. Для этого на ЭВМ было построено несколько моделей испытанных ранее конструкций и проведен ряд теплотехнических расчетов с использованием подобранных свойств материала минераловатных плит "Conlit". Сравнительные расчеты проводились до достижения среднего расхождения между результатами расчетов и испытаний не более 20 %.

Теплофизические характеристики облицовки, полученные в результате анализа данных по испытаниям, далее были использованы для построения зависимостей (номограмм) огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" при различных толщинах облицовки.

Для расчетов на ЭВМ были построены модели стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" с разными значениями толщин облицовки и приведенной толщины металла.

Далее были проведены теплотехнические расчеты данных конструкций при воздействии температурного режима "стандартного пожара" и с использованием полученных свойств материала.

За предел огнестойкости конструкции принималось время нагревания, по истечении которого средняя температура стальной конструкции достигала критической величины. Критическая температура $t_{кр}$ принималась для значений: 450 °С, 500 °С (по НПБ 236-97), 550 °С и 600 °С.

В результате расчетов был получен ряд значений пределов огнестойкости конструкций при различных критических температурах $t_{кр}$. Все эти данные были сведены в таблицы пределов огнестойкости конструкций для 4-х значений критических температур, по которым были построены номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" фирмы "Rockwool", рис. 3, 4, 5, 6.

Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" фирмы "Rockwool" при t кр= 450 °С

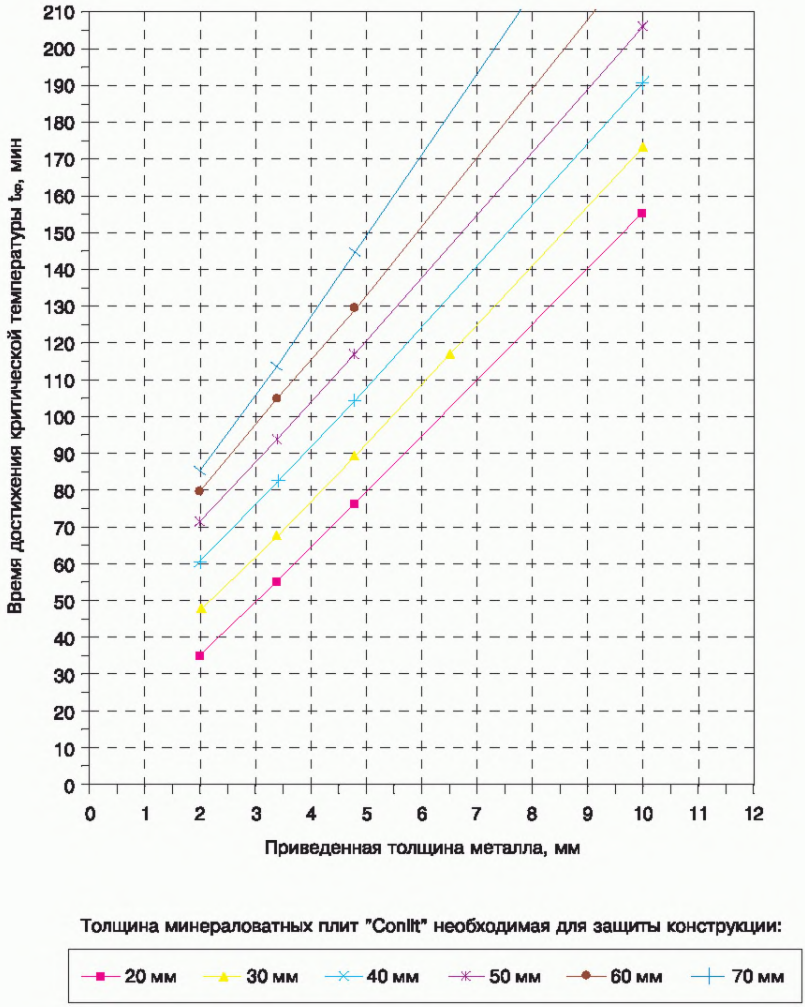


Рис. 3.

Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" фирмы "Rockwool" при t кр= 500 °С

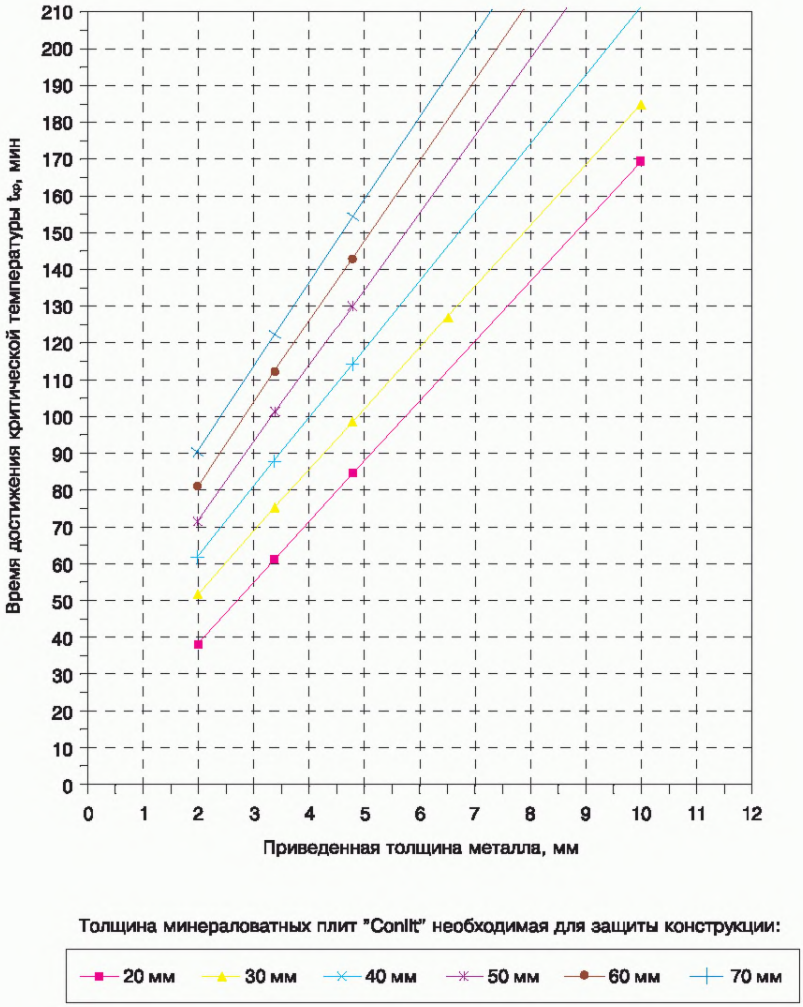


Рис. 4.

Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" фирмы "Rockwool" при t кр= 550 °С

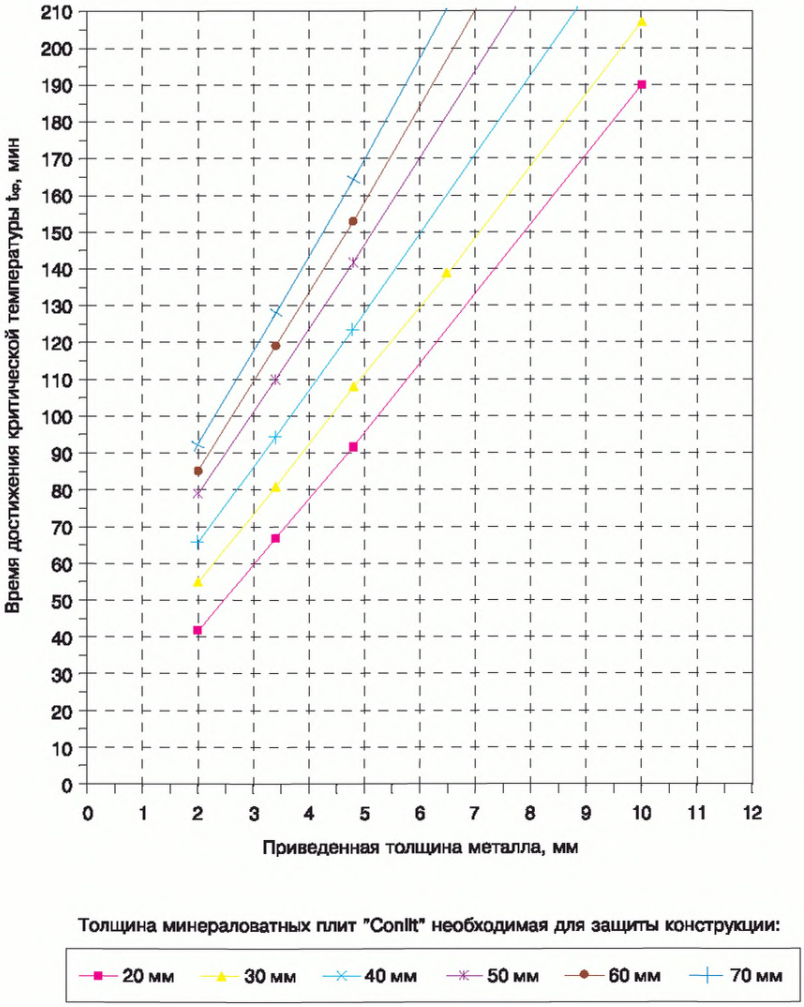


Рис. 5.

Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" фирмы "Rockwool" при t кр= 600 °С

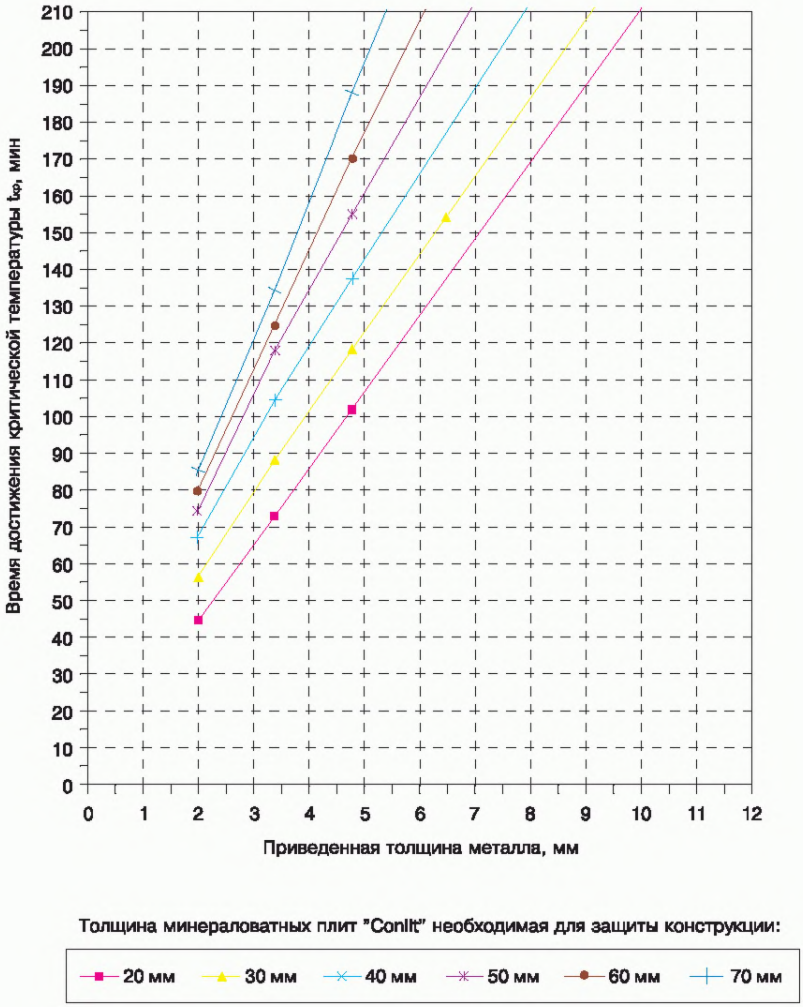


Рис. 6.

3.5. Использование номограмм

Номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит "Conlit" фирмы "Rockwool" предназначены для определения пределов огнестойкости стальных конструкций при критических температурах стали: $t_{кр}$ = 450 °С, 500 °С, 550 °С и 600 °С, см. рис. 3, 4, 5, 6.

Номограммы построены в координатах: "Приведенная толщина металла, мм" - "Время, мин", где "Время" - время достижения предела огнестойкости конструкции. Каждая точка номограммы соответствует пределу огнестойкости стальной конструкции с определенной приведенной толщиной металла и толщиной минераловатных плит "Conlit". Точки номограммы, соответствующие конструкциям с одной и той же толщиной минераловатных плит, соединены линиями одного цвета и обозначены в легенде в виде значений толщины облицовки (мм). Для поиска промежуточных значений приведенной толщины металла и толщины облицовки следует использовать интерполяцию графиков номограммы.

Для определения предела огнестойкости конструкции необходимо предварительно произвести статический расчет по формулам (1...4) для определения критической температуры стали исследуемой конструкции и принять ближайшее значение $t_{кр}$ из приведенного выше ряда, либо принять нормативное значение $t_{кр}$. Далее следует определить приведенную толщину металла конструкции по формуле (5).

Определив критическую температуру и выбрав соответствующую ей номограмму, на поле номограммы находится график, соответствующий заданной толщине минераловатных плит "Conlit", см. легенду. Выбранный график является функцией зависимости времени предела огнестойкости конструкции от приведенной толщины металла и используется для определения предела огнестойкости стальной конструкции с огнезащитой минераловатными плитами "Conlit".

Аналогичным образом данные номограммы могут использоваться для решения обратных задач: поиска минимальной толщины минераловатных плит "Conlit", для обеспечения заданного предела огнестойкости, и поиска минимальной приведенной толщины металла конструкции для обеспечения заданного предела огнестойкости.

4. ПРИМЕР РАСЧЕТА ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ СТАЛЬНОЙ КОЛОННЫ С ОГНЕЗАЩИТОЙ МИНЕРАЛОВАТНЫМИ ПЛИТАМИ "CONLIT"

Исходные данные:

Дана стальная колонна, выполненная из двутавра № 20 по ГОСТ 8239-89, длиной 3,0 м, с шарнирным опиранием по концам, нагруженной центрально приложенной нагрузкой $N_н$ = 40 т. Колонна имеет огнезащиту из минераловатных плит "Conlit" толщиной 30 мм. Определить предел огнестойкости колонны при условии 4-х стороннего обогрева.

Расчет:

1. Согласно п. 2.2. вычисляем критическую температуру:

По формулам (1) и (2) вычисляем коэффициенты $\gamma_т$ и γ_e при следующих параметрах:

$N_н$ = 40000 кг;

F= 26,8 см^2 - взято из справочника конструктора;

$R^н$ = 2800 кг/см^2 - для стали Ст5 по ГОСТ 380-71;

$E_н$ = 2100000 кг/см^2;

l_0 = 300 см - для случая шарнирного опирания обеих концов;

J_{min} = 1840 см^4 - взято из справочника конструктора.

$\gamma_т$ = 0,53

γ_e = 0,09,

Для полученных коэффициентов $\gamma_т$ и $\gamma_е$ по таблице 1 находим значения температур и наименьшую принимаем за критическую температуру:

$t_{кр}$ = 519 °С

2. По формуле (5) вычисляем приведенную толщину металла конструкции. Геометрические размеры и площадь сечения колонны берутся из ГОСТ 8239-89 для двутавра № 20.

$\bar{Y}$ = 789,6 мм - для случая 4-х стороннего обогрева колонны;

F = 2680 мм^2.

$\delta_{пр}$ = 3,4 мм.

3. Определив критическую температуру конструкции $t_{кр}$ = 519 °С выбираем номограммы с ближайшими значениями $t_{кр}$ = 500 °С и $t_{кр}$ = 550 °С. Для заданной толщины минераловатных плит "Conlit" δ_0 = 30 мм (см. легенду) и для найденной приведенной толщины металла $\delta_{пр}$ = 3,4 мм находим два значения предела огнестойкости конструкции при $t_{кр}$ = 500 °С и $t_{кр}$ - 550°С;

τ_1= 75 мин, τ_2= 81 мин.

Интерполируя данный отрезок получаем значение предела огнестойкости при $t_{кр}$ = 519 °С;

τ =77 мин.

Приложение: Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой.

Начальник отдела
доктор технических наук — И.Р. Хасанов

Заместитель начальника отдела
кандидат технических наук — В.И. Голованов

Старший научный сотрудник — А.В. Пехотиков

Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой

1. Расчет производится при условии изменения температуры нагревающей среды во времени по кривой "стандартного пожара" (ГОСТ 30247.0-94), уравнение которой имеет вид:

$$t_{в,\tau} = 345\lg(0{,}133\tau + 1) + t_н \qquad (6)$$

где

$t_{в,\tau}$ - температура нагревающей среды, °К;

τ - время в секундах;

t_i - начальная температура нагревающей среды, °К.

2. Коэффициент передачи тепла - α, Вт/(м^2 К), от нагревающей среды с температурой $t_{в,\tau}$ к поверхности конструкции с температурой t_0 вычисляется по формуле:

$$\alpha = 29 + 5{,}77 s_{пр} \frac{(t_{в,\tau}/100)^4 - (t_0/100)^4}{t_{в,\tau} - t_0} \qquad (7)$$

где

$s_{iэ}$ - приведенная степень черноты системы: "нагревающая среда – поверхность конструкции":

$$s_{пр} = \frac{1}{(1/s) + (1/s_0) - 1} \qquad (8)$$

где

s - степень черноты огневой камеры печи. s = 0,85;

s_0 - степень черноты обогреваемой поверхности конструкции.

3. Расчет температуры металлического стержня конструкций производится с помощью ЭВМ.

Программа для расчета составляется по алгоритму, который представляет собой ряд формул, полученных на основе решения краевой задачи теплопроводности методом элементарных балансов (конечно-разностный метод решения уравнения теплопроводности Фурье при внешней и внутренней нелинейности и наличии отрицательных источников тепла: испарение воды в облицовке и нагрев металла стержня). По этим формулам температура стержня вычисляется последовательно через расчетные интервалы времени - $\Delta\tau$ до заданного критического значения.

4. Начальные условия для расчета принимаются следующими: Начальная температура во всех точках по сечению конструкции до пожара и температура окружающей среды вне зоны пожара одинакова и равна t_1 = 293 °К.

5. Величина расчетного интервала времени - $\Delta\tau$ (шаг программы) выбирается такой, чтобы она целое число раз укладывалась в интервале машинной записи результатов расчета. При этом выбранная величина $\Delta\tau$ не должна превышать значения, которое вычисляется по формуле (11).

6. Незащищенные металлические конструкции

Алгоритмом для машинного расчета незащищенных металлических конструкций является формула, имеющая вид:

$$t_{cm,\Delta\tau} = \frac{\Delta\tau}{\gamma_{cm}\delta_{np}\left(C_{cm} + D_{cm}t_{cm}\right)}\alpha\left(t_{в,\tau} - t_0\right) + t_н \qquad (9)$$

где

$t_{пр},\Delta\tau$ - температура стержня через расчетный интервал времени-$\Delta\tau$, °К;

$t_{пр}$ - температура стержня в данный момент времени - τ, °К;

$t_{д,\tau}$ - температура нагревающей среды в данный момент времени - τ, °К;

α - коэффициент передачи тепла от нагревающей среды к поверхности конструкции, Вт/(м^2 град);
$\tilde{N}_{\tilde{n}\tilde{o}}$ - начальный коэффициент теплоемкости металла, Дж/(кг град);
$D_{\tilde{n}\tilde{o}}$ - коэффициент изменения теплоемкости металла при нагреве, Дж/(кг град^2);
$\gamma_{\tilde{n}\tilde{o}}$ - удельный вес металла, кг/м^3;
$\delta_{i\partial}$ - приведенная толщина металла, м:

$$\delta_{np} = \frac{F}{\Pi} \qquad (10)$$

где
F - площадь поперечного сечения стержня, м^2;
$\Ï$ - обогреваемый периметр сечения стержня, м.

7. Максимальный расчетный интервал времени - $\Delta\tau_{max}$ вычисляется по формуле:

$$\Delta\tau_{max} = \frac{\gamma_{cm}\delta_{np}\left(C + D_{cm}t_{cm}\right)}{\alpha} \qquad (11)$$

где
α и $t_{\tilde{n}\tilde{o}}$ - максимально возможные значения в расчете.

8. Конструкции с огнезащитными облицовками

Для плоских конструкций с одномерным потоком тепла по толщине алгоритм машинного расчета составляется на основании схемы, изображенной на рис. 3. Огнезащитная облицовка толщиной δ_0 разбивается на n-ое число слоев Δx.

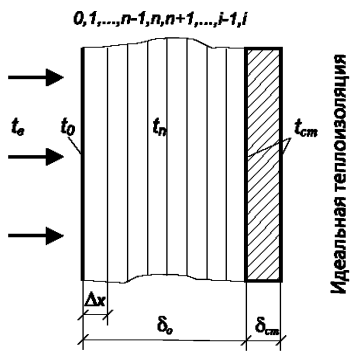


Рис. 3. Схема к расчету на ЭВМ прогрева стальной пластины с огнезащитной облицовкой.

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

- температура на обогреваемой поверхности облицовки:

$$t_{0,\Delta\tau} = \frac{2\Delta\tau\left[A(t_1 - t_0) + 0{,}5B\left(t_1^2 - t_0^2\right) + \alpha(t_в - t_0)\Delta x\right]}{\gamma_0 \Delta x^2 (C + Dt_0)} + t_0 - t_ф \quad (12)$$

- температура во внутренних слоях облицовки:

$$t_{n,\Delta\tau} = \frac{\Delta\tau\left[A(t_{n-1} - 2t_n + t_{n+1}) + 0{,}5B\left(t_{n-1}^2 - 2t_n^2 + t_{n+1}^2\right)\right]}{\gamma_0 \Delta x^2 (C + Dt_n)} + t_n - t_ф \quad (13)$$

- температура на стальной пластине:

$$t_{ст,\Delta\tau} = \frac{2\Delta\tau\left[A(t_n - t_{ст}) + 0{,}5B\left(t_n^2 - t_{ст}^2\right)\right]}{\Delta x\left[\gamma_0 \Delta x (C + Dt_{ст}) + 2\gamma_{ст}\delta_{ст}(C_{ст} + D_{ст}t_{ст})\right]} + t_{ст} - t_ф \quad (14)$$

где

A - начальный коэффициент теплопроводности облицовки, Вт/(м град);

B - коэффициент изменения теплопроводности облицовки при нагреве, Вт/(м град^2);

C - начальный коэффициент теплоемкости облицовки, Дж/(кг град);

D - коэффициент изменения теплоемкости облицовки при нагреве, Дж/(кг град^2);

$$t_ф = \frac{p_в r}{100\left[(C + Dt_{ст}) + \dfrac{2\gamma_{ст}\delta_{ст}(C_{ст} + D_{ст}t_{ст})}{\gamma_0 \Delta x}\right]} \quad (15)$$

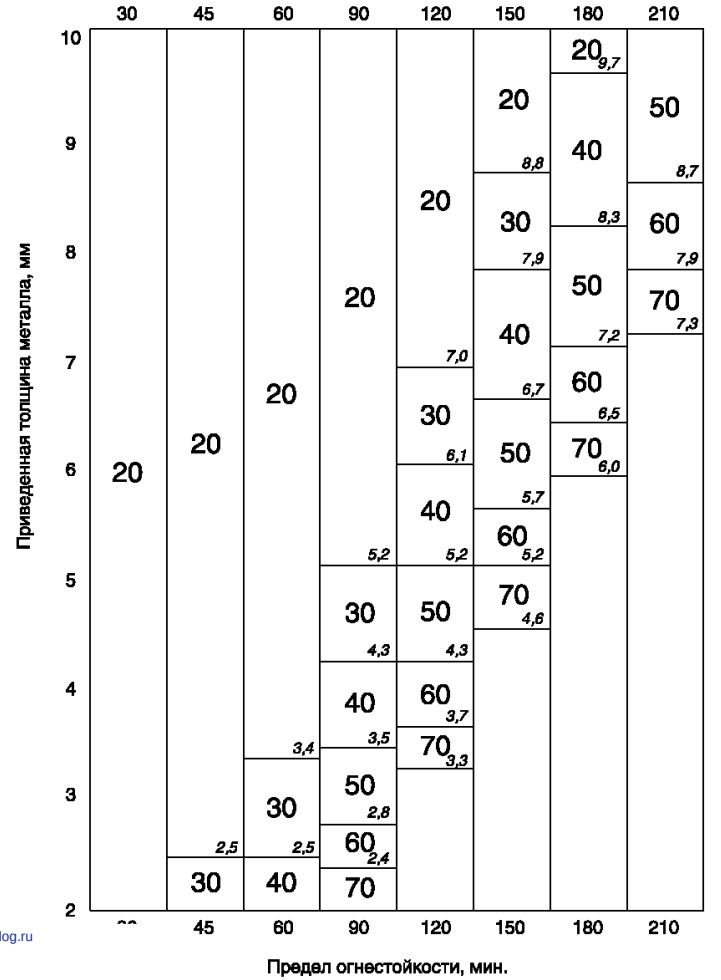
- фиктивная температура.

где

$\delta_в$ - начальная весовая влажность облицовки, %;

r - скрытая теплота парообразования воды, r = 2260 • 10^3 Дж/кг.

ТОЛЩИНА МАТЕРИАЛА CONLIT В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРЕДЕЛА ОГНЕСТОЙКОСТИ И ПРИВЕДЕННОЙ ТОЛЩИНЫ МЕТАЛЛА



gost.e-ecolog.ru