

**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
Начальник
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
доктор технических наук

Д.М. Гордиенко

" 04 " 02 2023 г.

ИНСТРУКЦИЯ

**по расчету фактических пределов огнестойкости стальных конструк-
ций с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных
плит ТЕХНО марки «Плита ТЕХНО ОЗМ» СТО 72746455-3.2.10-2021
и клея «Ceresit СТ190» ГОСТ Р 54359-2017**

Заместитель начальника института –
начальник НИЦ НТП ПБ

А.Ю. Лагозин

МОСКВА 2023

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| Введение | 3 |
| 1. Общие положения..... | 4 |
| 2. Статический расчет | 4 |
| 2.1. Общие положения | 4 |
| 2.2. Центральные-нагруженные стержни | 4 |
| 2.3. Изгибаемые и внецентренно-нагруженные стержни..... | 5 |
| 2.4. Фермы | 6 |
| 3. Номограммы огнестойкости стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит “Плита ТЕХНО ОЗМ” и клея “Ceresit СТ190” | 6 |
| 3.1. Результаты экспериментальных исследований | 6 |
| 3.2. Приведенная толщина металла конструкций | 9 |
| 3.3. Построение номограмм с использованием расчетного метода .. | 9 |
| 3.4. Использование номограмм | 16 |
| 4. Пример расчета предела огнестойкости стальной колонны с композицией огнезащитной, выполненной из плит минераловатных “Плита ТЕХНО ОЗМ” и клея “Ceresit СТ190” | 16 |
| Приложение “Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой” | 18 |
| 3.1. Регуляторы | |
| 3.2. Прозвонки | |
| 3.3. Построение | |
| 3.4. Матрицы | |
| 4. Пример расчета | |
| 3.1. Регуляторы | |
| 3.2. Прозвонки | |
| 3.3. Построение | |
| 3.4. Матрицы | |
| Приложение “Общие | |
| 3.1. Регуляторы | |
| 3.2. Прозвонки | |
| 3.3. Построение | |
| 3.4. Матрицы | |

ВВЕДЕНИЕ

Работа выполнена на основании договора № 2442/Н-3.2 от 19.10.2022 г.
Заказчик: Обособленное подразделение общества с ограниченной ответственностью “ТехноНИКОЛЬ-Строительные Системы” г. Санкт-Петербург (ОП ООО “ТехноНИКОЛЬ-Строительные Системы” г. Санкт-Петербург) Обособленное подразделение ООО “ТехноНИКОЛЬ-Строительные Системы”. Юридический адрес: 129110, г. Москва, ул. Гиляровского, д. 47, стр. 5. Почтовый адрес: 195009, г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола, д. 1-3.

В работе использованы положения следующих нормативных документов:

1. ГОСТ 30247.0-94 “Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования”.

2. ГОСТ Р 53295-2009 “Средства огнезащиты для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности” с изм. № 1.

3. Технологический регламент № ОЗМ 30-80/2021 “Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ” и клея “Ceresit СТ190”.

4. Стандарт организации СТО 72746455-3.2.10-2021 “Изделия из минеральной ваты теплоизоляционные, применяемые для инженерного оборудования зданий, промышленных установок и огнезащиты строительных конструкций”.

5. ” ГОСТ Р 54359-2017 “Составы клеевые, базовые, выравнивающие на цементном вяжущем для фасадных теплоизоляционных композиционных систем с наружными штукатурными слоями/

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

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 ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ” и клея “Ceresit СТ190” 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 выполненной из минераловатных плит ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ”, 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 ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ”.

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. Центральнао-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 .

Коэффициенты γ_T и γ_e вычисляются по формулам:

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

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

где:

N_n - нормативная нагрузка, кг;

F - площадь поперечного сечения стержня, см²;

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

E_n - начальный модуль упругости металла, кг/см²,

для сталей - $E_n = 2100000 \text{ кг/см}^2$;

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 - $0,7 l$.

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 |

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:

$$\gamma_T = \frac{M_n}{W R^n} \quad (3)$$

где:

M_n - 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_c .

Коэффициент γ_T вычисляется по формуле:

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

где:

e - эксцентриситет приложения нормативной нагрузки - N_n , см.

Коэффициент γ_c 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 плит минераловатных “Плита ТЕХНО ОЗМ” и клея “Ceresit СТ190”

3.1 Результаты экспериментальных исследований

Для построения номограмм были обобщены результаты огневых испытаний стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из плит минераловатных “Плита ТЕХНО ОЗМ” и клея “Ceresit СТ190”, проведенных во ВНИИПО (отчет № 13692 от 27.02.2017 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 стандартного температурного режима по ГОСТ 30247.0-94.

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” с изм. № 1.

В качестве опытных образцов, на которые устанавливалась огнезащита, были использованы стальные колонны двутаврового профиля, высотой (1700±10) мм, с различной приведенной толщиной металла, в количестве 10 штук (по 2 образца на каждое испытание).

Монтаж минераловатных плит ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ” осуществлялся по негрунтованной поверхности стальных колонн в соответствии с требованиями, изложенными в технологическом регламенте № ОЗМ 30-80/2021 “Рабочая инструкция композиции огнезащитной для стальных конструкций из минераловатных плит ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ” и клея “Ceresit СТ190”.

Схема монтажа огнезащиты на опытных образцах показана на рис. 1. Минераловатные плиты ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ” крепились на колонны в виде коробчатого сечения, при помощи клея “Ceresit СТ190”.

Порядок крепления плит описан в отчетах по испытаниям.

Испытания колонн проводились при четырехстороннем тепловом воздействии по стандартному температурному режиму согласно ГОСТ 30247.0-94.

Порядок проведения испытаний и испытательное оборудование представлено в вышеуказанных отчетах.

Для построения номограмм были использованы температурные кривые прогрева колонн, облицованных минераловатными плитами ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ”, со следующими параметрами:

Таблица 2
Параметры облицовок и результаты испытаний

| № п/п | Приведенная толщина металла, мм | Толщина огнезащиты, мм | Время достижения критической температуры 500 °С, мин |
|-------|---------------------------------|------------------------|--|
| 1 | 3,4 | 20 | 65 |
| 2* | 3,4 | 30 | 80 |
| 3 | 4,85 | 40 | 125 |
| 4 | 6,89 | 25+45=70 | 198 |
| 5** | 9,9 | 45+45=90 | > 240** |

* - представленные данные получены в ходе проведения сертификационных испытаний системы огнезащиты из минераловатных плит ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ” и клея “Ceresit СТ190” (отчет № 13692 от 27.02.2017 г.);

** - на момент окончания огневого воздействия через 240 мин достижения критической температуры 500 °С зафиксировано не было. Средняя температура на опытном образце составила 390 °С.

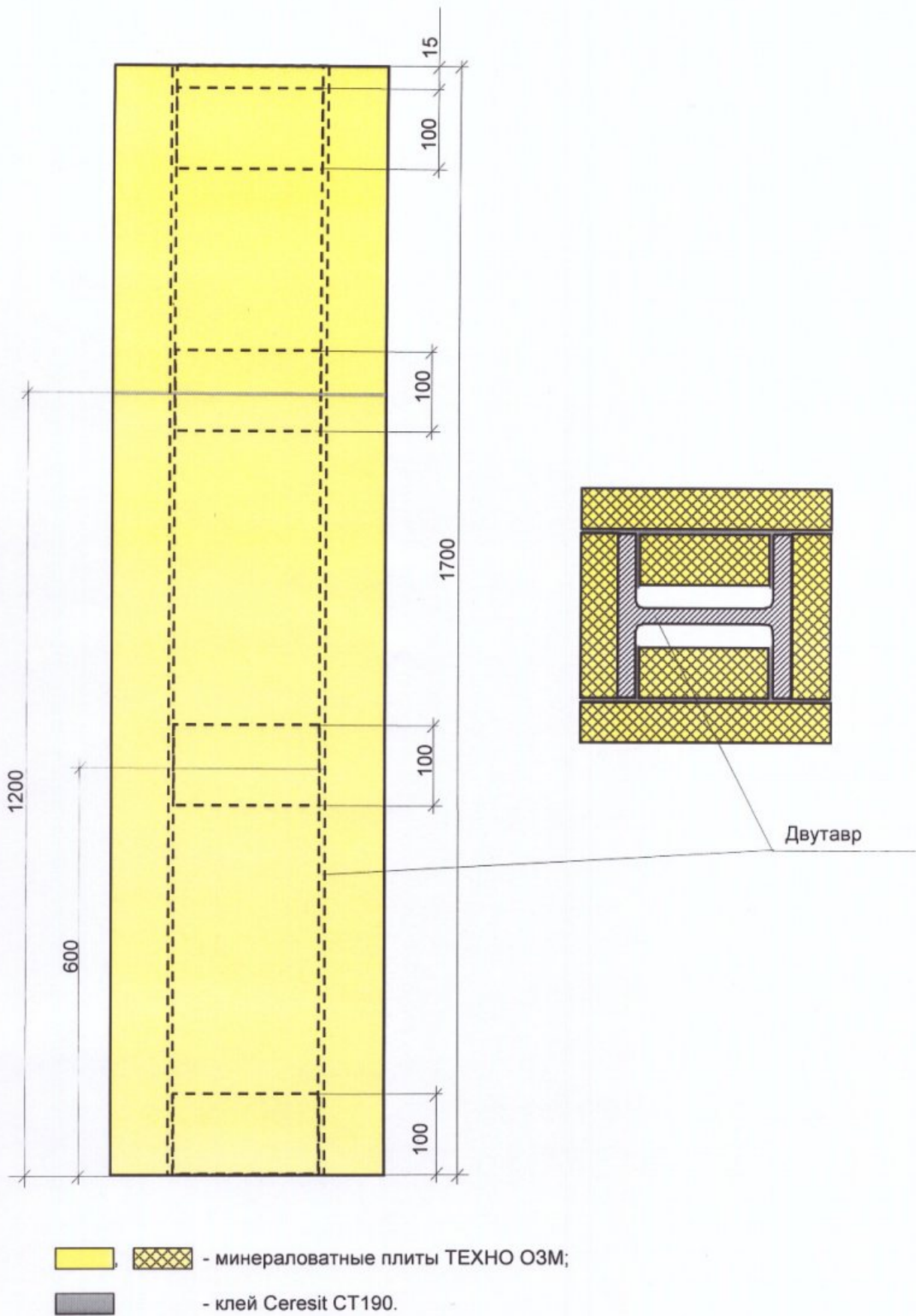


Рис. 1. Схема монтажа композиции огнезащитной выполненной из минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ"

Результаты испытаний стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ" и клея "Ceresit СТ190" были проанализированы и обобщены.

Температурные кривые прогрева испытанных конструкций с различными приведенными толщинами металла и толщинами облицовки представлены на рис. 2.

3.2. Приведенная толщина металла конструкций

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

$$\delta_{пр} = \frac{F}{P} \quad (5)$$

где

F - площадь поперечного сечения металлической конструкции, мм²;

P - обогреваемая часть периметра конструкции по таблице 3, мм.

3.2. 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 ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ": - плотность; - влажность; - степень черноты; - коэффициент теплопроводности и коэффициент теплоемкости; - при нормальных условиях; - а также при воздействии стандартного температурного режима.

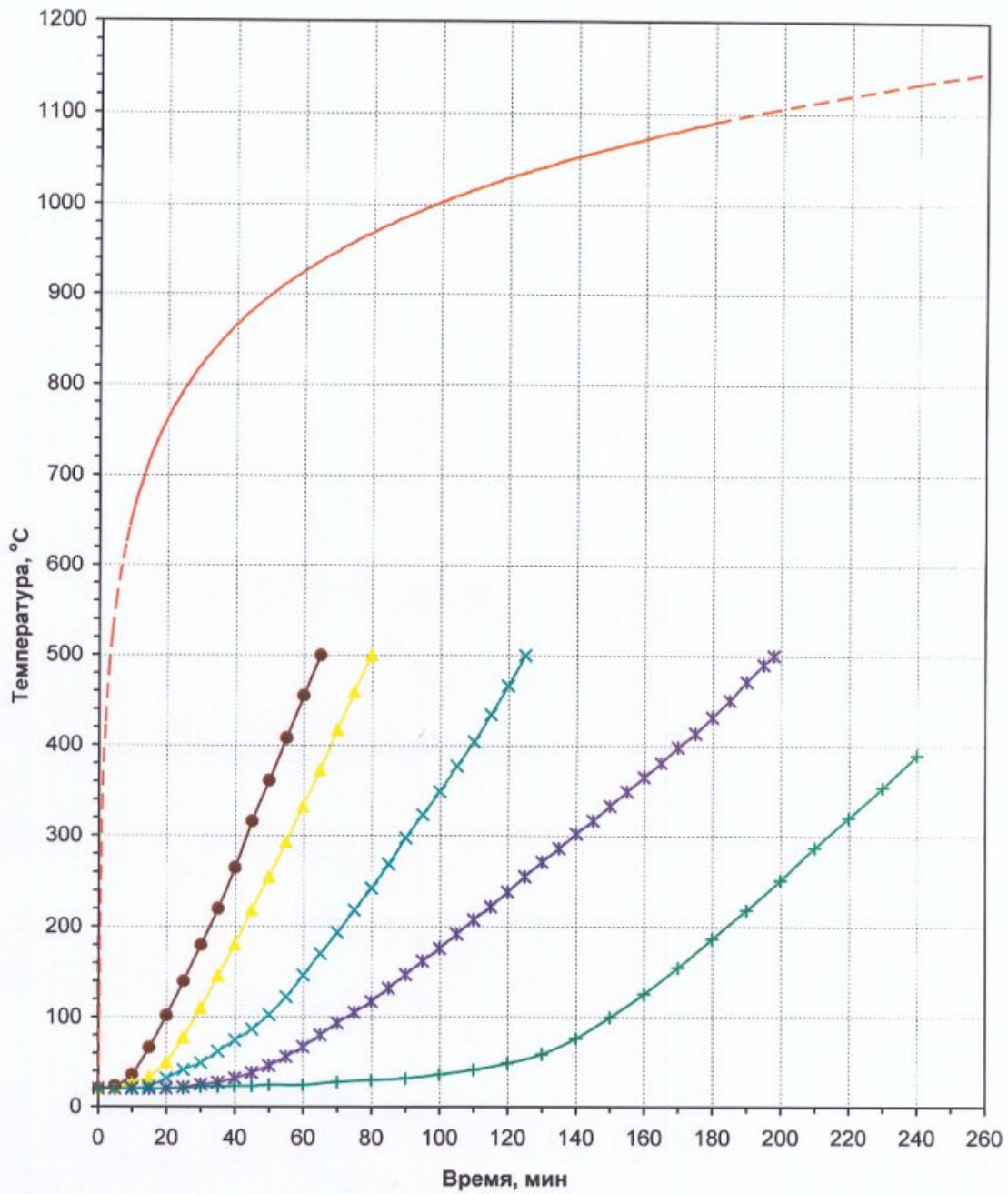
Для этого на ЭВМ было построено несколько моделей испытанных ранее конструкций и проведен ряд теплотехнических расчетов с использованием подобранных свойств материала минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ". Сравнительные расчеты проводились до достижения среднего расхождения между результатами 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 ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ" при различных толщинах облицовки.

Для расчетов были построены модели стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ" 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.



- tw,t - стандартная температурная кривая;
- - приведенная толщина металла - 3,4 мм, толщина облицовки - 20 мм;
- ▲ - приведенная толщина металла - 3,4 мм, толщина облицовки - 30 мм;
- × - приведенная толщина металла - 4,8 мм, толщина облицовки - 40 мм;
- * - приведенная толщина металла - 6,89 мм, толщина облицовки - 70 мм;
- + - приведенная толщина металла - 9,9 мм, толщина облицовки - 90 мм.

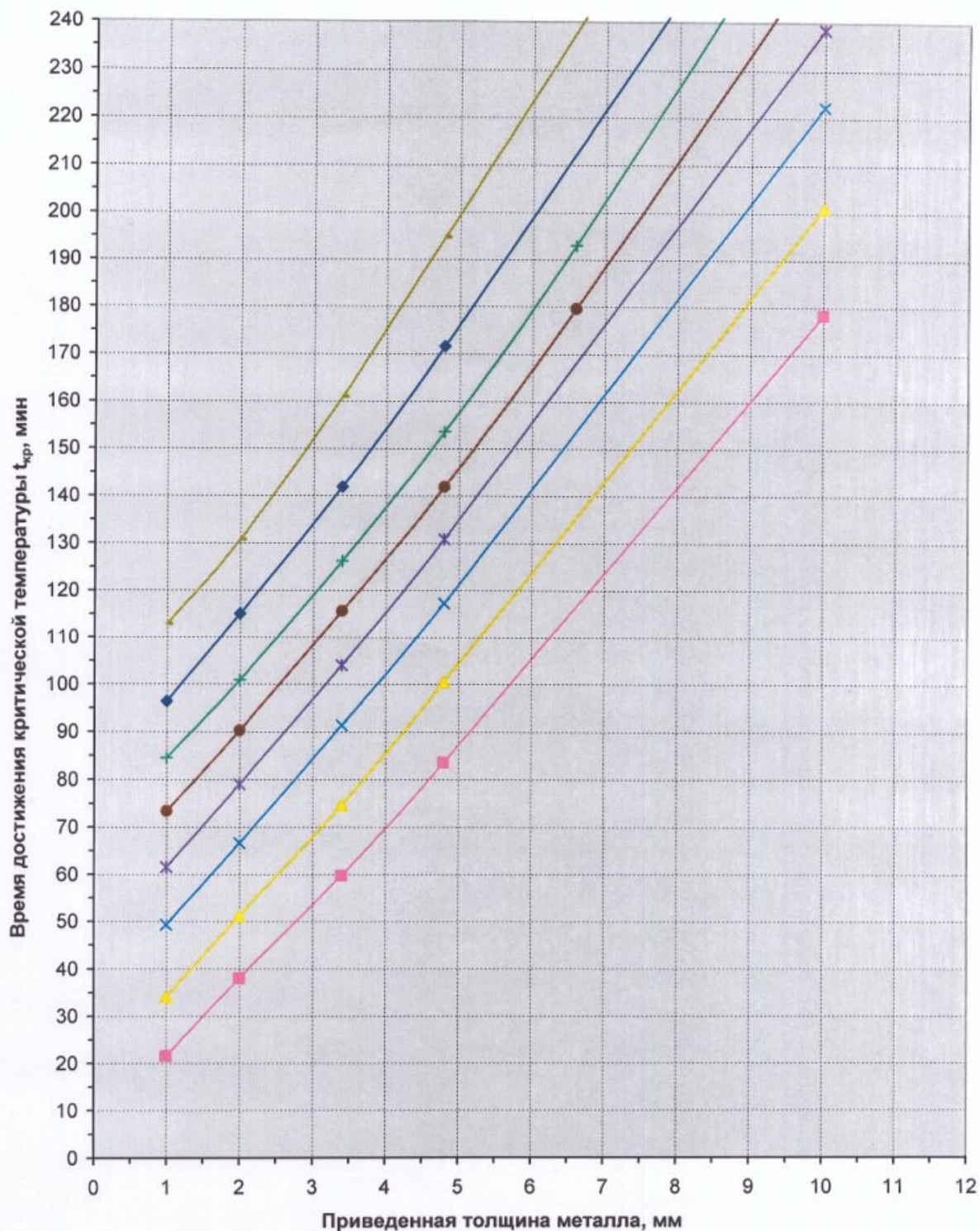
Рис. 2. Экспериментальные кривые прогрева стальных конструкций с композицией огнезащитной, выполненной из минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ" и клея "Ceresit СТ190"

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 |
| | $2B+2D+2(B-t)$ $=4B+2D-2t$ | $B+2D+2(B-t)$ $=3B+2D-2t$ | $2B+2D$ | $B+2D$ |
| | $2B+2D$ | $B+2D$ | $2B+2D$ | $B+2D$ |
| | $2B+2D+2(B-t)$ $=4B+2D-2t$ | $B+2D+2(B-t)$ $=3B+2D-2t$ | $2B+2D$ | $B+2D$ |
| | $2B+2D$ | $B+2D$ | $2B+2D$ | $B+2D$ |
| | πD | - // - | πD | - // - |

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 ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ", см. рис. 3-6.



Толщина минераловатных плит Техно марки "Плита ТЕХНО ОЗМ":

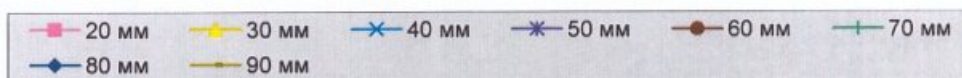
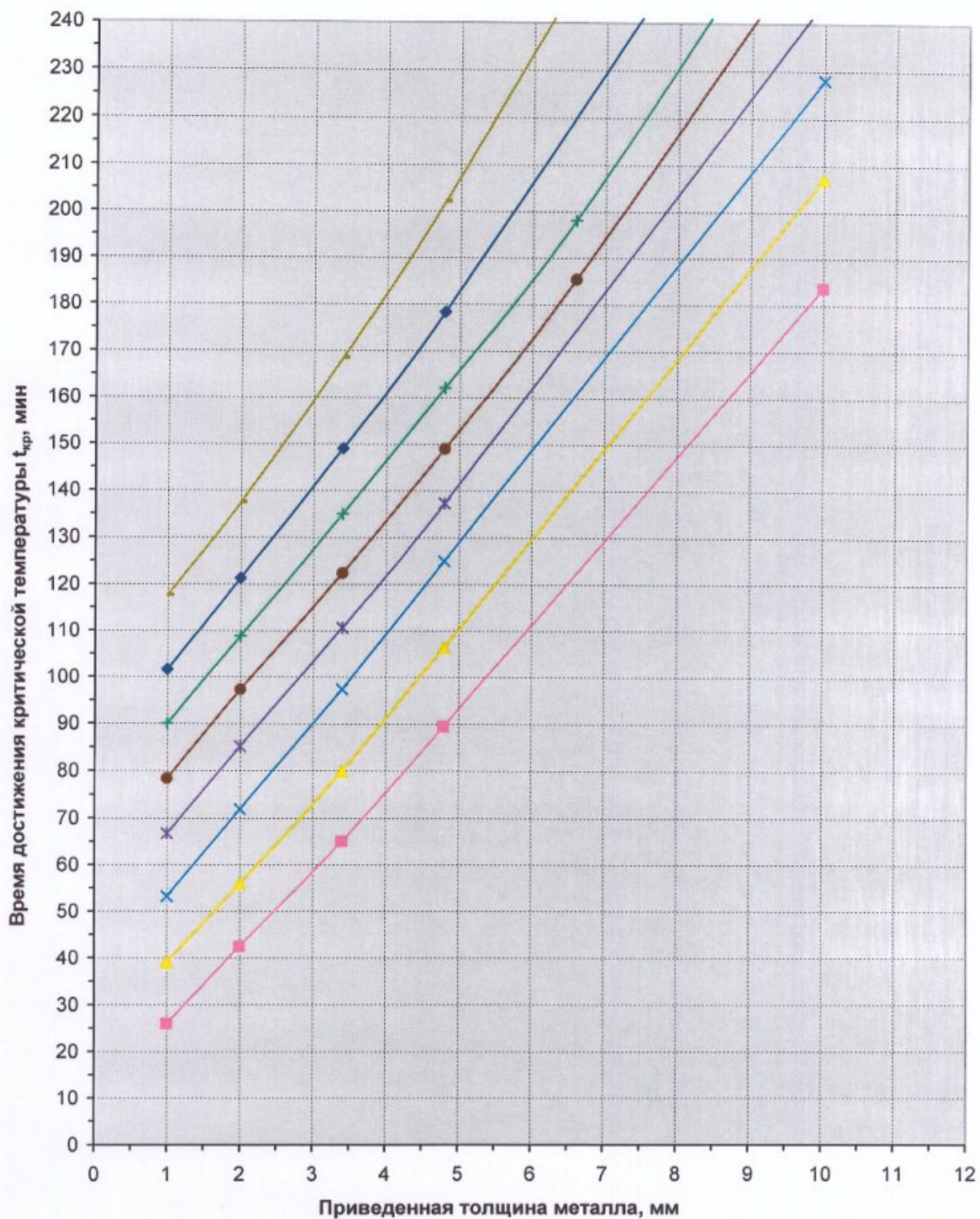


Рис. 3. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ" при $t_{кр} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$



Толщина минераловатных плит Техно марки "Плита ТЕХНО ОЗМ":

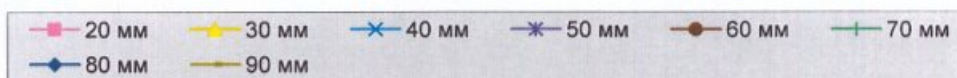
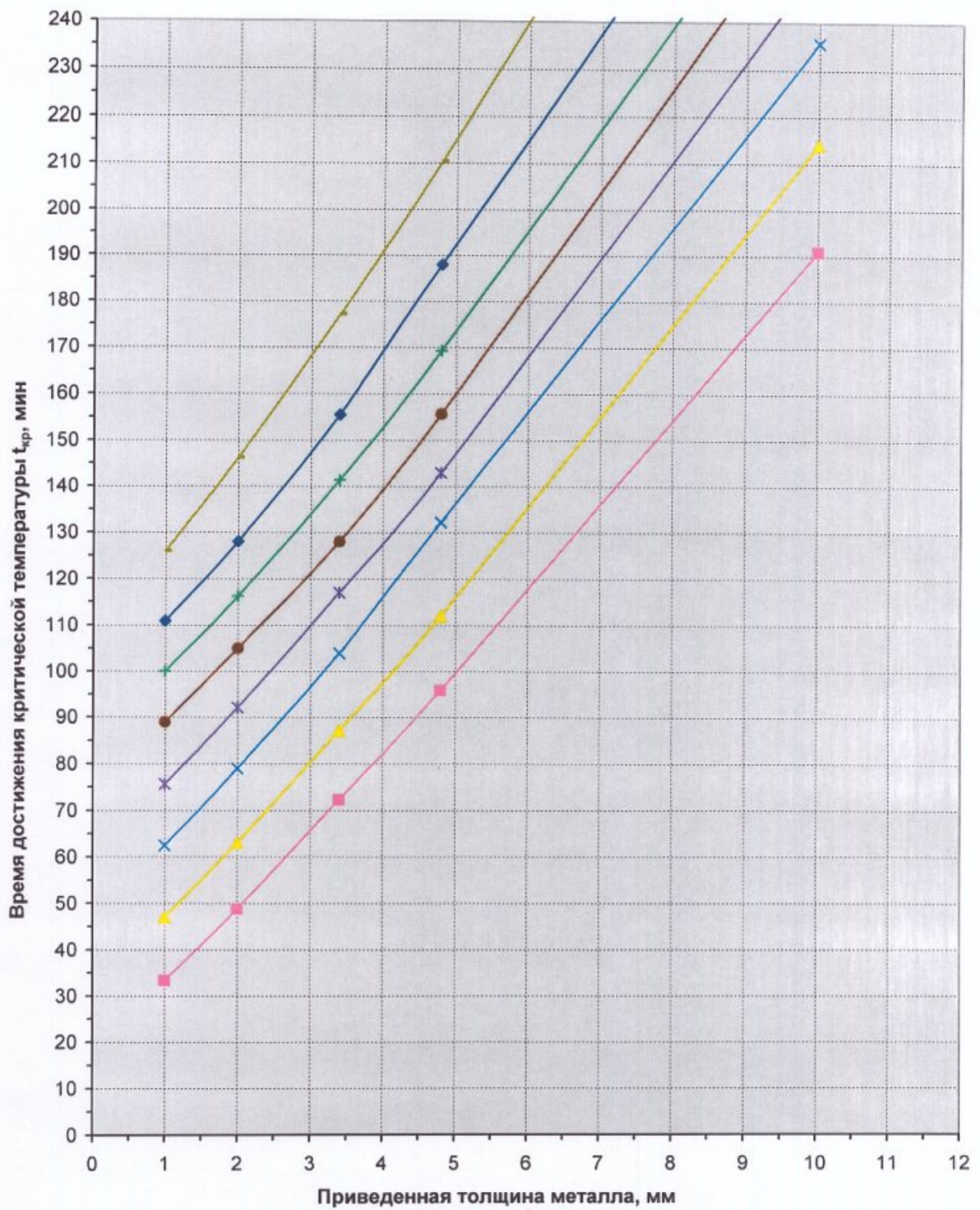


Рис. 4. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ" при $t_{кр} = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$



Толщина минераловатных плит Техно марки "Плита ТЕХНО ОЗМ":

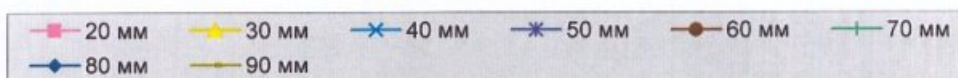
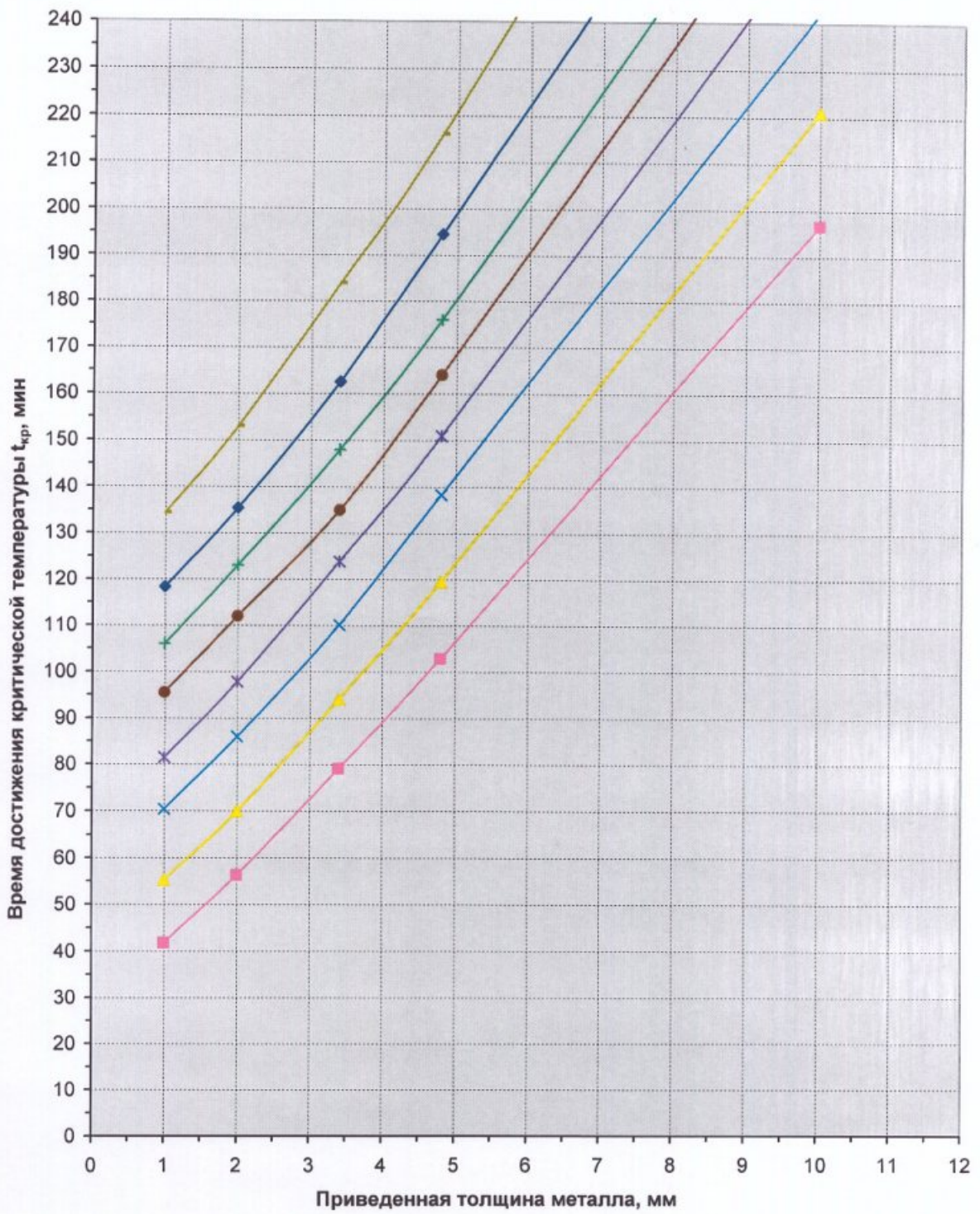


Рис. 5. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ" при $t_{кр} = 550\text{ }^{\circ}\text{C}$



Толщина минераловатных плит Техно марки "Плита ТЕХНО ОЗМ":

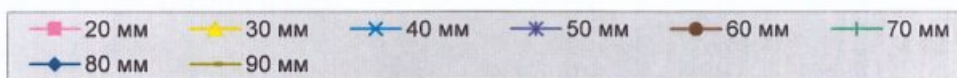


Рис. 6. Огнестойкость стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ" при $t_{кр} = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$

3.4. Использование номограмм

Номограммы огнестойкости стальных конструкций с огнезащитой из минераловатных плит ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ” предназначены для определения пределов огнестойкости стальных конструкций при критических температурах стали: $t_{кр} = 450, 500, 550$ и 600 °С, см. рис. 3-6 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 ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ”. 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 ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ”, 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 ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ”.

Аналогичным образом данные номограммы могут использоваться для решения обратных задач: поиска минимальной толщины минераловатных плит ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ”, 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 ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ”

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 ТЕХНО марки “Плита ТЕХНО ОЗМ” 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 γ_T и γ_e при следующих параметрах:

$$N_n = 40000 \text{ кг};$$

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

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

$$E_n = 2100000 \text{ кг/см}^2;$$

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

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

$$\gamma_T = 0,53$$

$$\gamma_e = 0,09,$$

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 по ГОСТ 8239-89 для двутавра № 20.

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

$$F = 2680 \text{ мм}^2.$$

$$\delta_{np} = 3,4 \text{ мм}.$$

3. Определив критическую температуру конструкции $t_{кр} = 519 \text{ }^\circ\text{C}$ выбираем номограммы с ближайшими значениями $t_{кр} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{кр} = 550 \text{ }^\circ\text{C}$. Для заданной толщины минераловатных плит ТЕХНО марки "Плита ТЕХНО ОЗМ" $\delta_o = 30 \text{ мм}$ (см. легенду) и для найденной приведенной толщины металла $\delta_{np} = 3,4 \text{ мм}$ находим два значения предела огнестойкости конструкции при $t_{кр} = 500 \text{ }^\circ\text{C}$ и $t_{кр} = 550 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\tau_1 = 80 \text{ мин}, \tau_2 = 87 \text{ мин}.$$

Интерполируя данный отрезок получаем значение предела огнестойкости при $t_{кр} = 519 \text{ }^\circ\text{C}$:

$$\tau = 83 \text{ мин}.$$

Приложение: Общие положения теплотехнического расчета стальных конструкций с огнезащитой.

ИСПОЛНИТЕЛИ

Начальник отдела
ФГБУ ВНИИПО МЧС России
кандидат технических наук



А.В. Пехотиков

Начальник сектора
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

В.В. Павлов

Старший научный сотрудник
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

О.В. Фомина

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

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

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

где:

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

τ - время в секундах;

t_n - начальная температура нагревающей среды, °К.

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

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

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 $t_n = 293$ °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 Δt не должна превышать значения, которое вычисляется по формуле (11).

6. Незащищенные металлические конструкции

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

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

где

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

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

$t_{\theta, \tau}$ - 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:

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

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. 7. Огнезащитная облицовка толщиной δ_0 разбивается на n -ое число слоев Δx .

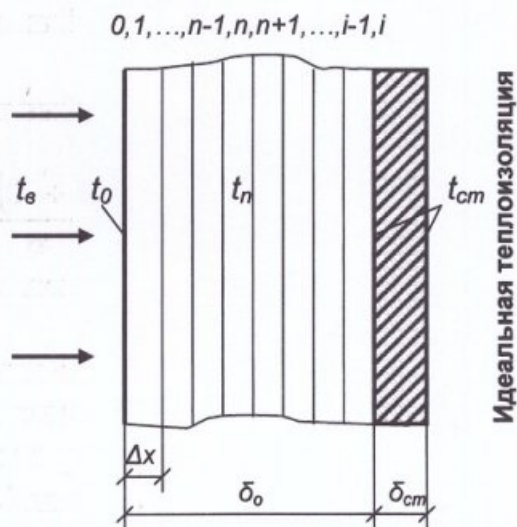


Рис. 7. Схема к расчету на ЭВМ прогрева стальной пластины с огнезащитной облицовкой

ПРИЛОЖЕНИЕ А

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

- температура на обогреваемой поверхности облицовки:

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

- 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:

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

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);

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

- фиктивная температура.

где p_e - начальная весовая влажность облицовки, %;

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