

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

**Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследователь-
ский институт противопожарной обороны»
(ФГБУ ВНИИПО МЧС России)**

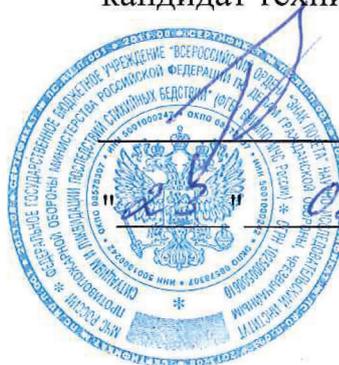
ИНСТРУКЦИЯ

**по расчету фактических пределов огнестойкости
стальных конструкций с композицией огнезащитной,
выполненной из плит теплоизоляционных
из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150
ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) и клея
CONLIT Glue ТУ 2252-018-52935415-2010 (изм. 1)**

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

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

УТВЕРЖДАЮ
Врио начальника
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
кандидат технических наук



Д.М. Гордиенко

2017 г.

ИНСТРУКЦИЯ

**по расчету фактических пределов огнестойкости стальных
конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из
плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты
CONLIT SL 150 ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) и клея CONLIT Glue
ТУ 2252-018-52935415-2010 (изм. 1)**

Заместитель начальника НИЦ НТП ПБ
- начальник отдела 3.5
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

А.Ю. Лагозин

МОСКВА 2017

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Общие положения	4
2. Статический расчет	5
2.1. Общие положения	5
2.2. Центральные-нагруженные стержни	5
2.3. Изгибаемые и внецентренно-нагруженные элементы	6
2.4. Фермы	7
3. Номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой минераловатными плитами ROCKWOOL серии CONLIT SL 150	7
3.1. Результаты экспериментальных исследований	7
3.2. Приведенная толщина металла конструкций	9
3.3. Построение номограмм с использованием расчетного метода	15
3.4. Использование номограмм	20
4. Пример расчета предела огнестойкости стальной колонны с огнезащитой минераловатными плитами ROCKWOOL серии CONLIT SL 150	21
Приложение "Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой"	23

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена на основании договора № 1133/Н-3.2 от 10.12.15 г., заказчик: ООО «РОКВУЛ». 143985, Московская обл., г. Балашиха, мкр. Железнодорожный, ул. Автозаводская, д. 48а. ОГРН 1165053057311. ИНН 5012093506.

В работе использованы положения следующих нормативных документов:

- ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования»;
- ГОСТ Р 53295-2009 «Средства огнезащиты стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности»;
- Технологический регламент 11-07-15 (изм. 1) «Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит ROCKWOOL CONLIT SL 150 TU 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) и клея CONLIT Glue»;
- ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) «Изделия теплоизоляционные из каменной ваты»;
- ТУ 2252-018-52935415-2010 (изм. 1) «Клей силикатный «CONLIT Glue» (КОНЛИТ Глю)».

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

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

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

1. Общие положения

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

1.2 Сущность метода заключается в определении критической температуры стали исследуемой конструкции, в результате которой наступает ее предел огнестойкости –

статический расчет и определении времени от начала теплового воздействия до достижения критической температуры – теплотехнический расчет.

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

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

2. Статический расчет

2.1 Общие положения

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

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

2.2 Центральна-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 γ_T и γ_e

Таблица 1. Значения коэффициентов γ_T и γ_e , учитывающих изменения нормативного сопротивления R^H и модуля упругости E стали в зависимости от температуры.

Температура в °С	γ_T	γ_e
20	1,0	1,0
100	0,99	0,96
150	0,93	0,95
200	0,85	0,94
250	0,81	0,92
300	0,77	0,90
350	0,74	0,88
400	0,70	0,86
450	0,65	0,84
500	0,58	0,80

550	0,45	0,77
600	0,34	0,72
650	0,22	0,68
700	0,11	0,59

Коэффициенты γ_T и γ_e вычисляются по формулам:

$$\gamma_T = \frac{N_n}{F R^H} \quad (1)$$

$$\gamma_e = \frac{N_n l_0^2}{\pi^2 E_n J_{\min}} \quad (2)$$

где:

N_n - нормативная нагрузка, кг;

F - площадь поперечного сечения стержня, см²;

R^H - начальное нормативное сопротивление металла, кг/см²;

E_n - начальный модуль упругости металла, кг/см²,

для сталей - $E_n = 2100000$ кг/см²;

l_0 - расчетная длина стержня, см;

J_{\min} - наименьший момент инерции сечения стержня, см⁴.

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 γ_T , 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 γ_T , вычисляемого по формуле:

$$\gamma_T = \frac{M_H}{W R^H} \quad (3)$$

где:

M_H - максимальный изгибающий момент от действия нормативных нагрузок, кг см.

W - момент сопротивления сечения, см³.

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

Коэффициент γ_T вычисляется по формуле:

$$\gamma_T = \frac{N_H}{R^H} \left(\frac{e}{W} + \frac{1}{F} \right) \quad (4)$$

где:

e - эксцентриситет приложения нормативной нагрузки - N_H , см.

Коэффициент γ_e находится по формуле (2).

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

2.4 Фермы

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

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

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

3.1 Результаты экспериментальных исследований

Для построения номограмм были обобщены результаты огневых испытаний стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150, прове-

денные во ВНИИПО (отчет № 10277 от 28.07.2010 г.), с подробным описанием конструкций, их геометрических размеров, условий проведения испытаний, поведения конструкций во время испытаний, а также температурные кривые прогрева в различных точках конструкций при воздействии температурного режима «стандартного пожара».

Испытания проводились в соответствии со следующими нормативными документами:

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

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

Технология монтажа плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 была аналогична для всех опытных образцов, и осуществлялась в соответствии с требованиями технологического регламента 11-07-15 (изм. 1) «Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит ROCKWOOL CONLIT SL 150 ТУ 5762-050-45757203-15 (изм. 1-6) и клея CONLIT Glue».

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

Для крепления плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 различной толщины, образующих на опытных образцах однослойную облицовку коробчатого сечения, между полками двутавровых колонн устанавливались вставки, вырезаемые из минераловатных плит CONLIT SL 150 толщиной 40 мм. Вставки вырезались шириной не менее 100 мм (средний размер вставок – 135 мм) и устанавливались в распор между полками колонн, с выступом над ними на 2-3 мм, с шагом не более 600 мм. Для фиксации вставок использовался клей CONLIT Glue, минимальная толщина наносимого слоя которого, составляла 2 мм.

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

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

дывались плиты CONLIT SL 150 раскроенные по размеру облицовки.

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

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

Для построения номограмм были использованы температурные кривые прогрева колонн, облицованных минераловатными плитами ROCKWOOL серии CONLIT SL 150, со следующими параметрами, представленными в табл. 2:

Таблица 2 . Параметры огнезащитной облицовки

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

Испытания колонн проводились при четырехстороннем тепловом 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

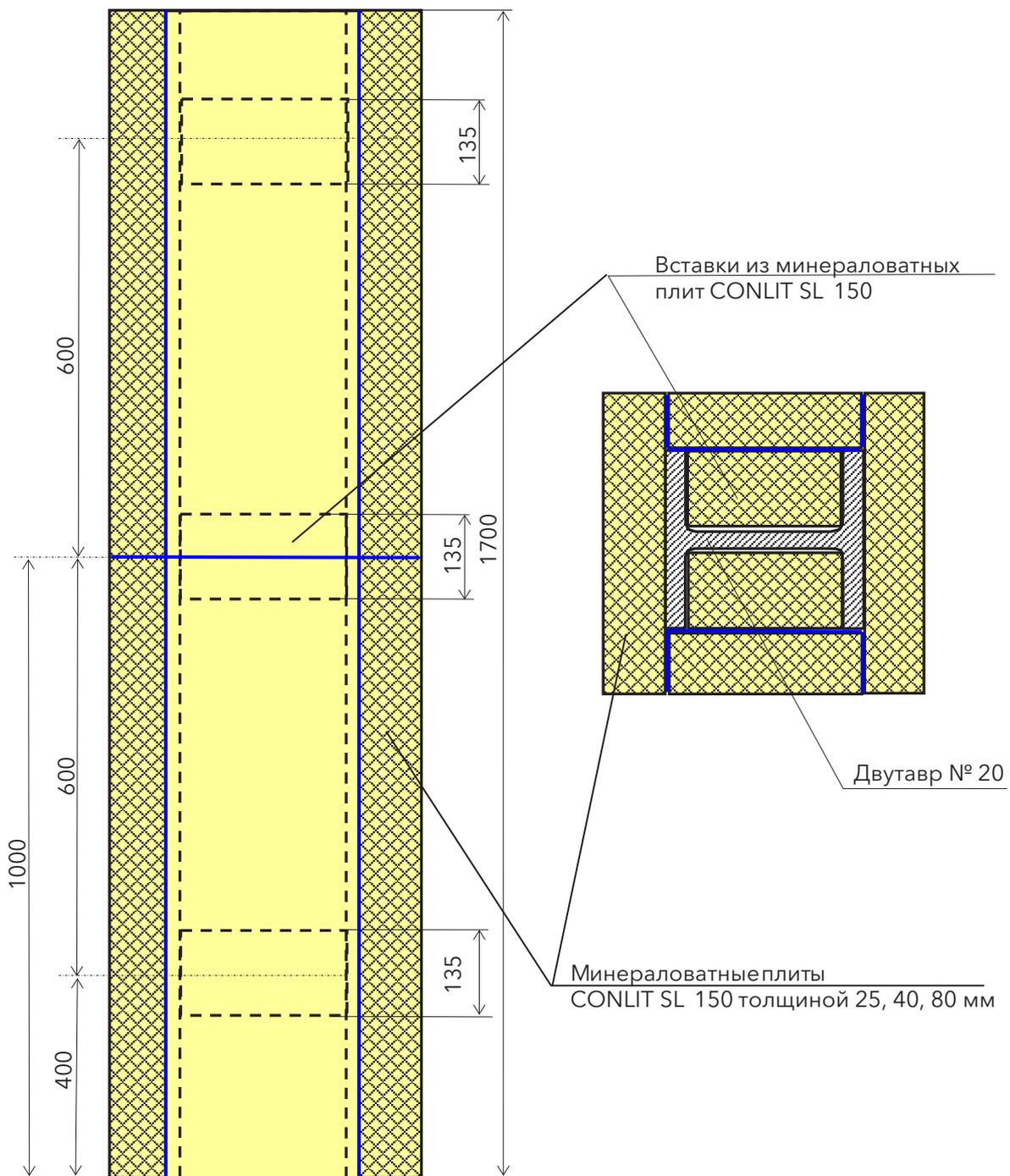
Для представления сложной геометрии двухмерной конструкции в одном измерении необходимо использовать единый параметр для всех видов сечений – приведенную толщину металла, вычисляемую формуле:

$$\delta_{np} = \frac{F}{\Pi} \quad (5)$$

где

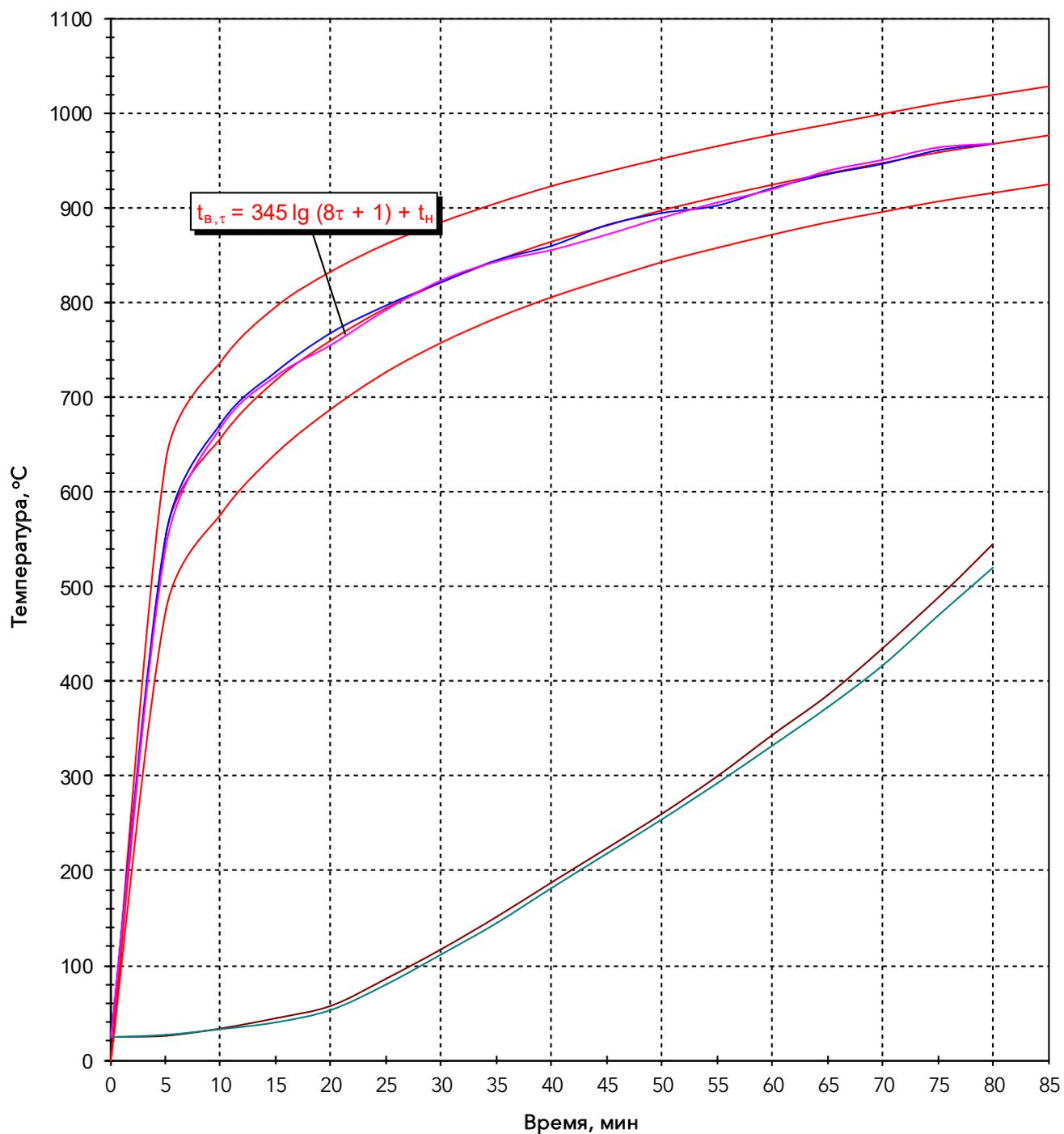
F - площадь поперечного сечения металлической конструкции, мм²;

Π - обогреваемая часть периметра конструкции по табл. 3, мм.



- , - минераловатные плиты CONLIT SL 150 толщиной 25, 40, 80 мм
- клей CONLIT Glue.

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



- $t_{в,τ}$ - стандартная температурная кривая;
- верхняя и нижняя допустимые границы отклонения от $t_{в,τ}$;
- 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).

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

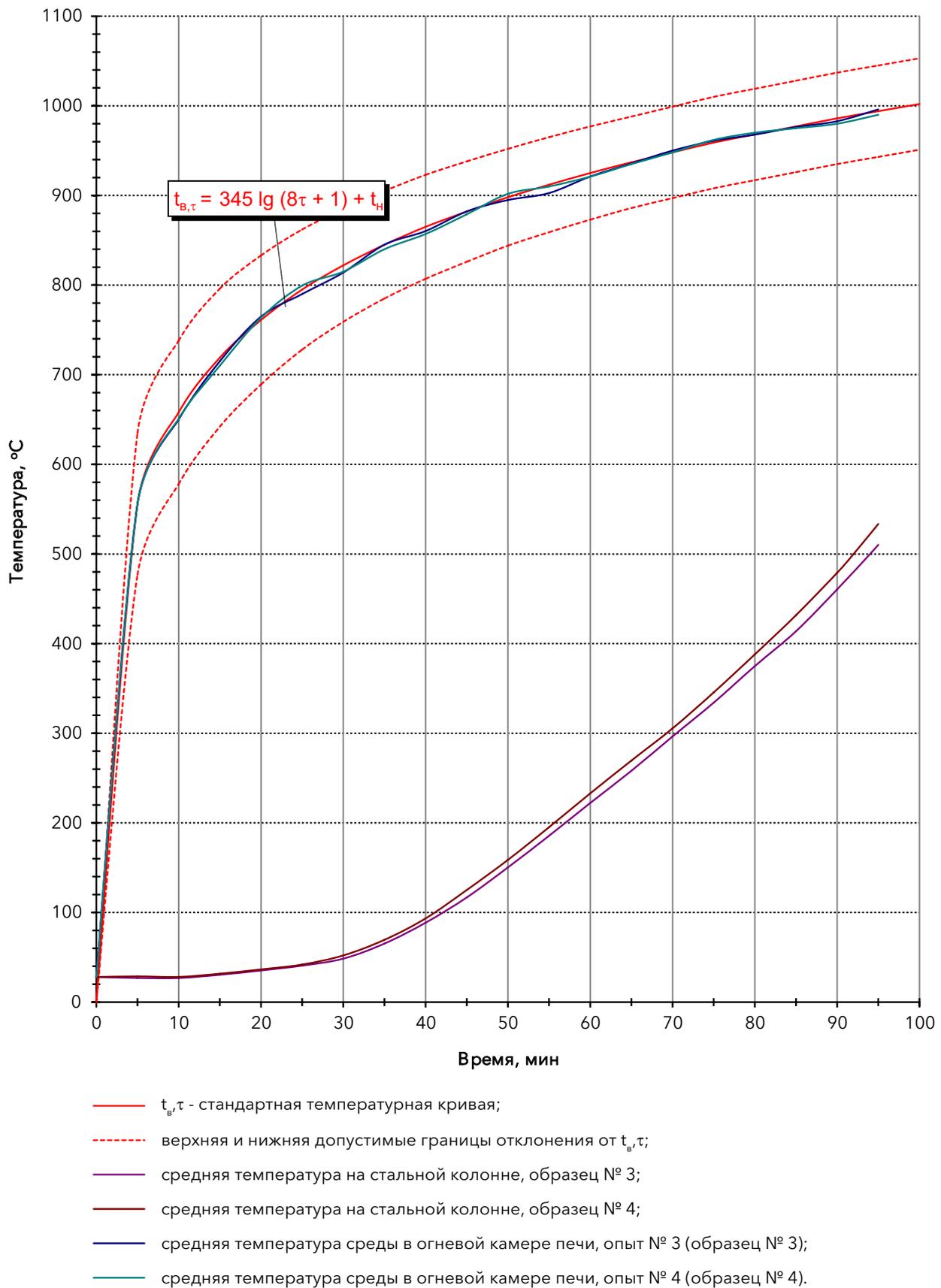
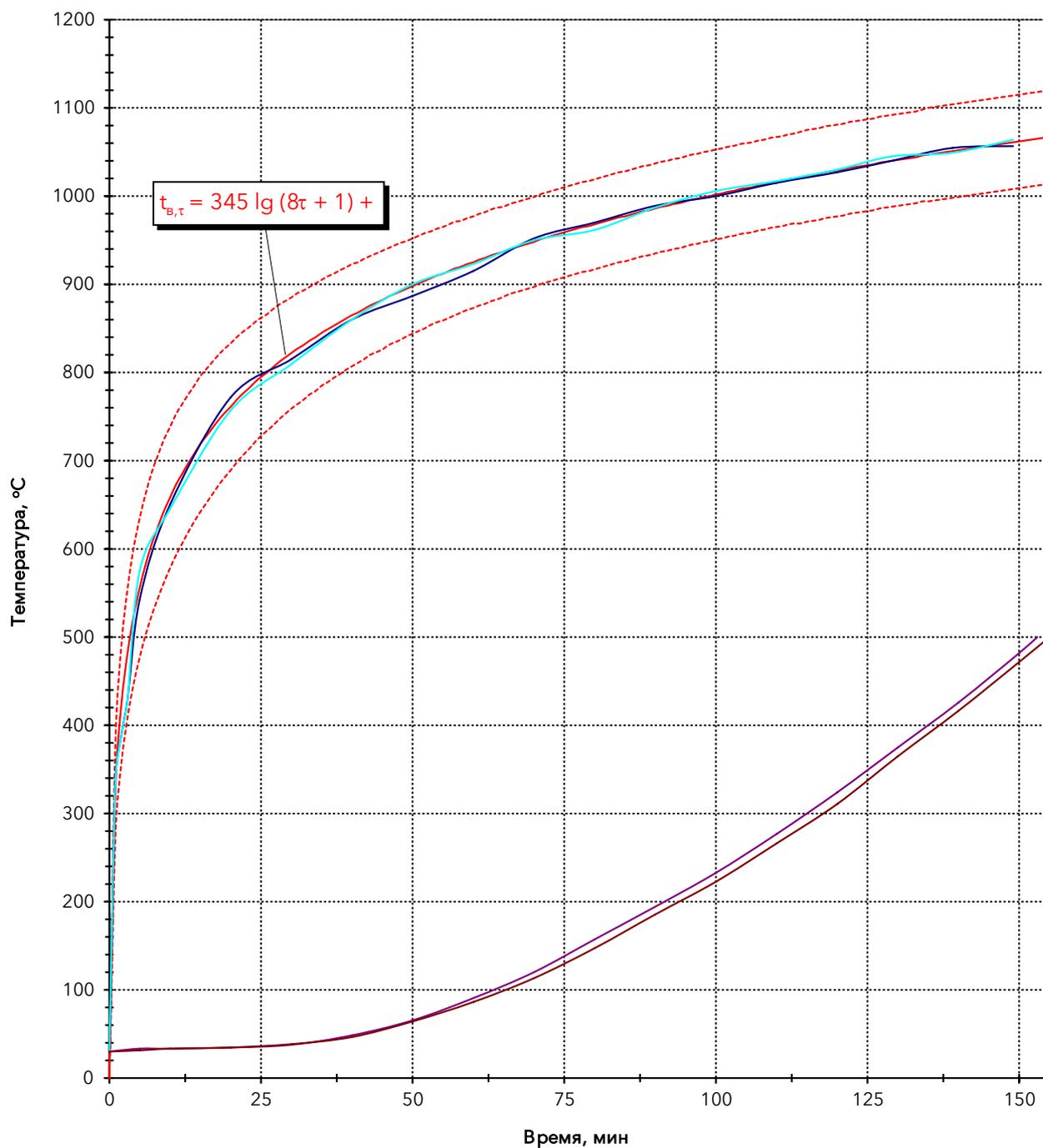


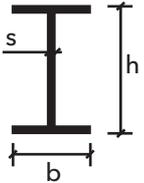
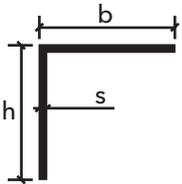
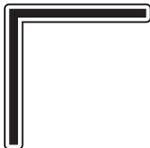
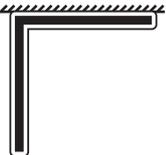
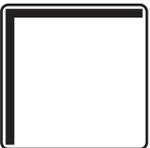
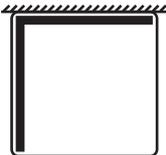
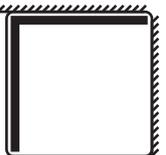
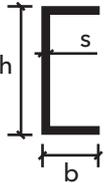
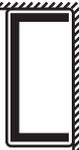
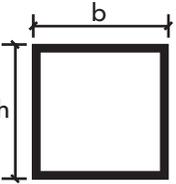
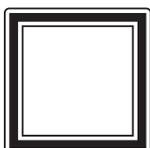
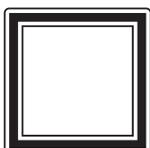
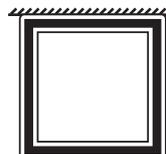
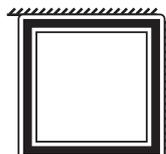
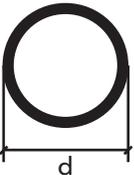
Рис. 3. Температурные кривые прогрева опытных образцов стальных колонн (двутавр № 20) с композицией огнезащитной выполненной из плит теплоизоляционных из минеральной (каменной) ваты CONLIT SL 150 толщиной 40 мм и клея CONLIT Glue.



- $t_{b,\tau}$ - стандартная температурная кривая;
- - - верхняя и нижняя допустимые границы отклонения от $t_{b,\tau}$;
- средняя температура среды в огневой камере печи, опыт № 5 (образец № 5);
- средняя температура среды в огневой камере печи, опыт № 6 (образец № 6);
- средняя температура на стальной колонне, образец № 5;
- средняя температура на стальной колонне, образец № 6.

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

Таблица 3. Значения обогреваемого периметра для типовых стальных конструкций с огнезащитой, применяемых в строительстве

Профиль	Обогреваемый периметр l при различных видах облицовки и условиях обогрева, мм				
	Облицовка по контуру		Облицовка в виде короба		
	с 4-х сторон	с 3-х сторон	с 4-х сторон	с 3-х сторон	с 2-х сторон
	 $2h + 4b - 2s$	 $2h + 3b - 2s$	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $h + b$
	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $h + b$
	 $2h + 4b - 2s$	 $2h + 3b - 2s$	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $h + b$
	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $2h + 2b$	 $2h + b$	 $h + b$
	 πd		 $4d$		

3.3 Построение номограмм с использованием расчетного метода

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

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

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

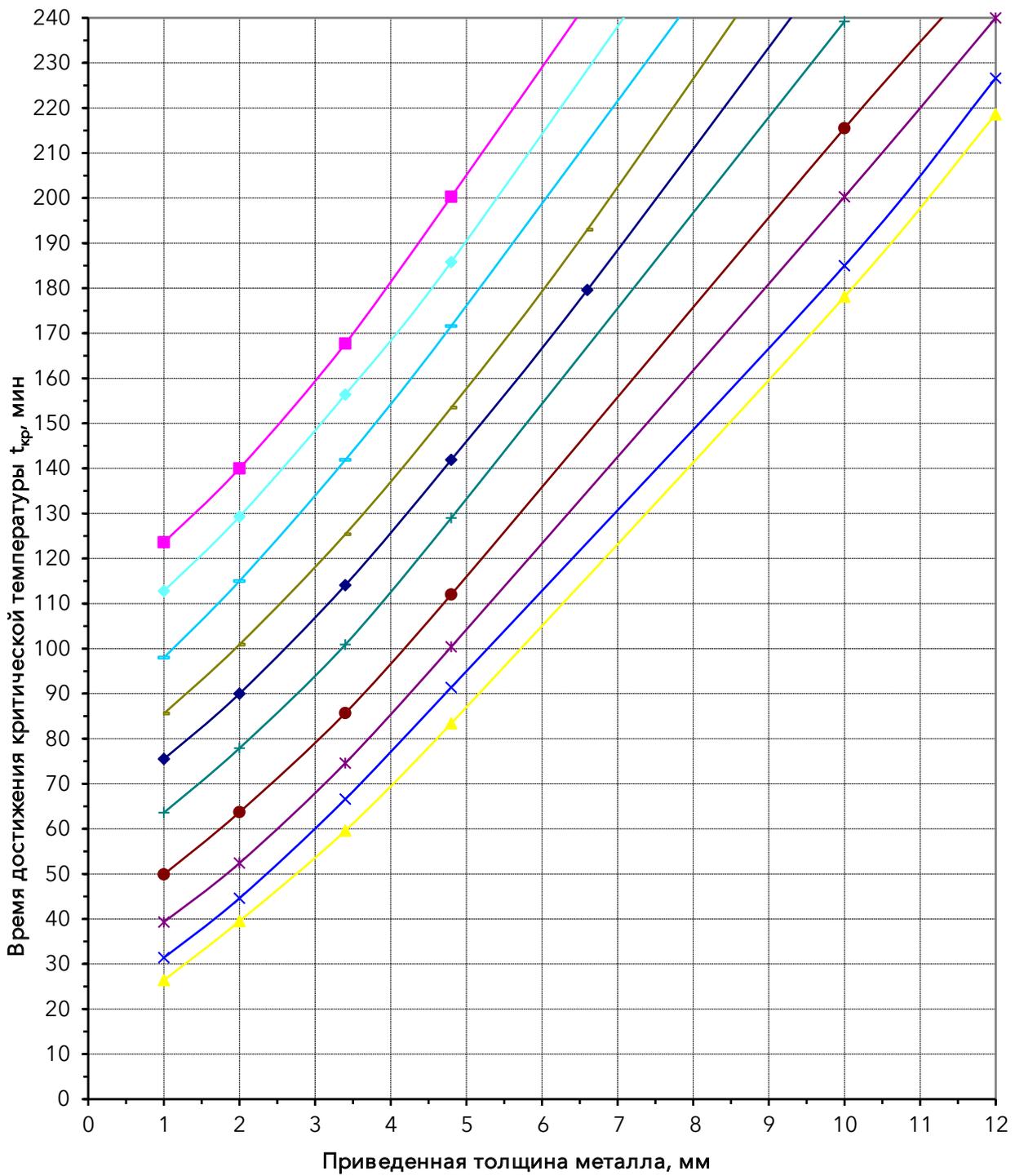
Теплофизические характеристики облицовки, полученные в результате анализа данных по испытаниям, далее были использованы для построения зависимостей (номограмм) огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при различных толщинах облицовки.

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

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

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

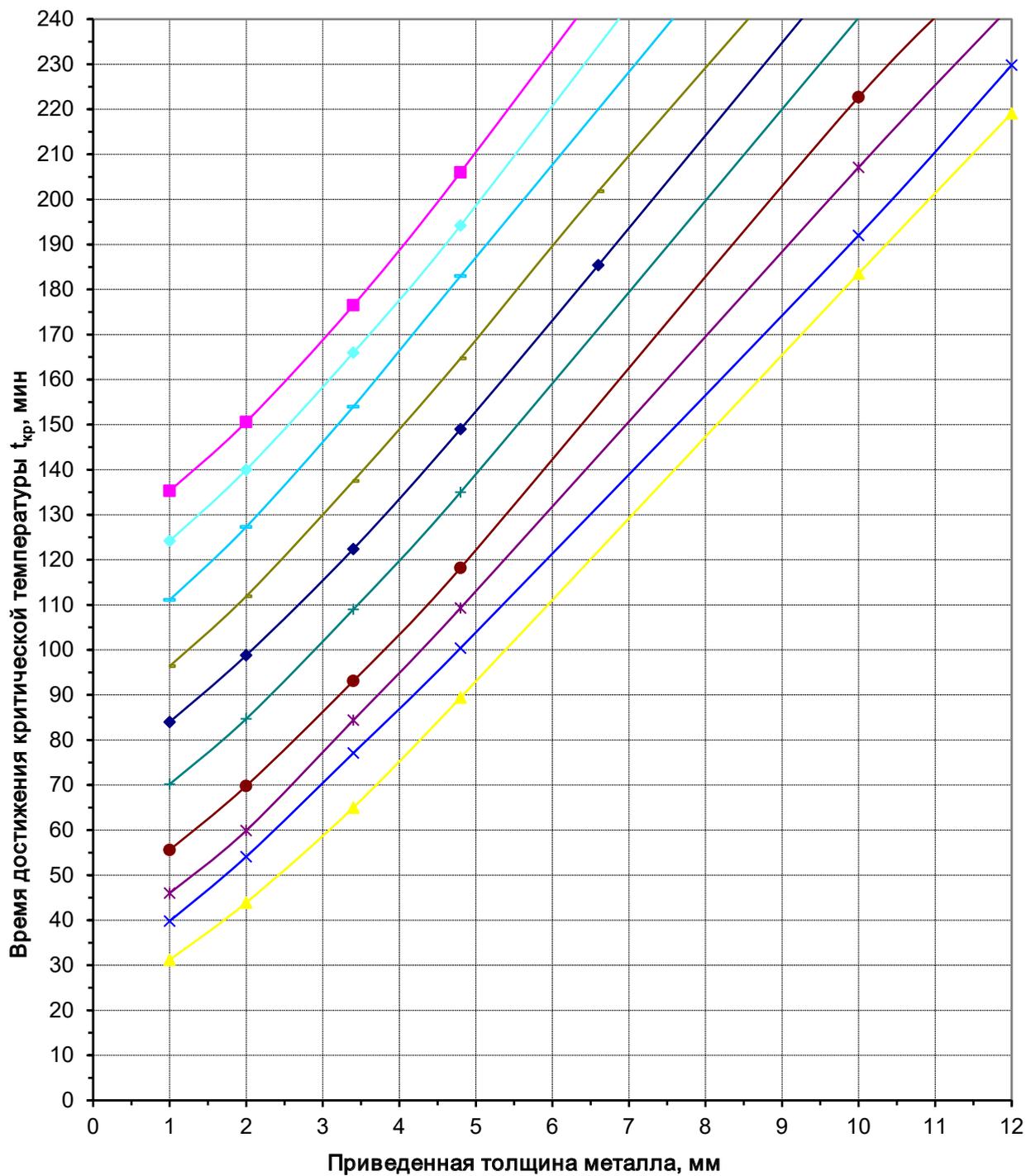
В результате расчетов был получен ряд значений пределов огнестойкости конструкций при различных критических температурах $t_{кр}$. Все эти данные были сведены в таблицы пределов огнестойкости конструкций для 4-х значений критических температур, по которым были построены номограммы огнестойкости стальных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



Толщина минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150:



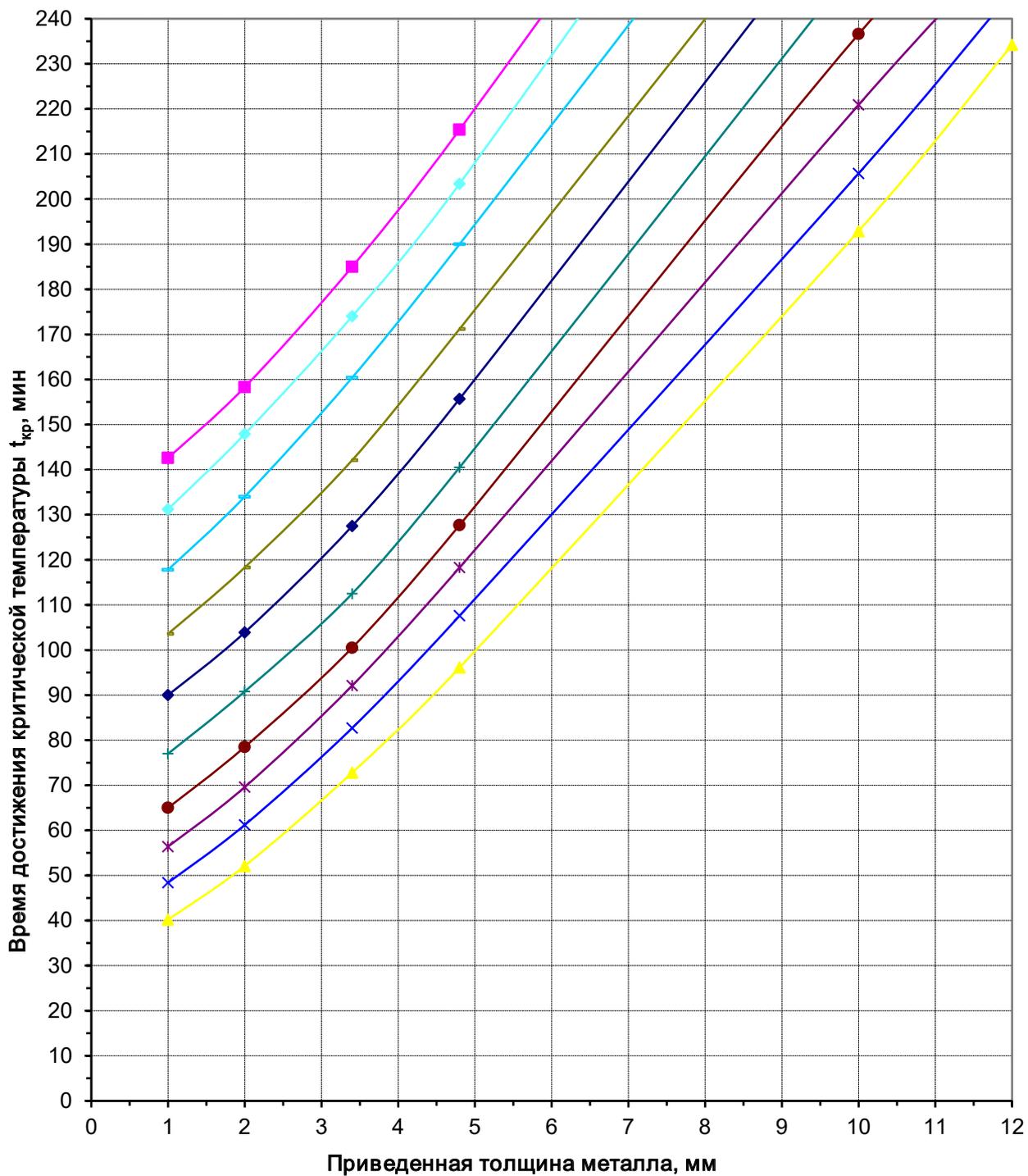
Рис. 5. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при $t_{кр} = 450$ °С.



Толщина минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150:

- ▲— 20 мм
- ×— 25 мм
- *— 30 мм
- 40 мм
- +— 50 мм
- ◆— 60 мм
- 70 мм
- 80 мм
- ◇— 90 мм
- 100 мм

Рис. 6. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при $t_{кр} = 500 \text{ } ^\circ\text{C}$.



Толщина минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150:

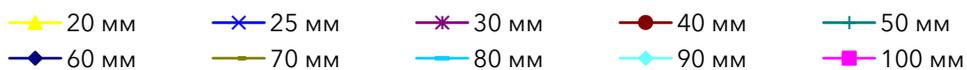
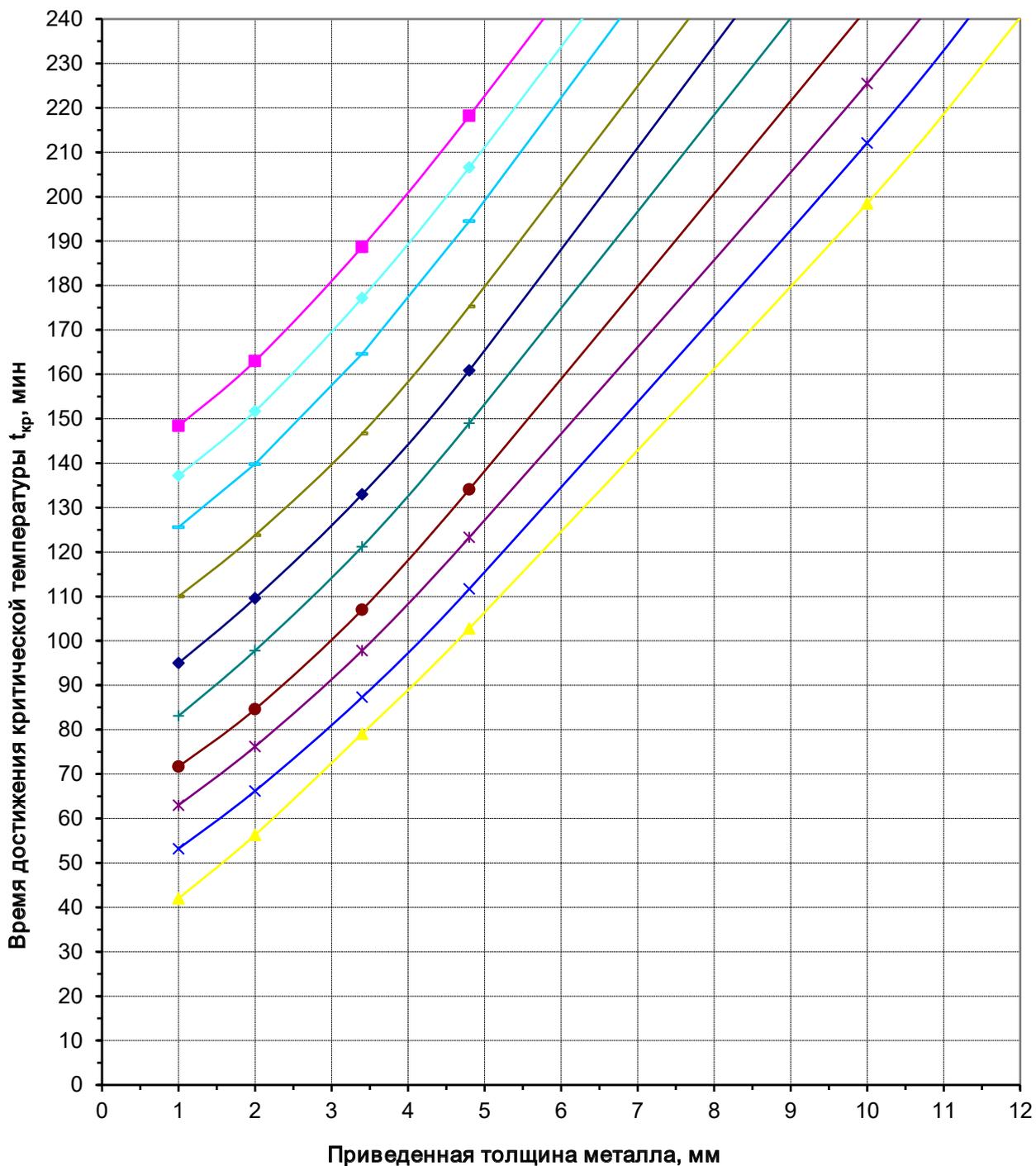


Рис. 7. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при $t_{кр} = 550 \text{ }^\circ\text{C}$.



Толщина минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150:

- ▲ 20 мм
- ✕ 25 мм
- ✱ 30 мм
- 40 мм
- + 50 мм
- ◆ 60 мм
- 70 мм
- 80 мм
- ◆ 90 мм
- 100 мм

Рис. 8. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 при $t_{кр} = 600$ °C.

3.4 Использование номограмм

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

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

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

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

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

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

Исходные данные:

Дана стальная колонна, выполненная из двутавра № 20 по ГОСТ 8239-89, длиной 3,0 м, с шарнирным опиранием по концам, нагруженной центрально приложенной нагрузкой $N_n=40$ т. Колонна имеет огнезащиту из минераловатных плит ROCKWOOL серии CONLIT SL 150 толщиной 30 мм. Определить предел огнестойкости колонны при условии 4-стороннего обогрева.

Расчет:

1. Согласно п. 2.2. вычисляем критическую температуру:

По формулам (1) и (2) вычисляем коэффициенты γ_t и γ_e при следующих параметрах:

$$N_n = 40000 \text{ кг};$$

$$F = 26,8 \text{ см}^2 \text{ – взято из справочника конструктора};$$

$$R_n = 2800 \text{ кг/см}^2 \text{ – для стали Ст5 по ГОСТ 380-71};$$

$$E_n = 2100000 \text{ кг/см}^2;$$

$$l_0 = 300 \text{ см – для случая шарнирного опирания обеих концов};$$

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

$$\gamma_t = 0,53$$

$$\gamma_e = 0,09,$$

Для полученных коэффициентов γ_t и γ_e по таблице 1 находим значения температур и наименьшую принимаем за критическую температуру:

$$t_{кр} = 519 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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

$$I = 789,6 \text{ мм – для случая 4-стороннего обогрева колонны};$$

$$F = 2680 \text{ мм}^2.$$

$$\delta_{пр} = 3,4 \text{ мм.}$$

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 $\delta_o = 30$ мм (см. легенду) и для найденной приведенной толщины металла $\delta_{np} = 3,4$ мм находим два значения предела огнестойкости конструкции при $t_{кр} = 500$ °С и $t_{кр} = 550$ °С:

$\tau_1 = 75$ мин, $\tau_2 = 81$ мин.

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

$\tau = 77$ мин.

Приложение: Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой.

ИСПОЛНИТЕЛИ

Начальник отдела 3.2
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
кандидат технических наук

А.В. Пехотиков

Начальник сектора 3.2.1
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

В.В. Павлов

ПРИЛОЖЕНИЕ А

**ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО
РАСЧЕТА СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ОГНЕЗАЩИТОЙ**

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

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

где:

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

τ – время в секундах;

t_H – начальная температура нагревающей среды, °К.

2. Коэффициент передачи тепла – α , Вт/(м² К), от нагревающей среды с температурой $t_{в,\tau}$ к поверхности конструкции с температурой t_0 вычисляется по формуле:

$$\alpha = 29 + 5,7 S_{np} \frac{(t_{в,\tau}/100)^4 - (t_0/100)^4}{t_{в,\tau} - t_0} \quad (7)$$

где S_{np} – приведенная степень черноты системы: "нагревающая среда - поверхность конструкции":

$$S_{np} = \frac{1}{(1/S) + (1/S_0) - 1} \quad (8)$$

где S – степень черноты огневой камеры печи. $S = 0,85$;

S_0 – степень черноты обогреваемой поверхности конструкции.

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

Программа для расчета составляется по алгоритму, который представляет собой ряд формул, полученных на основе решения краевой задачи теплопроводности методом элементарных балансов (конечно-разностный метод решения уравнения теплопроводности Фурье при внешней и внутренней нелинейности и наличии отрицательных источников тепла: испарение воды в облицовке и нагрев металла стержня). По этим формулам температура стержня вычисляется последовательно через расчетные интервалы времени - Δt 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 $t_H = 293$ °К.

5. Величина расчетного интервала времени – Δt (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:

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

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

t_{cm} – 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/(м² град);

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

D_{cm} – коэффициент изменения теплоемкости металла при нагреве, Дж/(кг град²);

γ_{cm} – удельный вес металла, кг/м³;

δ_{np} – приведенная толщина металла, м:

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

где F – площадь поперечного сечения стержня, м²;

Π – обогреваемый периметр сечения стержня, м.

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

$$\Delta\tau_{max} = \frac{\gamma_{cm} \delta_{np} (C_{cm} + D_{cm} t_{cm})}{\alpha} \quad (11)$$

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

8. Конструкции с огнезащитными облицовками

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

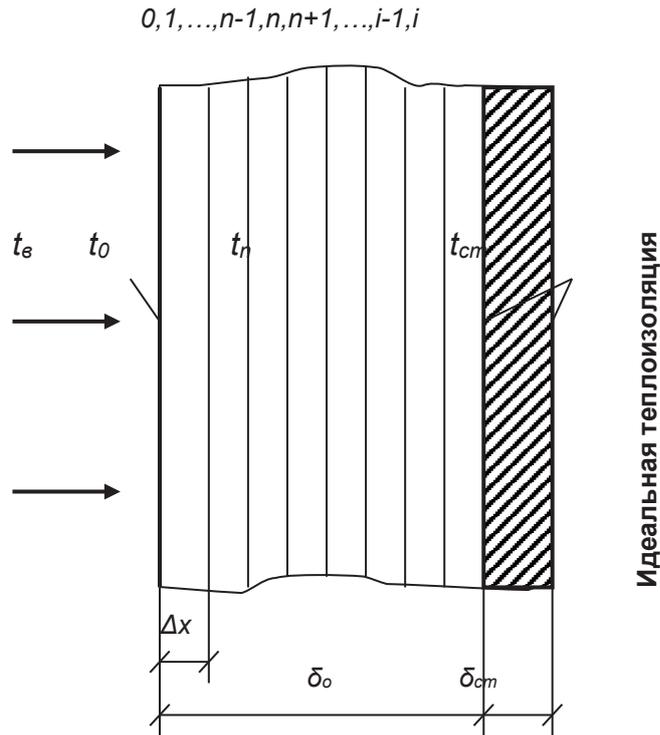


Рис. 9. Схема к расчету на ЭВМ прогрева стальной пластины с огнезащитной облицовкой.

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

температура на обогреваемой поверхности облицовки:

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

температура во внутренних слоях облицовки:

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

температура на стальной пластине:

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

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

B – коэффициент изменения теплопроводности облицовки при нагреве, Вт/(м град²);

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

D – коэффициент изменения теплоемкости облицовки при нагреве, Дж/(кг град²);

$$t_\phi = \frac{p_B r}{100 \left[(C + Dt_{cr}) + \frac{2\gamma_{cr} \delta_{cr} (C_{cr} + D_{cr} t_{cr})}{\gamma_0 \Delta x} \right]}$$

фиктивная температура.

где p_e – начальная весовая влажность облицовки, %;

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

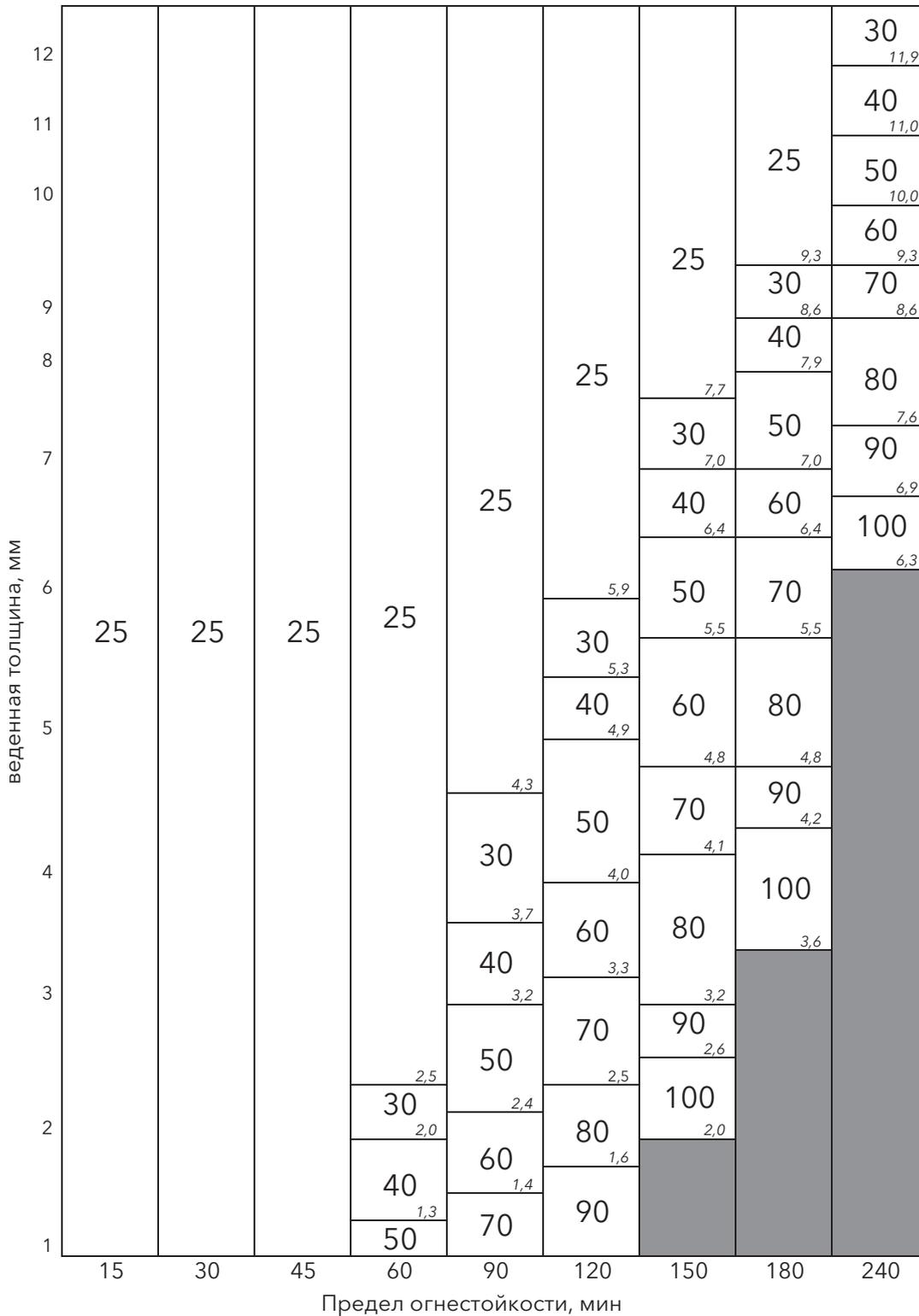


Рис. 10. Толщина материала CONLIT SL 150 в зависимости от предела огнестойкости и приведенной толщины металла

Специалисты по технической изоляции и огнезащите:

Регион	Представитель	Телефон	Email
Алтайский край	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Амурская область	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Архангельская область	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Астраханская область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Белгородская область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Брянская область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Владимирская область	Лопаев Федор	+7 963 996 64 82	fedor.lopaev@rockwool.com
Волгоградская область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Вологодская область	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Воронежская область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Москва	Роман Бочков Андрей Виноградов Федор Лопаев	+7 963 677 36 54 +7 967 097 92 72 +7 963 996 64 82	roman.bochkov@rockwool.com andrey.vinogradov@rockwool.com fedor.lopaev@rockwool.com
Еврейская автономная область	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Забайкальский край	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Ивановская область	Лопаев Федор	+7 963 996 64 82	fedor.lopaev@rockwool.com
Иные территории, включая город и космодром Байконур	Константин Бороздин	+7 922 109 41 08	konstantin.borozdin@rockwool.com
Иркутская область	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Кабардино-Балкарская Республика	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Калининградская область	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Калужская область	Виноградов Андрей	+7 967 097 92 72	andrey.vinogradov@rockwool.com
Камчатский край	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Карачаево-Черкесская Республика	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Кемеровская область	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Кировская область	Станислав Бухамет	+7 987 226 98 66	stanislav.buhamet@rockwool.com
Костромская область	Лопаев Федор	+7 963 996 64 82	fedor.lopaev@rockwool.com
Краснодарский край	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Красноярский край	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Курганская область	Дмитрий Гончаров	+7 929 269 44 14	dmitry.goncharov@rockwool.com
Курская область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Ленинградская область	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Липецкая область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Магаданская область	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Московская область	Роман Бочков Андрей Виноградов Федор Лопаев	+7 963 677 36 54 +7 967 097 92 72 +7 963 996 64 82	roman.bochkov@rockwool.com andrey.vinogradov@rockwool.com fedor.lopaev@rockwool.com
Мурманская область	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Ненецкий автономный округ	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Нижегородская область	Анатолий Бабанин	+7 953 415 41 86	anatoly.babanin@rockwool.com
Новгородская область	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Новосибирская область	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Омская область	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Оренбургская область	Антон Шараев	+7 926 091 31 42	anton.sharaev@rockwool.com
Орловская область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Пензенская область	Антон Шараев	+7 926 091 31 42	anton.sharaev@rockwool.com
Пермский край	Алексей Калмыков	+7 922 109 53 23	alexey.kalmykov@rockwool.com
Приморский край	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com

Регион	Представитель	Телефон	Email
Псковская область	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Республика Адыгея (Адыгея)	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Республика Алтай	Никитин Николай	+7 913 917 4624	nikolay.nikitin@rockwool.com
Республика Башкортостан	Алексей Калмыков	+7 922 109 53 23	alexey.kalmykov@rockwool.com
Республика Бурятия	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Республика Дагестан	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Республика Ингушетия	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Республика Калмыкия	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Республика Карелия	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Республика Коми	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Республика Крым	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Республика Марий Эл	Станислав Бухамет	+7 987 226 98 66	stanislav.buhamet@rockwool.com
Республика Мордовия	Анатолий Бабанин	+7 953 415 41 86	anatoly.babanin@rockwool.com
Республика Саха (Якутия)	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Республика Северная Осетия - Алания	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Республика Татарстан (Татарстан)	Станислав Бухамет	+7 987 226 98 66	stanislav.buhamet@rockwool.com
Республика Тыва	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Республика Хакасия	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Ростовская область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Рязанская область	Виноградов Андрей	+7 967 097 92 72	andrey.vinogradov@rockwool.com
Самарская область	Антон Шараев	+7 926 091 31 42	anton.sharaev@rockwool.com
Санкт-Петербург	Александр Зозуля Владимир Пресняков	+7 921 995 62 00 +7 921 953 60 85	alexander.zozulya@rockwool.com vladimir.presnyakov@rockwool.com
Саратовская область	Антон Шараев	+7 926 091 31 42	anton.sharaev@rockwool.com
Сахалинская область	Никитин Николай	+7 913 917 4624	nikolay.nikitin@rockwool.com
Свердловская область	Алексей Калмыков	+7 922 109 53 23	alexey.kalmykov@rockwool.com
Севастополь	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Смоленская область	Лобаев Федор	+7 963 996 64 82	fedor.lopaev@rockwool.com
Ставропольский край	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Тамбовская область	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Тверская область	Лобаев Федор	+7 963 996 64 82	fedor.lopaev@rockwool.com
Томская область	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Тульская область	Виноградов Андрей	+7 967 097 92 72	andrey.vinogradov@rockwool.com
Тюменская область	Дмитрий Гончаров	+7 922 269 44 14	dmitry.goncharov@rockwool.com
Удмуртская Республика	Станислав Бухамет	+7 987 226 98 66	stanislav.buhamet@rockwool.com
Ульяновская область	Антон Шараев	+7 926 091 31 42	anton.sharaev@rockwool.com
Хабаровский край	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	Дмитрий Гончаров	+7 929 269 44 14	dmitry.goncharov@rockwool.com
Челябинская область	Алексей Калмыков	+7 922 109 53 23	alexey.kalmykov@rockwool.com
Чеченская Республика	Александр Чернышев	+7 918 558 73 21	alexander.chernyshev@rockwool.com
Чувашская Республика - Чувашия	Анатолий Бабанин	+7 953 415 41 86	anatoly.babanin@rockwool.com
Чукотский автономный округ	Никитин Николай	+7 913 917 46 24	nikolay.nikitin@rockwool.com
Ямало-Ненецкий автономный округ	Дмитрий Гончаров	+7 929 269 44 14	dmitry.goncharov@rockwool.com
Ярославская область	Лобаев Федор	+7 963 996 64 82	fedor.lopaev@rockwool.com
Казахстан	Константин Бороздин	+7 922 109 41 08	konstantin.borozdin@rockwool.com

8 800 200 22 77

профессиональные консультации
(бесплатный звонок на территории РФ)



Библиотека

Компания ROCKWOOL

Ул. Земляной Вал, д. 9, г. Москва, 105064

Тел.: +7 495 995 77 55

Факс: +7 495 995 77 75

Обучение по продукции: +7 963 996 64 94

Центр проектирования: design.centre@rockwool.com

www.rockwool.ru



Все об энергосбережении на странице
Rockwool Russia



Видеотека на канале RockwoolRussia