**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)

03.2011

Инструкция

по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Conlit производства фирмы Rockwool

ROCKWOOL®
НЕГОРЮЧАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

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***

" 19 " 01 2011 г.

Инструкция

по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты Conlit SL 150 ТУ 5767-029-45757203-10 и клея Conlit Glue ТУ 2252-018-52935415-2010

(договор № 4092/Н-3.2 от 21.07.2010 г.)

Заместитель начальника
ФГУ ВНИИПО МЧС России
доктор технических наук

И. Р. Хасанов

Москва, 2011

new_conlit.indd 3 23.03.2011 17:30:25

Оглавление

Введение 5

В работе использованы положения следующих нормативных документов: 5

1. Общие положения 6

2. Статический расчет 6

2.1 Общие положения 6
2.2 Центрально-нагруженные стержни. 6
2.3 Изгибаемые и внецентренно-нагруженные элементы 8
2.4 Фермы 8

3. Номограммы огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 и клея Conlit Glue. 9

3.1 Результаты экспериментальных исследований. 9
3.2 Приведенная толщина металла конструкций 12
3.3 Построение номограмм с использованием расчетного метода . . 16
3.4 Использование номограмм 21

4. Пример расчета предела огнестойкости стальной колонны с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 22

Приложение А 24

Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой. 24
Для заметок 29

new_conlit.indd 4 23.03.2011 17:30:25

Введение

Работа выполнена на основании договора № 4092/Н-3.2 от 21.07.2010 г., заказчик: ЗАО «Минеральная вата». 143980, Московская обл., г. Железнодорожный, ул. Автозаводская, д. 48а. ОГРН 1025001547592. ИНН 5012016452.

В работе использованы положения следующих нормативных документов:

- ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования»;
- ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности»;
- Технологический регламент 11-07 «Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 и клея Conlit Glue»;
- ТУ 5762-029-45757203-10 «Плиты теплоизоляционные из минеральной (каменной) ваты»;
- ТУ 2252-018-52935415-2010 «Клей «Conlit glue».

В результате проведенной на испытательной базе ИЛ НИЦ ПБ ФГУ ВНИИПО МЧС России серии экспериментальных исследований по определению огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 и клея Conlit Glue получены расчетные теплофизические характеристики материалов, на основании которых были построены номограммы огнестойкости стальных конструкций с данной облицовкой.

Расчет производился при помощи комплекса вычислительных программ для расчета теплового состояния конструкций.

Полученные номограммы, в сочетании с представленным ниже расчетным методом, позволяют производить оценку огнестойкости стальных конструкций любой конфигурации, при различных толщинах облицовки из минераловатных плит Conlit SL 150, а также решение обратных задач.

new_conlit.indd 5 23.03.2011 17:30:25

1. Общие положения

1.1 Расчет пределов огнестойкости стальных конструкций производится по признаку потери несущей способности в нагретом состоянии – R (по классификации ГОСТ 30247.0-94).

1.2 Сущность метода заключается в определении критической температуры стали исследуемой конструкции, в результате которой наступает ее предел огнестойкости – статический расчет и определении времени от начала теплового воздействия до достижения критической температуры – теплотехнический расчет.

1.3 Статический расчет конструкции производится по формулам п. 2 настоящей инструкции.

1.4 Теплотехнический расчет производится с помощью номограмм огнестойкости стальных конструкций с огнезащитной облицовкой, выполненной из минераловатных плит Conlit SL 150 по п. 3 настоящей инструкции.

2. Статический расчет

2.1 Общие положения

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

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

2.2 Центрально-нагруженные стержни

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

Критическая температура центрально-сжатых стержней определяется как наименьшая величина из двух найденных по таблице 1 значений в зависимости от коэффициентов γт и γе.

new_conlit.indd 6 23.03.2011 17:30:25

Таблица 1. Значения коэффициентов γт и γе, учитывающих изменения нормативного сопротивления Rн и модуля упругости E стали в зависимости от температуры.

Температура в °C	γт	γе
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 γт и γе вычисляются по формулам:

$$\gamma_{\text{т}} = \frac{N_н}{F\ R^н} \qquad (1)$$

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

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 – 0,5l;

– один конец защемлен другой свободен – 2l;

– один конец защемлен, другой шарнирно оперт – 0,7l.

new_conlit.indd 7 23.03.2011 17:30:25

Критическая температура центрально-растянутых стержней определяется по таблице 1 в зависимости от коэффициента γт, 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 γт, вычисляемого по формуле:

$$\gamma_{\text{т}} = \frac{M_{н}}{W\,R^{н}} \qquad (3)$$

где:

Мн – 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 γт и γе.

Коэффициент γт вычисляется по формуле:

$$\gamma_{\text{т}} = \frac{N_{н}}{R^{н}}\left(\frac{e}{W} + \frac{1}{F}\right) \qquad (4)$$

где:

e – эксцентриситет приложения нормативной нагрузки – $N_{н}$, см.

Коэффициент γе находится по формуле (2).

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

2.4 Фермы

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

new_conlit.indd 8 23.03.2011 17:30:25

Для выявления такого элемента определяются пределы огнестойкости всех нагруженных стоек, раскосов и поясов фермы. Критическая температура этих элементов находится в соответствии с п.п. 2.1–2.3.

3. Номограммы огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 и клея Conlit Glue

3.1 Результаты экспериментальных исследований

Для построения номограмм были обобщены результаты огневых испытаний стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150, проведенные во ВНИИПО (отчет № 10277 от 28.07.2010 г.), с подробным описанием конструкций, их геометрических размеров, условий проведения испытаний, поведения конструкций во время испытаний, а также температурные кривые прогрева в различных точках конструкций при воздействии температурного режима «стандартного пожара».

Испытания проводились в соответствии со следующими нормативными документами:

- ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования»;
- ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности»

В качестве опытных образцов, на которые устанавливалась огнезащита, были использованы стальные колонны двутаврового сечения (двутавр № 20Б1 ГОСТ 26020-83 с приведенной толщиной металла 3,4 мм), в количестве 6 штук (по 2 образца на каждую толщину облицовки).

Технология монтажа плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты Conlit SL 150 была аналогична для всех опытных образцов, и осуществлялась в соответствии с требованиями технологического регламента 11-07 «Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 и клея Conlit Glue».

Опытные образцы стальных колонн очищались от пыли и загрязнений, обезжиривались, после чего наносился слой антикоррозионного грунту марки ГФ-021 толщиной 0,05 мм.

Для крепления плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты Conlit SL 150 различной толщины, образующих на опытных образцах однослойную облицовку коробчатого сечения, между полками

new_conlit.indd 9 23.03.2011 17:30:26

двтувровых колонн устанавливались вставки, вырезаемые из минераловатных плит Conlit SL 150 толщиной 40 мм. Вставки вырезались шириной не менее 100 мм и устанавливались в распор между полками колонн, с выступом над ними на 2-3 мм, с шагом не более 600 мм. Для фиксации вставок использовался клей Conlit Glue, минимальная толщина наносимого слоя которого, составляла 2 мм.

После схватывания клея между установленными вставками и металлом опытных образцов, проводился монтаж основного слоя минераловатных плит Conlit SL 150, в следующей последовательности.

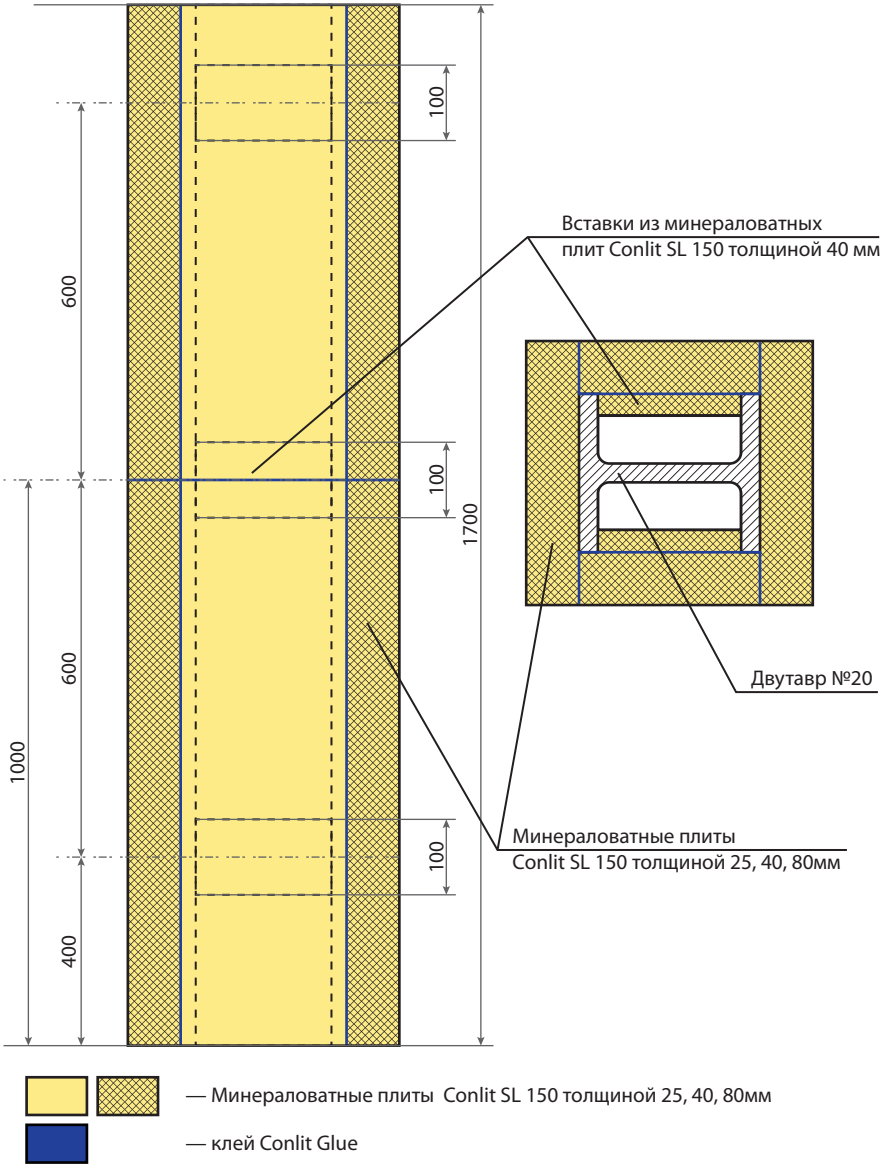
На установленные вставки наносился слой клея Conlit Glue толщиной не менее 2 мм, и накладывались теплоизоляционные плиты из минеральной (каменной) ваты Conlit SL 150, предварительно раскроенные по размеру высоты двутавра. После чего, на торцы установленных минераловатных плит, наносился слой клея толщиной не менее 2 мм, и также накладывались плиты Conlit SL 150 раскроенные по размеру облицовки.

Для фиксации плит использовались гвозди, которые вынимались после схватывания клея.

Схема монтажа композиции огнезащитной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты Conlit SL 150 и клея Conlit Glue на опытных образцах стальных колонн, представлена на рис. 1.

new_conlit.indd 10 23.03.2011 17:30:26

Рисунок. 1. Схема монтажа однослойной облицовки из минеральной (каменной) ваты Conlit SL 150 толщиной 25, 40, 80 мм в композиции с клеем Conlit Glue на опытных образцах стальных колонн.



new_conlit.indd 11 23.03.2011 17:30:26

Для построения номограмм были использованы температурные кривые прогрева колонн, облицованных минераловатными плитами Rockwool серии Conlit SL 150, со следующими параметрами:

Таблица 2

№ п/п	Приведенная толщина металла, мм	Толщина огнезащиты, мм	Время достижения критической температуры 500 °С, мин
1	3,4	25	77
2	3,4	40	93
3	3,4	80	154

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

Результаты испытаний стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 были проанализированы и обобщены. Температурные кривые прогрева испытанных конструкций с различными приведенными толщинами и толщинами облицовки представлены на рис. 2-4.

3.2 Приведенная толщина металла конструкций

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

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

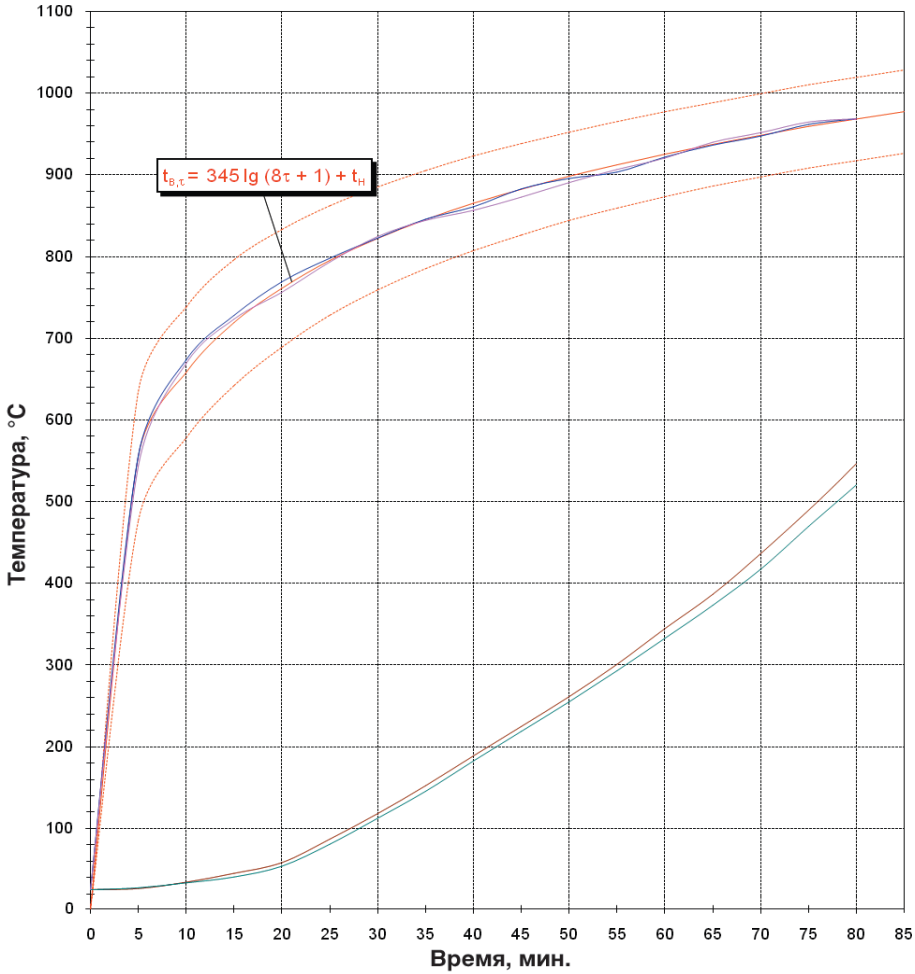
где:

F – площадь поперечного сечения металлической конструкции, мм^2;

П – обогреваемая часть периметра конструкции, мм.

new_conlit.indd 12 23.03.2011 17:30:26

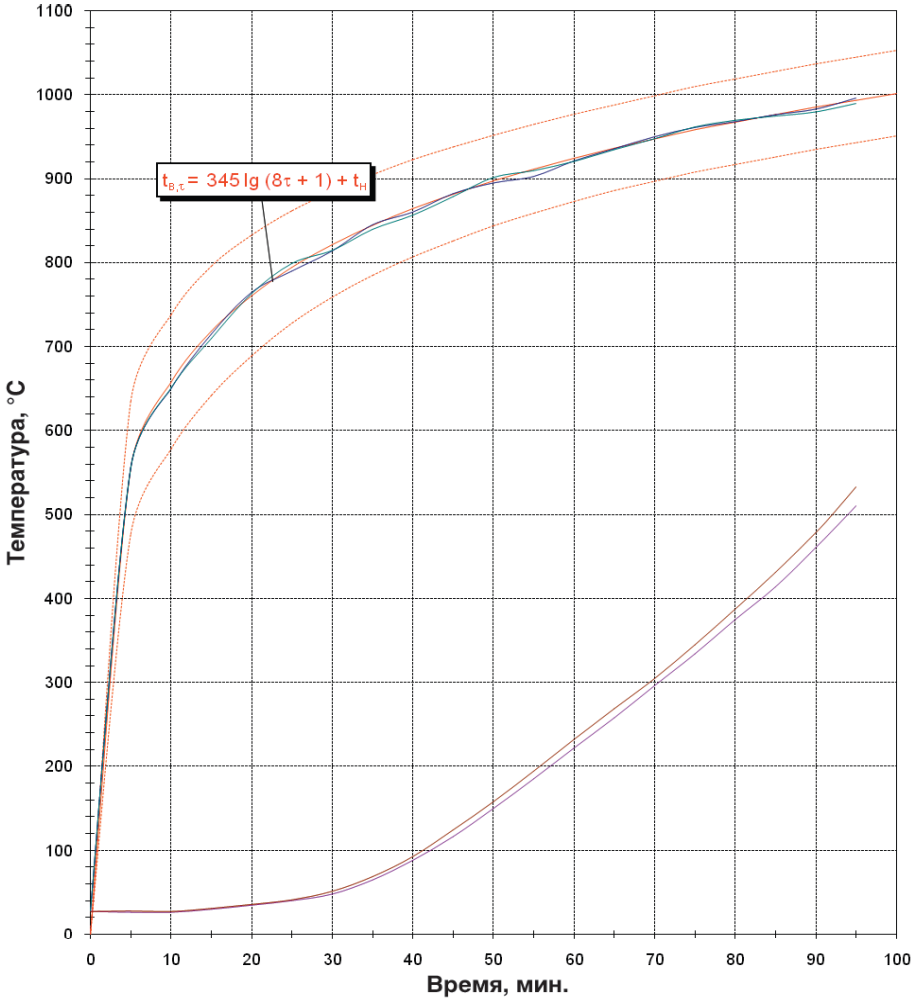
Рисунок 2. Температурные кривые прогрева опытных образцов стальных колонн (двутавр № 20) с композицией огнезащитной выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты Conlit SL 150 толщиной 25 мм и клея Conlit Glue.



$t_{в,\,т}$ – стандартная температурная кривая;
верхняя и нижняя допустимые границы отклонения от $t_{в,\,т}$
средняя температура на стальной колонне, образец №1
средняя температура на стальной колонне, образец №2
средняя температура среды в огневой камере печи, опыт №1 (образец №1)
средняя температура среды в огневой камере печи, опыт №2 (образец №2)

new_conlit.indd 13 23.03.2011 17:30:26

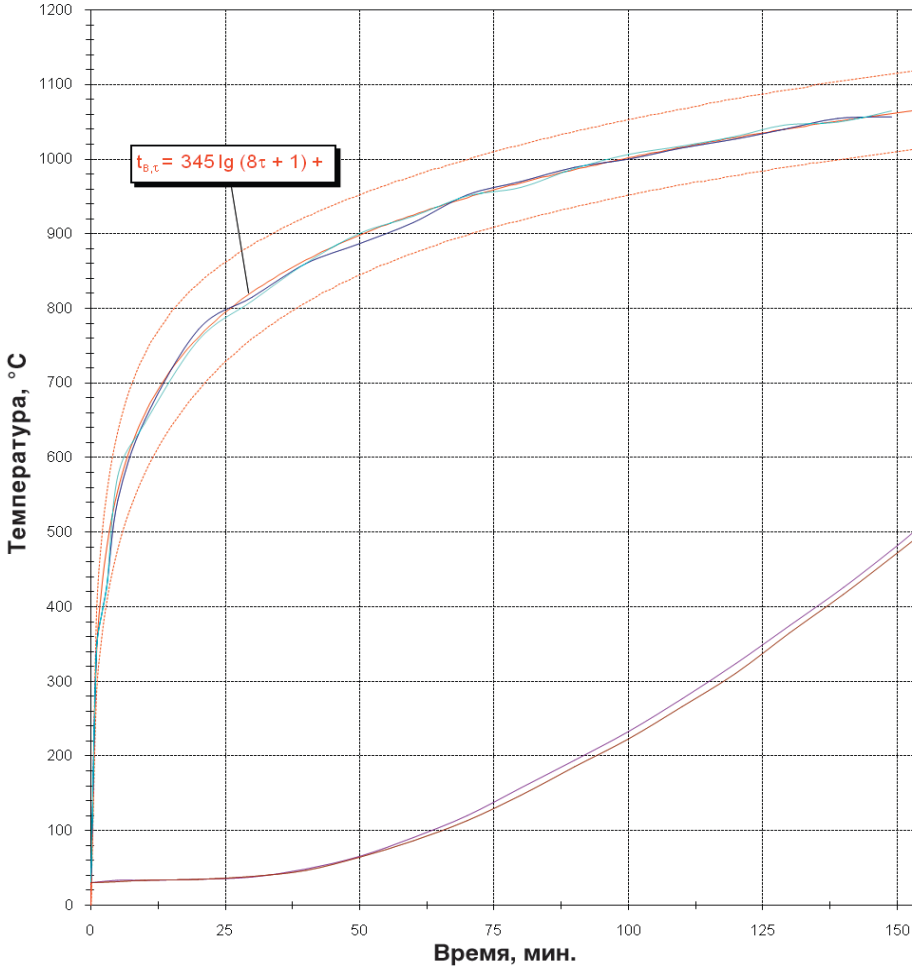
Рисунок 3. Температурные кривые прогрева опытных образцов стальных колонн (двутавр № 20) с композицией огнезащитной выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты Conlit SL 150 толщиной 40 мм и клея Conlit Glue.



$t_{в,т}$ – стандартная температурная кривая;
верхняя и нижняя допустимые границы отклонения от $t_{в,т}$
средняя температура на стальной колонне, образец №3
средняя температура на стальной колонне, образец №4
средняя температура среды в огневой камере печи, опыт №3 (образец №3)
средняя температура среды в огневой камере печи, опыт №4 (образец №4)

new_conlit.indd 14 23.03.2011 17:30:26

Рисунок 4. Температурные кривые прогрева опытных образцов стальных колонн (двутавр № 20) с композицией огнезащитной выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты Conlit SL 150 толщиной 80 мм и клея Conlit Glue.



$t_{B,T}$ – стандартная температурная кривая;

верхняя и нижняя допустимые границы отклонения от $t_{B,T}$

средняя температура на стальной колонне, образец №5

средняя температура на стальной колонне, образец №6

средняя температура среды в огневой камере печи, опыт №5 (образец №5)

средняя температура среды в огневой камере печи, опыт №6 (образец №6)

new_conlit.indd 15 23.03.2011 17:30:27

3.3 Построение номограмм с использованием расчетного метода

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

В результате сравнительного анализа данных по испытаниям были получены теплофизические характеристики материала облицовки из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150: плотность, влажность, степень черноты, коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоемкости, – при нормальных условиях, а также при воздействии температурного режима.

Для этого на ЭВМ было построено несколько моделей испытанных ранее конструкций и проведен ряд теплотехнических расчетов с использованием подобранных свойств материала минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150. Сравнительные расчеты проводились до достижения среднего расхождения между результатами расчетов и испытаний не более 20 %.

Теплофизические характеристики облицовки, полученные в результате анализа данных по испытаниям, далее были использованы для построения зависимостей (номограмм) огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 при различных толщинах облицовки.

Для расчетов были построены модели стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 с разными значениями толщин облицовки и приведенной толщины металла.

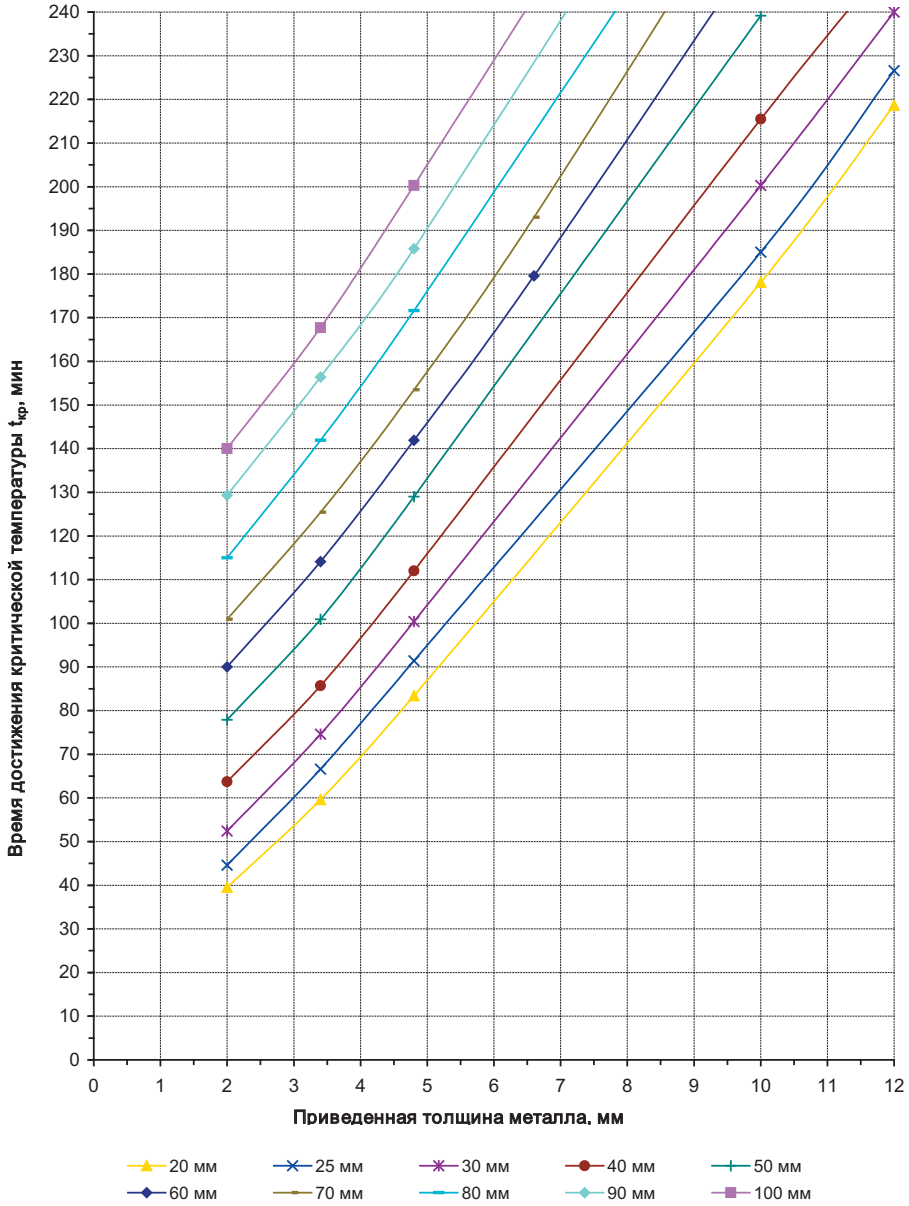
Далее были проведены теплотехнические расчеты данных конструкций при воздействии температурного режима «стандартного пожара» и с использованием полученных свойств материала.

За предел огнестойкости конструкции принималось время нагревания, по истечении которого средняя температура стальной конструкции достигала критической величины. Критическая температура $t_{кр}$ принималась для значений: 450, 500 (по ГОСТ Р 53295), 550 и 600 °С.

В результате расчетов был получен ряд значений пределов огнестойкости конструкций при различных критических температурах tкр. Все эти данные были сведены в таблицы пределов огнестойкости конструкций для 4-х значений критических температур, по которым были построены номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150, см. рис. 5-8.

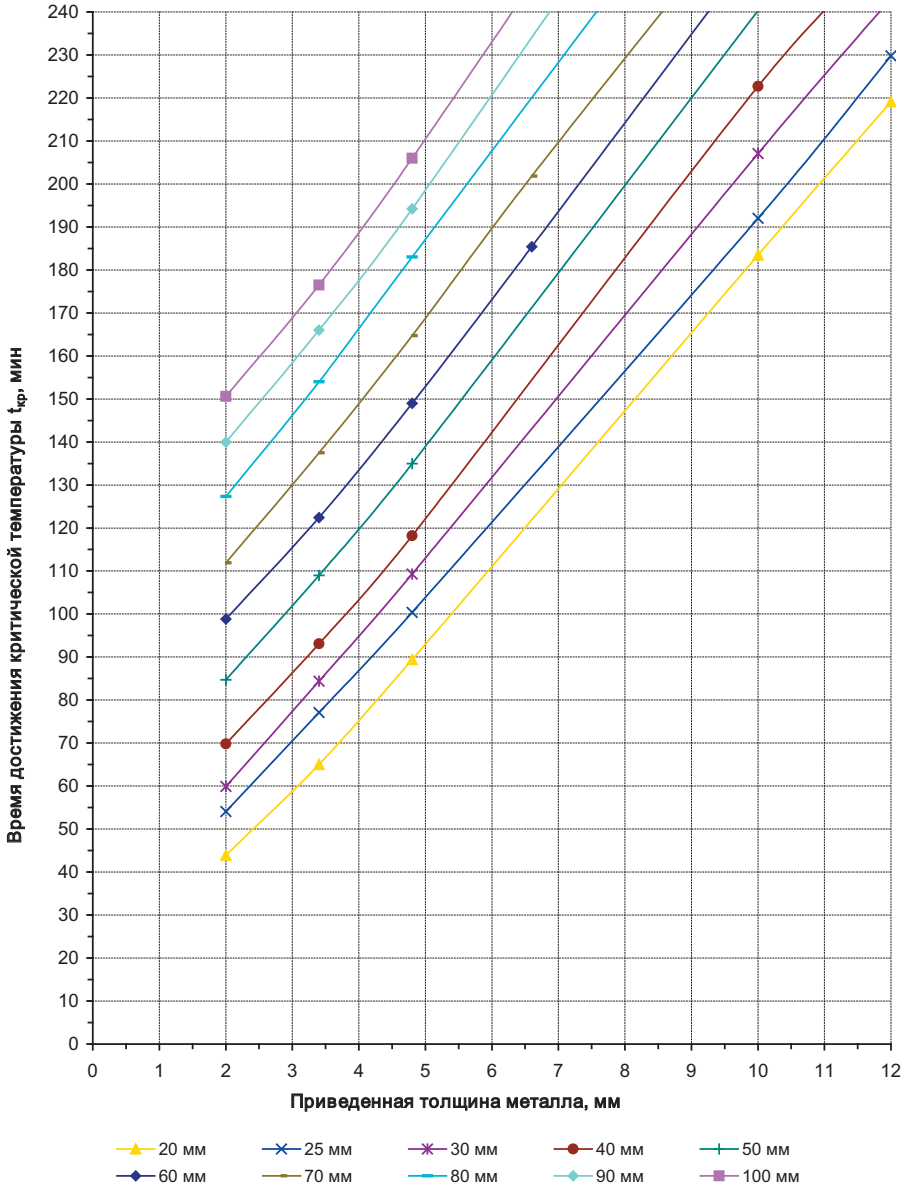
new_conlit.indd 16 23.03.2011 17:30:27

Рисунок 5. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 при $t_{кр}$ = 450 °С.



new_conlit.indd 17 23.03.2011 17:30:27

Рисунок 6. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 при $t_{кр}$ = 500 °С.



new_conlit.indd 18 23.03.2011 17:30:27

Рисунок 7. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 при $t_{кр}$ = 550 °С.

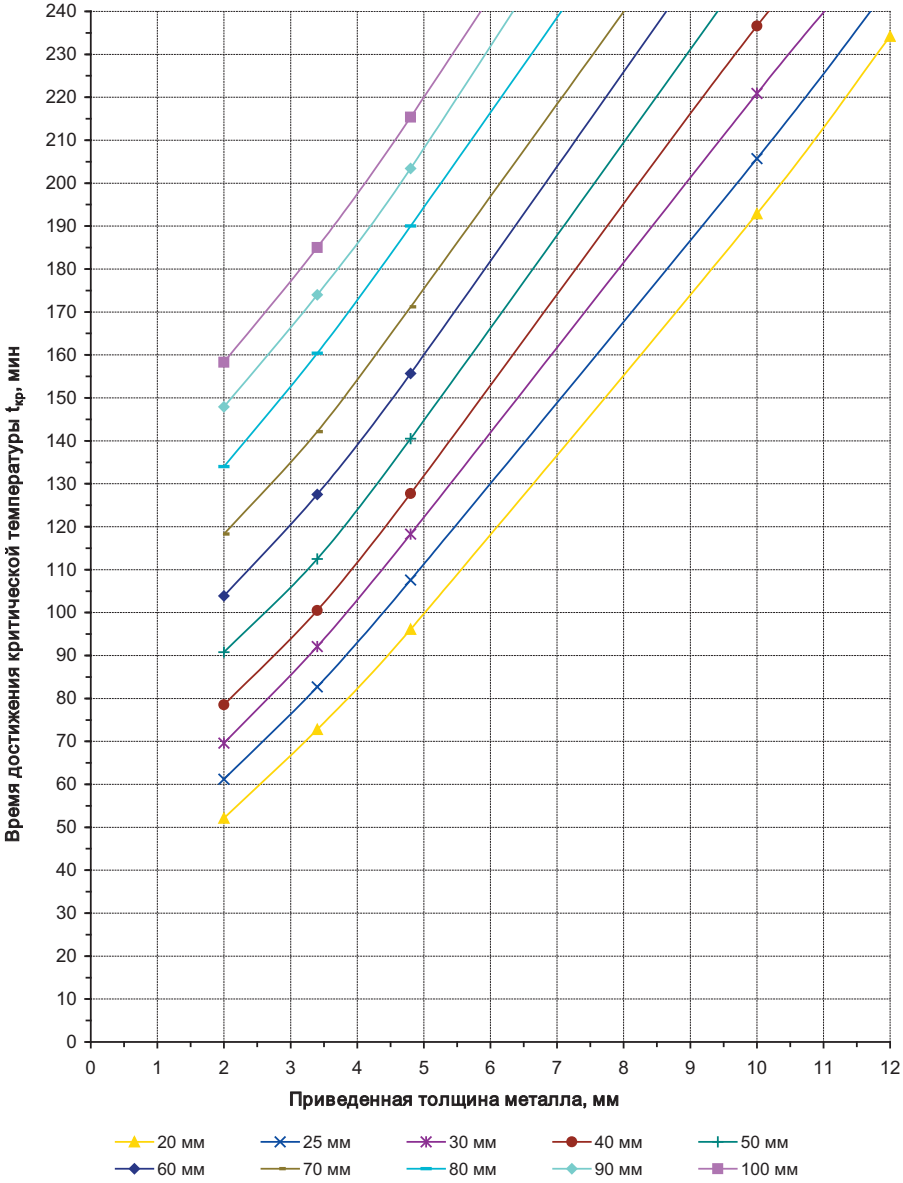
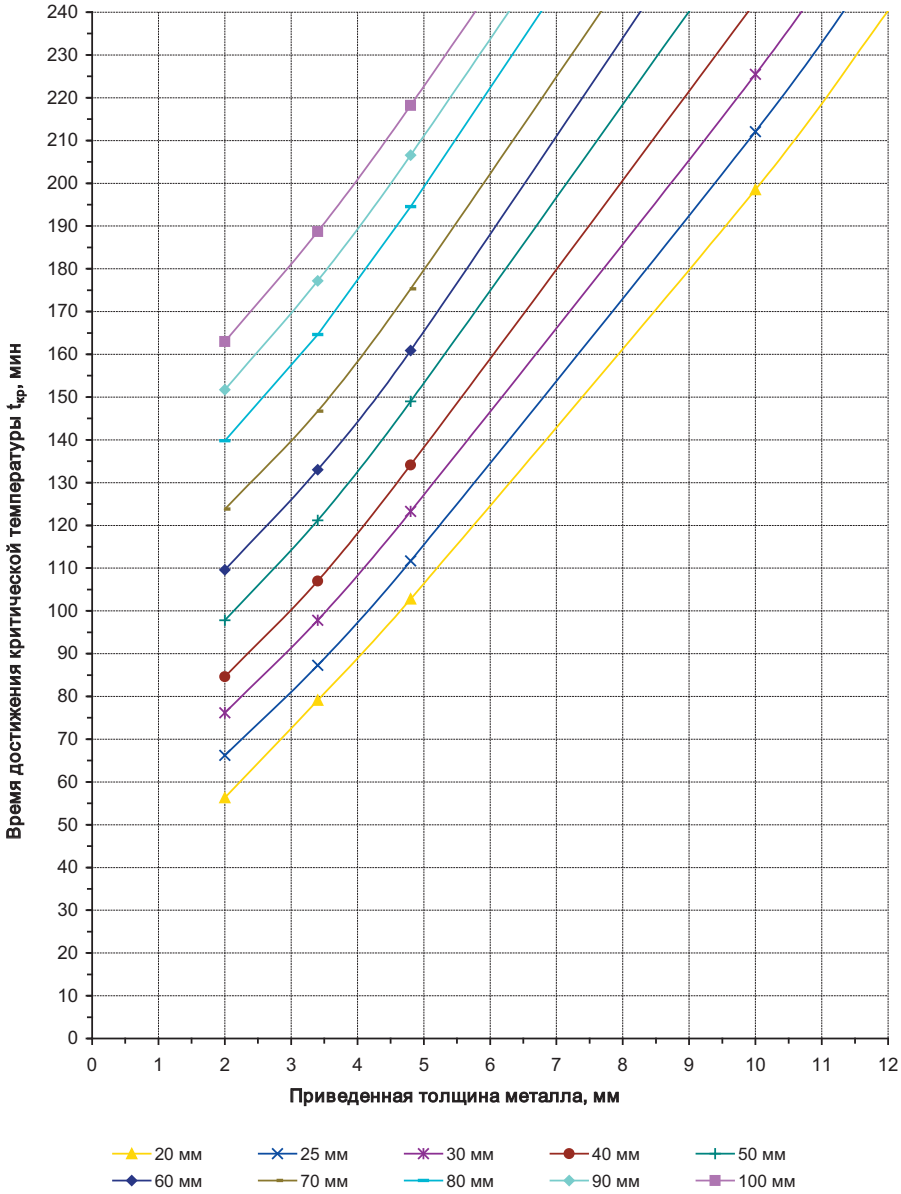


Рисунок 8. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 при $t_{кр}$ = 600 °С.



new_conlit.indd 20 23.03.2011 17:30:27

3.4 Использование номограмм

Номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 предназначены для определения пределов огнестойкости стальных конструкций при критических температурах стали: $t_{кр}$ = 450, 500, 550 и 600 °С, см. рис. 5-8 соответственно.

Номограммы построены в координатах: «Приведенная толщина металла, мм» – «Время, мин.», где «Время» – время достижения предела огнестойкости конструкции. Каждая точка номограммы соответствует пределу огнестойкости стальной конструкции с определенной приведенной толщиной металла и толщиной минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150. Точки номограммы, соответствующие конструкциям с одной и той же толщиной минераловатных плит, соединены линиями одного цвета и обозначены в легенде в виде значений толщины облицовки (мм). Для поиска промежуточных значений приведенной толщины металла и толщины облицовки следует использовать интерполяцию графиков номограммы.

Для определения предела огнестойкости конструкции необходимо предварительно произвести статический расчет по п. 2 для определения критической температуры стали исследуемой конструкции и принять ближайшее значение $t_{кр}$ из приведенного выше ряда, либо принять нормативное значение $t_{кр}$. Далее следует определить приведенную толщину металла конструкции по формуле (5).

Определив критическую температуру и выбрав соответствующую ей номограмму, на поле номограммы находится график, соответствующий заданной толщине минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150, см. легенду. Выбранный график является функцией зависимости времени предела огнестойкости конструкции от приведенной толщины металла и используется для определения предела огнестойкости стальной конструкции с огнезащитой минераловатными плитами Rockwool серии Conlit SL 150.

Аналогичным образом данные номограммы могут использоваться для решения обратных задач: поиска минимальной толщины минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150, для обеспечения заданного предела огнестойкости, и поиска минимальной приведенной толщины металла конструкции для обеспечения заданного предела огнестойкости.

new_conlit.indd 21 23.03.2011 17:30:27

4. Пример расчета предела огнестойкости стальной колонны с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150

Исходные данные:

Дана стальная колонна, выполненная из двутавра № 20 по ГОСТ 8239-89, длиной 3,0 м, с шарнирным опиранием по концам, нагруженной центрально приложенной нагрузкой Nн = 40 т. Колонна имеет огнезащиту из минераловатных плит Rockwool серии Conlit SL 150 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 $\gamma_е$ при следующих параметрах:

$N_н$ = 40000 кг;

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

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

$E_н$ = 2100000 кг/см^2;

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

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

$\gamma_т$ = 0,53

$\gamma_е$ = 0,09

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

$t_{кр}$ = 519 °С.

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

$П$ = 789,6 мм – для случая 4-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 Rockwool серии Conlit SL 150 $\delta_о$ = 30 мм (см. легенду) и для найденной приведенной

new_conlit.indd 22 23.03.2011 17:30:27

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
кандидат технических наук А. А. Косачев

Заместитель начальника
отдела кандидат технических наук А. В. Пехотиков

Главный специалист В. В. Павлов

new_conlit.indd 23 23.03.2011 17:30:27

Приложение А

Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой

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

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

где:

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

τ – время в секундах;

$t_н$ – начальная температура нагревающей среды, К.

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

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

где $s_{пр}$ – 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.

new_conlit.indd 24 23.03.2011 17:30:28

4. Начальные условия для расчета принимаются следующими:

Начальная температура во всех точках по сечению конструкции до пожара и температура окружающей среды вне зоны пожара одинакова и равна $t_н$ = 293 К.

5. Величина расчетного интервала времени

$\Delta\tau$ (шаг программы) выбирается такой, чтобы она целое число раз укладывалась в интервале машинной записи результатов расчета. При этом выбранная величина $\Delta\tau$ 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 tст,$\Delta\tau$ – температура стержня через расчетный интервал времени-$\Delta\tau$, К;

$t_{ст}$ – температура стержня в данный момент времени – τ, К;

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

α – коэффициент передачи тепла от нагревающей среды к поверхности конструкции, Вт/(м^2·град);

$C_{ст}$ – начальный коэффициент теплоемкости металла, Дж/(кг·град);

$D_{ст}$ – коэффициент изменения теплоемкости металла при нагреве, Дж/(кг·град^2);

$\gamma_{ст}$ – удельный вес металла, кг/м^3;

$\delta_{пр}$ – приведенная толщина металла, м:

$$\delta_{пр} = \frac{F}{П} \qquad (10)$$

где F – площадь поперечного сечения стержня, м^2;

$П$ – обогреваемый периметр сечения стержня, м.

7. Максимальный расчетный интервал времени – $\Delta\tau$max вычисляется по формуле:

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

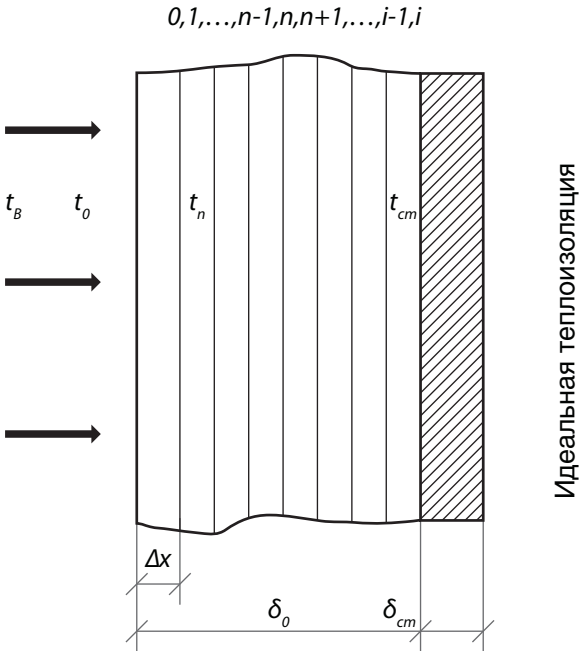
где α и $t_{ст}$ – максимально возможные значения в расчете.

new_conlit.indd 25 23.03.2011 17:30:28

8. Конструкции с огнезащитными облицовками

Для плоских конструкций с одномерным потоком тепла по толщине алгоритм машинного расчета составляется на основании схемы, изображенной на рис. 9. Огнезащитная облицовка толщиной δ_0 разбивается на n-ое число слоев Δx.

Рисунок 9. Схема к расчету на ЭВМ прогрева стальной пластины с огнезащитной облицовкой.



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

- температура на обогреваемой поверхности облицовки:

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

- температура во внутренних слоях облицовки:

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

- температура на стальной пластине:

new_conlit.indd 26 23.03.2011 17:30:28

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

где А – начальный коэффициент теплопроводности облицовки, Вт/(м град);

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

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

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

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

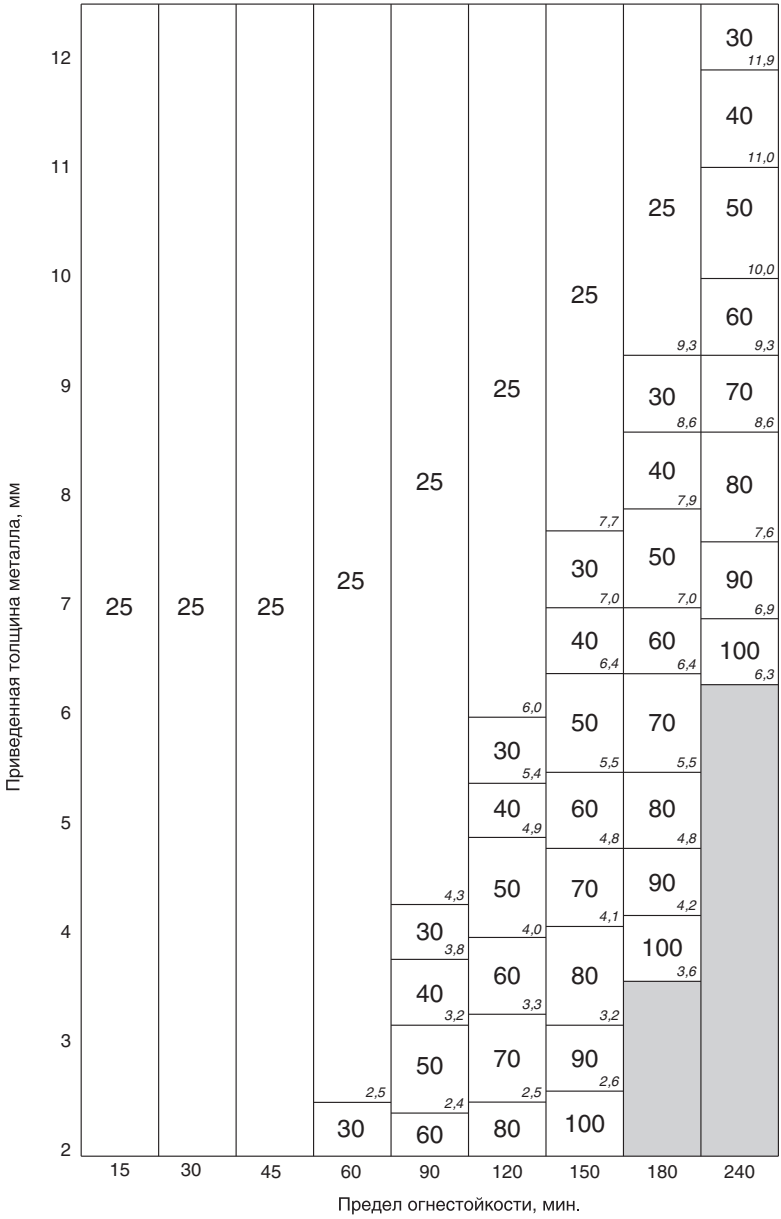
- фиктивная температура.

где $p_в$ – начальная весовая влажность облицовки, %;

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

new_conlit.indd 27 23.03.2011 17:30:28

Рисунок 9. Толщина материала Conlit SL 150 в зависимости от предела огнестойкости и приведенной толщины материала.



new_conlit.indd 28 23.03.2011 17:30:28

Для заметок

new_conlit.indd 29 23.03.2011 17:30:28

8 800 200 22 77

профессиональные консультации
(бесплатный звонок на территории РФ)

Специалисты по технической изоляции:

Москва
+7 903 724 79 65
Ilya.trofimov@rockwool.ru
+7 963 996 64 80
alexander.fomichev@rockwool.ru
+7 903 236 72 06
alexander.stradomskiy@rockwool.ru

Санкт-Петербург
+7 921 995 62 00
alexander.zozulya@rockwool.ru

Екатеринбург
+7 902 879 93 06
alexey.kalmykov@rockwool.ru

Новосибирск
+7 913 912 97 20
roman.kartashev@rockwool.ru

Региональные представительства компании Rockwool в России и странах СНГ:

Северо-Западный регион
+7 921 228 09 76
andrey.karelsky@rockwool.ru

Нижний Новгород
+7 831 415 41 36
alexey.domrachev@rockwool.ru

Казань
+7 843 297 31 78
dmitry.tereschenko@rockwool.ru

Самара
+7 846 272 81 17
lenar.khalitov@rockwool.ru

Воронеж
+7 909 212 88 39
evgeny.cherenkov@rockwool.ru

Ростов-на-Дону и Элиста
+7 918 554 36 75
alexander.khlystunov@rockwool.ru

Краснодар
+7 918 435 35 36
pavel.komarov@rockwool.ru

Ставропольский край
и республики Северного
Кавказа
+7 918 305 00 65
sergey.marchenko@rockwool.ru

Волгоград и Астрахань
+7 918 554 36 75
alexander.khlystunov@rockwool.ru

Сочи
+7 918 157 57 77
timofey.paramonov@rockwool.ru

Уфа
+7 347 299 20 02
yuri.khakimov@rockwool.ru

Пермь
+7 342 243 24 04
kirill.zelenov@rockwool.ru

Тюмень
+7 3452 98 35 85
konstantin.pakshin@rockwool.ru

Красноярск
+7 913 030 00 69
sergey.lavygin@rockwool.ru

Владивосток
+7 914 707 70 72
stanislav.pryakha@rockwool.ru

Казахстан

Алма-Ата
+7 777 814 21 77
andrey.pak@rockwool.ru

Астана
+7 705 292 33 57
kuandyk.nurpeisov@rockwool.ru

Украина

Киев
+38 044 586 49 79
irina.kukushkina@rockwool.com

Республика Беларусь

Минск
+375 296 06 06 79
andrei.muravlev@rockwool.by

Товар сертифицирован

Сертификат пожарной безопасности: негорючий ВНИИПО, г. Балашиха, Московская область

Госкомсанэпиднадзор России — Гигиеническое заключение

Сертификат соответствия, выдан федеральным центром сертификации в строительстве Госстроя России

Техническое свидетельство, выдано федеральным центром сертификации в строительстве Госстроя России

ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification

Данная продукция изготавливается на предприятии с системой менеджмента качества, сертифицированной в соответствии с требованиями ISO 9001

new_conlit.indd 30 23.03.2011 17:30:28

© Содержание и дизайн данной брошюры являются собственностью компании Rockwool СНГ. Несанкционированная перепечатка и использование элементов дизайна преследуются по закону.

Rockwool СНГ:
105064, г. Москва,
ул. Земляной вал, д. 9
Тел.: +7 495 995 77 55
Факс: +7 495 995 77 75
www.rockwool.ru

ROCKWOOL®
НЕГОРЮЧАЯ ИЗОЛЯЦИЯ