

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  
Заместитель начальника института  
(по экономическому развитию)

Н.А. Агапов

14 " май 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчетное определение пределов огнестойкости и классов пожарной  
опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций и  
деформационных швов с устройством термовкладышей из  
экструдированного пенополиэтилена реализуемых ООО  
«ТехноНИКОЛЬ - Строительные системы»

Заместитель начальника отдела 3.2 –  
начальник сектора 3.2.3  
ФГБУ ВНИИПО МЧС России

Б.Б. Колчев

МОСКВА 2025

## Содержание

1. Общие сведения .....	3
2. Нормативные ссылки .....	3
3. Основные положения .....	4
4. Анализ проектной документации .....	5
5. Методика расчета огнестойкости и класса пожарной опасности железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола .....	9
5.1. Основные расчетные положения .....	9
5.2. Математическая модель расчета теплотехнической задачи .....	10
5.3. Границные и начальные условия при решении теплотехнической задачи .....	11
6. Критерии оценки огнестойкости и класса пожарной опасности .....	14
7. Исходные данные для расчета огнестойкости .....	15
8. Верификация и валидация программного комплекса <i>ANSYS</i> .....	16
9. Расчет пределов огнестойкости и классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола .....	16
9.1 Общие расчетные положения .....	16
9.2. Расчетные модели узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола .....	16
9.3. Расчетные конечно-элементные модели узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола .....	18
9.4. Результаты расчета пределов огнестойкости узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола .....	19
9.5. Результаты расчета классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола .....	29
9.6. Распространение результатов расчета узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола на аналогичные конструктивные исполнения .....	33
9.7. Расчет пределов огнестойкости и классов пожарной опасности конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола .....	39
9.8. Распространение результатов расчета конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола на аналогичные конструктивные исполнения .....	42
10. Выводы .....	47
11. Исполнители .....	65
12. Дополнительная информация .....	65
Список литературы .....	66
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (Обязательное) .....	67
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (Обязательное) .....	72
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (Обязательное) .....	80
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 (Обязательное) .....	109
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 (Обязательное) .....	115

## 1. Общие сведения

Заказчик: Общество с ограниченной ответственностью «ТехноНИКОЛЬ – Строительные системы» (ООО «ТехноНИКОЛЬ – Строительные системы»).

В процессе работы Исполнитель разрабатывает заключение по расчетному обоснованию пределов огнестойкости и классов пожарной опасности железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола (далее - Заключение).

Основание для выполнения работы: договор от 03.06.2025 №4236/Н-3.2.

Цель работы: расчетное обоснование пределов огнестойкости и классов пожарной опасности и формирование базы данных по техническим решениям узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола.

### Задачи работы:

- анализ технических решений по конструктивному исполнению узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола, описанных в проектной документации;

- на основании анализа проектной документации определить технические решения по конструктивному исполнению узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола необходимые для оценки пределов огнестойкости и классов пожарной опасности;

- расчет пределов огнестойкости и классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с учетом анализа проектной документации;

- распространение результатов расчета на остальные виды технических решений по конструктивному исполнению узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола.

## 2. Нормативные ссылки

В ходе работ учитываются положения следующих нормативных документов:

1. Федеральный закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;

2. СП 2.13130.2020 «Системы противопожарной защиты. Обеспечение огнестойкости объектов защиты»;

3. СП 16.13330.2017 «Стальные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-23-81»;
4. ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытания на огнестойкость. Общие требования»;
5. ГОСТ 30247.1-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции»;
6. ГОСТ 30403-2012 «Конструкции строительные. Метод испытаний на пожарную опасность»;
7. ГОСТ 31251-2008 «Стены наружные с внешней стороны. Метод испытаний на пожарную опасность»;
8. Верификационный отчет «ANSYS Mechanical APDL Verification Manual»;
9. Верификационный отчет по ANSYS в строительстве, Москва, РААСН.

### **3. Основные положения**

Согласно части 1 статьи 6 Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (далее - № 123-ФЗ) пожарная безопасность объекта защиты считается обеспеченной при выполнении в полном объёме требований пожарной безопасности, установленных вышеуказанным Федеральным законом, а также выполнения требований пожарной безопасности, содержащихся в специальных технических условиях, отражающих специфику обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений, и содержащих комплекс необходимых инженерно-технических и организационных мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, согласованных в порядке, установленном федеральным органом исполнительной власти, уполномоченным на решение задач в области пожарной безопасности.

Пределы огнестойкости и классы пожарной опасности строительных конструкций должны определяться в условиях стандартных испытаний по методикам, установленными нормативными документами по пожарной безопасности.

К таким стандартным методикам относятся ГОСТ 30247.0-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования» и ГОСТ 30247.1-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции».

Согласно части 10 статьи 87 № 123-ФЗ допускается пределы огнестойкости и классы пожарной опасности определять расчетно-аналитическими методами при условии, что конструкции аналогичные по форме, материалам и конструктивному исполнению прошли огневые испытания.

Для расчета сложных конструктивных систем в мировой практике существует большое количество расчетных методов, к которым, в частности, относится метод конечных элементов (далее - МКЭ), которые

позволяют определять фактические пределы огнестойкости конструкций. Реализованы эти методы в таких программных комплексах как *ANSYS*, *FIDESYS*, *NASTRAN*, *ABAQUS* и т.д. В данной работе использовался программный комплекс *ANSYS*. Методика определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола описана в следующем разделе настоящего Заключения.

#### 4. Анализ проектной документации

Для анализа технических решений по конструктивному исполнению узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформативных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола представлен «Альбом технических решений по устройству термовкладышей» компании ООО «ТехноНИКОЛЬ-СТРОИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ» Шифр: ТО-ФАС-ЭПП-018, на основании которого производилась выборка конструктивных исполнений железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с целью оптимизации количества расчетом и распространение результатов расчета на аналогичные конструктивные исполнения.

В соответствии с рассмотренной проектной документацией для расчета использовались следующие Варианты технических решений узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола (Рис. 1-6).

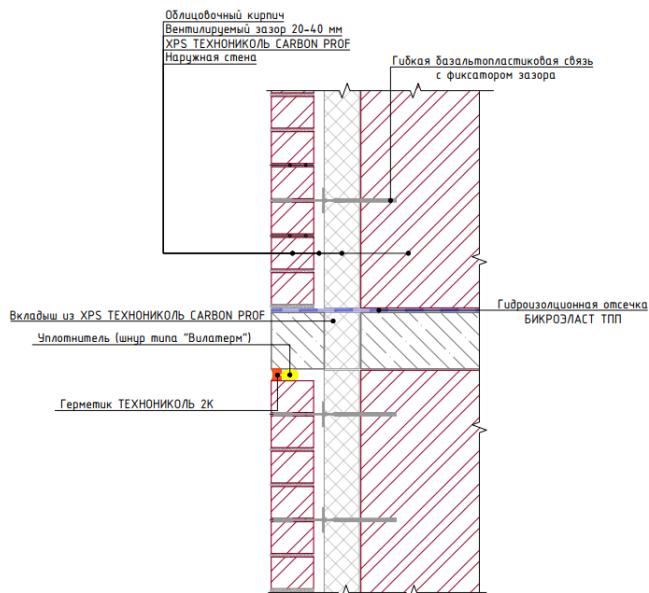


Рис 1. Устройство термовкладышам из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия.  
Вариант 1 (У.1.1-2025.09).

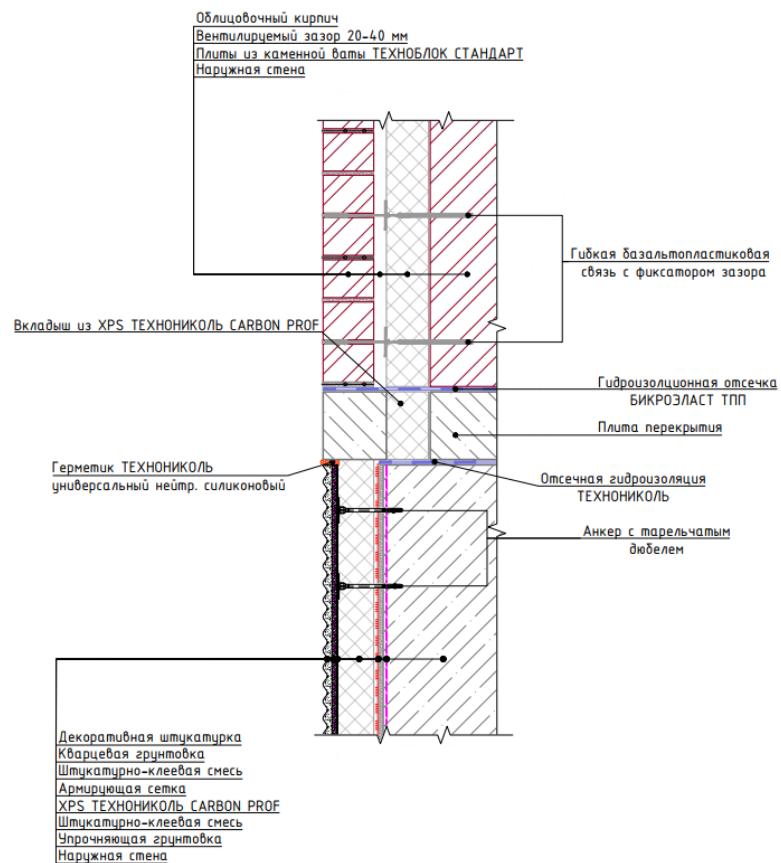


Рис 2. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия.  
Вариант 2 (У.1.2-2025.09).

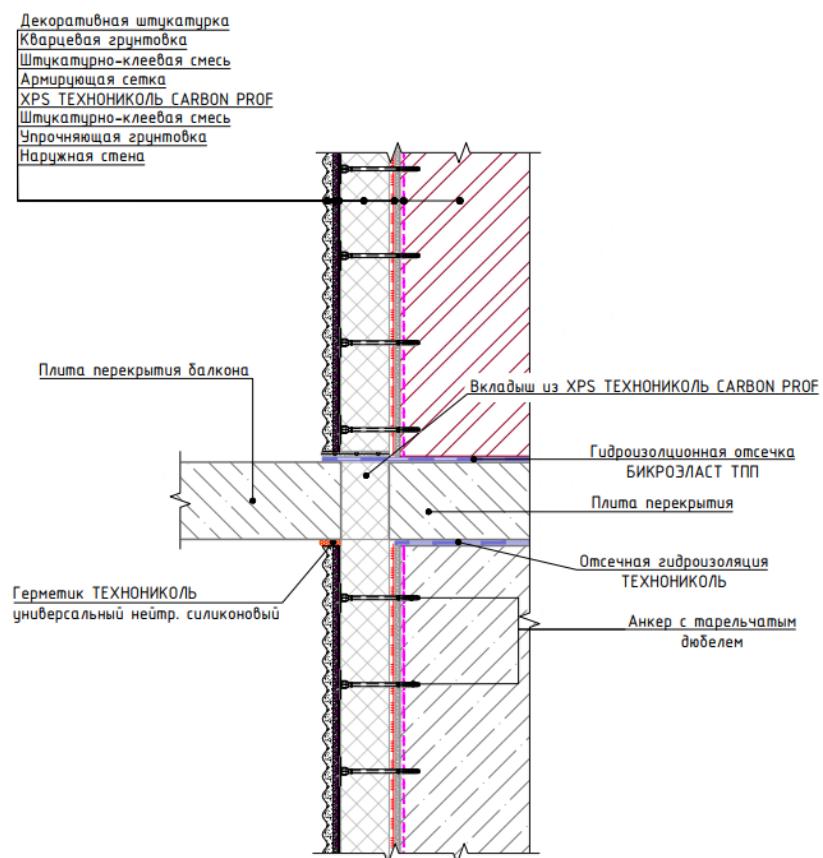


Рис 3. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия.  
Вариант 4 (У.1.4-2025.09).

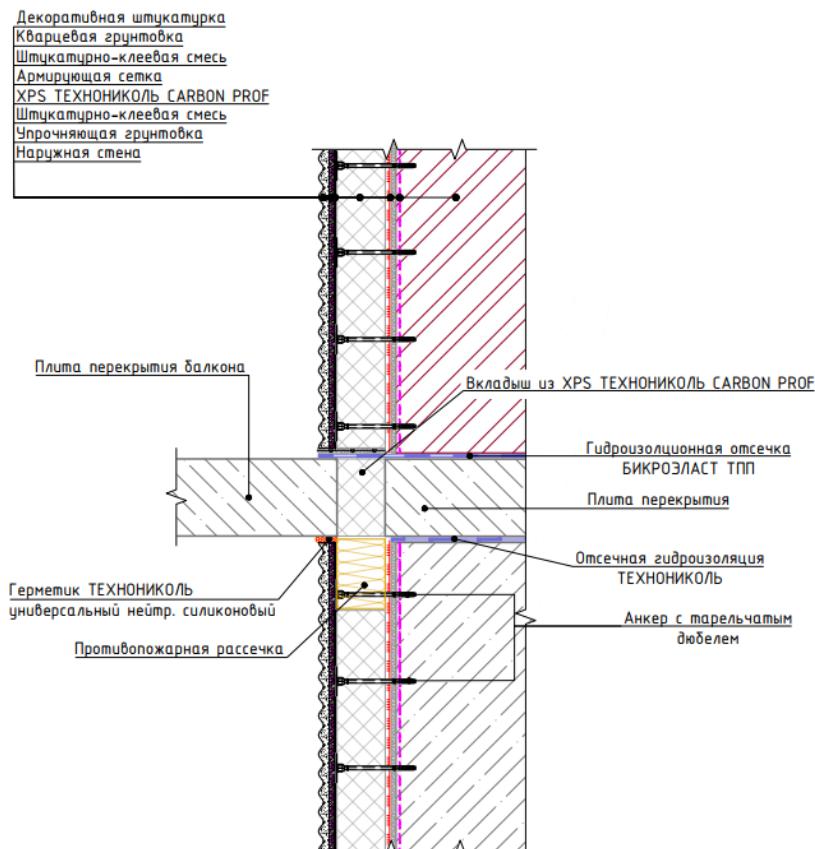


Рис 4. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия.  
Вариант 13 (У.1.13-2025.09).

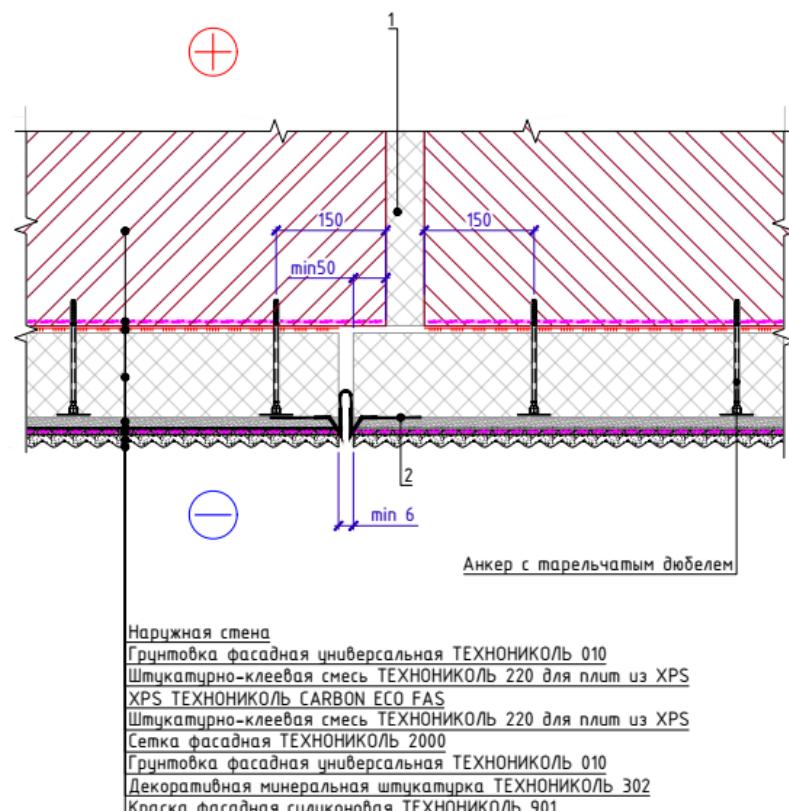


Рис 5. Деформационный шов с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.1-2025.09):  
1 – демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 2 – деформационный  
ПВХ профиль с кантом и сеткой.

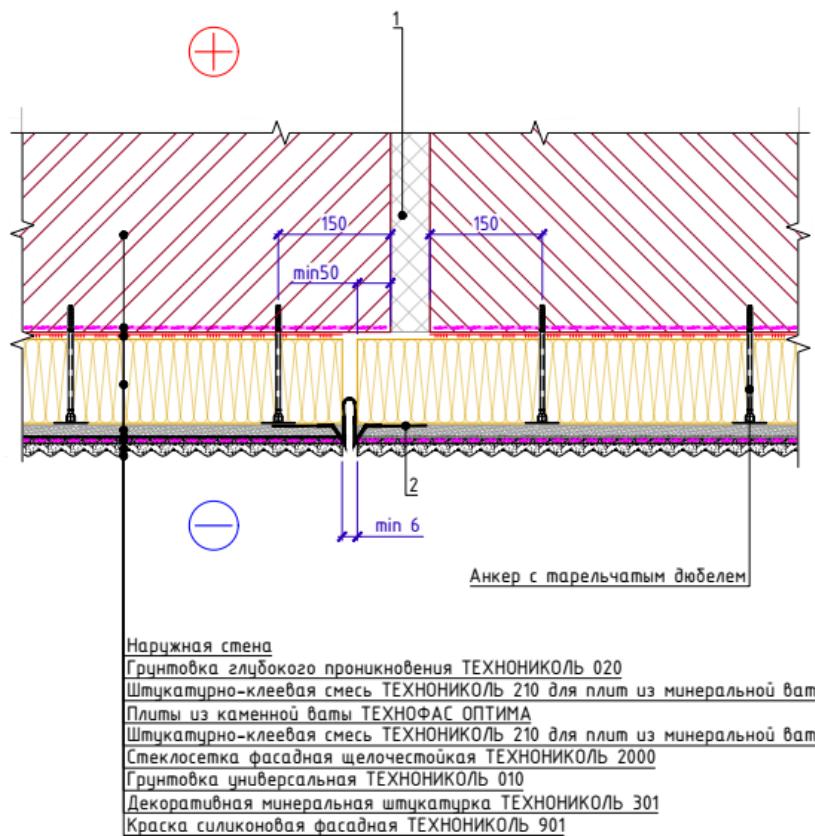


Рис 6. Деформационный шов с применением ПВХ профиля. Вариант 2 (У.2.2-2025.09):  
1 – демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 2 – деформационный ПВХ профиль с кантом и сеткой.

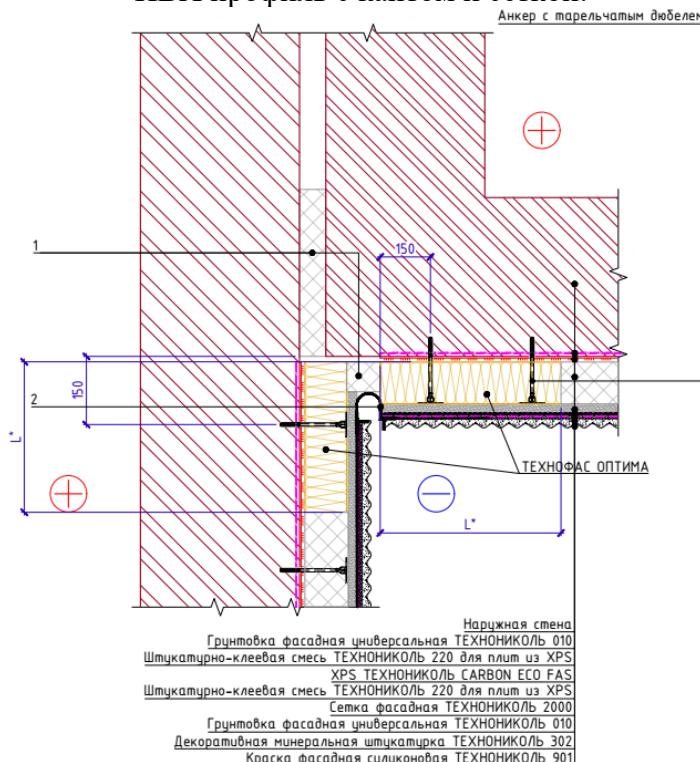


Рис 7. Угловой деформационный шов с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.9-2025.09): 1 – демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 2 – угловой деформационный профиль с кантом и сеткой.

Минимальная толщина монолитной железобетонной стены принималась в соответствии с п. 5.2.11 СП 430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования» и составляла 160 мм, а минимальная толщина железобетонных перекрытий в соответствии с разделом 4 ГОСТ 26434-2015 «Плиты перекрытий железобетонные для жилых зданий» и составляла 120 мм. Минимальный защитный слой бетона для железобетонного перекрытия принимался в соответствии с п. 10.3.2 СП «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» равный 20 мм.

В расчете предела огнестойкости и класса пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола учитываются 3 типа вкладышей длинной 300, 400 и 500 мм. (Рис.8).

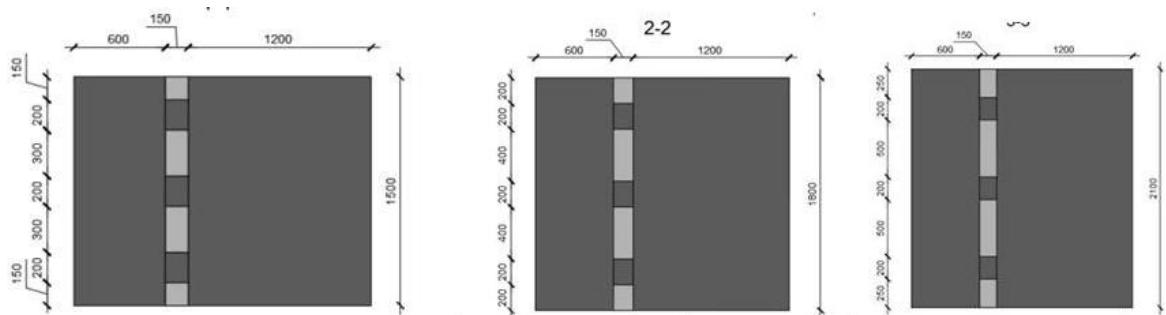


Рис 8. Устройство термовкладышей в железобетонной плите перекрытия с длинной 300, 400 и 500 мм

## 5. Методика расчета огнестойкости и класса пожарной опасности железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола

### 5.1. Основные расчетные положения

В данном разделе изложены основные теоретические предпосылки теплотехнического анализа (расчета) пределов огнестойкости и классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола.

Для расчета огнестойкости узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола используется метод конечных элементов с применением программного комплекса *ANSYS*.

Расчет предназначен для определения температурных полей прогрева узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола и их оценки по критериям в соответствии с разделом 6 настоящего Заключения.

Далее изложена математическая модель теплотехнического анализа и критерии оценки пределов огнестойкости и классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола.

## 5.2. Математическая модель расчета теплотехнической задачи

Математическая модель основана на первом законе термодинамики в трехмерной постановке и описывается следующим образом:

$$\rho c \left( \frac{\partial T}{\partial t} + \{V\}^T \{L\} T \right) + \{L\}^T \{q\} = \bar{q}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность, кг/м<sup>3</sup>;  $c$  – коэффициент теплоёмкости, Дж/кг°C;  $T$  – температура, °C;  $t$  – время, с;  $\{L\}$  – векторный оператор;  $\{V\}$  – вектор скорости тепломассопереноса;  $\{q\}$  – вектор плотности теплового потока;  $\bar{q}$  – скорость тепловыделения на единицу объёма.

Начальными условиями будет являться температура, которая описывается в виде зависимости  $T(x, y, z, t)$ .

Согласно закону Фурье, плотность теплового потока через изотермическую поверхность пропорциональна градиенту температуры. Данный закон имеет следующий вид:

$$\{q\} = -[D] \{L\} T, \quad (2)$$

где  $[D]$  – матрица теплопроводности для трехмерной модели.

Матрица теплопроводности для трехмерной модели описывается следующим образом:

$$[D] = \begin{bmatrix} K_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & K_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & K_{zz} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $K_{xx}$ ,  $K_{yy}$ ,  $K_{zz}$  – коэффициенты теплопроводности в элементе по  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Дифференцируя уравнения получаем уравнение теплопроводности для трехмерной модели:

$$\begin{aligned} \rho c \left( \frac{\partial T}{\partial t} + V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) &= \\ &= \bar{q} + \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial T}{\partial z} \right), \end{aligned} \quad (4)$$

При расчёте задачи нестационарной теплопроводности задавались граничные условия 3-го рода:

$$\{q\}^T \{n\} = h_f (T_s - T_B), \quad (5)$$

где  $h_f$  – коэффициент теплопередачи, Вт/м<sup>2</sup>°С;  $T_B$  – температура среды, °С;  $T_s$  – температура поверхности, °С;  $\{n\}$  - единичный внешний нормальный вектор.

Характеризуется граничное условие 3-го рода передачей температуры от обтекаемой поверхности газовой среды к поверхности тела. Коэффициент теплоотдачи – это есть передаваемое количество тепла, отдаваемое единицей поверхности тела при разности температур поверхности и окружающей среды.

В ходе расчета также учитывалось излучение, которое описывается следующим образом:

$$\sum_{i=1}^N \left( \frac{\delta_{ji}}{\varepsilon_i} - F_{ji} \frac{1-\varepsilon_i}{\varepsilon_i} \right) \frac{1}{A_i} Q_i = \sum_{i=1}^N (\delta_{ji} - F_{ji}) \sigma T_i^4, \quad (6)$$

где  $N$  – количество излучающих поверхностей;  $\varepsilon_i$  – приведенная степень черноты  $i$ -й поверхности;  $F_{ji}$  – угловой коэффициент облучённости;  $A_i$  – площадь  $i$ -й поверхности;  $Q_i$  – потеря энергии  $i$ -й поверхности;  $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана;  $T_i$  – абсолютная температура  $i$ -й поверхности.

На обогреваемой поверхности задаются значения коэффициента передачи тепла конвекцией, степень черноты для коэффициента передачи тепла излучением и стандартный температурный режим. В случае с обогреваемой поверхностью  $\varepsilon_i = \varepsilon_{np}$ . Приведенная степень черноты рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon_{np} = \frac{1}{\left(\frac{1}{s}\right) + \left(\frac{1}{s_0}\right) - 1}, \quad (7)$$

Стандартный температурный режим пожара рассчитывается по формуле:

$$t_e = 345 \lg(8\tau + 1) + t_h, \quad (8)$$

Для необогреваемой поверхности (в случае когда данное граничное условие необходимо для решения теплотехнической задачи), также как и для обогреваемой поверхности, значения коэффициента передачи тепла конвекцией, степень черноты для коэффициента передачи тепла излучением, при этом степень черноты  $\varepsilon_i$  задается для материала, из которого эта необогреваемая поверхность состоит.

### 5.3. Границные и начальные условия при решении теплотехнической задачи

Определение расчетным методом предела огнестойкости узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из

экструдированного пенополистирола отличался от расчетного метода класса пожарной опасности этих же конструкций. Для определения предела огнестойкости, термовкладыш не моделировался, то есть подразумевается, что вкладыш из XPS выплавился на первых минутах расчета (наихудший вариант расчетной ситуации), а в пустоте моделировалось граничное условие 2-го рода (теплопередача излучением).

В случае расчета класса пожарной опасности термовкладыш из XPS моделировался. Выбранная расчетная ситуация обосновывается тем, что в процессе нагрева на поверхности вкладыша контролировалась температура воспламенения материала (наихудший вариант расчетной ситуации), при достижении которой делается оценка критерия, описанного в следующем разделе настоящего Заключения. Пример расчетной схемы приведен на рис. 9.

Для Вариантов 2, 4 и 13 (Рис. 2-4) конструктивного исполнения расчет основывался по результатам натурных испытаний, где на основании проведенных испытаний, получено обрушение фасада на 15 минуте испытания, поэтому в расчете для этих Вариантов после 15 минуты производилось изменение граничных условий, а именно отключение из расчета фасада (имитация обрушения фасада) и температурное воздействие переносилось на внутреннюю железобетонную стену (наихудший вариант расчетной ситуации).

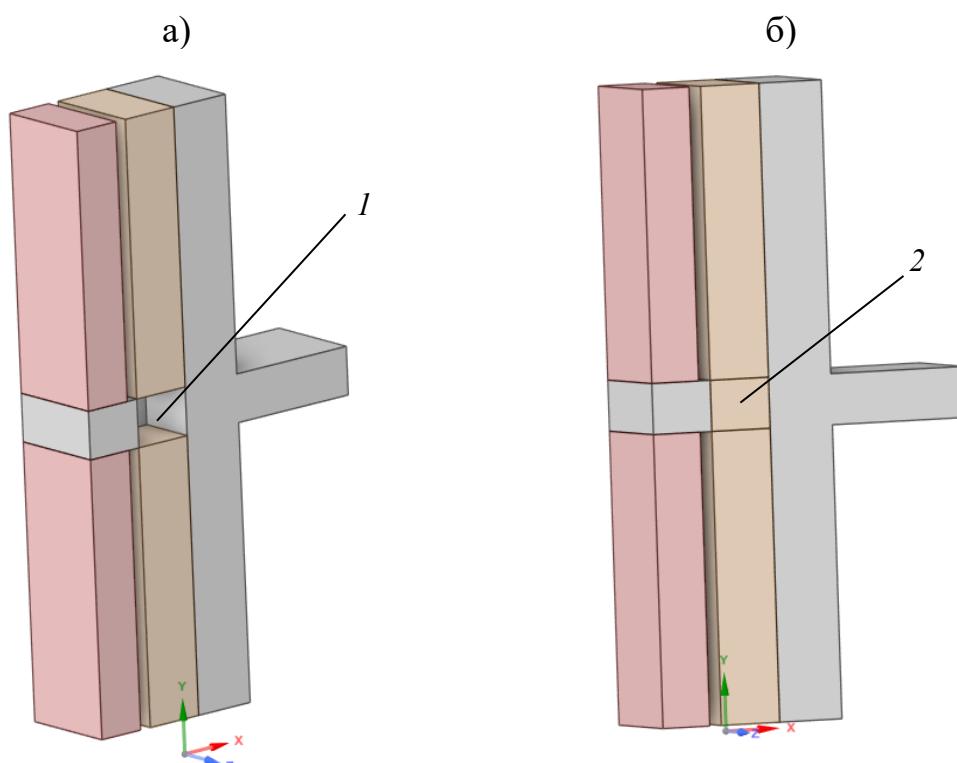


Рис 9. Пример твердотельной модели для расчета: а – предела огнестойкости; б – класса пожарной опасности

1 – модель без учета термовкладыша для расчета предела огнестойкости; 2 – модель с учетом термовкладыша для расчета класса пожарной опасности.

Для Варианта 4 и 13 предусмотрена расчетная схема, где в варианте 4 отсутствует противопожарная рассечка в виде минеральной ваты, когда для Варианта 13 противопожарная рассечка предусматривается в соответствии с представленным альбомом (Рис. 10).

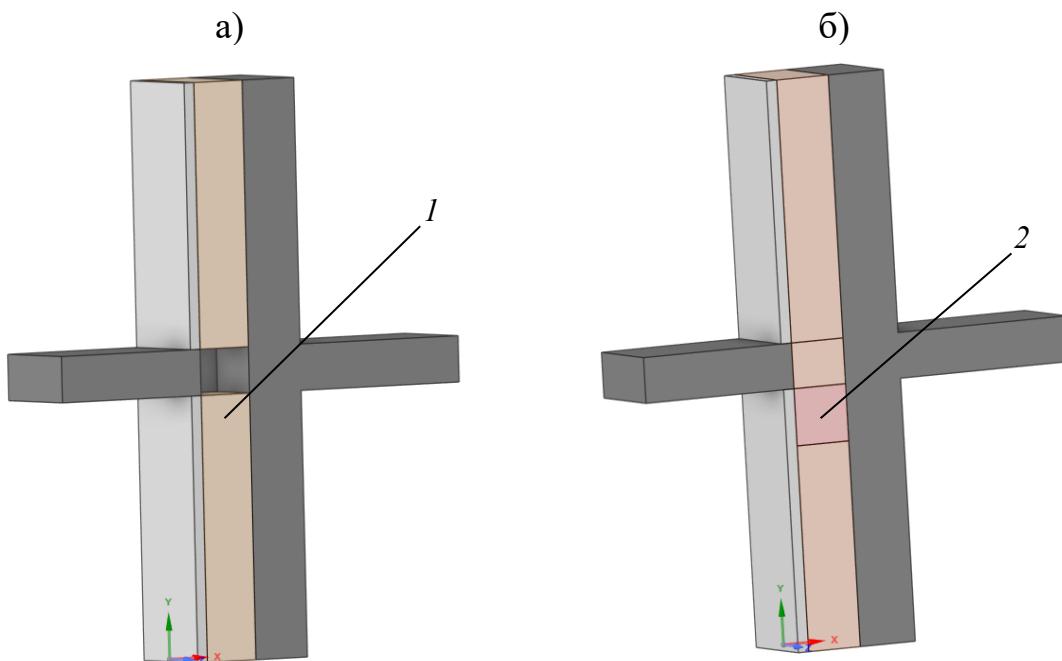


Рис 10. Пример твердотельной модели: а - без устройства противопожарной рассечки; б - с устройством противопожарной рассечки

1 – модель без противопожарной рассечки; 2 – модель с противопожарной рассечкой.

Огневое воздействие моделируется как со стороны помещения, так и со стороны фасада для оценки огнестойкости и класса пожарной опасности при различных сценариях развития пожара.

Для конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола расчет производится с одной стороны помещения так как решаемая задача является симметричной, а моделирование термовкладышей производится как для расчета огнестойкости, так и для расчета класса пожарной опасности.

Для расчета при решении задачи огнестойкости определены следующие начальные и граничные условия:

*Начальные условия:*

- температура модели одинакова и равна температуре окружающей среды;

- в соответствии с п. 7.4 ГОСТ 30247.1-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции» для рассматриваемых конструкций применяется вид теплового воздействия с одной стороны.

*Граничные условия:*

- для теплообмена между газовой средой пожара и наружной поверхностью конструкций граничные условия приняты 3-го рода:

- в качестве изменения температуры греющей среды принят стандартный температурный режим пожара;
- коэффициент теплоотдачи конвекцией от нагревающей среды к поверхности конструкции равен  $29 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ ;
- коэффициент теплоотдачи конвекцией от необогреваемой поверхности конструкции в окружающую среду равен  $1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ ;
- степень черноты поверхности материалов принята:
  - для бетона – 0,625;
  - для декоративной штукатурки – 0,87;
  - для облицовочного кирпича – 0,94;
  - для минеральной ваты – 0,92;
  - для греющей среды – 1.

Оценка предела огнестойкости производилась на интервалах времени 15, 45, 90, 120 и 150 минут (для противопожарных перекрытий 1-го типа) в соответствии с принятыми в № 123-ФЗ нормативными степенями огнестойкости зданий и сооружений.

Оценка класса пожарной опасности строительных конструкций производилась на интервале 45 минут (К0(45)) в соответствии с ГОСТ 30403-2012 «Конструкции строительные. Метод испытаний на пожарную опасность».

## **6. Критерии оценки огнестойкости и класса пожарной опасности**

В соответствии с ГОСТ 30247.1-94 «Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции» критерием оценки является:

- потеря несущей способности (R) вследствие обрушения конструкции или возникновения предельных деформаций, которая оценивается по достижению критической температуры  $500 \text{ °C}$  на глубине расположения арматуры;
- потеря теплоизолирующей способности (I) вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на  $140 \text{ °C}$  или в любой точке этой поверхности более чем на  $180 \text{ °C}$  в сравнении с температурой конструкции до испытания или более  $220 \text{ °C}$  независимо от температуры конструкции до испытания;
- потеря целостности (E) в результате образования в конструкции сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя.

Предельное состояние по потере целостности оценивается по критической температуре материала. При этом принято, что если не наступает предельное состояние по потере теплоизолирующей способности, то и не наступает предельное состояние по потере целостности.

Пожарную опасность конструкции характеризуют:

- наличием теплового эффекта (но не его значением) от горения материалов образца, который выражается в превышении температуры в тепловой камере по сравнению с верхней допустимой границей температурного режима;
- наличием пламенного горения газов, выделяющихся при термическом разложении материалов образца, продолжительностью более 5 с;
- наличием горящего расплава при продолжительности его горения более 5 с;
- размером повреждения образца в контрольной зоне.

В настоящем расчете пожарную опасность оценивают в соответствии с температурой воспламенения, то есть при достижении температуры воспламенения на поверхности горючего материала (XPS) происходит его воспламенение и тогда считается, что образец дает значительный тепловой эффект, происходит горение горючих газов и расплава. Если температура воспламенения не достигается на поверхности горючего материала, то конструкция относится к классу К0, если температура воспламенения достигается на поверхности горючего материала, то конструкция относится к классу К3. Данная оценка не распространяется на материалы частей рассматриваемой конструкции, которые относятся к группе горючести НГ. Температура воспламенения XPS в настоящем расчете принята 210 °C.

## 7. Исходные данные для расчета огнестойкости

В процессе работы решается теплотехническая задача. Для решения теплотехнической задачи узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола применялись такие свойства материалов как плотность, коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость в зависимости от температуры для бетона в соответствии с СП 468.1325800.2019 «Бетонные и железобетонные конструкции. Правила обеспечения огнестойкости и огнезащиты», для остальных материалов в соответствии с [1] и описаны в табл. 7.1.

Таблица 7.1  
Исходные данные для расчета

№	Наименование материала	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности, Вт/м·°C	Коэффициент теплоемкости, Дж/(кг·°C)
1	Бетон	2400	78-0,048·t	310+0,48·t
2	Декоративная штукатурка	1930	1,08-0,0004·t	770+0,63·t
	Облицовочный кирпич	1700	0,99+0,0004·t	837,8+0,6·t
3	Минеральная вата	125	0,0513+0,0006·t	753+0,63·t
	XPS	30	0,079+0,0004·t	791,6+0,72·t

## **8. Верификация и валидация программного комплекса ANSYS**

Как правило, верификация программных комплексов производится производителями этих комплексов и находится в свободном доступе для изучения пользователями. Для программного комплекса *ANSYS* имеется верификационный отчет «ANSYS Mechanical APDL Verification Manual», который поставляется совместно с программой.

Также этот программный комплекс имеет «Верификационный отчет по *ANSYS* в строительстве», разработанный Российской академией архитектуры и строительных наук (Приложение 1).

Валидация программного комплекса проводилась в рамках диссертационного исследования и взята за основу для расчета в настоящем Заключении [2].

## **9. Расчет пределов огнестойкости и классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола**

### **9.1 Общие расчетные положения**

Расчет огнестойкости производился по методике в соответствии с разделом 6 настоящего Заключения. Начальные и граничные условия, схема обогрева принимались в соответствии с разделом 6 настоящего Заключения. Исходные данные материалов для расчета принимались в соответствии с разделом 8 настоящего Заключения.

### **9.2. Расчетные модели узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола**

Основываясь на предпосылках, описанных в разделе 6 настоящего Заключения, производилось построение твердотельных моделей, основанных на рис. 1-7 раздела 5 настоящего Заключения. Пример построенной твердотельной модели представлен на рис. 11-12. Остальные твердотельные модели описаны в Приложении 2 настоящего Заключения.

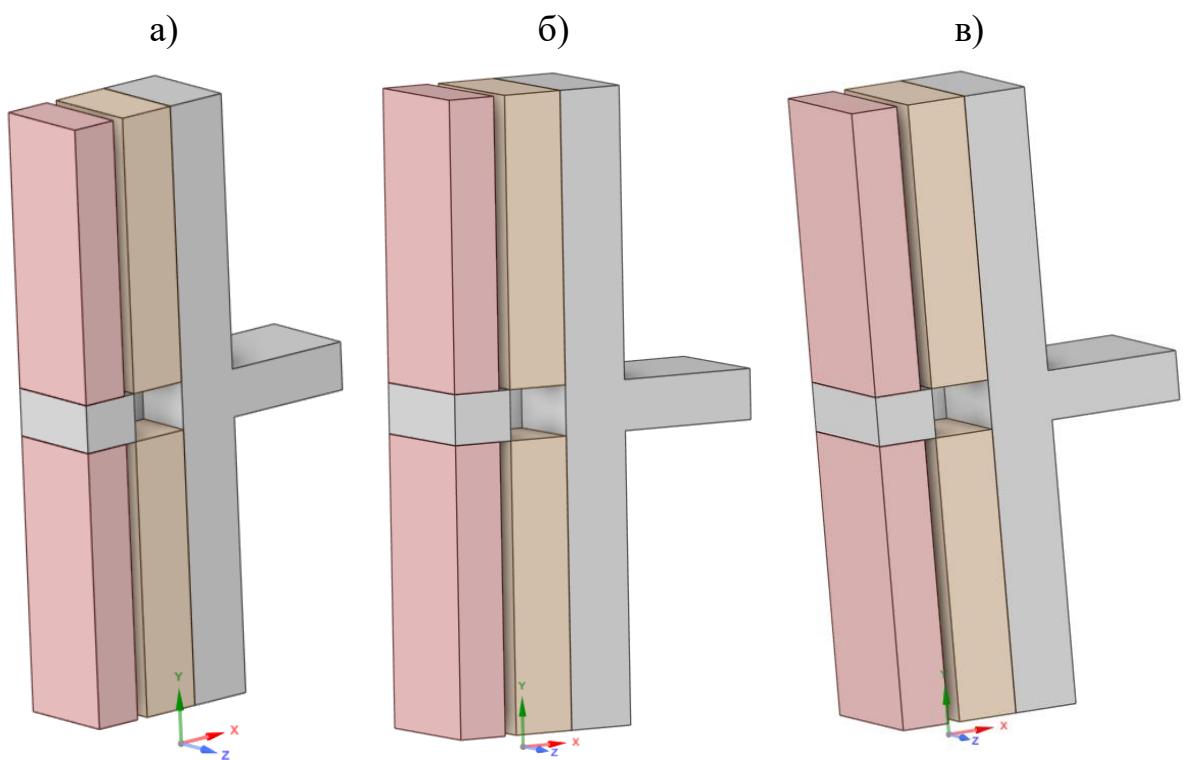


Рис. 11. Расчетная модель для определения пределов огнестойкости узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

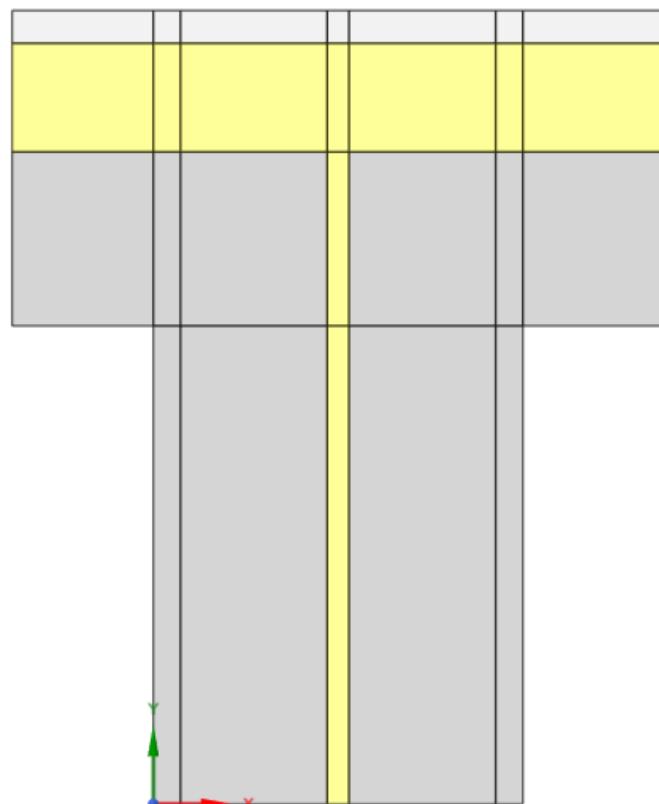


Рис. 12. Расчетная модель для определения предела огнестойкости и класса пожарной опасности деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.1-2025.09)

### 9.3. Расчетные конечно-элементные модели узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола

На основании построенных твердотельных моделей строилась конечно-элементная сетка с расчетными узлами. Примеры построенной конечно-элементной сетки с расчетными узлами представлены на рис. 13-14. Остальные модели с построенной конечно-элементной сеткой с расчетными узлами описаны в Приложении 2 настоящего Заключения.

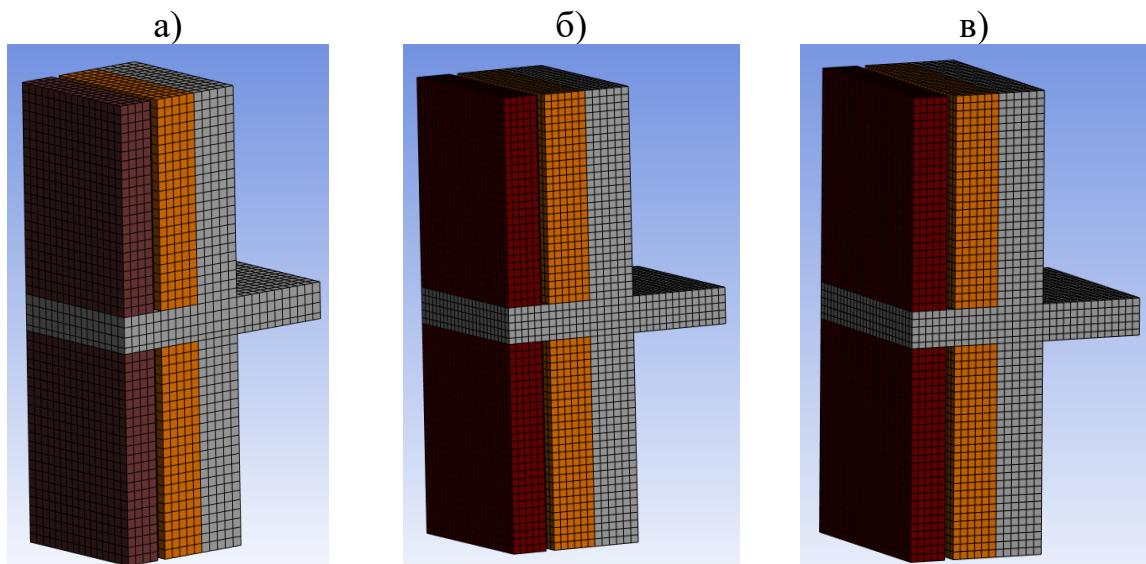


Рис. 13. Конечно-элементная сетка для определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

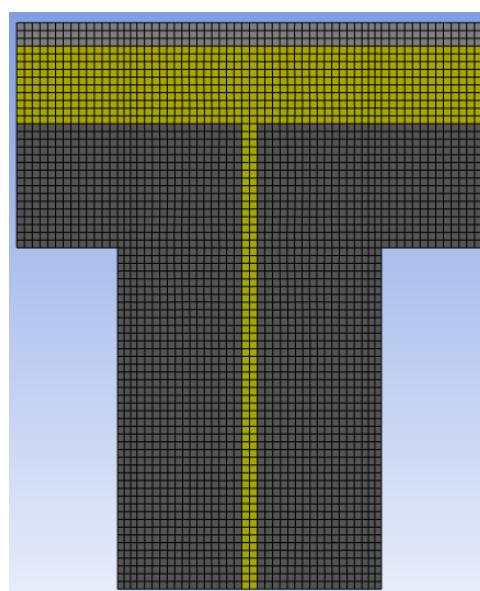


Рис. 14. Конечно-элементная сетка для определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.1-2025.09)

#### 9.4. Результаты расчета пределов огнестойкости узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола

На основании построенной расчетной модели и конечно-элементной сетки производился расчет предела огнестойкости рассматриваемых конструкций. Пример результатов расчета теплотехнической задачи представлен на рис. 15. Остальные результаты расчета описаны в Приложении 3 настоящего Заключения.

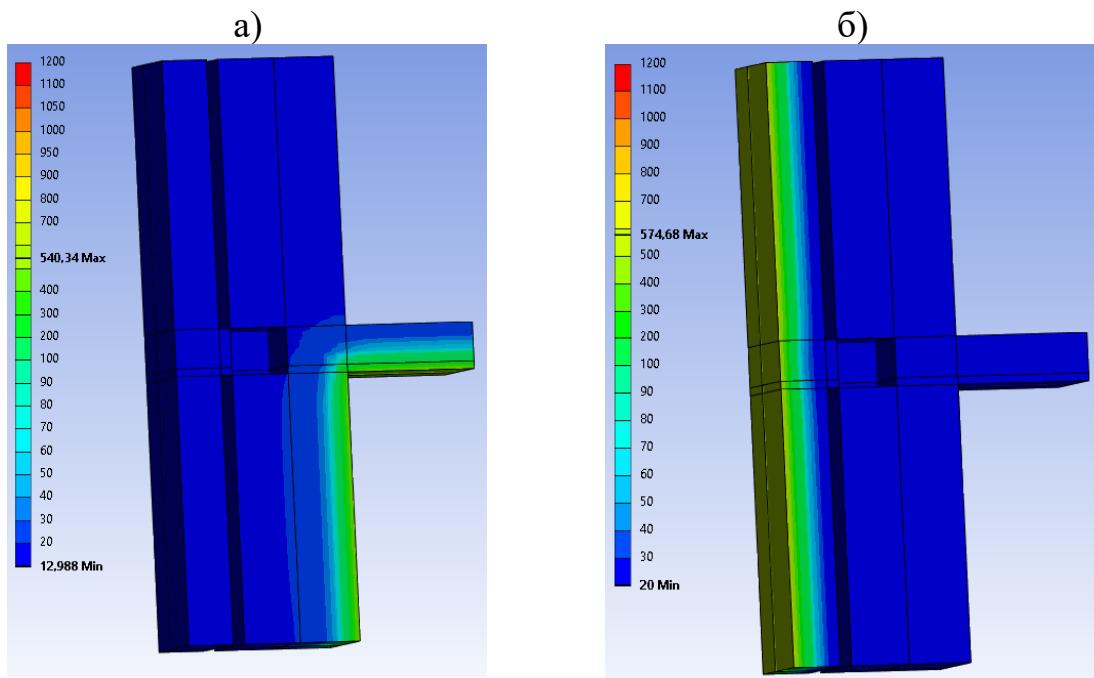


Рис. 15. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) узла сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

По результатам расчета теплотехнической задачи строились зависимости «температура-время» для оценки предельных состояний по огнестойкости по критериям в соответствии с разделом 7 настоящего Заключения.

Оценка предела огнестойкости по потере несущей способности ( $R$ ) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола производилась на уровне расположения рабочей арматуры на расстоянии 25 мм от обогреваемой поверхности и представлена на рис. 16-18.

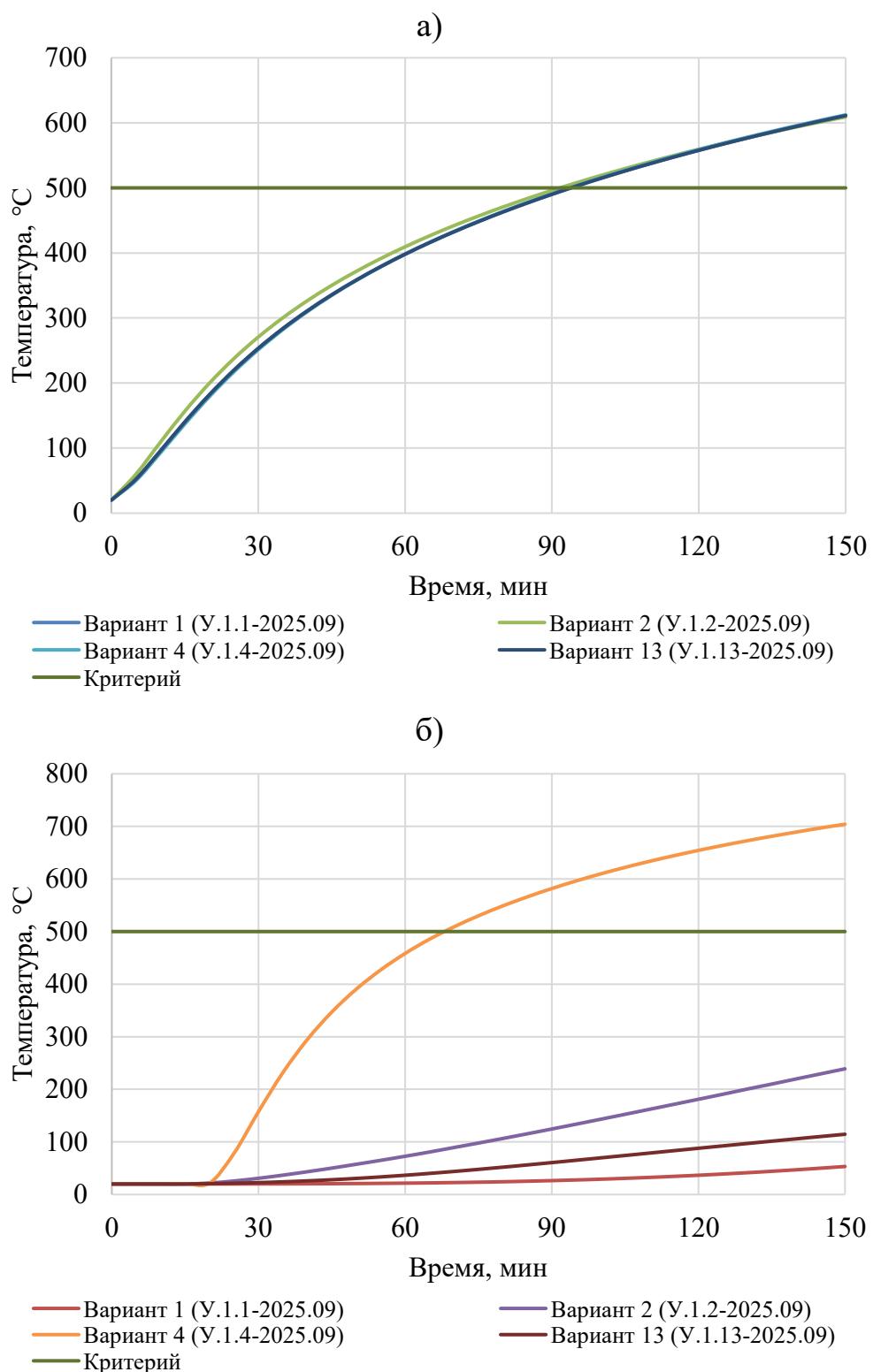


Рис. 16. Оценка предела огнестойкости по потере несущей способности (R) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 300 мм на уровне расположения арматуры 25 мм: а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

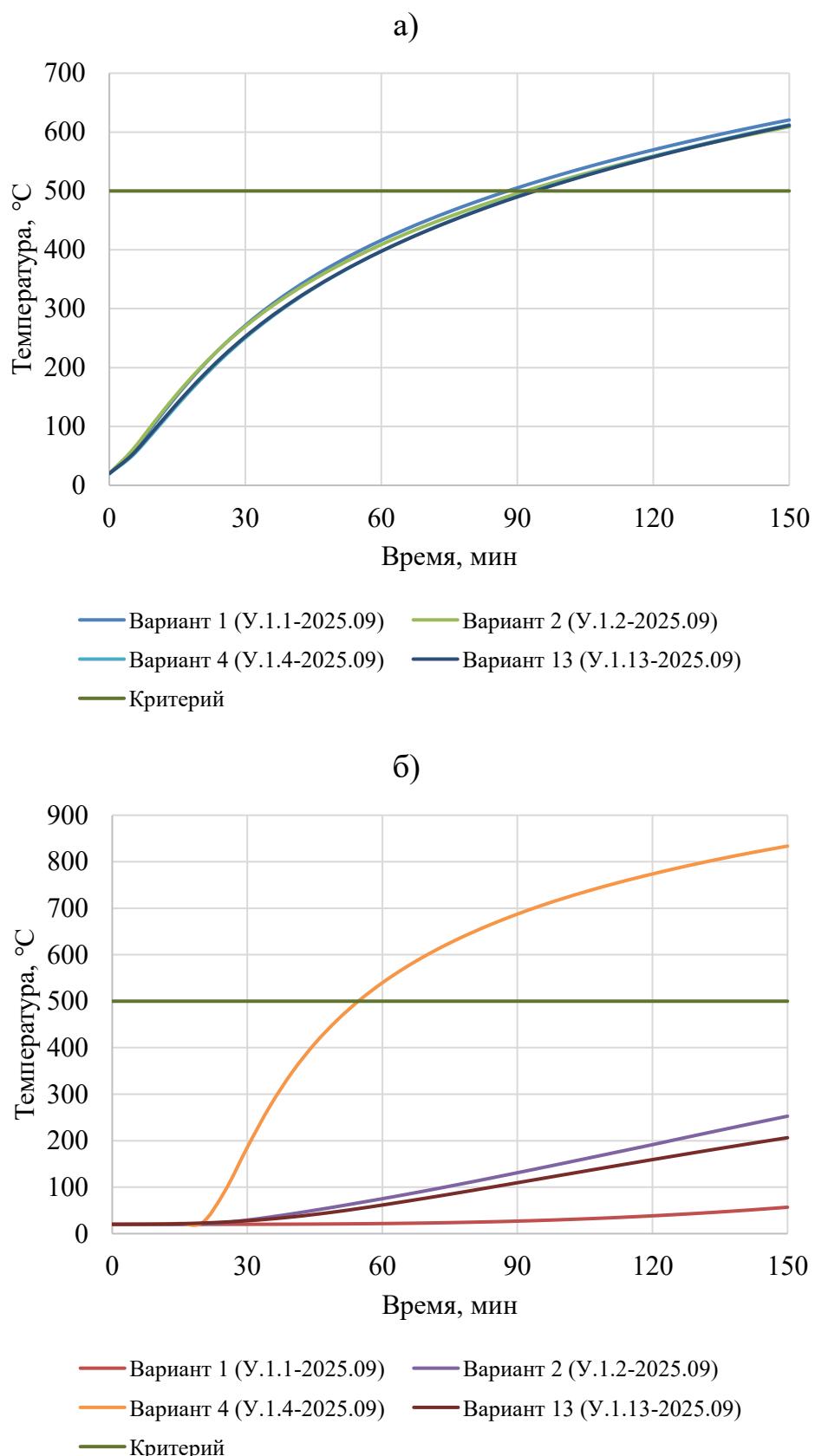


Рис. 17. Оценка предела огнестойкости по потере несущей способности (R) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 400 мм на уровне расположения арматуры 25 мм: а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

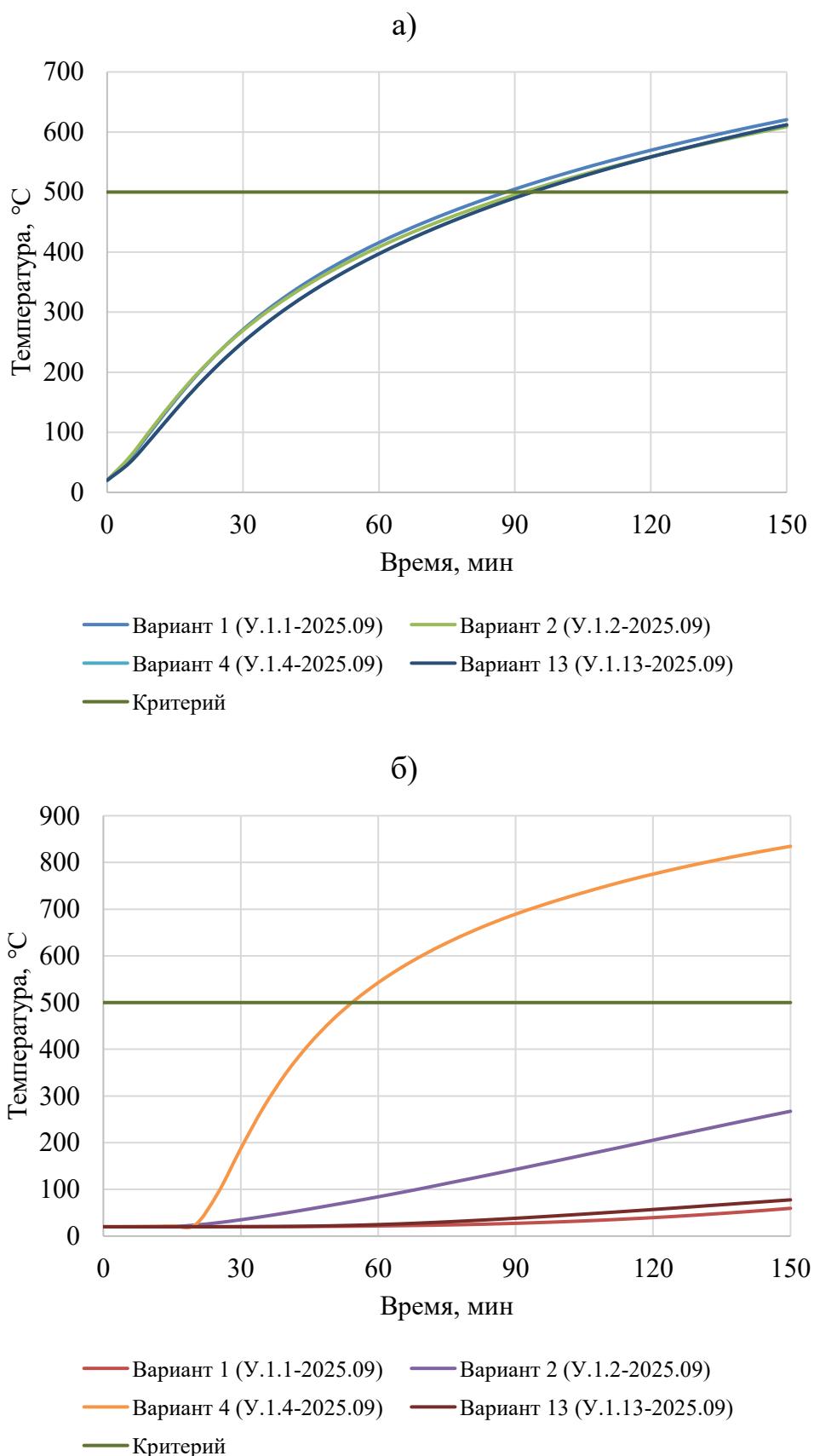


Рис. 18. Оценка предела огнестойкости по потере несущей способности (R) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 500 мм на уровне расположения арматуры 25 мм: а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

Предел огнестойкости по потере несущей способности (R) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 300, 400 и 500 мм при минимально допустимых параметрах рассматриваемых железобетонных конструкций, описанных в разделе 4 настоящего Заключения, составил при:

- нагреве со стороны помещения для всех рассматриваемых Вариантов - R 90;
- нагреве со стороны фасада для Вариантов 1 (У.1.1-2025.09), 2 (У.1.2-2025.09), 13 (У.1.13-2025.09) - R 150;
- нагреве со стороны фасада для Варианта 4 (У.1.4-2025.09) – R 30.

Оценка предела огнестойкости по потере теплоизолирующей способности (I) и целостности (E) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола производилась на необогреваемой поверхности конструкции и представлена на рис. 19-21.

Предел огнестойкости по потере теплоизолирующей способности (I) и целостности (E) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 300, 400 и 500 мм при минимально допустимых параметрах, описанных в разделе 4 настоящего Заключения, для всех рассматриваемых Вариантов составляет при:

- нагреве со стороны помещения - EI 90
- нагреве со стороны фасада - EI 150.

Для повышения предела огнестойкости по потере несущей способности (R) при нагреве со стороны фасада для Варианта 4 (У.1.4-2025.09) необходимо обеспечить устройство противопожарной рассечки в нижней части перекрытия из плит из каменной ваты на ширину не менее ширины термовкладыша и высотой не менее 150 мм (как для Варианта 13 (У.1.13-2025.09)).

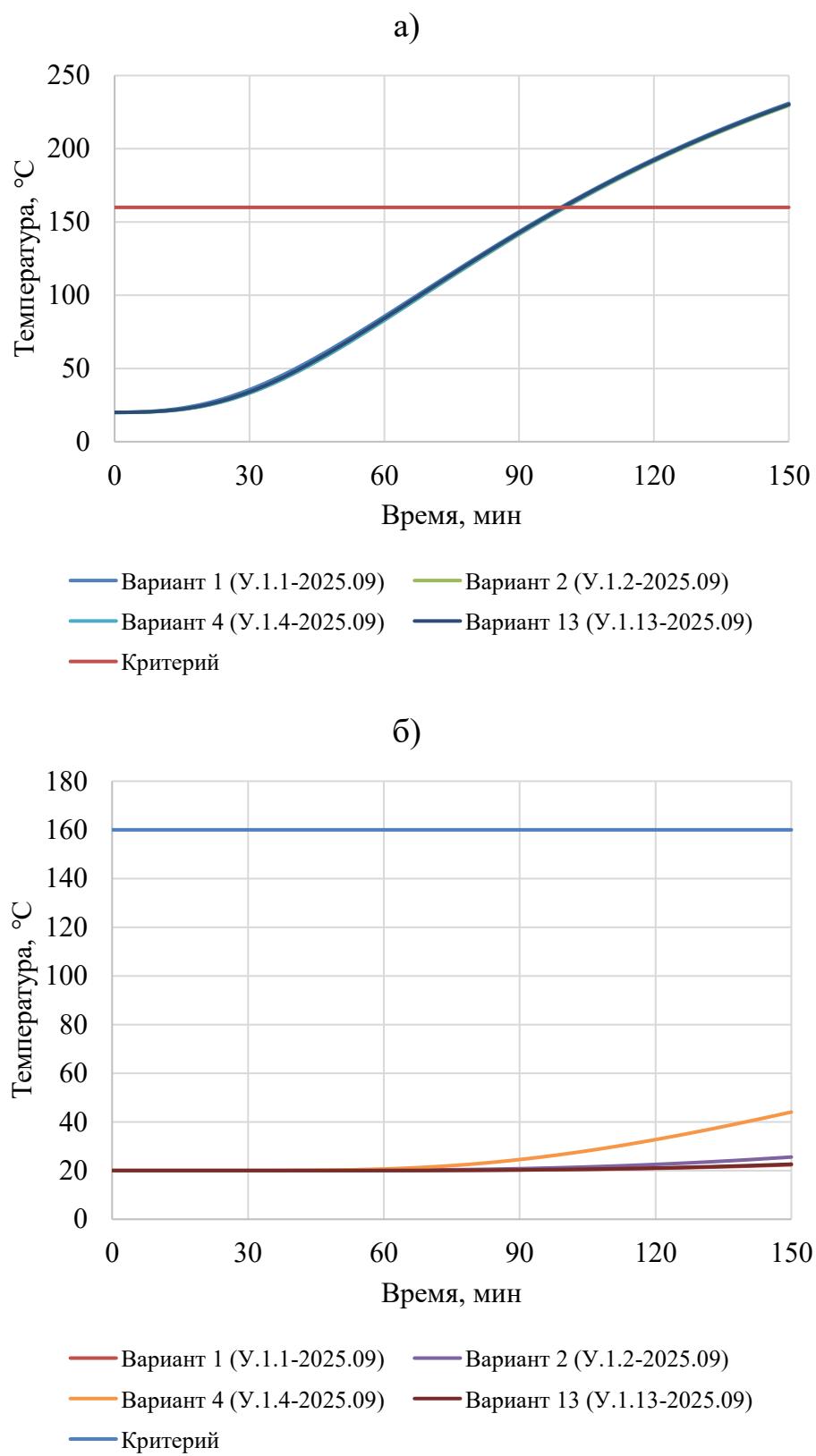


Рис. 19. Оценка предела огнестойкости по потере теплоизолирующей способности (I) целостности (E) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 300 мм на уровне расположения арматуры 25 мм: а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

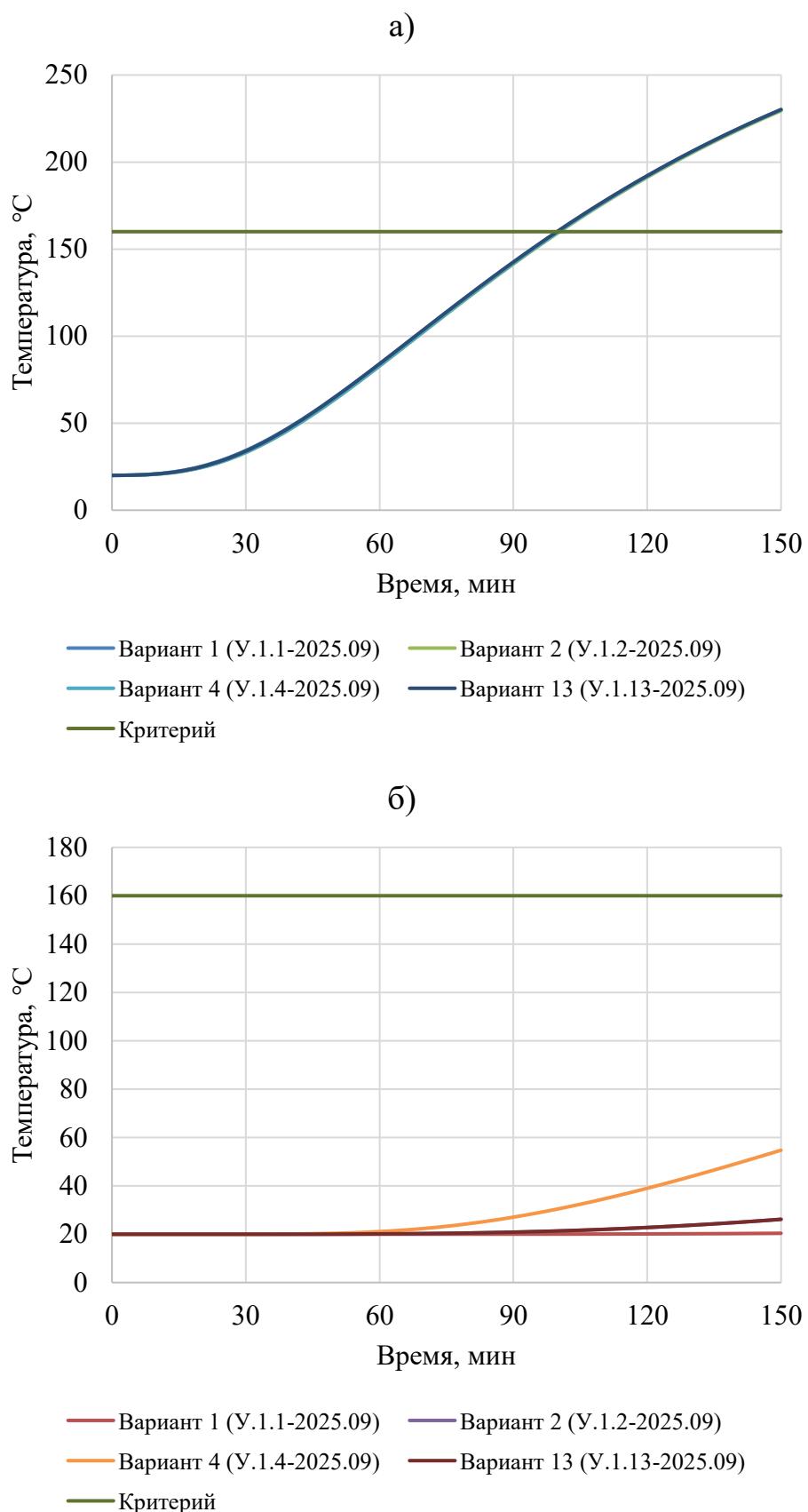


Рис. 20. Оценка предела огнестойкости по потере теплоизолирующей способности (I) целостности (E) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 400 мм на уровне расположения арматуры 25 мм: а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

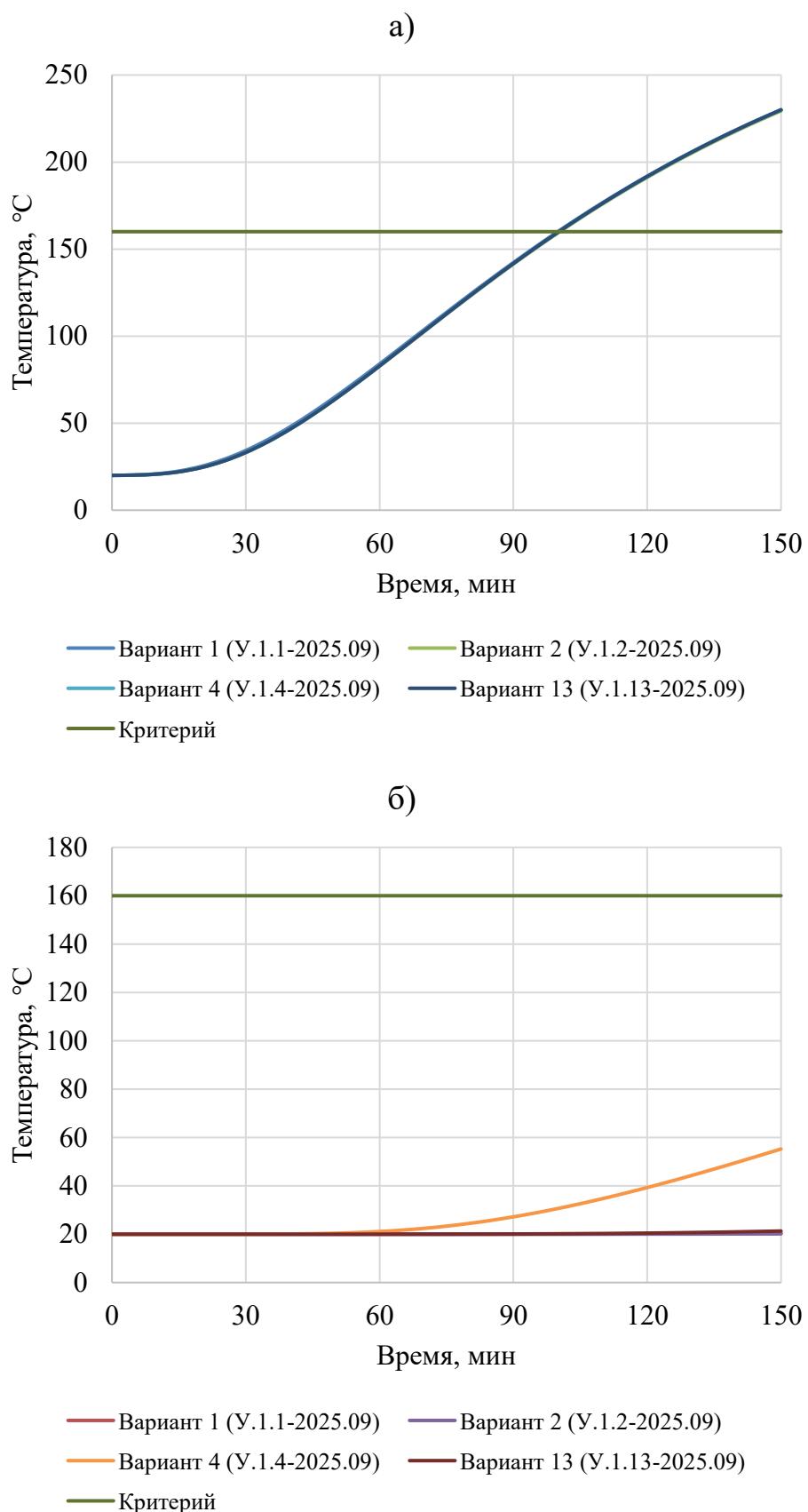


Рис. 21. Оценка предела огнестойкости по потере теплоизолирующей способности (I) целостности (E) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 500 мм на уровне расположения арматуры 25 мм: а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

Решения по повышению пределов огнестойкости по потере несущей способности (R), теплоизолирующей способности (I) и целостности (E) до REI 120 и REI 150 подтверждаются теплотехническим расчетом железобетонной плиты.

Для подтверждения предела огнестойкости по потере несущей способности (R) железобетонных плит строилась твердотельная модель, разбивалась на конечно-элементную сетку (рис. 22-23) и производился расчет (рис. 24). По результатам расчета строилась номограмма прогрева конструкции с целью определения времени достижения критической температуры на глубине залегания арматуры (рис. 25).



Рис. 22. Сечение железобетонной плиты.

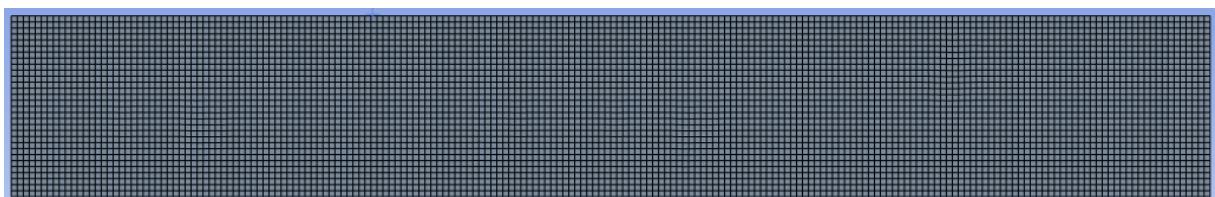


Рис. 23. Модель железобетонной плиты с конечно-элементной сеткой.

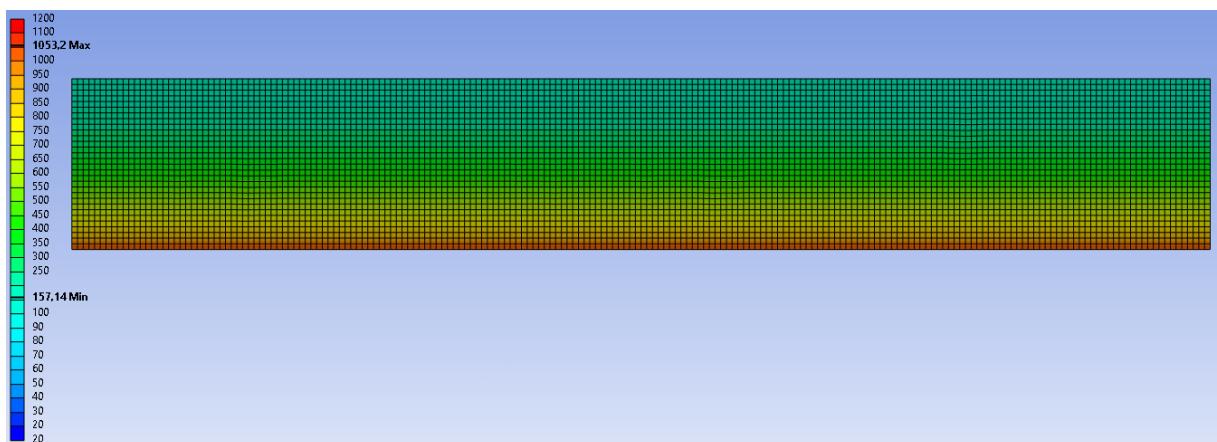


Рис. 24. Модель железобетонной плиты с конечно-элементной сеткой.

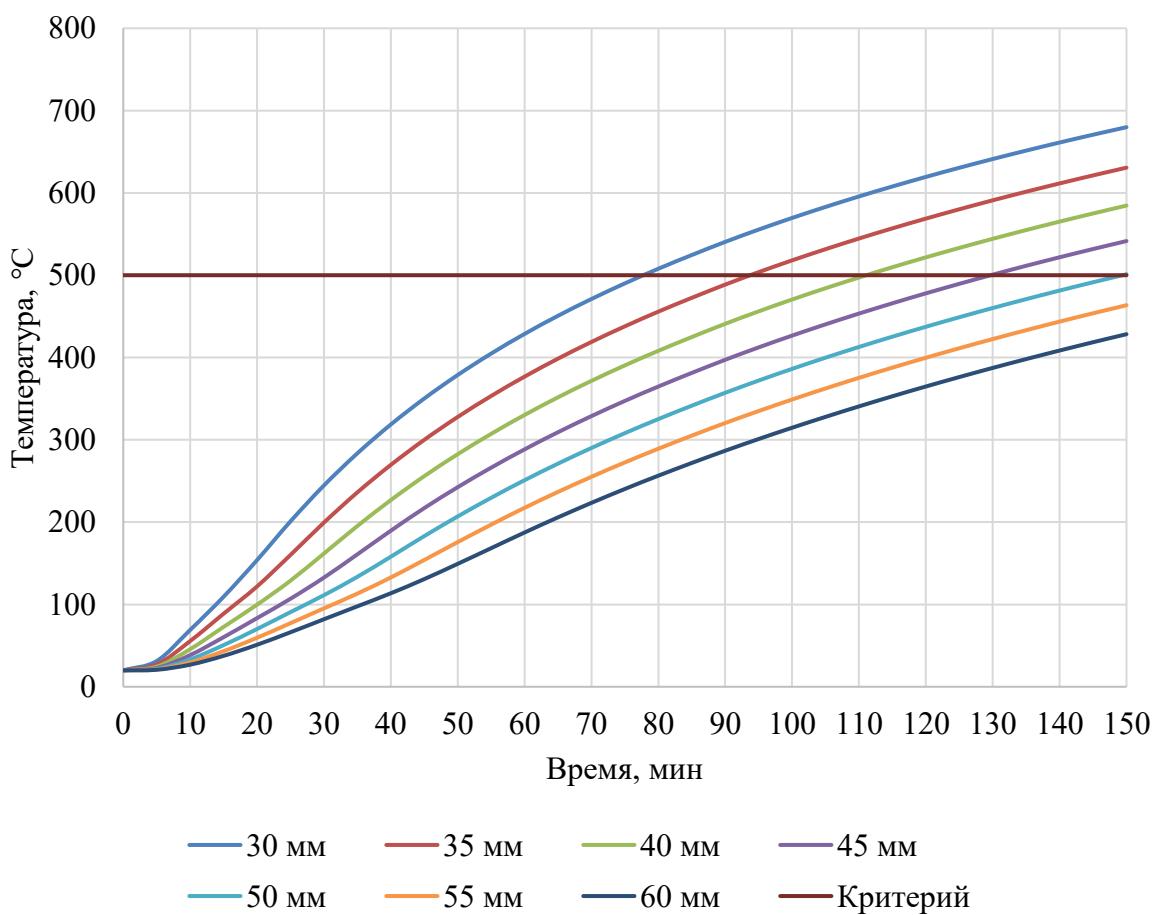


Рис. 25. Номограмма прогрева железобетонной плиты.

Оценивая результаты расчета, для предела огнестойкости  $R$  120 необходимая толщина слоя от необогреваемой поверхности до центра рабочей арматуры должна составлять не менее 45 мм, для предела огнестойкости  $R$  150 необходимая толщина слоя от необогреваемой поверхности до центра рабочей арматуры должна составлять не менее 55 мм, а для предела огнестойкости  $R$  180 необходимая толщина слоя от необогреваемой поверхности до центра рабочей арматуры должна составлять не менее 60 мм.

Для обеспечения предела огнестойкости по потере теплоизолирующей способности (I) и целостности (E) железобетонных плит необходимо увеличить толщину перекрытия: для предела огнестойкости EI 120 не менее чем до 150 мм, для обеспечения передела огнестойкости EI 150 не менее чем до 180 мм, а для обеспечения передела огнестойкости EI 180 не менее чем до 220 мм.

## 9.5. Результаты расчета классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола

Как в случае с расчетом пределов огнестойкости производился расчет класса пожарной опасности рассматриваемых конструкций с учетом разделов 4, 5, 6 и 7 настоящего Заключения. Пример результатов расчета теплотехнической задачи представлен на рис. 26. Остальные результаты расчета описаны в Приложении 4 настоящего Заключения.

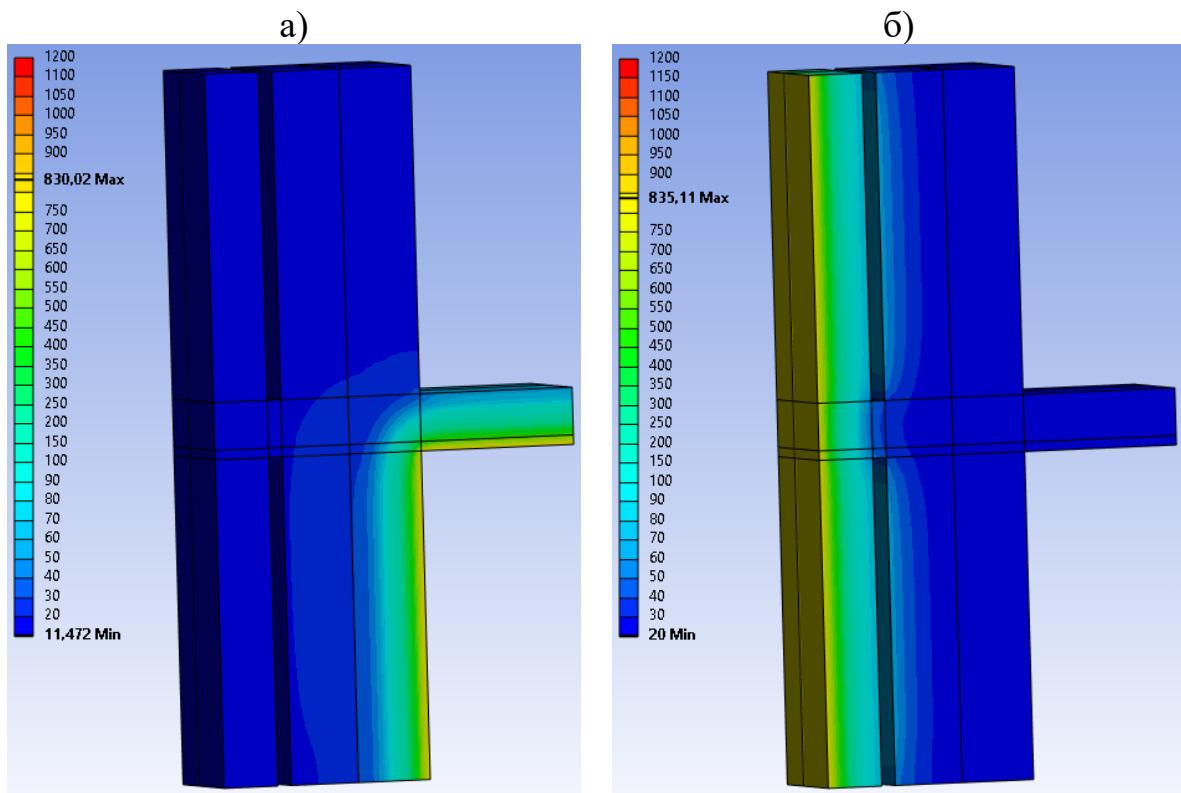


Рис. 26. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

По результатам расчета теплотехнической задачи узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола строились зависимости «температура-время» для оценки класса пожарной опасности по критериям в соответствии с разделом 6 настоящего Заключения и представлены на рис. 27-29. При этом оценка производилась по максимально нагретым поверхностям термовкладышей.

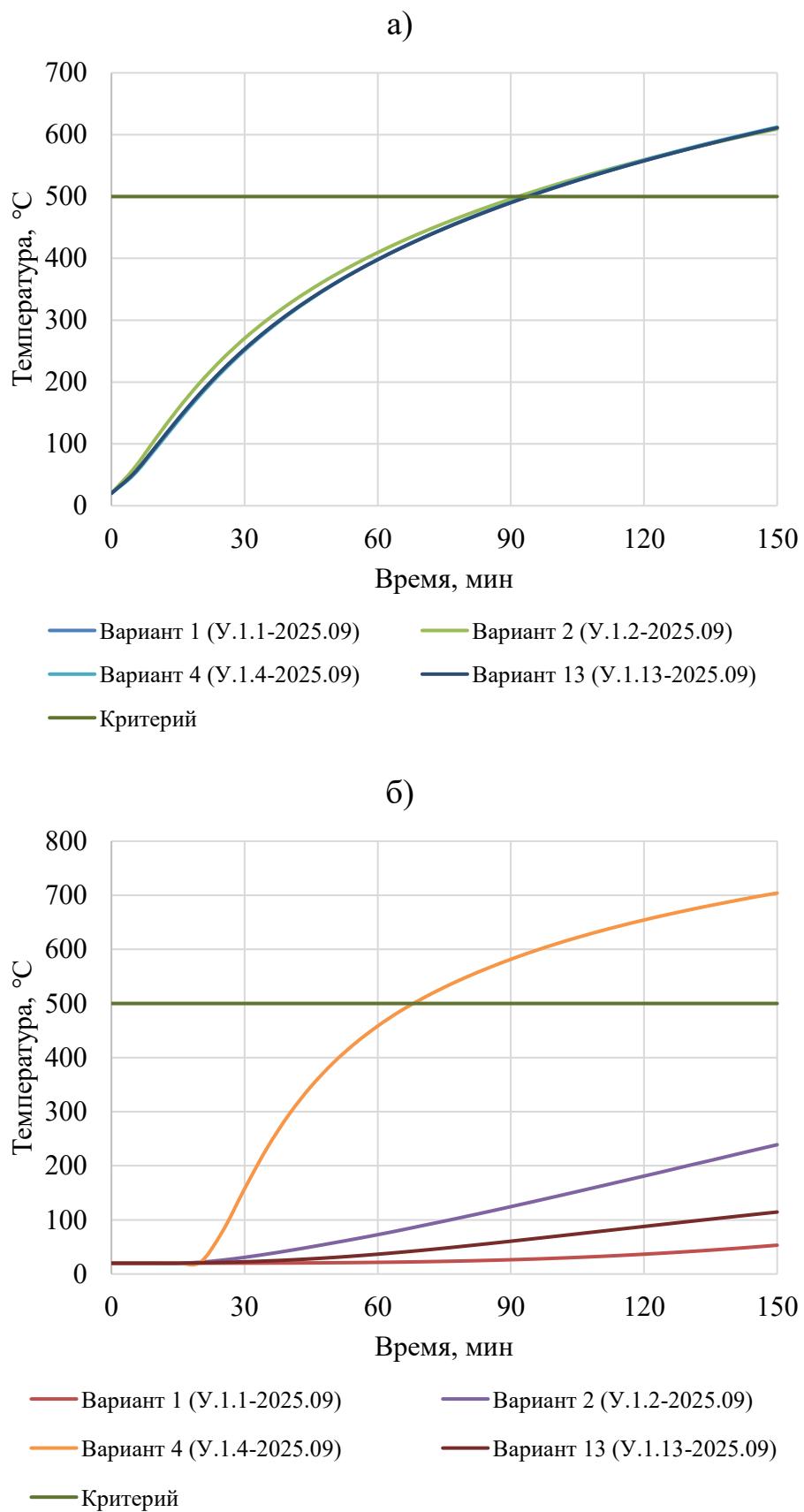


Рис. 27. Оценка класса пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 300 мм: а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

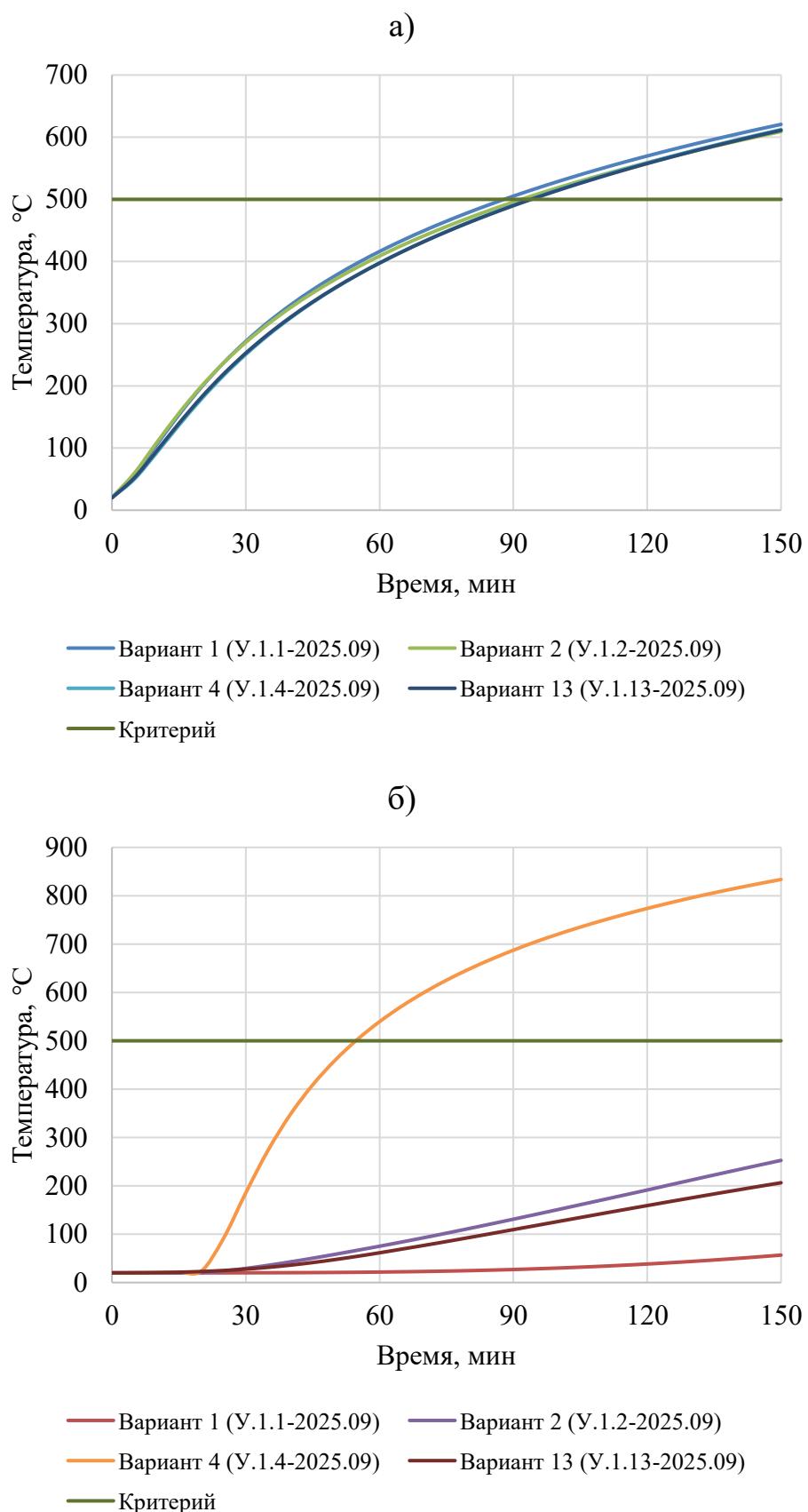


Рис. 28. Оценка класса пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 400 мм: а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

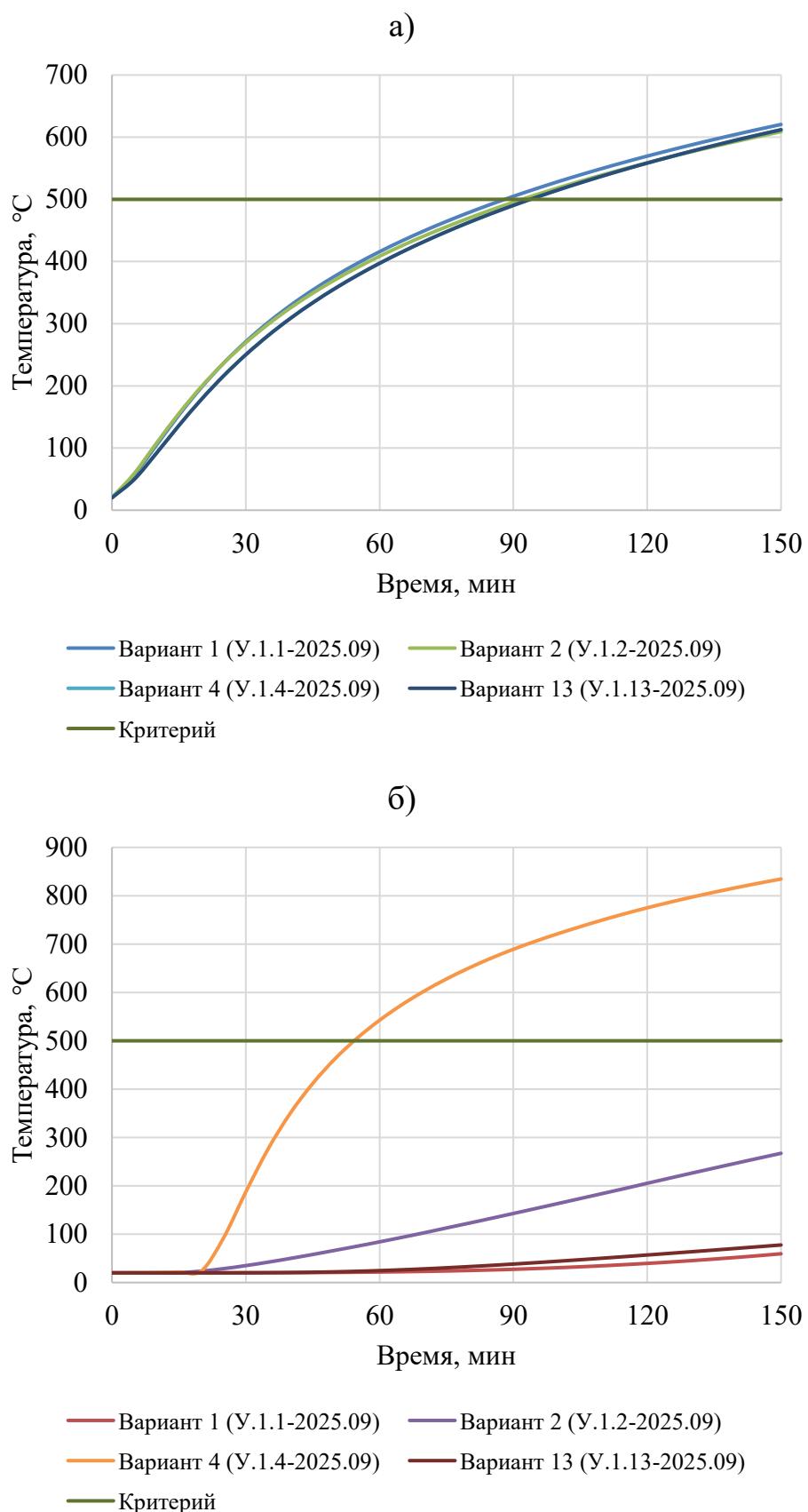


Рис. 29. Оценка класса пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 500 мм: а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

В результате анализа зависимостей «температура-время» с учетом раздела 7 настоящего Заключения, получено, что класс пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола для Вариантов 1 (У.1.1-2025.09), 2 (У.1.2-2025.09), 13 (У.1.13-2025.09) соответствует К0(45) (температура воспламенения не достигается).

В случае с Вариантом 4 (У.1.4-2025.09) с нагревом со стороны фасада получено превышение критерия на 20 минуте расчета. Класс пожарной опасности составляет К0(15), К3(45).

Для достижения требуемого класса пожарной опасности для конструктивного исполнения Варианта 4 (У.1.4-2025.09) необходимо обеспечить устройство противопожарной рассечки в нижней части перекрытия из плит из каменной ваты на ширину не менее ширины термовкладыша и высотой не менее 150 мм (как для Варианта 13 (У.1.13-2025.09), что подтверждается расчетом).

#### **9.6. Распространение результатов расчета узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола на аналогичные конструктивные исполнения**

Распространение результатов расчета производится на конструкции аналогичные по конструктивному исполнению, на которые произведена оценка пределов огнестойкости и классов пожарной опасности.

По результатам расчета Варианта 1 (У.1.1-2025.09) допускается распространить на Вариант 9 (У.1.9-2025.09) и 11 (У.1.11-2025.09) (рис. 30-31).

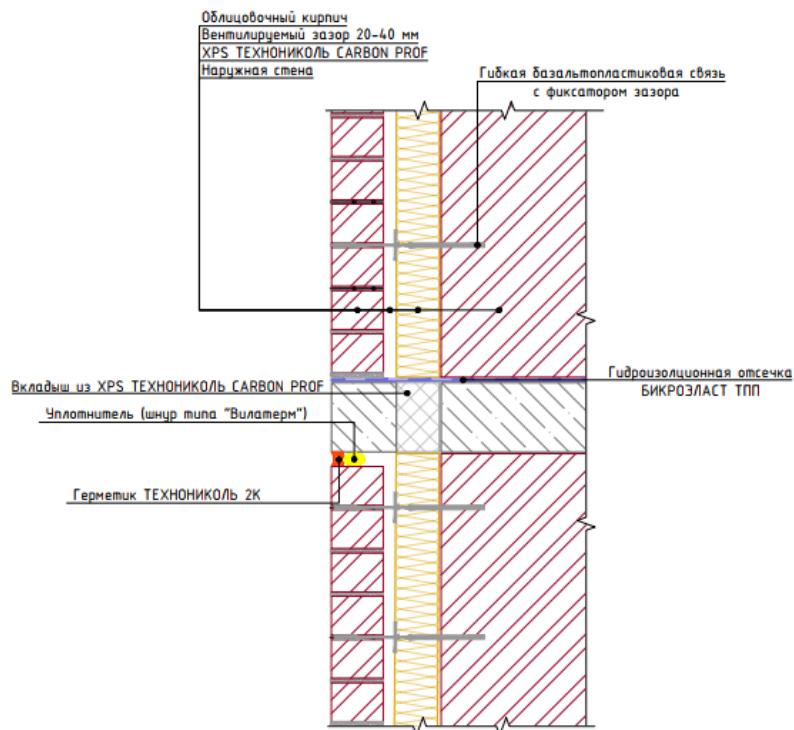


Рис. 30. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия.  
Вариант 9 (У.1.9-2025.09).

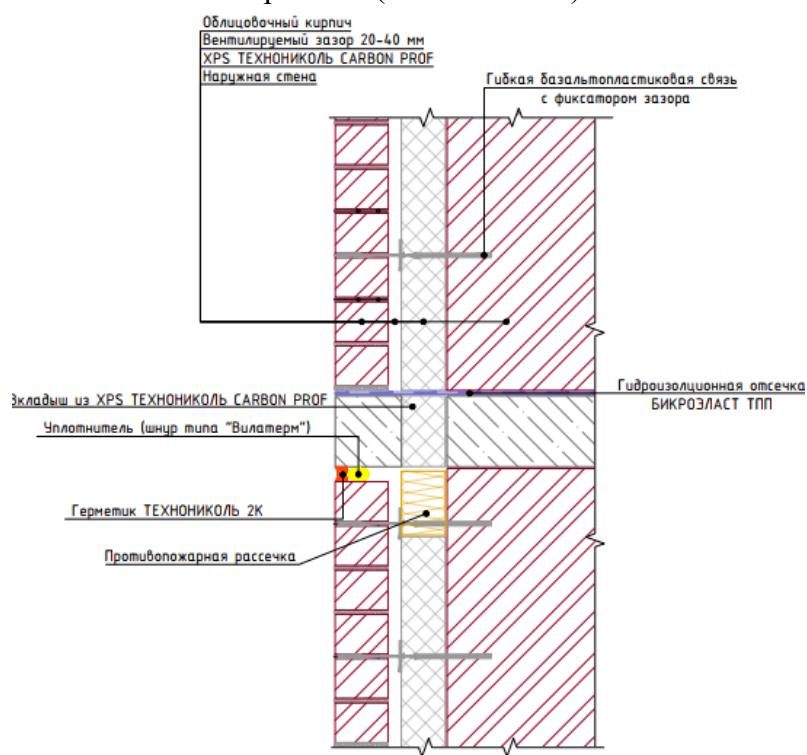


Рис. 31. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия.  
Вариант 11 (У.1.11-2025.09).

Результаты расчета пределов огнестойкости класса пожарной опасности, полученных для Вариант 2 (У.1.2-2025.09), допускается распространять на Вариант 3 (У.1.3-2025.09) и Вариант 12 (У.1.12-2025.09) (рис. 32-33).

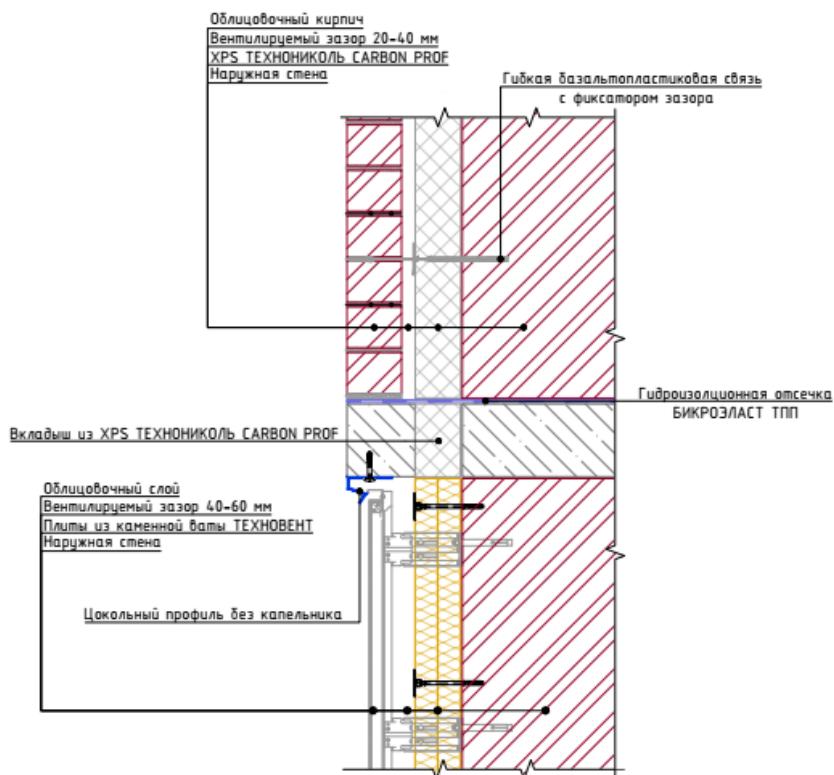


Рис. 32. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия.  
Вариант 3 (У.1.3-2025.09).

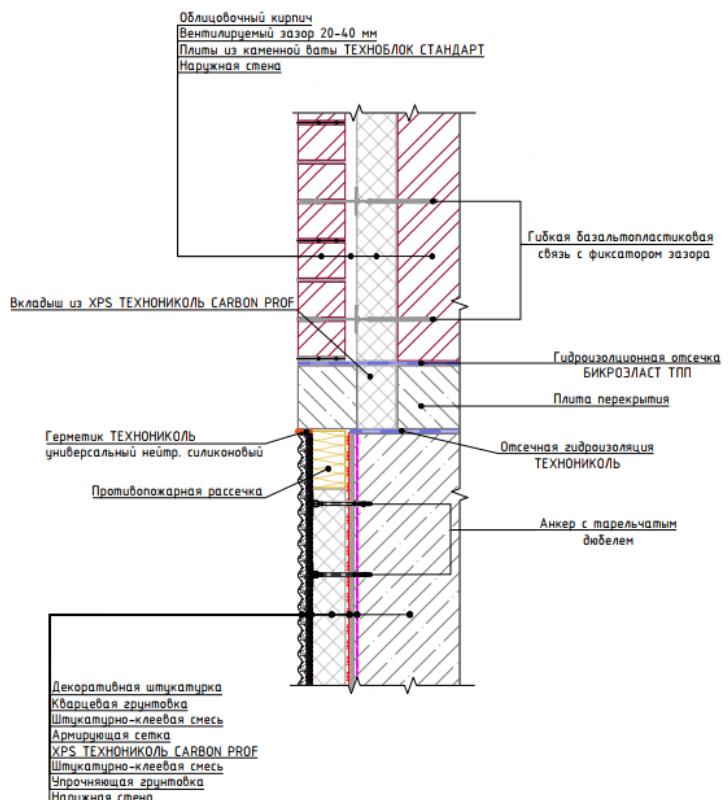


Рис. 33. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия.  
Вариант 12 (У.1.12-2025.09).

Вариант 13 (У.1.13-2025.09) допускается распространить на Вариант 8

(У.1.8-2025.09), 10 (У.1.10-2025.09), 14 (У.1.14-2025.09) (рис. 34-36).

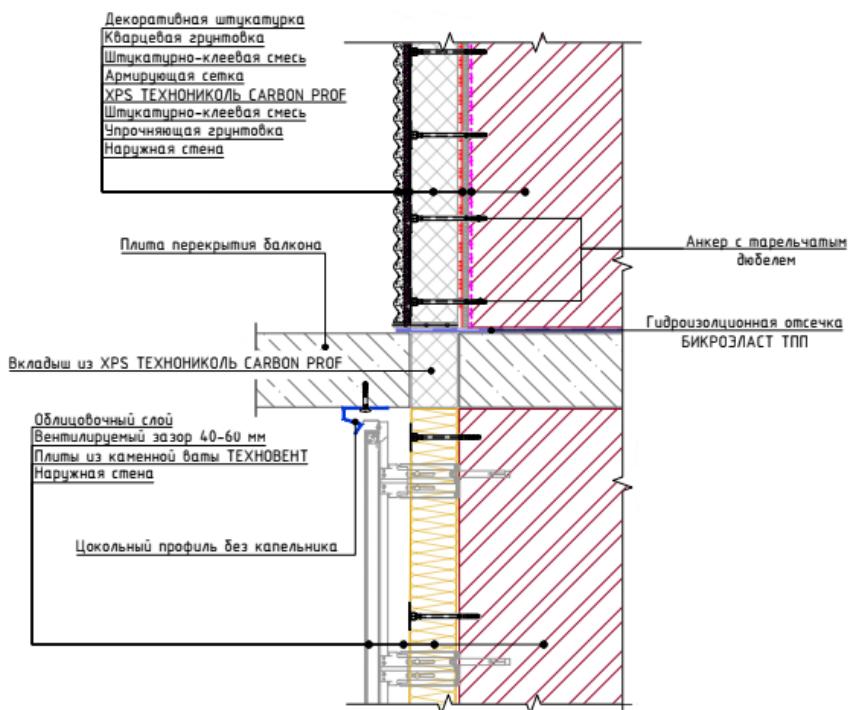


Рис. 34. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия. Вариант 8 (У.1.8-2025.09).

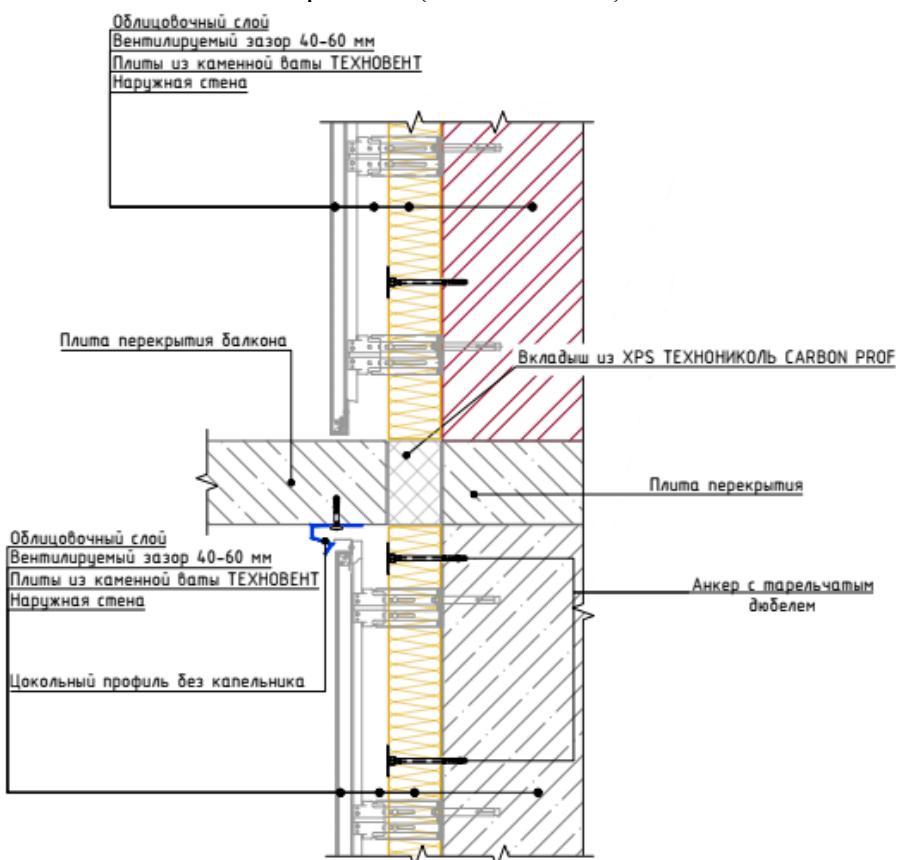


Рис. 35. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия. Вариант 10 (У.1.10-2025.09).

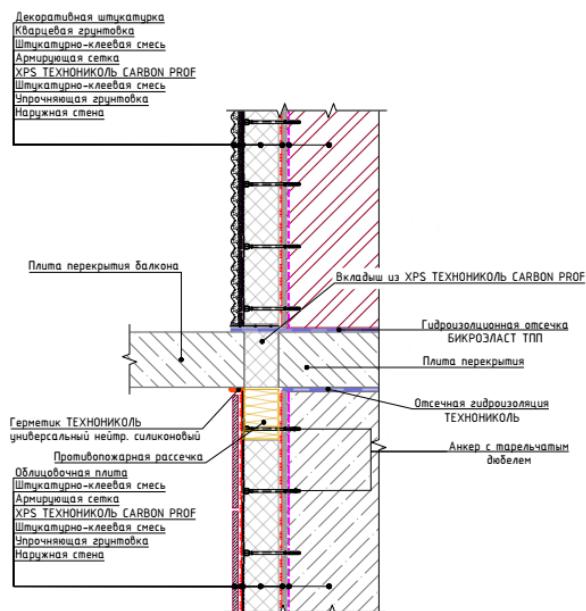


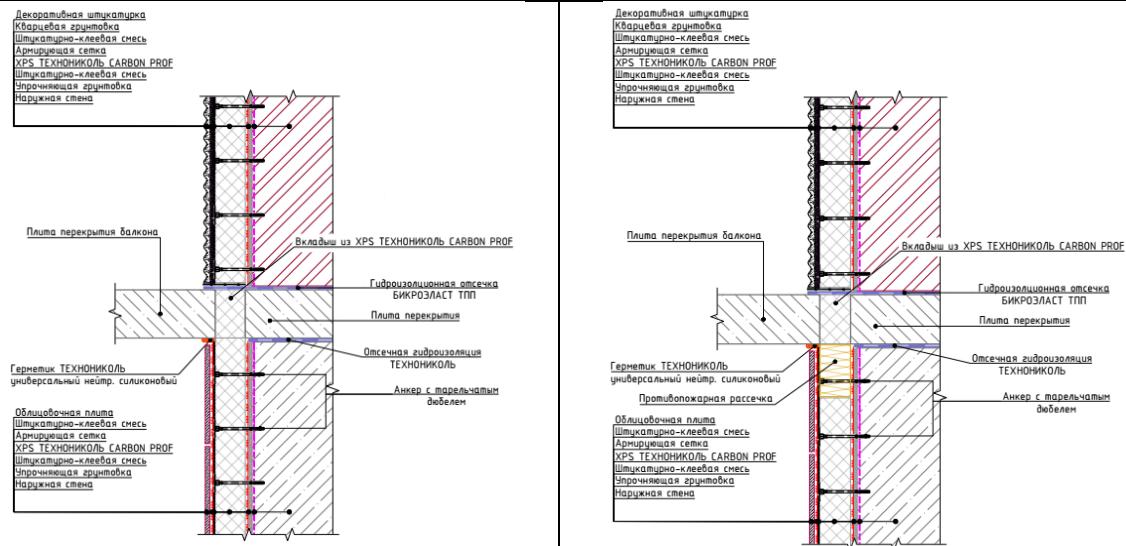
Рис. 36. Устройство термовкладыша из XPS в зоне железобетонной плиты перекрытия.  
Вариант 14 (У.1.14-2025.09).

Вариант 13 (У.1.13-2025.09) допускается распространить на Варианты 4 (У.1.4-2025.09), 5 (У.1.5-2025.09), 6 (У.1.6-2025.09), 7 (У.1.7-2025.09), при этом для повышения предела огнестойкости до REI 150 и класса пожарной опасности K0(45) со стороны нагрева фасада необходимо предусмотреть устройство противопожарной рассечки в виде плиты из каменной ваты (см. расчет Варианта 13 (У.1.13-2025.09) на предел огнестойкости и класс пожарной опасности) в нижней части термовкладыша по всей его длине и ширине, а противопожарная рассечка должна быть предусмотрена не менее 150 мм высотой. Конструктивные исполнения без устройства противопожарной рассечки и с устройством противопожарной рассечки представлены в табл. 9.1.

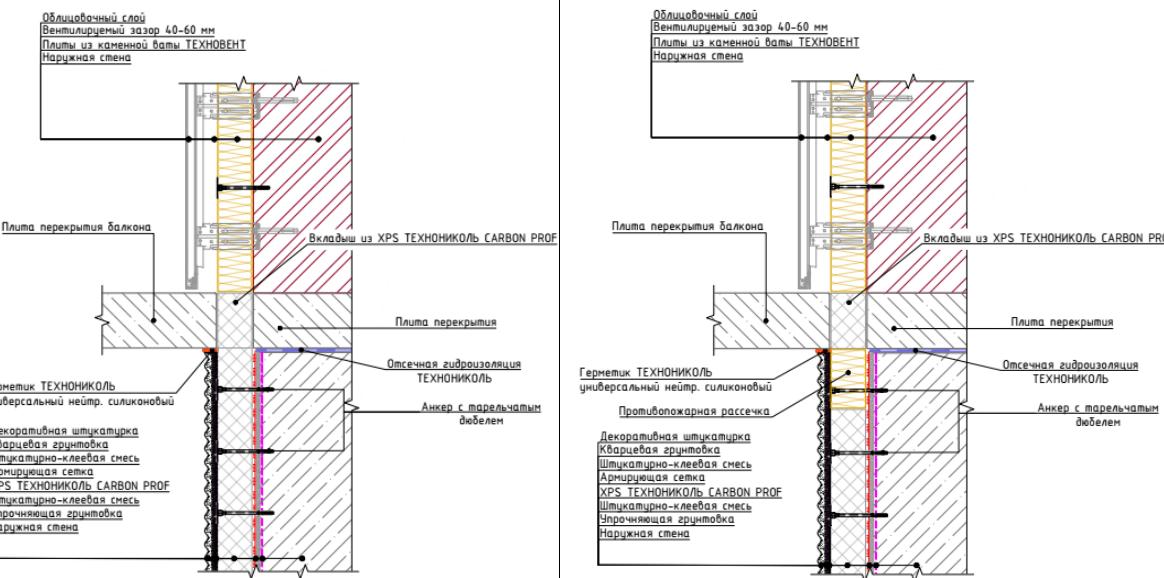
Таблица 9.1  
Конструктивные исполнения без устройства противопожарной рассечки и с  
устройством противопожарной рассечки

Без противопожарной рассечки	С противопожарной рассечкой
Для Варианта 4 (У.1.4-2025.09)	
<p>Бакелитовая штифтовка Клеевая грунтовка Шпаклевка-клеевая смесь Армирующая сетка XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF Шпаклевка-клеевая смесь Упрочняющая грунтовка Наружная стена</p>  <p>Плита перекрытия балкона Вкладыш из XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF Гидроизоляционная отсечка БИКОРЛАСТ ТП Плита перекрытия Отсечная гидроизоляция ТЕХНОНИКОЛЬ Анкер с параллельным дюбелем Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ универсальный неимп. силиконовый</p>	<p>Бакелитовая штифтовка Клеевая грунтовка Шпаклевка-клеевая смесь Армирующая сетка XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF Шпаклевка-клеевая смесь Упрочняющая грунтовка Наружная стена</p>  <p>Плита перекрытия балкона Вкладыш из XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF Гидроизоляционная отсечка БИКОРЛАСТ ТП Плита перекрытия Отсечная гидроизоляция ТЕХНОНИКОЛЬ Анкер с параллельным дюбелем Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ универсальный неимп. силиконовый Противопожарная рассечка</p>

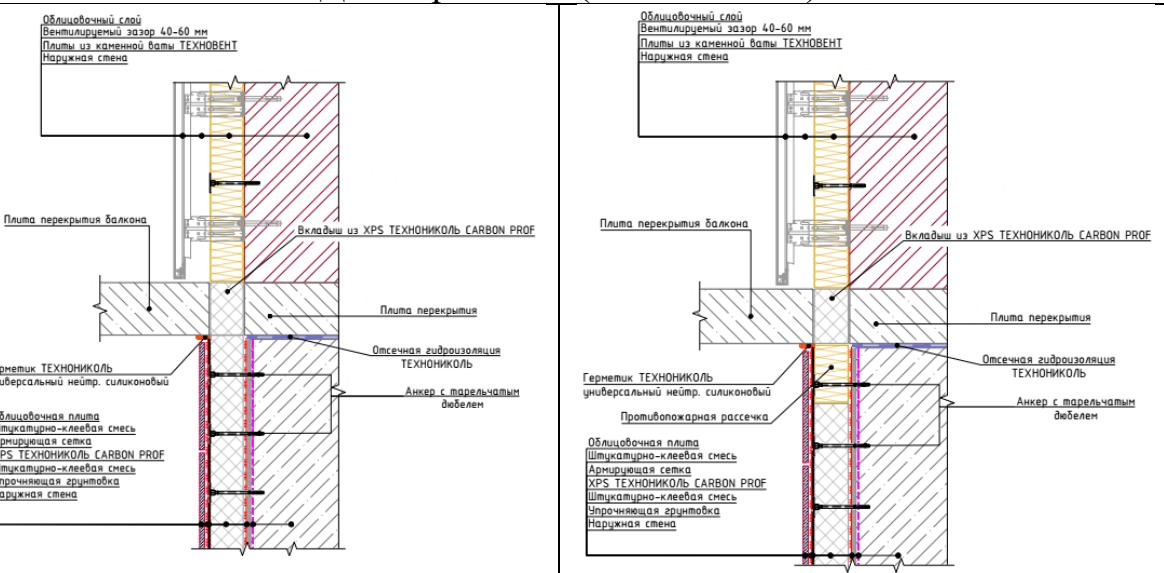
## Для Варианта 5 (У.1.5-2025.09)



## Для Варианта 6 (У.1.6-2025.09)



## Для Варианта 7 (У.1.7-2025.09)



## 9.7. Расчет пределов огнестойкости и классов пожарной опасности конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола

Расчет предела огнестойкости и класса пожарной опасности деформационных швов рассматриваемых конструкций производился с учетом разделов 4, 5, 6 и 7 настоящего Заключения. Пример результатов расчета теплотехнической задачи представлен на рис. 41. Остальные результаты расчета описаны в Приложении 5 настоящего Заключения.

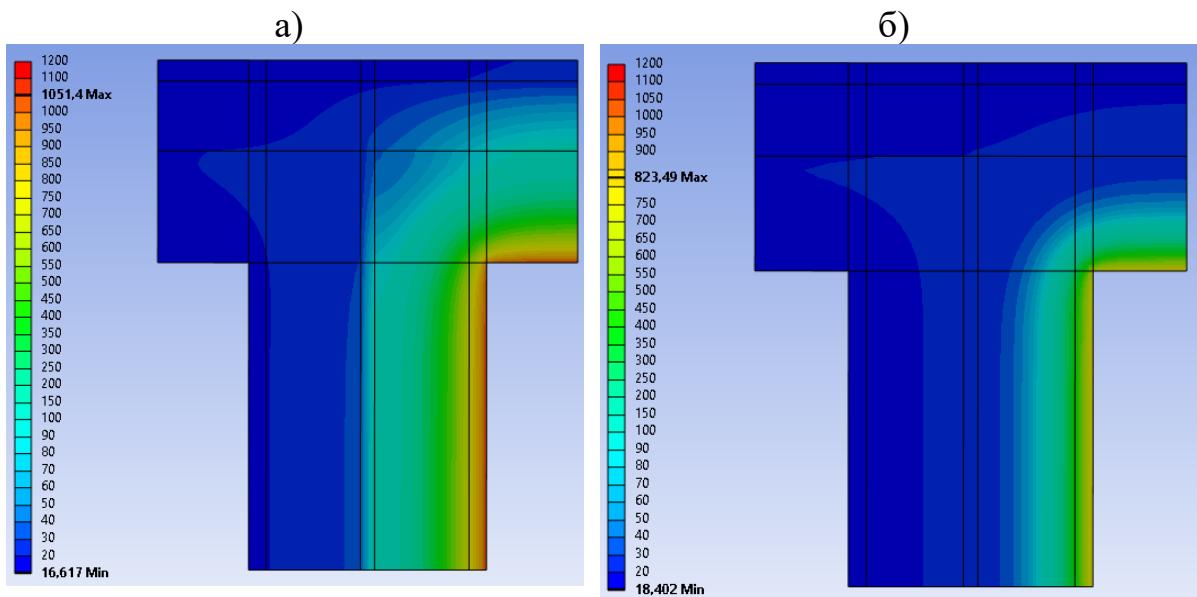


Рис. 41. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.1-2025.09) (в °C): а – расчет предела огнестойкости (на 150 минуте прогрева); б – расчет класса пожарной опасности (на 45 минуте прогрева).

По результатам расчета теплотехнической задачи строились зависимости «температура-время» для оценки предельных состояний по огнестойкости по критериям в соответствии с разделом 7 настоящего Заключения.

Оценка предела огнестойкости по потере несущей способности ( $R$ ) железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола производилась на уровне расположения рабочей арматуры на расстоянии 25 мм от обогреваемой поверхности и представлена на рис. 42.

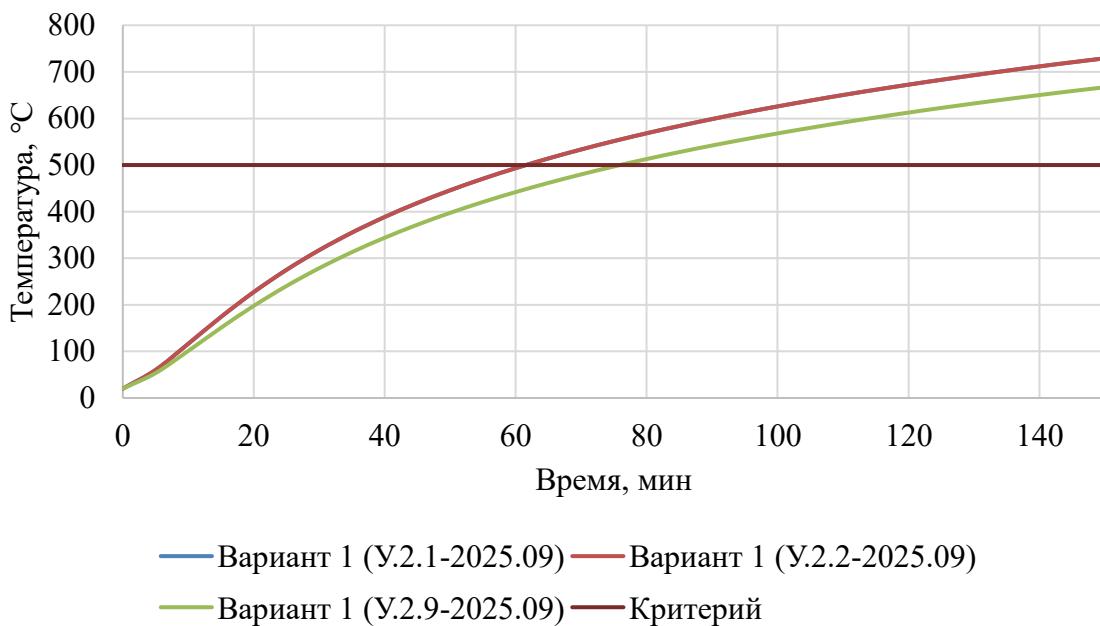


Рис. 42. Оценка предела огнестойкости по потере несущей способности (R) железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола на уровне расположения арматуры 25 мм.

Предел огнестойкости по потере несущей способности (R) железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола при минимально допустимых параметров рассматриваемых железобетонных конструкций, описанных в разделе 4 настоящего Заключения, составил для всех рассматриваемых Вариантов R 60.

Для повышения пределов огнестойкости по потере несущей способности для предела огнестойкости R 90 необходимая толщина слоя от необогреваемой поверхности до центра рабочей арматуры должна составлять не менее 35 мм, для предела огнестойкости R 120 необходимая толщина слоя от необогреваемой поверхности до центра рабочей арматуры должна составлять не менее 45 мм, для предела огнестойкости R 150 необходимая толщина слоя от необогреваемой поверхности до центра рабочей арматуры должна составлять не менее 55 мм, а для предела огнестойкости R 180 необходимая толщина слоя от необогреваемой поверхности до центра рабочей арматуры должна составлять не менее 60 мм.

Оценка предела огнестойкости по потере целостности (E) железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола производилась на необогреваемой поверхности конструкции и представлена на рис. 43.

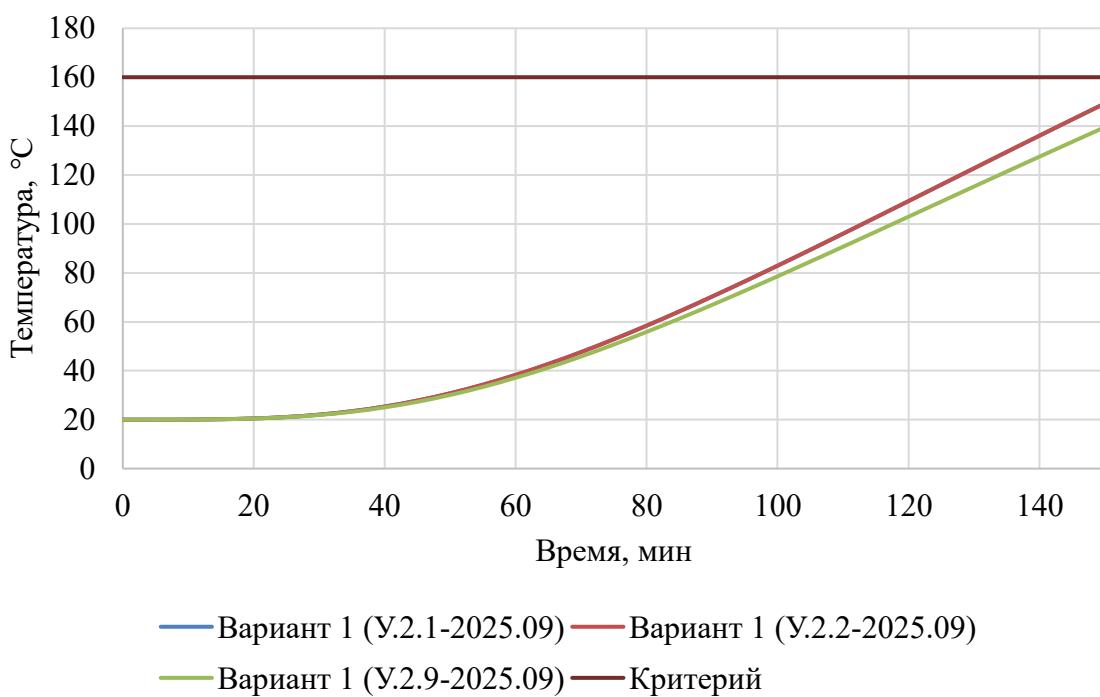


Рис. 43. Оценка предела огнестойкости по потере целостности (E) железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола.

Предел огнестойкости по потере целостности (E) железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола при минимально допустимых параметрах, описанных в разделе 4 настоящего Заключения, для всех рассматриваемых Вариантов составляет Е 150.

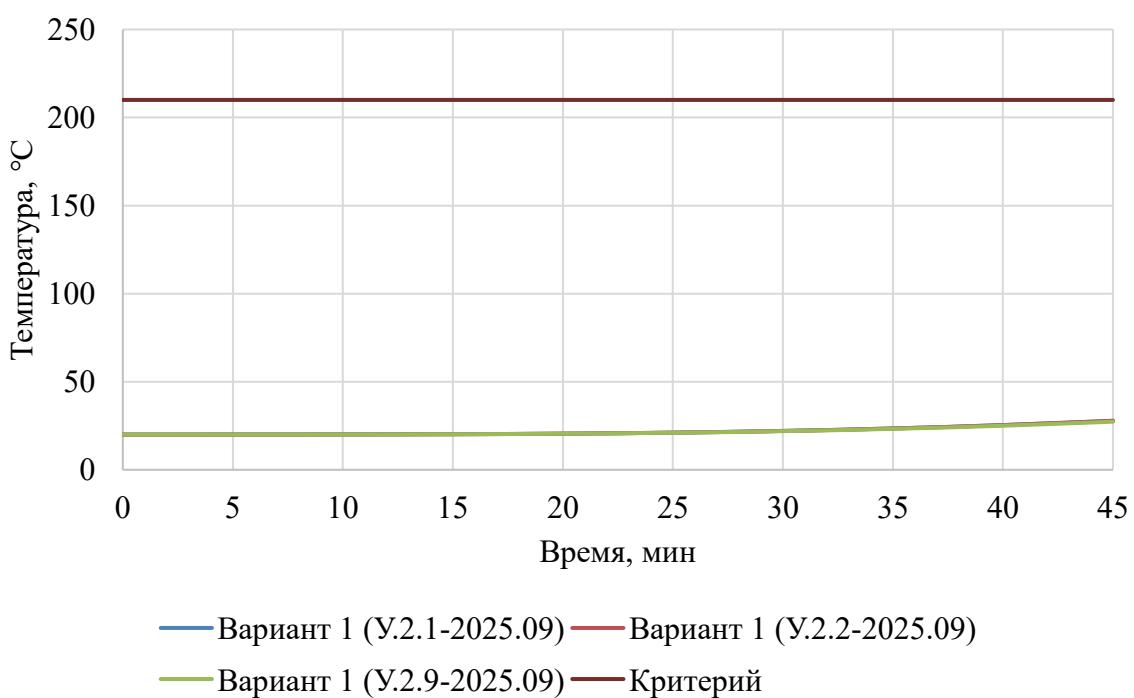


Рис. 44. Оценка класса пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола.

По результатам расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола строились зависимости «температура-время» для оценки класса пожарной опасности по критериям в соответствии с разделом 6 настоящего Заключения и представлены на рис. 44. При этом оценка производилась по максимально нагретым поверхностям термовкладышей.

В результате анализа зависимостей «температура-время» с учетом раздела 6 настоящего Заключения, получено, что класс пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола соответствует К0(45) для всех рассматриваемых Вариантов (температура воспламенения не достигается).

## 9.8. Распространение результатов расчета конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола на аналогичные конструктивные исполнения

Распространения результатов расчета производится на конструкции аналогичные по конструктивному исполнению, на которые произведена оценка пределов огнестойкости и классов пожарной опасности.

По результатам расчета Варианта 1 (У.2.1-2025.09) допускается распространить на Вариант 1 (У.2.3-2025.09), Вариант 1 (У.2.5-2025.09), Вариант 1 (У.2.7-2025.09) (рис. 45-50).

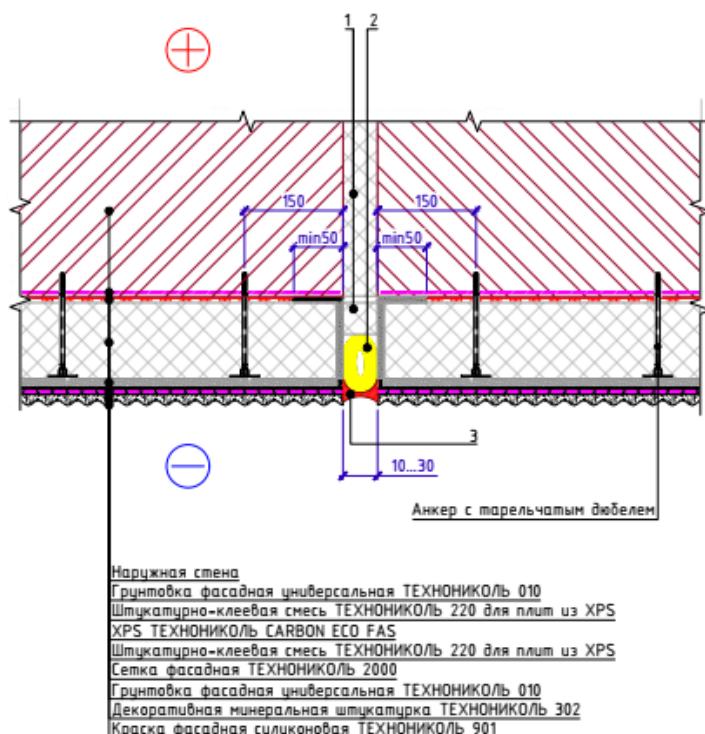


Рис 45. Деформационный шов с анкеровкой теплоизоляции сеткой. Вариант 1 (У.2.3-2025.09): 1 – демпфер из экструдированного пенополистирола XPS CARBON; 2 – уплотнитель (шнур типа «Вилатерм»); 3 – Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ 2К.

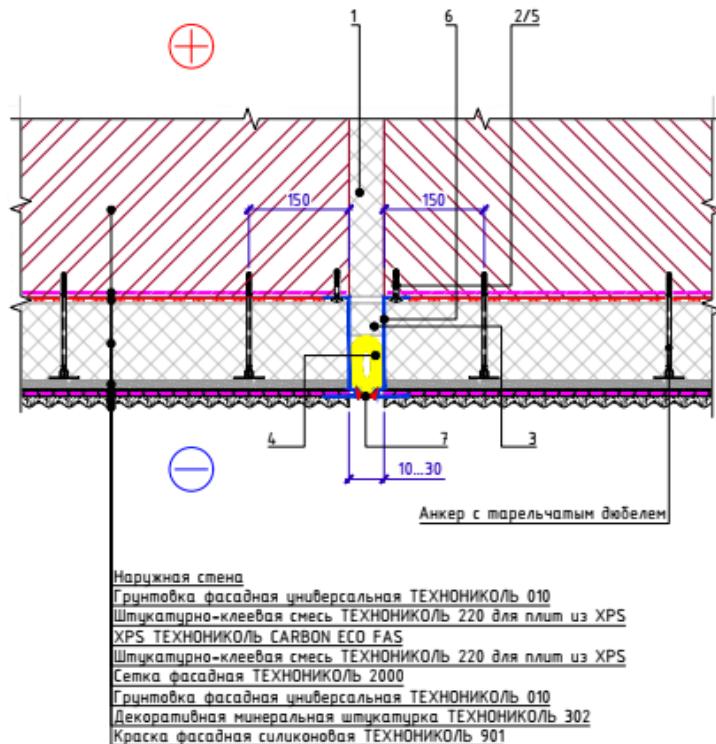


Рис 46. Деформационный шов с применением цокольного профиля. Вариант 1 (У.2.5-2025.09): 1 – демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 2 – саморез остроконечный 4,8x50; 3 - демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 4 – уплотнитель (шнур типа «Вилатерм»); 5 – анкерный элемент ТЕХНОНИКОЛЬ 8x45; 6 – цокольный профиль; 7 – Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ 2К.

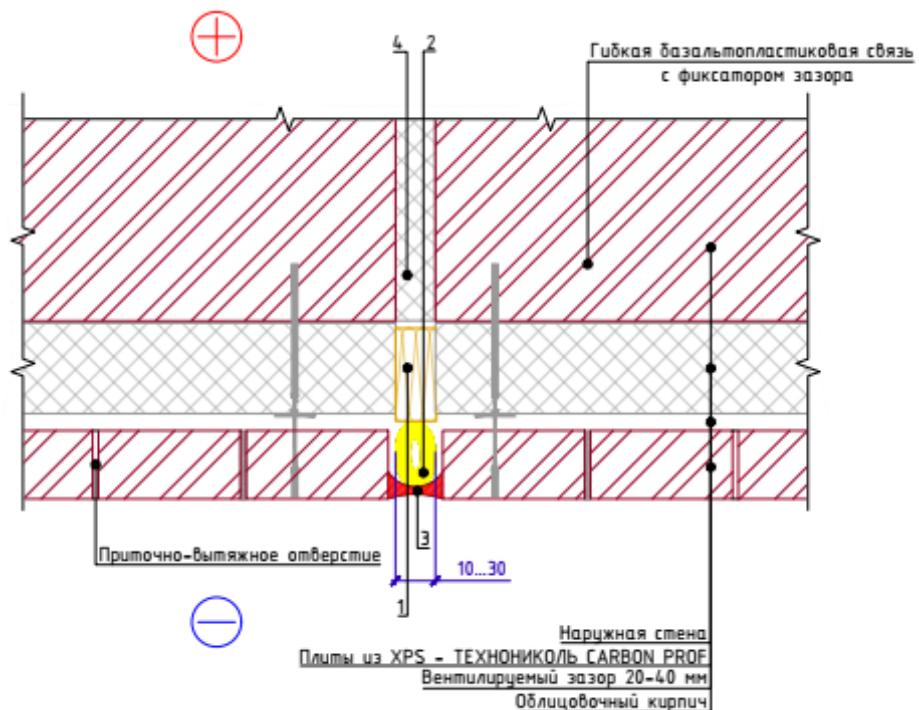


Рис 47. Деформационный шов. Вариант 1 (У.2.7-2025.09): 1 – демпфер из ТЕХНОФАС ОПТИМА; 2 – уплотнитель (шнур типа «Вилатерм»); 3 – Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ 2К; 4 - демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON.

По результатам расчета Варианта 2 (У.2.2-2025.09) допускается

распространить на Вариант 2 (У.2.4-2025.09), Вариант 2 (У.2.6-2025.09), Вариант 2 (У.2.8-2025.09) (рис. 47-49).

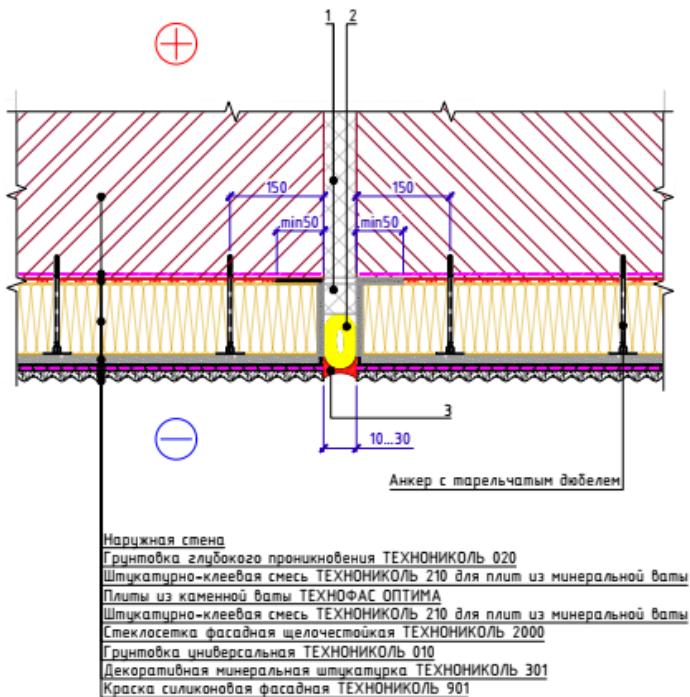


Рис 48. Деформационный шов с анкеровкой теплоизоляции сеткой. Вариант 2 (У.2.4-2025.09): 1 – демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 2 – уплотнитель (шнур типа «Вилатерм»); 3 – Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ 2К.

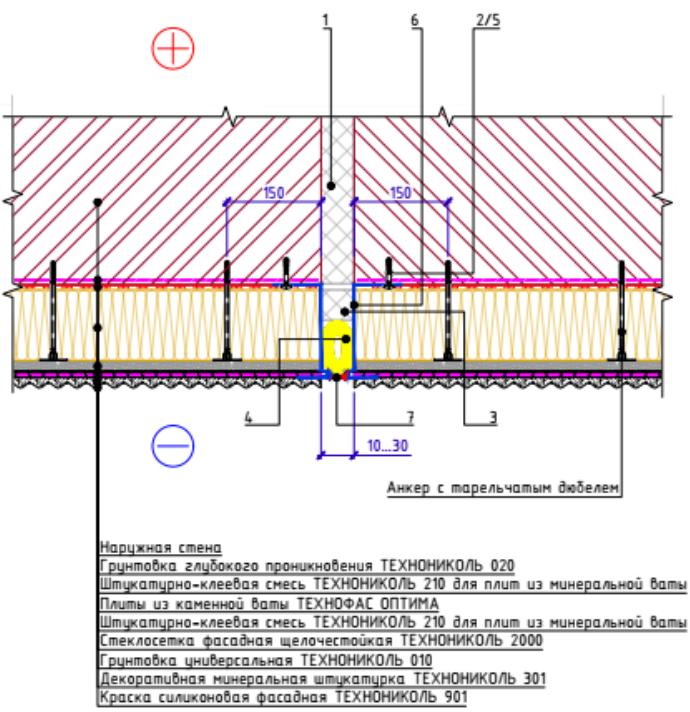


Рис 49. Деформационный шов с применением цокольного профиля. Вариант 2 (У.2.6-2025.09): 1 – демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 2 – саморез остроконечный 4,8x50; 3 - демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 4 – уплотнитель (шнур типа «Вилатерм»); 5 – анкерный элемент ТЕХНОНИКОЛЬ 8x45; 6 – цокольный профиль; 7 – Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ 2К.

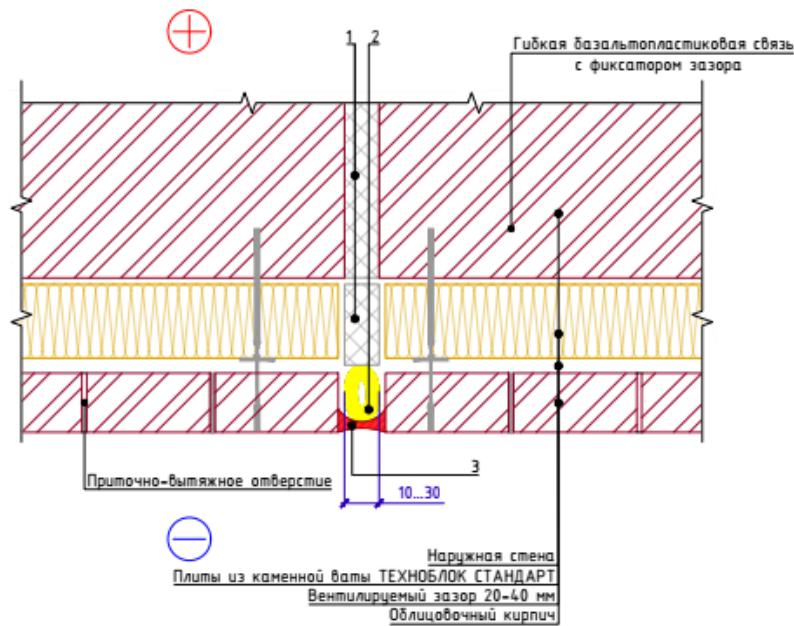


Рис 50. Деформационный шов с анкеровкой теплоизоляции сеткой. Вариант 2 (У.2.4-2025.09): 1 – демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 2 – уплотнитель (шнур типа «Вилатерм»); 3 – Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ 2К.

По результатам расчета Варианта 1 (У.2.9-2025.09) допускается распространить на Вариант 2 (У.2.10-2025.09) (рис. 51).

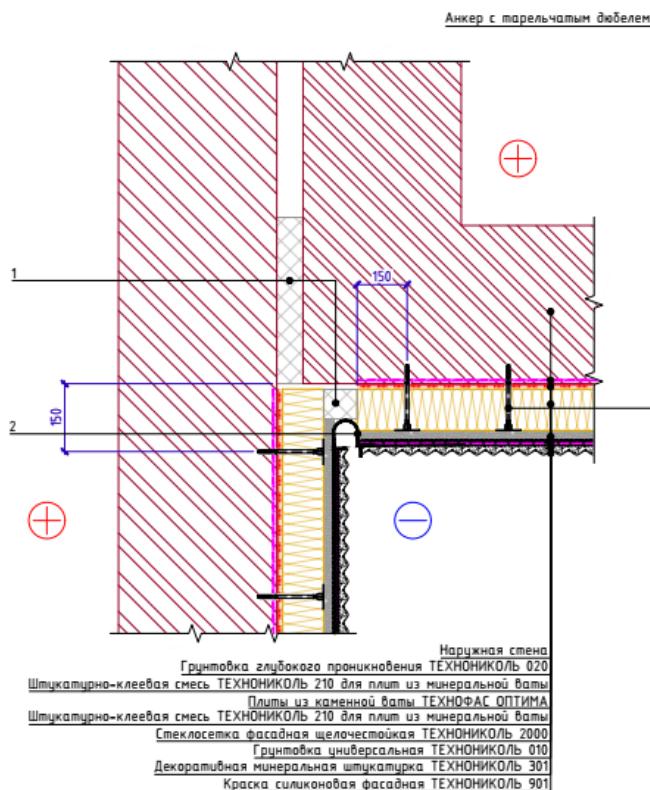


Рис 51. Угловой деформационный шов с применением ПВХ профиля. Вариант 2 (У.2.10-2025.09): 1 – демпфер из экструзионного пенополистирола XPS CARBON; 2 – угловой деформационный профиль с кантом и сеткой.

Результаты расчета, полученные для железобетонных конструкций с

устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола с учетом распространения результатов расчета, допускается распространить на вышеописанные конструктивные исполнения деформационных швов с применением каменных конструкций взамен железобетонных конструкций.

## 10. Выводы

Проведена работа по расчетному определению фактических пределов огнестойкости и классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола. В соответствии с поставленными задачами получено следующее:

1. Согласно анализу проектной документации произведена выборка конструктивных исполнений узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола.

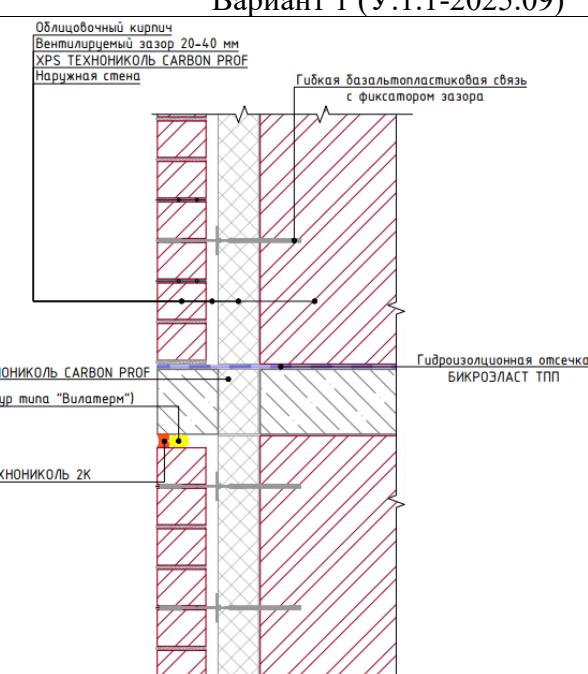
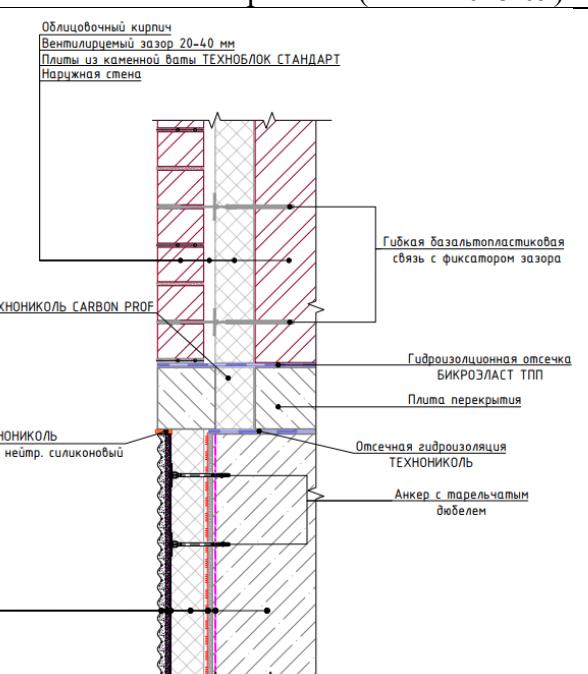
2. В ходе работы определены расчетная методика, соответствующая реальному поведению конструкций в условиях пожара, начальные и граничные условия, а также необходимые исходные данные теплофизических характеристик материалов.

3. В соответствии с анализом проектной документации и методики произведен расчет пределов огнестойкости и классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций и конструкций деформационных швов с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола.

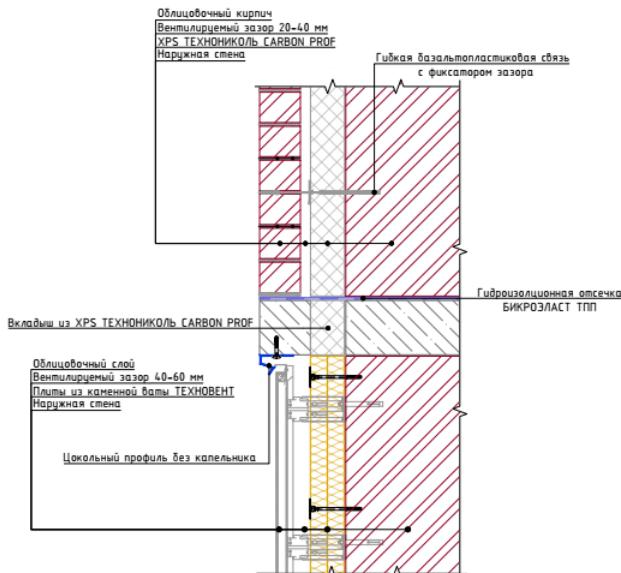
4. Результаты расчета пределов огнестойкости по потере несущей способности (R), потере целостности (E) и потере теплоизолирующей способности (I) узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 300, 400 и 500 мм при минимально допустимых параметрах рассматриваемых железобетонных конструкций, описанных в разделе 4 настоящего Заключения, на расстоянии до оси рабочей арматуры 25 мм при нагреве со стороны помещения (1) и со стороны фасада (2), с учетом распространения результатов в соответствии с разделом 9.6 настоящего Заключения, сведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Результаты расчета пределов огнестойкости узлов сопряжения железобетонных плит с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола

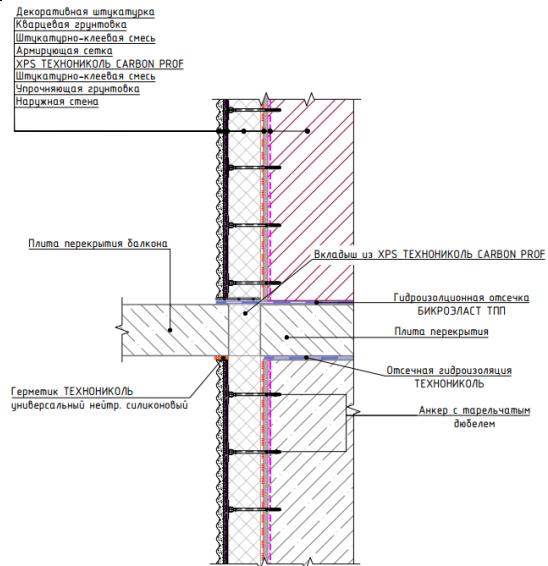
Вариант конструктивного исполнения узла в соответствии с АТР	Воздействие пожара	
	со стороны помещения	со стороны фасада
Вариант 1 (У.1.1-2025.09)		
	REI 90	REI 150
Вариант 2 (У.1.2-2025.09)		
	REI 90	REI 150

### Вариант 3 (У.1.3-2025.09)



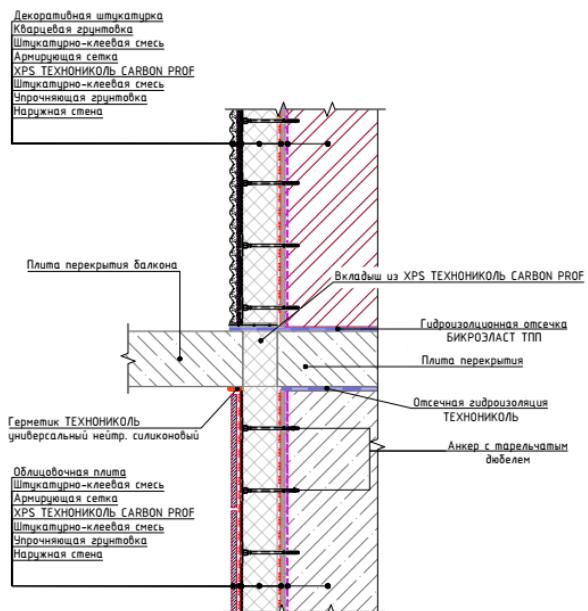
REI 90 REI 150

### Вариант 4 (У.1.4-2025.09)



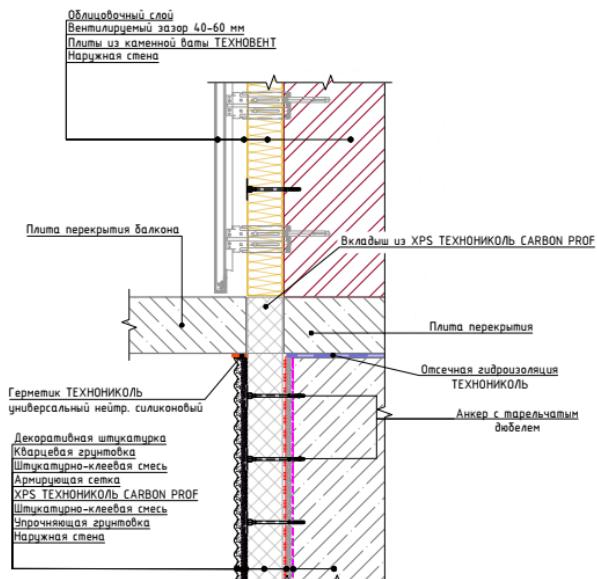
REI 90 R 30/EI 150

### Вариант 5 (У.1.5-2025.09)



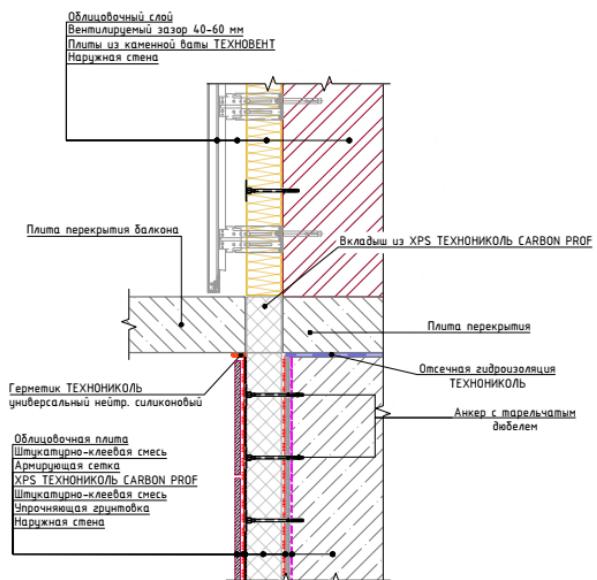
REI 90 R 30/EI 150

### Вариант 6 (У.1.6-2025.09)



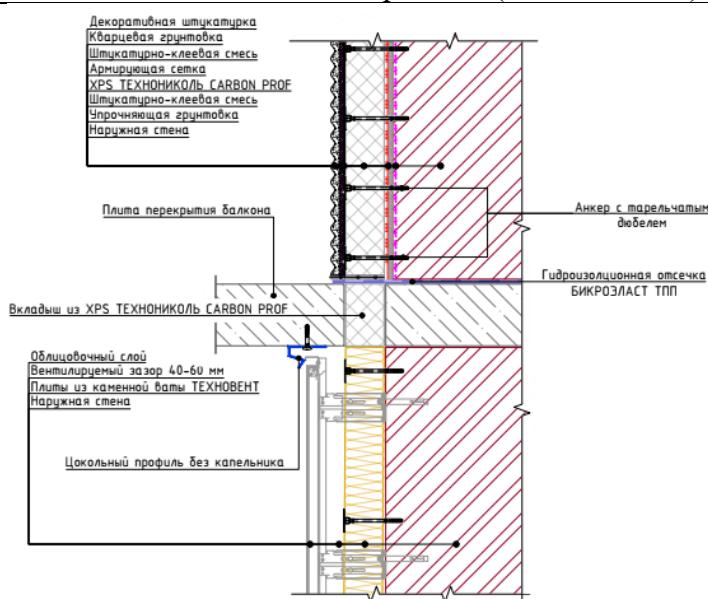
REI 90 R 30/EI 150

### Вариант 7 (У.1.7-2025.09)



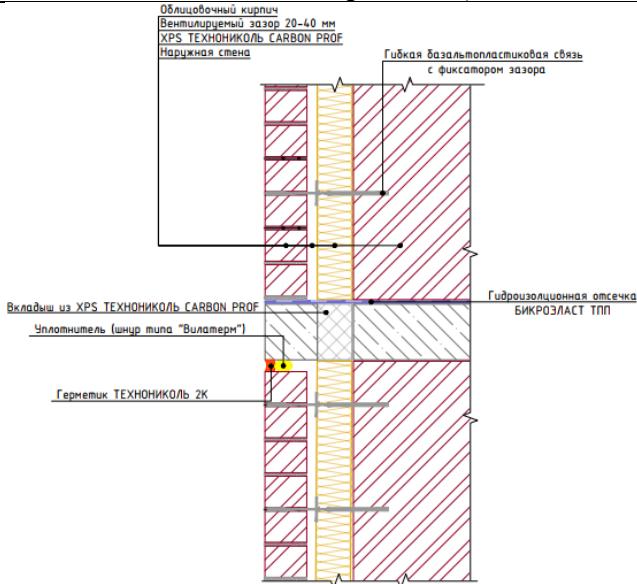
REI 90 R 30/EI 150

### Вариант 8 (У.1.8-2025.09)



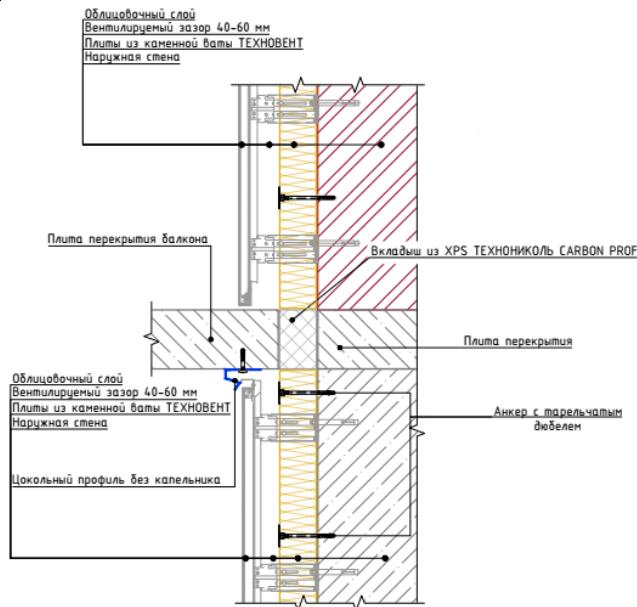
REI 90 REI 150

### Вариант 9 (У.1.9-2025.09)



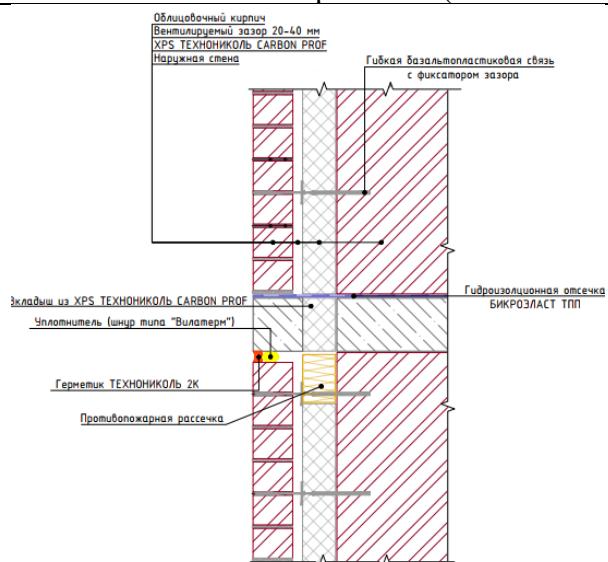
REI 90      REI 150

### Вариант 10 (У.1.10-2025.09)

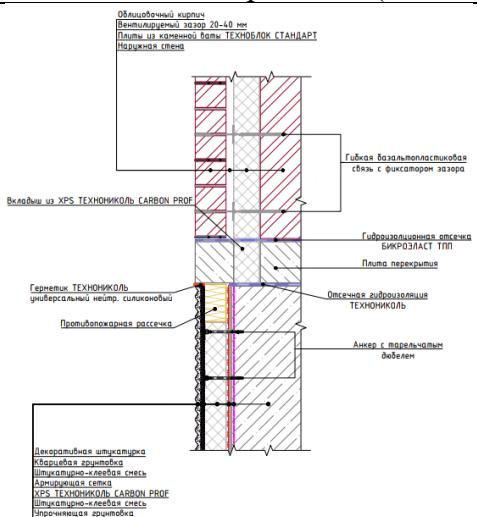
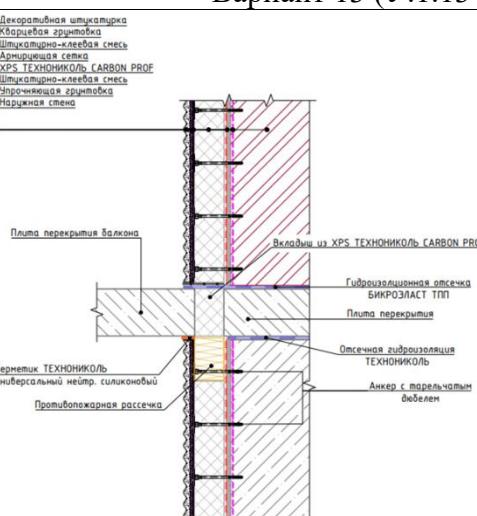
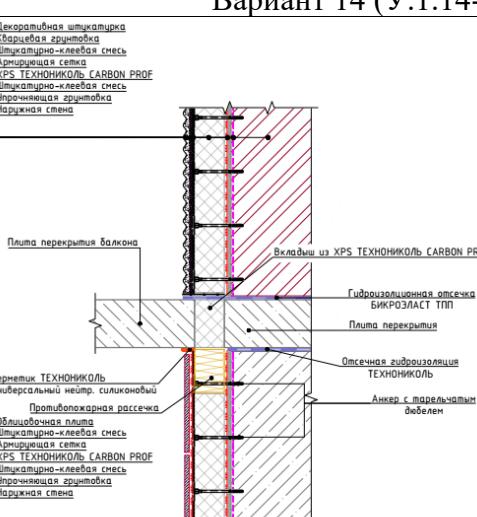


REI 90      REI 150

### Вариант 11 (У.1.11-2025.09)



REI 90      REI 150

Вариант 12 (У.1.12-2025.09)		
 <p>Облицовочный кирпич Вентилируемый зазор 20-40 мм Плиты из каменной ваты ТЕХНОБЛОК СТАНДАРТ Наружная стена</p> <p>Вкладыш из XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF</p> <p>Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ универсальный нефр. силиконовый</p> <p>Противолежарная рассечка</p> <p>Декоративная штукатурка Клеевая грунтовка Шпатулировано-клеевая смесь Армирующая сетка ХРС ТЕХНОНИКОЛЬ САРВОН PROF Шпатулировано-клеевая смесь Чирочниковая грунтовка Наружная стена</p> <p>Гибкая базальтопластиковая обивка с фиксатором зазора</p> <p>Гидроизолационная пленка БИКРОЛАСТ ТПП</p> <p>Плита перекрытия</p> <p>Отсечная гидроизоляция ТЕХНОНИКОЛЬ</p> <p>Анкер с торельчатым дюбелем</p>	REI 90	REI 150
Вариант 13 (У.1.13-2025.09)		
 <p>Декоративная штукатурка Клеевая грунтовка Шпатулировано-клеевая смесь Армирующая сетка ХРС ТЕХНОНИКОЛЬ САРВОН PROF Шпатулировано-клеевая смесь Чирочниковая грунтовка Наружная стена</p> <p>Плита перекрытия балкона</p> <p>Вкладыш из XPS ТЕХНОНИКОЛЬ САРВОН PROF</p> <p>Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ универсальный нефр. силиконовый</p> <p>Противолежарная рассечка</p> <p>Плита перекрытия</p> <p>Гидроизолационная пленка БИКРОЛАСТ ТПП</p> <p>Плита перекрытия</p> <p>Отсечная гидроизоляция ТЕХНОНИКОЛЬ</p> <p>Анкер с торельчатым дюбелем</p>	REI 90	REI 150
Вариант 14 (У.1.14-2025.09)		
 <p>Декоративная штукатурка Клеевая грунтовка Шпатулировано-клеевая смесь Армирующая сетка ХРС ТЕХНОНИКОЛЬ САРВОН PROF Шпатулировано-клеевая смесь Чирочниковая грунтовка Наружная стена</p> <p>Плита перекрытия балкона</p> <p>Вкладыш из XPS ТЕХНОНИКОЛЬ САРВОН PROF</p> <p>Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ универсальный нефр. силиконовый</p> <p>Противолежарная рассечка</p> <p>Облицовочная пленка Шпатулировано-клеевая смесь Армирующая сетка ХРС ТЕХНОНИКОЛЬ САРВОН PROF Шпатулировано-клеевая смесь Чирочниковая грунтовка Наружная стена</p> <p>Гидроизолационная пленка БИКРОЛАСТ ТПП</p> <p>Плита перекрытия</p> <p>Отсечная гидроизоляция ТЕХНОНИКОЛЬ</p> <p>Анкер с торельчатым дюбелем</p>	REI 90	REI 150

5. Результаты расчета классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола с размерами вкладыша 300, 400 и 500

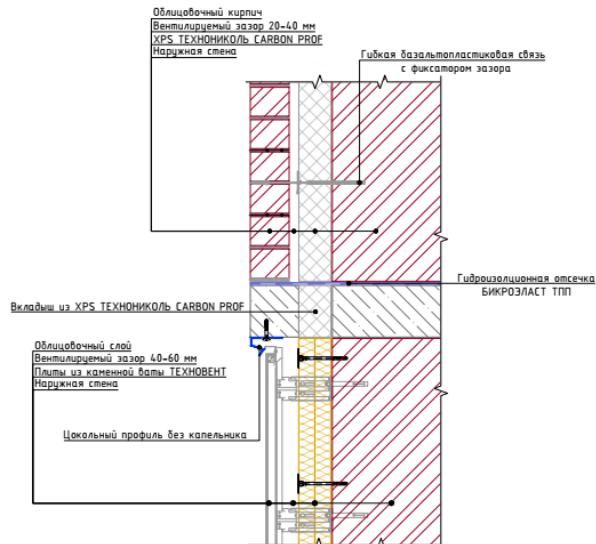
мм при минимально допустимых параметрах рассматриваемых железобетонных конструкций, описанных в разделе 4 настоящего Заключения, при нагреве со стороны помещения (1) и со стороны фасада (2), с учетом распространения результатов в соответствии с разделом 9.6 настоящего Заключения, сведены в табл. 10.2

Таблица 10.2

Результаты расчета классов пожарной опасности узлов сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола

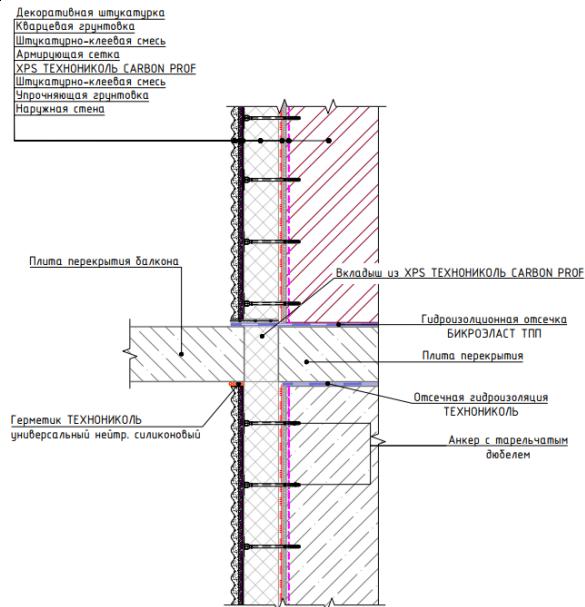
Вариант конструктивного исполнения узла в соответствии с АТР	Воздействие пожара	
	со стороны помещения	со стороны фасада
<b>Вариант 1 (У.1.1-2025.09)</b>		
<p>Облицовочный кирпич Вентилируемый зазор 20-40 мм XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF Наружная стена</p> <p>Гидроизолационная отсечка БИКРОПЛАСТ ТПП</p> <p>Вкладыш из XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF Чплотнитель (шнур типа "Виламер")</p> <p>Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ 2К</p>	K0(45)	K0(45)
<b>Вариант 2 (У.1.2-2025.09)</b>		
<p>Облицовочный кирпич Вентилируемый зазор 20-40 мм Плиты из каменной ваты ТЕХНОБЛОК СТАНДАРТ Наружная стена</p> <p>Гидроизолационная отсечка БИКРОПЛАСТ ТПП</p> <p>Плита перекрытия</p> <p>Герметик ТЕХНОНИКОЛЬ универсальный герметик силиконовый</p> <p>Отсечная гидроизоляция ТЕХНОНИКОЛЬ</p> <p>Анкер с металлическим вибратором</p> <p>Декоративная штукатурка Краска для грунтовки Штукатурочно-клеевая смесь Армирующая сетка XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF Штукатурочно-клеевая смесь Упрочняющая грунтовка Наружная стена</p>	K0(45)	K0(45)

### Вариант 3 (У.1.3-2025.09)



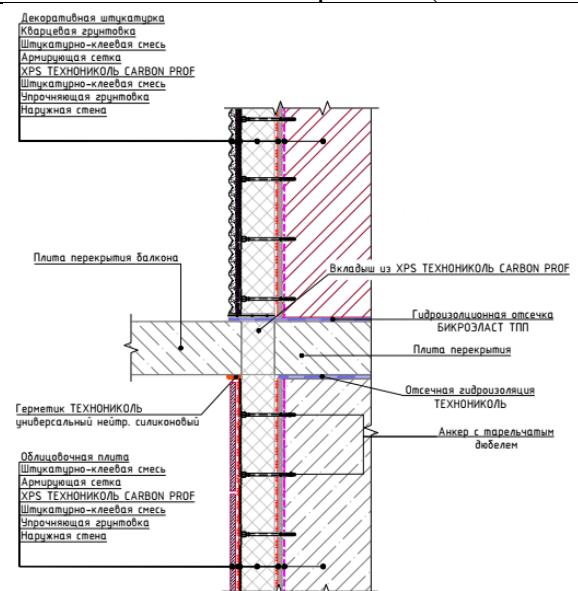
K0(45) K0(45)

### Вариант 4 (У.1.4-2025.09)



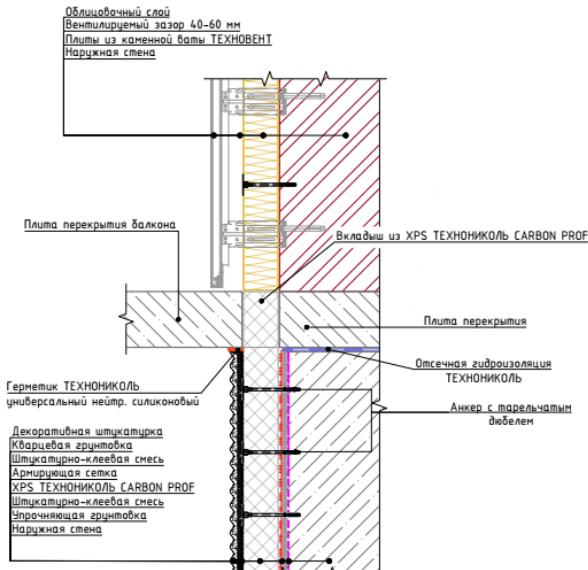
K0(45) K0(15), K3(45)

### Вариант 5 (У.1.5-2025.09)



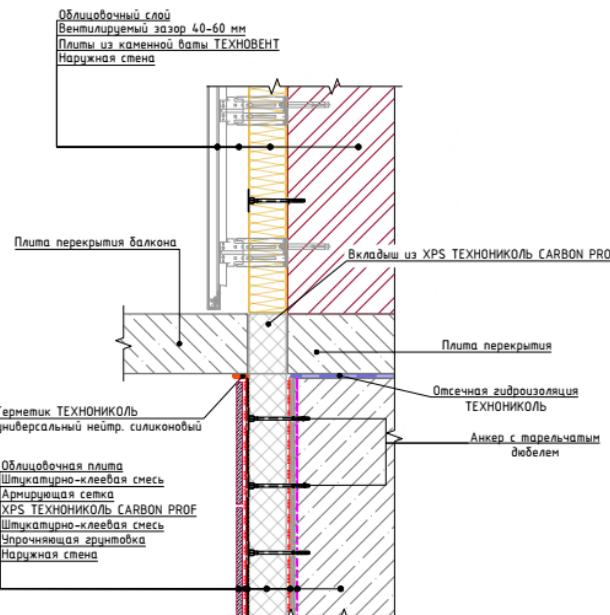
K0(45) K0(15), K3(45)

### Вариант 6 (У.1.6-2025.09)



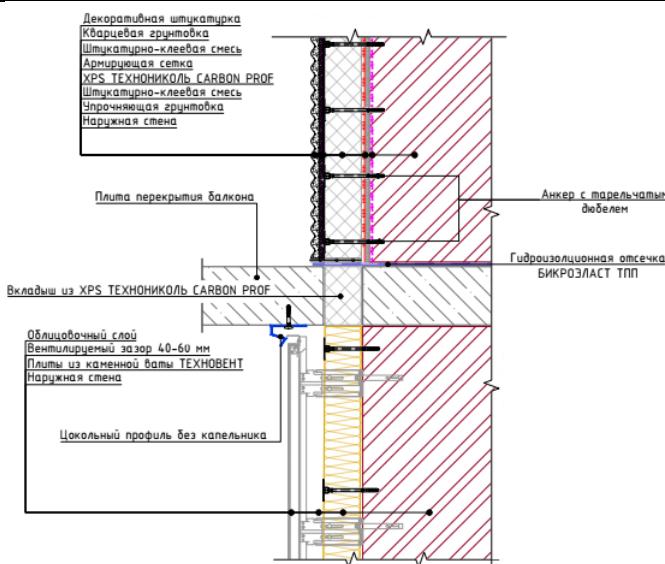
K0(45),  
K3(45)

### Вариант 7 (У.1.7-2025.09)



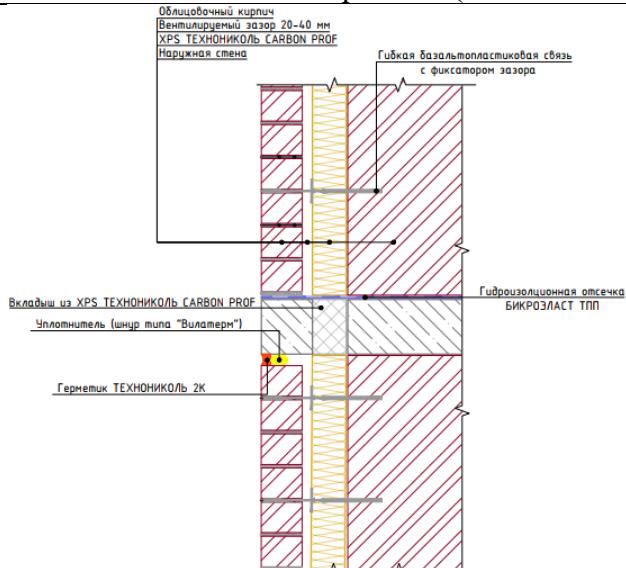
K0(45),  
K3(45)

### Вариант 8 (У.1.8-2025.09)



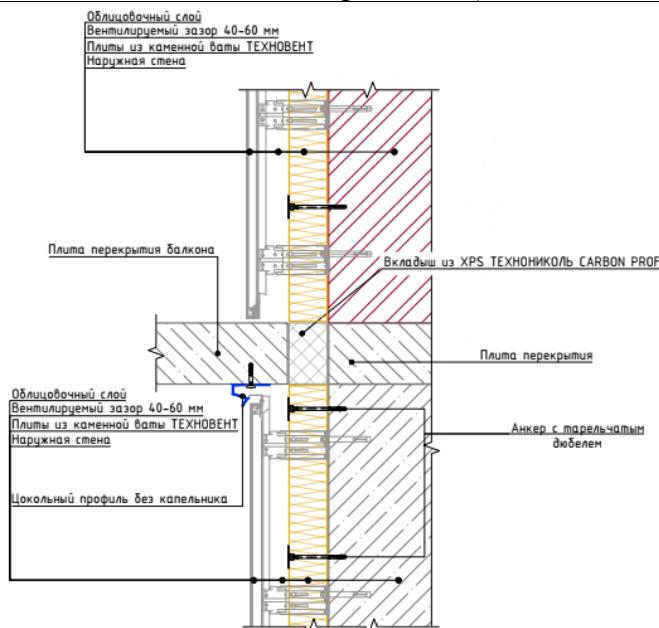
K0(45),  
K0(45)

### Вариант 9 (У.1.9-2025.09)



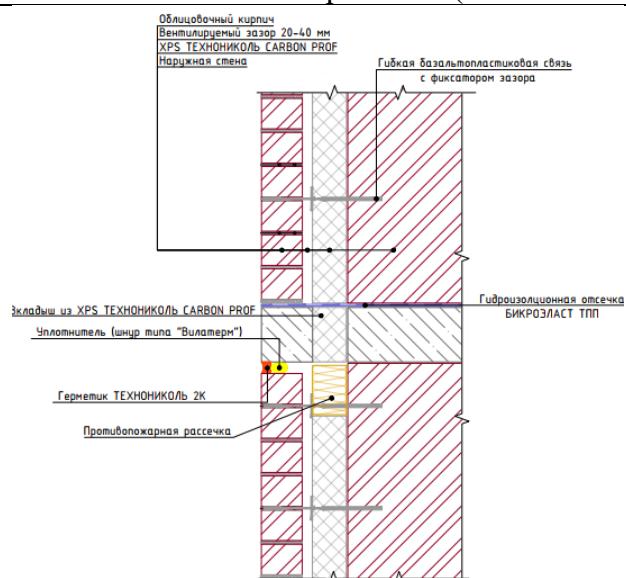
K0(45) K0(45)

### Вариант 10 (У.1.10-2025.09)



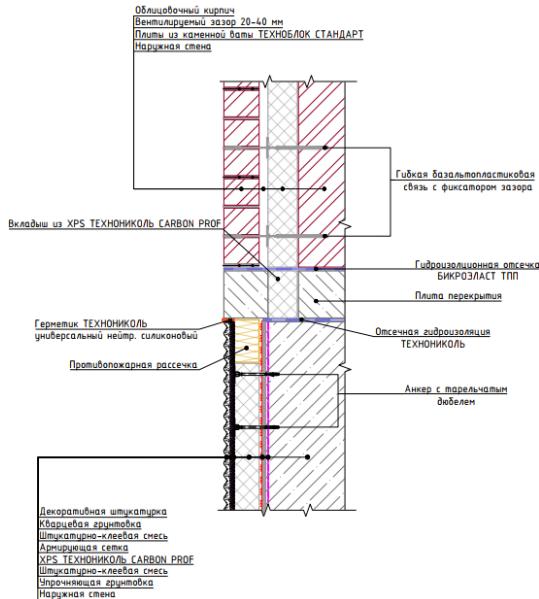
K0(45) K0(45)

### Вариант 11 (У.1.11-2025.09)



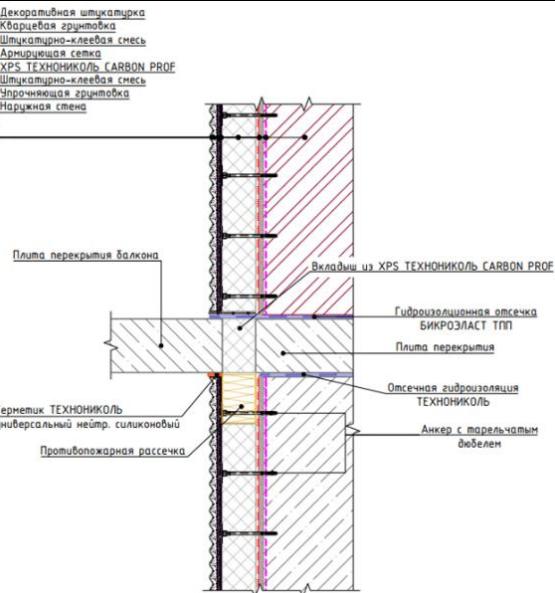
K0(45) K0(45)

### Вариант 12 (У.1.12-2025.09)



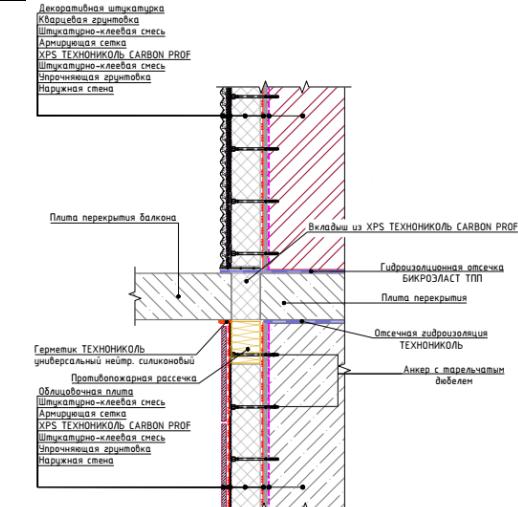
K0(45) K0(45)

### Вариант 13 (У.1.13-2025.09)



K0(45) K0(45)

### Вариант 14 (У.1.14-2025.09)



K0(45) K0(45)

6. Для повышения предела огнестойкости по потере несущей способности (R), по потере целостности (E) и потере теплоизолирующей способности (I) при нагреве со стороны фасада до REI 150, а также класса пожарной опасности до K0(45) для Вариантов 4 (У.1.4-2025.09), 5 (У.1.5-2025.09), 6 (У.1.6-2025.09) и 7 (У.1.7-2025.09) необходимо обеспечить устройство противопожарной рассечки в нижней части перекрытия из плит из каменной ваты на ширину не менее ширины термовкладыша и высотой не менее 150 мм (как для Варианта 13 (У.1.13-2025.09)).

Примеры конструктивного исполнения с учетом распространения результатов расчета (как для Варианта 13 (У.1.13-2025.09)) при нагреве со стороны фасада для Вариантов 4 (У.1.4-2025.09), 5 (У.1.5-2025.09), 6 (У.1.6-2025.09) и 7 (У.1.7-2025.09) сведены в таблицу 10.3.

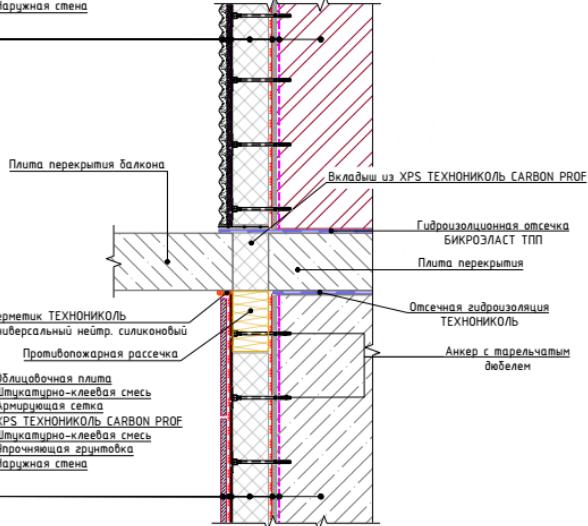
Таблица 10.3

Варианты конструктивного исполнения железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола с устройством противопожарной рассечки

Вариант конструктивного исполнения узла в соответствии с АТР	Воздействие пожара со стороны фасада	
	Предел огнестойкости	Класс пожарной опасности
Для Варианта 4 (У.1.4-2025.09)		
<p>Декоративная штукатурка Кварцевая грунтовка Штукатурно-клеевая смесь Армирующая сетка XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF Штукатурно-клеевая смесь Чирочняющая грунтовка Наружная стена</p>	REI 150	K0(45)

Для Варианта 5 (У.1.5-2025.09)

Декоративная штукатурка  
Кварцевая гранитобока  
Штукатурно-клеевая смесь  
Армирующая сетка  
ХРС ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON PROF  
Штукатурно-клеевая смесь  
Упрочняющая грунтовка  
Наружная стена

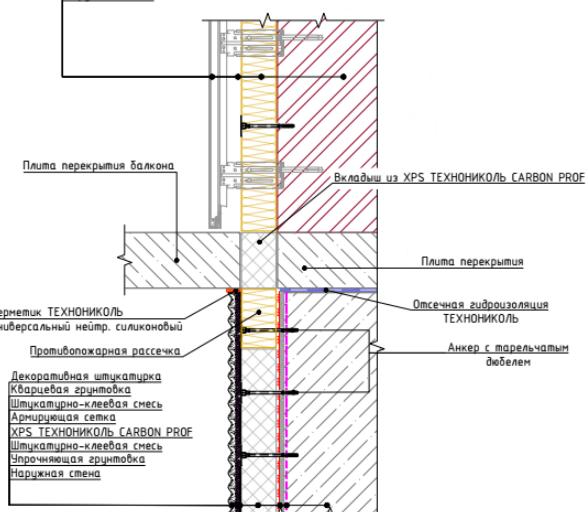


REI 150

K0(45)

Для Варианта 6 (У.1.6-2025.09)

Облицовочный слой  
Вентилируемый зазор 40-60 мм  
Плиты из каменной ваты ТЕХНОВЕНТ  
Наружная стена

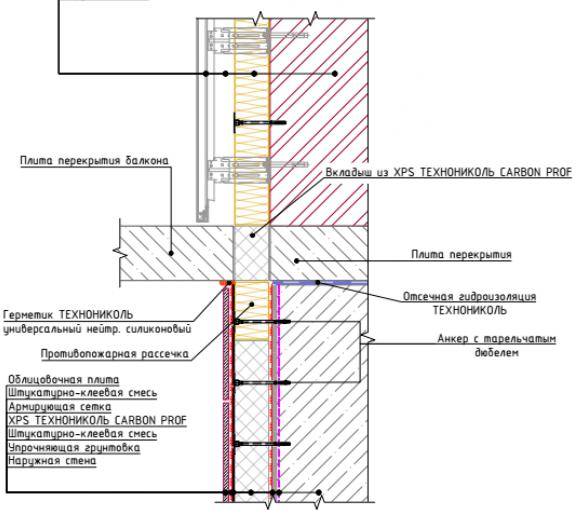


REI 150

K0(45)

Для Варианта 7 (У.1.7-2025.09)

Облицовочный слой  
Вентилируемый зазор 40-60 мм  
Плиты из каменной ваты ТЕХНОВЕНТ  
Наружная стена



REI 150

K0(45)

7. Пределы огнестойкости и классы пожарной опасности, полученные в результате расчета и с учетом технических решений описанных в пунктах 1-6 настоящего раздела распространяются на узлы сопряжения железобетонных конструкций с устройством термовкладышей, при этом обоснование пределов огнестойкости и классов пожарной опасности для стен и плит перекрытий производится по данным описанным в пункте 8 настоящего раздела или по методикам, описанным в нормативных документах по пожарной безопасности.

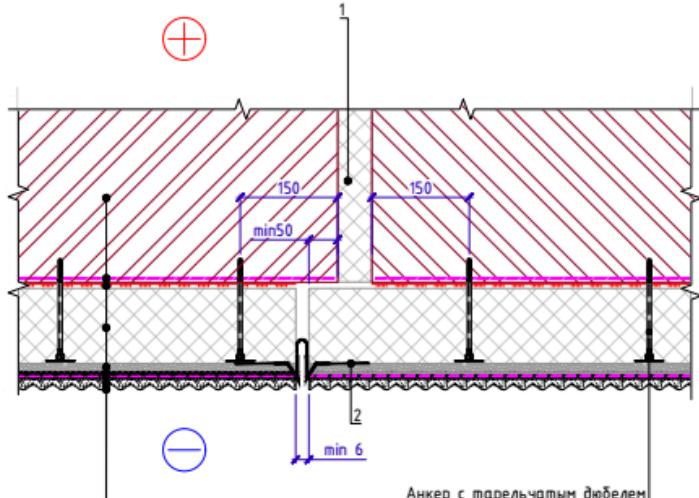
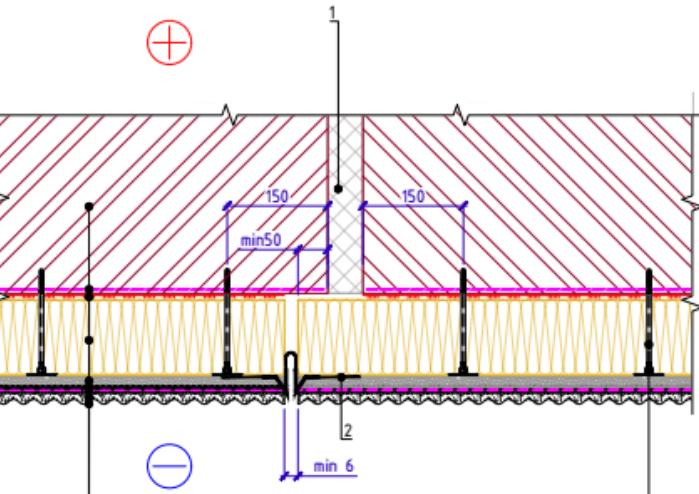
8. Соотношения пределов огнестойкости железобетонных плит по потере несущей способности (R), по потере целостности (E) и потере теплоизолирующей способности (I) в зависимости от минимальной высоты сечения (h) и расстояния до оси рабочей арматуры (a) определены в соответствии с номограммой (рис. 25) и представлены в таблице 10.4.

Таблица 10.4  
Минимальная высота сечения плиты (h) и расстояние до оси рабочей арматуры (a) в зависимости от требуемого предела огнестойкости

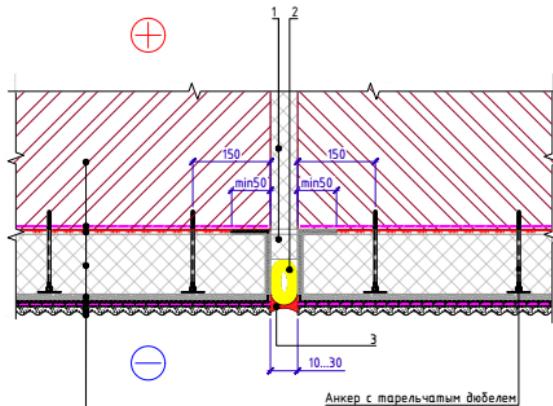
Вид бетона	Параметры плиты, при $l_x/l_y \geq 2$	Минимальная высота сечения (h) и расстояние до оси рабочей арматуры (a), при требуемом пределе огнестойкости					
		REI 30	REI 60	REI 90	REI 120*	REI 150	REI 180
Тяжелый бетон с гранитным заполнителем	Высота сечения плиты (h), мм	60	80	100	150	180	220
	Расстояние до оси арматуры (a), мм	10	25	35	45	55	60
Примечание: * - допускается при толщине железобетонной плиты перекрытия при толщине 200 мм и более принимать расстояние до оси рабочей арматуры (a) 40 мм							

9. Результаты расчета пределов огнестойкости и классов пожарной опасности конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола при минимально допустимых параметрах рассматриваемых железобетонных конструкций, описанных в разделе 4 настоящего Заключения, с учетом распространения результатов в соответствии с разделом 9.8 настоящего Заключения, сведены в табл. 10.5.

Таблица 10.5  
Результаты расчета пределов огнестойкости и классов пожарной опасности  
железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из  
экструдированного пенополистирола

Вариант конструктивного исполнения узла в соответствии с АТР	Воздействие пожара	
	со стороны помещения	со стороны фасада
Вариант 1 (У.2.1-2025.09)		
 <p>Наружная стена Грунтовка фасадная универсальная ТЕХНОНИКОЛЬ 010 Штукатурно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 220 для плит из XPS XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO FAS Штукатурно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 220 для плит из XPS Сетка фасадная ТЕХНОНИКОЛЬ 2000 Грунтовка фасадная универсальная ТЕХНОНИКОЛЬ 010 Декоративная минеральная штукатурка ТЕХНОНИКОЛЬ 302 Краска фасадная силиконовая ТЕХНОНИКОЛЬ 901</p>	EI 150	K0(45)
Вариант 2 (У.2.2-2025.09)		
 <p>Наружная стена Грунтовка глубокого проникновения ТЕХНОНИКОЛЬ 020 Штукатурно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 210 для плит из минеральной ваты Плиты из каменной ваты ТЕХНОФАС ОПТИМА Штукатурно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 210 для плит из минеральной ваты Стеклосетка фасадная щелочестойкая ТЕХНОНИКОЛЬ 2000 Грунтовка фасадная универсальная ТЕХНОНИКОЛЬ 010 Декоративная минеральная штукатурка ТЕХНОНИКОЛЬ 301 Краска силиконовая фасадная ТЕХНОНИКОЛЬ 901</p>	EI 150	K0(45)

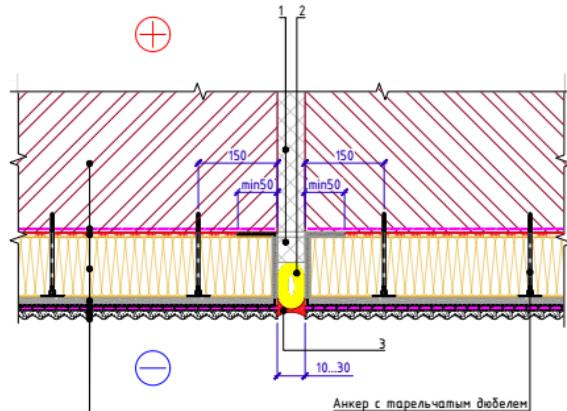
### Вариант 1 (У.2.3-2025.09)



EI 150 K0(45)

Наружная стена  
Грунтовка фасадная универсальная ТЕХНОНИКОЛЬ 010  
Шпаклевочно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 220 для плит из XPS  
XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO FAS  
Шпаклевочно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 220 для плит из XPS  
Сетка фасадная ТЕХНОНИКОЛЬ 2000  
Грунтовка фасадная универсальная ТЕХНОНИКОЛЬ 010  
Декоративная минеральная шпаклевка ТЕХНОНИКОЛЬ 302  
Краска фасадная силиконовая ТЕХНОНИКОЛЬ 901

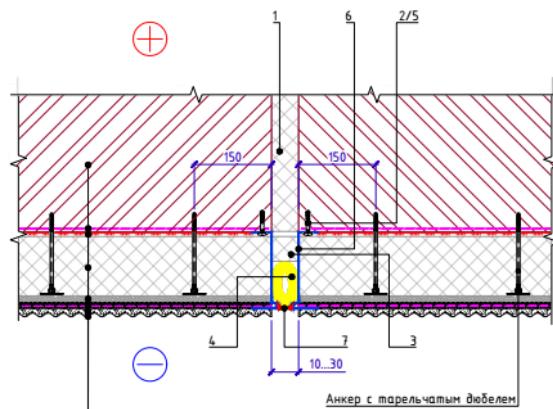
### Вариант 2 (У.2.4-2025.09)



EI 150 K0(15),  
K3(45)

Наружная стена  
Грунтовка глубокого проникновения ТЕХНОНИКОЛЬ 020  
Шпаклевочно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 210 для плит из минеральной ваты  
Плиты из каменной ваты ТЕХНОФАС ОПТИМА  
Шпаклевочно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 210 для плит из минеральной ваты  
Стеклосетка фасадная щелочестойкая ТЕХНОНИКОЛЬ 2000  
Грунтовка универсальная ТЕХНОНИКОЛЬ 010  
Декоративная минеральная шпаклевка ТЕХНОНИКОЛЬ 301  
Краска силиконовая фасадная ТЕХНОНИКОЛЬ 901

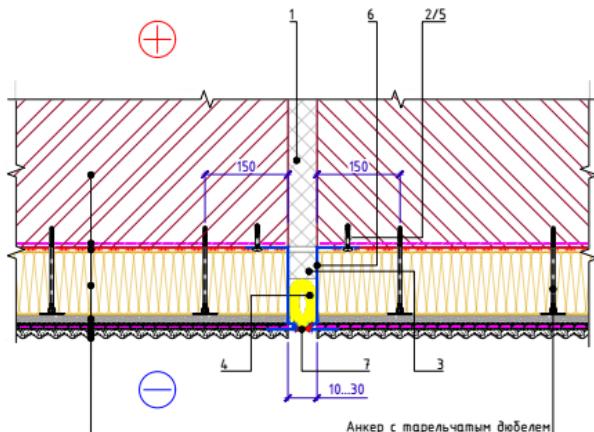
### Вариант 1 (У.2.5-2025.09)



EI 150 K0(15),  
K3(45)

Наружная стена  
Грунтовка фасадная универсальная ТЕХНОНИКОЛЬ 010  
Шпаклевочно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 220 для плит из XPS  
XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO FAS  
Шпаклевочно-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 220 для плит из XPS  
Сетка фасадная ТЕХНОНИКОЛЬ 2000  
Грунтовка фасадная универсальная ТЕХНОНИКОЛЬ 010  
Декоративная минеральная шпаклевка ТЕХНОНИКОЛЬ 302  
Краска фасадная силиконовая ТЕХНОНИКОЛЬ 901

### Вариант 2 (У.2.6-2025.09)

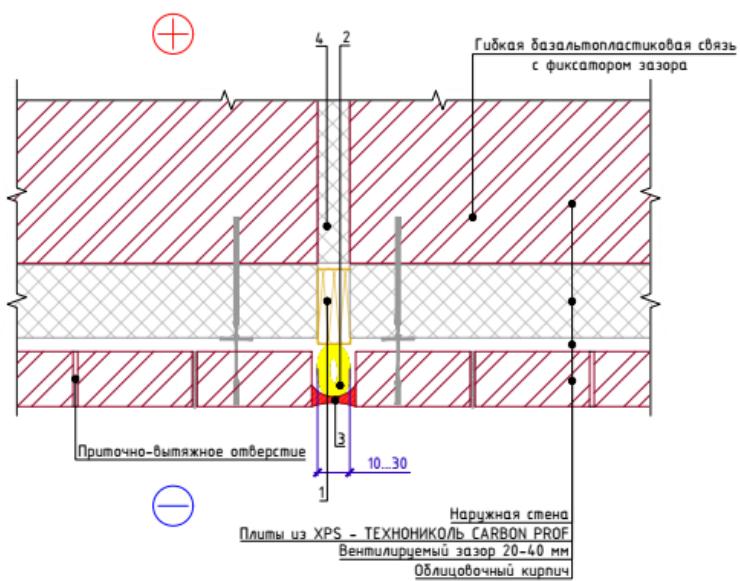


EI 150

K0(15),  
K3(45)

Наружная стена  
Гранитобака глубокого проникновения ТЕХНОНИКОЛЬ 020  
Шпаклевально-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 210 для плит из минеральной ваты  
Плиты из каменной ваты ТЕХНОФАС ОПТИМА  
Шпаклевально-клеевая смесь ТЕХНОНИКОЛЬ 210 для плит из минеральной ваты  
Стеклосетка фасадная щелочестойкая ТЕХНОНИКОЛЬ 2000  
Гранитобака цинкеральная ТЕХНОНИКОЛЬ 010  
Декоративная минеральная штукатурка ТЕХНОНИКОЛЬ 301  
Краска силиконовая фасадная ТЕХНОНИКОЛЬ 901

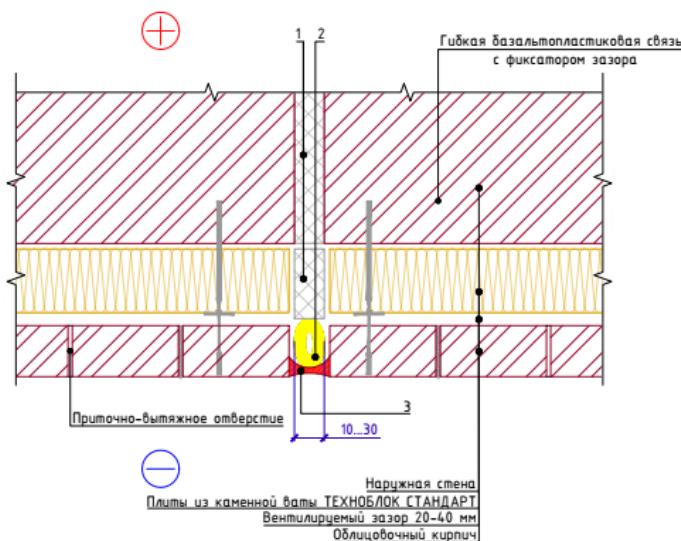
### Вариант 1 (У.2.7-2025.09)



EI 150

K0(15),  
K3(45)

### Вариант 2 (У.2.8-2025.09)

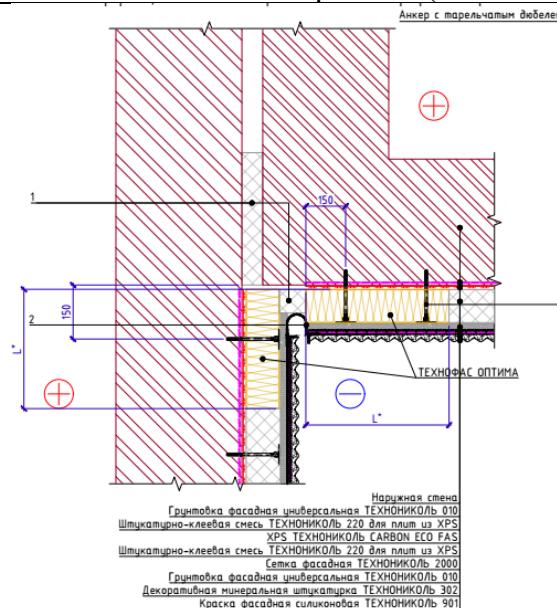


EI 150

K0(45)

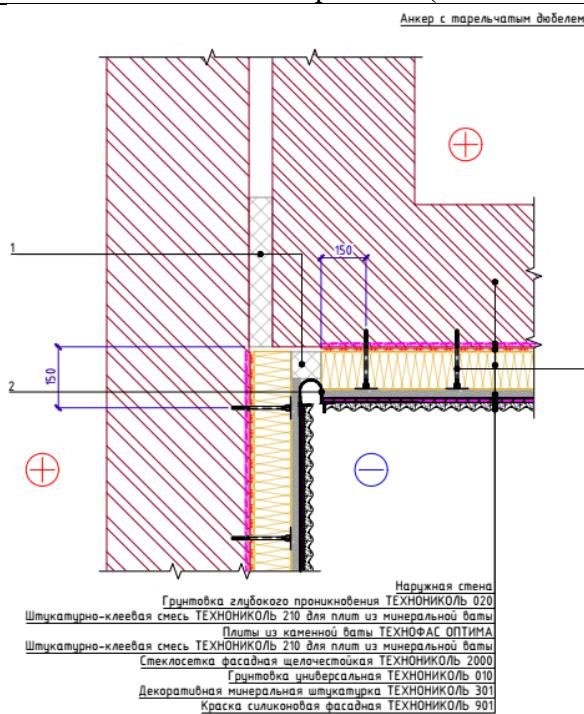
Наружная стена  
Плиты из каменной ваты ТЕХНОБЛОК СТАНДАРТ  
Вентилируемый зазор 20-40 мм  
Облицовочный кирпич

Вариант 1 (У.2.9-2025.09)



EI 150 K0(45)

Вариант 2 (У.2.10-2025.09)



EI 150 K0(45)

10. Для повышения пределов огнестойкости железобетонных стен с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола по потере несущей способности (R), потере целостности (E) и по потере теплоизолирующей способности (I) допускается использовать табл. 10.2.

11. Результаты расчета, полученные для железобетонных конструкций с устройством деформационных швов из экструдированного пенополистирола с учетом распространения результатов расчета, допускается распространить на вышеописанные конструктивные

исполнения деформационных швов для каменных конструкций взамен железобетонных конструкций.

### 11. Исполнители

Старший научный сотрудник  
кандидат технических наук



Н.С. Новиков

Старший научный сотрудник

О.В. Фомина

### 12. Дополнительная информация

Если специально не оговорено, настоящий Научно-технический отчет предназначен только для использования Заказчиком.

Страницы с изложением выводов по результатам проделанной работы не могут быть использованы отдельно без полного текста Научно-технического отчета.

Срок действия Научно-технического отчета 5 (пять) лет.

## **Список литературы**

1. Яковлев А. И. Расчет огнестойкости строительных конструкций / А. И. Яковлев. – Москва : Стройиздат, 1988. – 144 с.
2. Новиков, Н.С. Огнестойкость конструкций из фибробетона для автодорожных тоннелей и метрополитена: дис. .... канд. техн. наук: 05.26.03 / Новиков Николай Сергеевич. - М., 2019 - 167 с.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1 (Обязательное)**  
**Свидетельство о верификации**



**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ АРХИТЕКТУРЫ И СПРОЕКТИРОВАНИЯ НАУК**

*Научный совет «Цифровые технологии в строительстве и архитектуре»*

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

№ 08/ANSYS/2024

**о верификации программного средства, применяемого для решения задач теплопроводности и фильтрации, определения статического и динамического напряженно-деформированного состояния конструкций, зданий и сооружений**

*Программное средство: ANSYS Mechanical – универсальный программный комплекс для решения задач теплопроводности и фильтрации, определения статического, температурного и динамического напряженно-деформированного состояния пространственных конструкций, зданий и сооружений с учетом эффектов физической, геометрической, структурной и генетической нелинейностей на основе метода конечных элементов*

*Разработчик: ANSYS, Inc (США)*

*Заявитель: АО НИЦ Стадио, ООО "ТК Техстрой", НИУ МГСУ (Россия)*

*Автор верификационного отчета: АО НИЦ Стадио, НИУ МГСУ (Россия)*

*Дата включения в реестр верифицированных программных средств: 10 июля 2009 года*

*Срок действия свидетельства: до 11 октября 2034 года.*

Перечень верифицированных возможностей программного средства ANSYS Mechanical изложен в Приложении (на 4 стр.), являющимся неотъемлемой частью настоящего Свидетельства и в верификационном отчете (4 тома на 680 стр.)

Вице-президент

Академик-секретарь

Н.И. Карленко

Председатель Научного Совета



## ПРИЛОЖЕНИЕ К СВИДЕТЕЛЬСТВУ О ВЕРИФИКАЦИИ ПС № 08/ANSYS/2024

### Возможности комплекса, подтвержденные верификацией

**ANSYS Mechanical** – универсальный программный комплекс для решения задач стационарных и нестационарных теплопроводности и фильтрация, определения статического, температурного и динамического напряженно-деформированного состояния и оптимизации пространственных комбинированных конструкций, зданий и сооружений с учетом эффектов физической, геометрической, структурной (контакты с трением) и генетической (история возведения и нагружения) нелинейностей на основе метода конечных элементов.

#### *Виды моделируемых строительных конструкций, зданий и сооружений:*

Произвольные пространственные комбинированные (массивно-оболочечно-плитно-стержневые из различных материалов-сред), включая:

- наземные и подземные, высотные и большепролетные, монолитные и панельные, вантовые;
- металлические (стальные, чугунные, сплавы), бетонные, железобетонные, сталежелезобетонные, каменные и кирпичные, деревянные, резиновые и резинометаллические, грунтовые;
- сложные конструктивные узлы.

#### *Границные (краевые) условия*

*Задачи теплопроводности и фильтрации (и другие задачи теории поля)*

Заданные температуры (фильтрационное давление) в заданные моменты времени;

*Задачи расчета НДС*

Заданные перемещения и кинематические связи групп узлов.

#### *Нагрузки и воздействия*

- заданные тепловые и фильтрационные потоки;
- статические объемные, поверхностные, линейные и узловые силы и моменты, включая температурные, весовые, снеговые, средние ветровые и др.;
- пульсационная (динамическая) составляющая ветровой нагрузки;
- сейсмические, заданные трехкомпонентными спектрами ответа и акселерограммами;
- силовые динамические, заданные временной реализацией;
- вибрационные, заданные амплитудами и частотами воздействия;
- случайные динамические, заданные спектрально (PSD).

#### *Типы решаемых задач (виды расчетов)*

- стационарные теплопроводность, фильтрация и т.п.;
- нестационарные задачи теплопроводности, фильтрации и т.п.;
- линейные статические;
- собственные частоты и формы колебаний в энергетически значимом частотном диапазоне (частичная проблема собственных значений);
- линейная устойчивость (критические нагрузки и формы потери устойчивости, частичная проблема собственных значений);
- гармонический анализ (установившиеся колебания-вибрации);
- линейно-спектральная теория сейсмостойкости (расчет на спектры ответа);
- спектральный динамический анализ (с разложением по собственным формам колебаний);

- переходные динамические процессы (прямое интегрирование уравнений движения);
- нелинейные статические и динамические (в том числе, “монтаж” и расчет на прогрессирующее обрушение);
- спектральный анализ случайных колебаний;
- оптимизация геометрической формы и структуры.

**Нелинейные факторы:**

- геометрические нелинейности;
- физическая нелинейность (пластичность, ползучесть, вязкопластичность, гиперупругость);
- структурная нелинейность (контакты с трением);
- генетическая нелинейность (история возведения-нагружения).

**Геометрические нелинейности**

- большие деформации;
- большие перемещения;
- упрочнение при нагружении (stress-stiffening).

**Модели поведения материалов (включая физическую нелинейность):**

- упругие изотропные, трансверсально-изотропные, ортотропные;
- пластичность металлов (теория течения с различными упрочнениями);
- ползучесть металлов;
- вязкопластичность металлов;
- образование трещин в бетоне и железобетоне;
- нелинейная модель кирпичной кладки;
- деревянные клееные;
- гиперупругие (несжимаемые) резиноподобные;
- нелинейная модель грунта (Друкера-Прагера).

**Методы решения (расчета)**

Метод конечных элементов в перемещениях (для задач определения НДС) с представительной библиотекой КЭ, включающий эффективные “решатели” большеразмерных статических, нестационарных и динамических линейных и нелинейных задач:

- 1) результирующих систем линейных алгебраических уравнений равновесия и теории поля (прямой с учетом разреженности матриц и итерационный, реализующий метод сопряженных градиентов с предобуславливанием);
- 2) частичной проблемы собственных значений (метод итераций подпространства и варианты блочного метода Ланцоша);
- 3) неявные схемы интегрирования по времени редуцированных и исходных уравнений динамики (Ньюмарка, ННТ);
- 4) схема интегрирования по времени уравнений нестационарной теории поля (Хьюджеса);
- 5) Ньютона-Рафсона с автоматическим выбором шага и уравновешивающими итерациями для физически и геометрически нелинейных задач;
- 6) “arc-length” (окаймляющих дуг) для задач с большой геометрической нелинейностью, включая учет закритического поведения;
- 7) методы штрафных функций, множителей Лагранжа и их комбинации-расширения для решения контактных задач;
- 8) прямые методы оптимизации «нулевого» и «первого» порядка;
- 9) статус «жизнь» и «смерть» КЭ для решения, в том числе, генетически нелинейных задач;

10) суперэлементные схемы произвольной иерархии (статика, переходные процессы, линейная устойчивость, модальный синтез).

#### **Набор верифицированных конечных элементов**

Из обширной библиотеки комплекса верифицированы более 50-и типов (подробнее см. в матрицах верификации – составной части верификационного отчета), включая одно-, двух- и трехмерные КЭ, а также их допустимые комбинации в одной КЭ-модели:

- 1) "элементарные" пружины, массы, демпферы и их комбинации;
- 2) стержневые (в т.ч., вантовые), работающие на растяжение и/или сжатие;
- 3) балочно-стержневые с различными гипотезами, учитывающие растяжение-сжатие, изгиб, сдвиг, кручение, включая возможную депланацию сечения и эксцентриситет;
- 4) оболочечные с различными гипотезами (тонко-, средне- и толстостенные пластины и оболочки);
- 5) плоско-напряженного, плоско-деформированного и осесимметричного состояния теории упругости;
- 6) объемного НДС теории упругости;
- 7) контактные (узловые, линейные и поверхностные) с открытием-закрытием и трением;
- 8) 2-х и 3-х мерные для задач теплопроводности и фильтрации;
- 9) матричные (в т.ч., суперэлементы).

#### **Ограничения на размерность**

"Подъемные" размерности КЭ-модели (узлов, элементов) и результирующих вычислительных задач (степеней свободы, собственных значений, шагов по времени и т.п.) ограничены доступной оперативной и дисковой памятью ЭВМ, разрядностью процессора и операционной системы, располагаемым временем счета (последнее ограничение может быть снято предоставляемыми возможностями рестартов).

На использовавшейся ПЭВМ (конфигурация CPU Intel Core i9-14900K, 128 GB DDR5 RAM, SSD, WIN 10) зафиксированы следующие показатели для задач «большой» размерности:

11 927 220 степеней свободы (уравнений) для статических задач – 79с.;

9 018 402 степеней свободы для частичной проблемы собственных значений (определен 10 низших собственных частот/форм) – 216с.

Возможно решение задач и существенно большей размерности (десятки миллионов неизвестных, тысячи собственных частот/форм, особенно при использовании доступной многопроцессорной и кластерной технологии.

#### **Результаты расчетов**

##### **Задачи теплопроводности и фильтрации**

- узловые температуры (фильтрационное давление) в заданные моменты времени;
- тепловые потоки и градиенты в КЭ в заданные моменты времени

##### **Задачи расчета НДС**

- значимые компоненты узловых перемещений (статика), скоростей и ускорений (динамика);
  - реакции в граничных узлах (опорах) и давление на винклеровское основание;
  - внутренние усилия (силы и моменты) в точках интегрирования КЭ и узлах;
  - компоненты деформаций, главные деформации и эквивалентные деформации (Мизеса, Треска) в точках интегрирования КЭ и узлах, с разделением на упругие, температурные, пластические и ползучие составляющие;
  - компоненты напряжений, главные напряжения и эквивалентные напряжения (Мизеса, Треска) в точках интегрирования КЭ и узлах;

- собственные частоты и формы колебаний (требуемое количество или в заданном частотном диапазоне);
- критические нагрузки и формы потери устойчивости;
- амплитуды перемещений, усилий и напряжений для заданных частот виборовоздействия (АЧХ);
- «статус» контакта, длина/площадь, нагрузки на контактных поверхностях, линиях и узлах;
- коэффициенты интенсивности напряжений и J-интегралы (механика разрушения);
- оптимизированные параметры конструкции (форма, сечения и др.);
- картины образования трещин в бетонных элементах;
- невязки по силам и перемещениям (нелинейные задачи).

**Точность численных результатов**

Зависит от класса (типа) задач, “качества” построенной КЭ-модели (сетки) и, в особенности для нелинейных задач, от выбранного метода (схемы) решения. Подробно – в матрицах верификации для решенных задач.

Для линейных задач при соблюдении известных и документированных требований к моделированию точность определения основных параметров поля, статического и динамического НДС превышает 1%. Для задач с «глубокой» нелинейностью и(или) при сложных моделях физической нелинейности расхождение с «эталонными» результатами может достигать 15-20%.

**Возможность включения собственных конечных элементов, моделей поведения материалов, решателей и т.п.**

Реализована с помощью прикомпилируемых пользовательских подпрограмм.

**Сведения о базах данных (библиотеках констант), используемых в ПК ANSYS**

Встроенных в текст программы физических констант нет. Все физико-механические, геометрические, жесткостные, инерционные и диссипативные характеристики задаются явно в исходных данных.

**Официальные эксперты**

Зав. кафедрой строительной механики  
и вычислительных технологий  
Пермского государственного  
технического университета,  
Член-корреспондент РААСН, д.т.н.,  
профессор

Профессор кафедры “Строительная механика  
и теория сооружений” Донского  
государственного технического университета,  
Советник РААСН, д.т.н., профессор

Председатель Научного Совета РААСН  
“Цифровые технологии в строительстве и  
архитектуре”,  
Академик РААСН, д.т.н., профессор

  
Кашеварова Г.Г.

  
Гайджуров П.П.

  
Сидоров В.Н.

Москва, 2024

4

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2 (Обязательное)**  
**Твердотельные модели и расчетные модели с конечно-элементной**  
**сеткой**

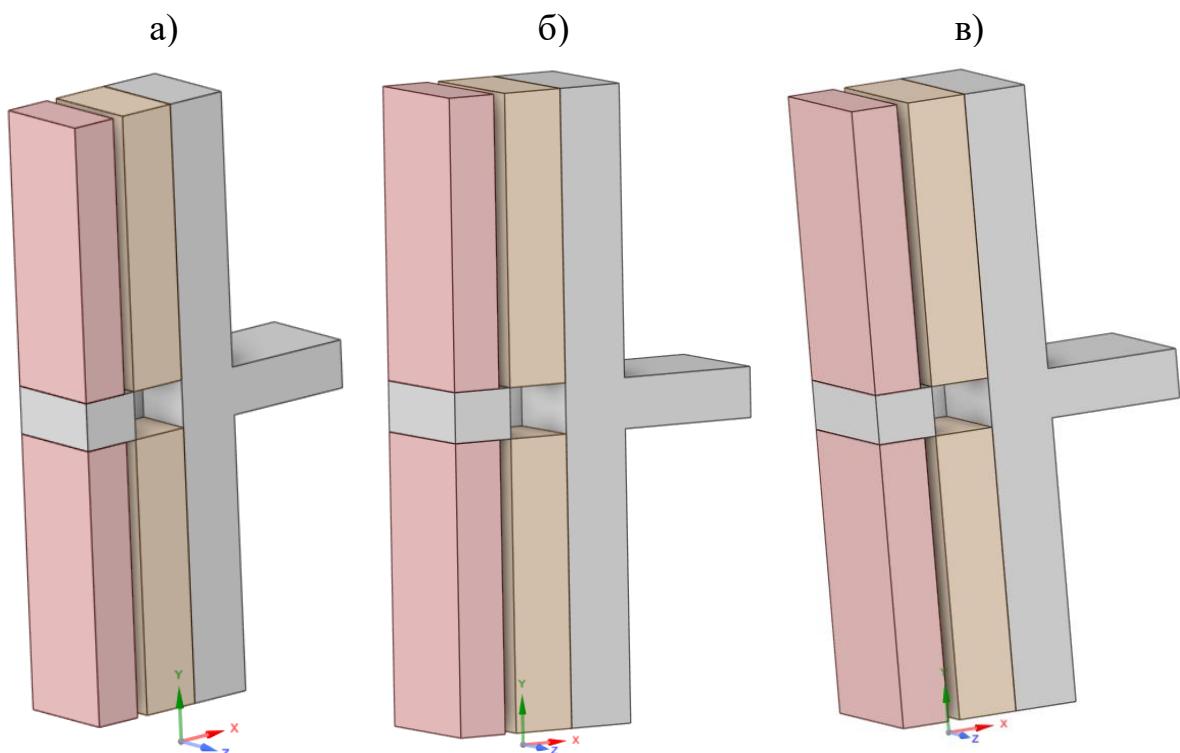


Рис. 2.1. Расчетная модель для определения пределов огнестойкости железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

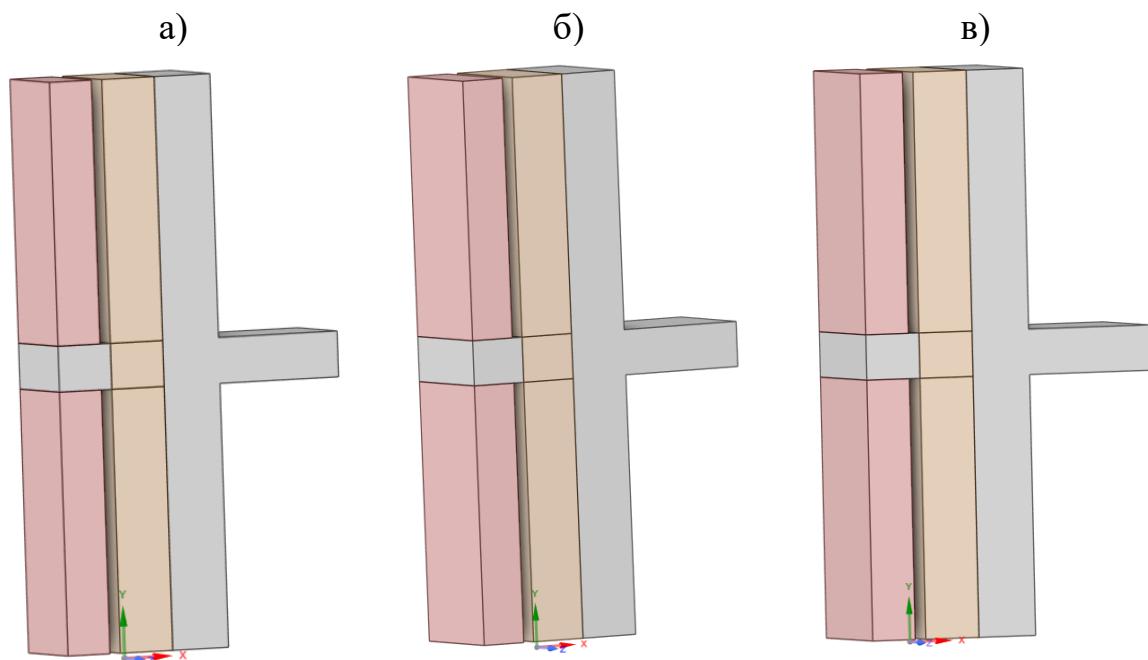


Рис. 2.2. Расчетная модель для определения классов пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

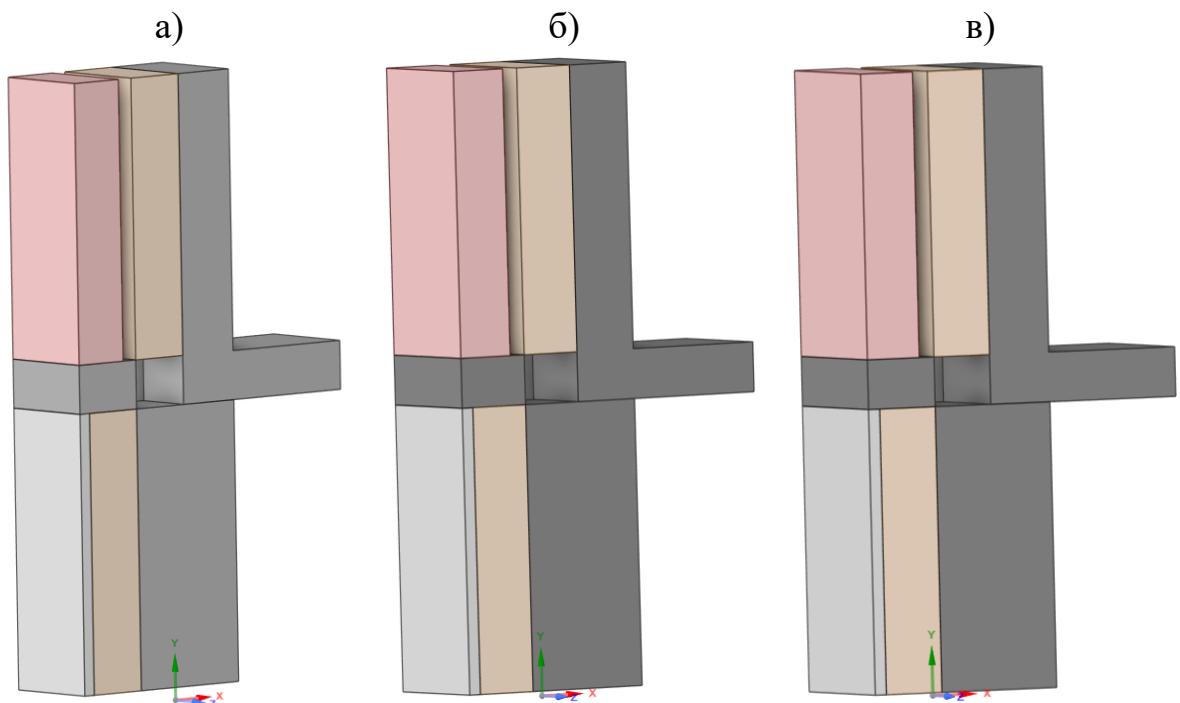


Рис. 2.3. Расчетная модель для определения пределов огнестойкости железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

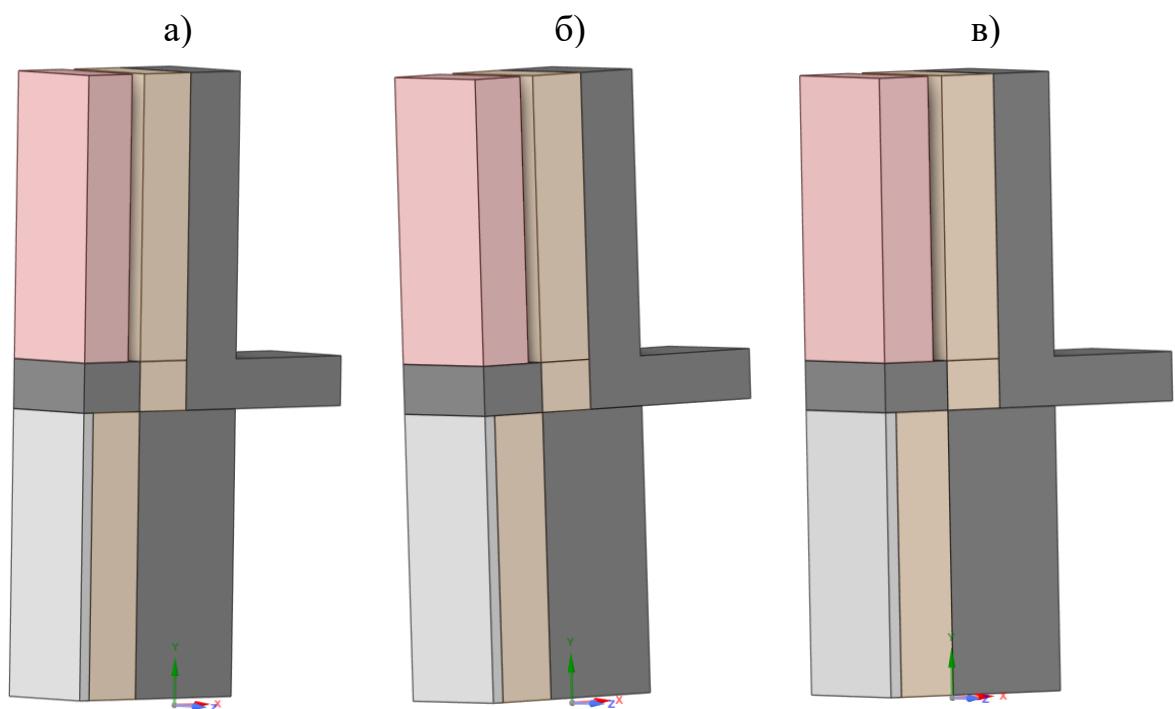


Рис. 2.4. Расчетная модель для определения классов пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

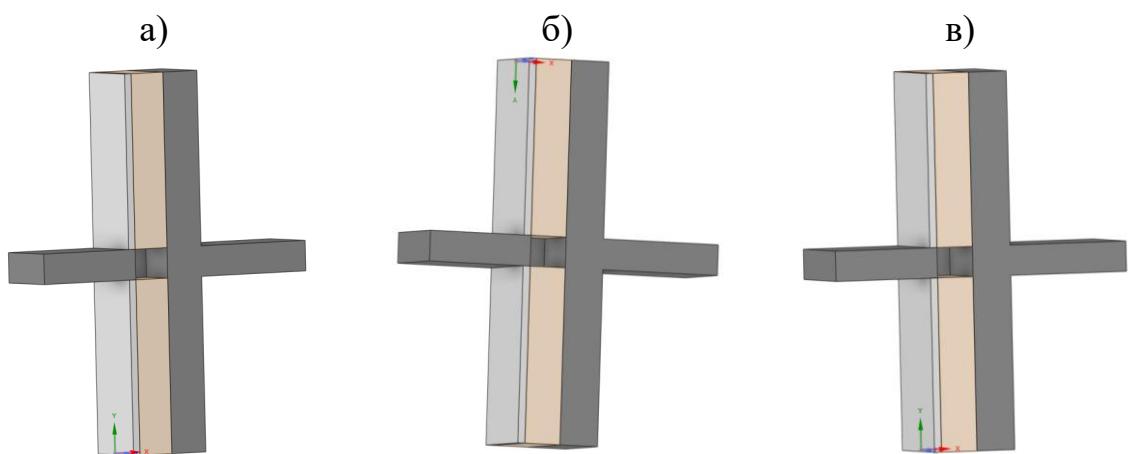


Рис. 2.5. Расчетная модель для определения пределов огнестойкости железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

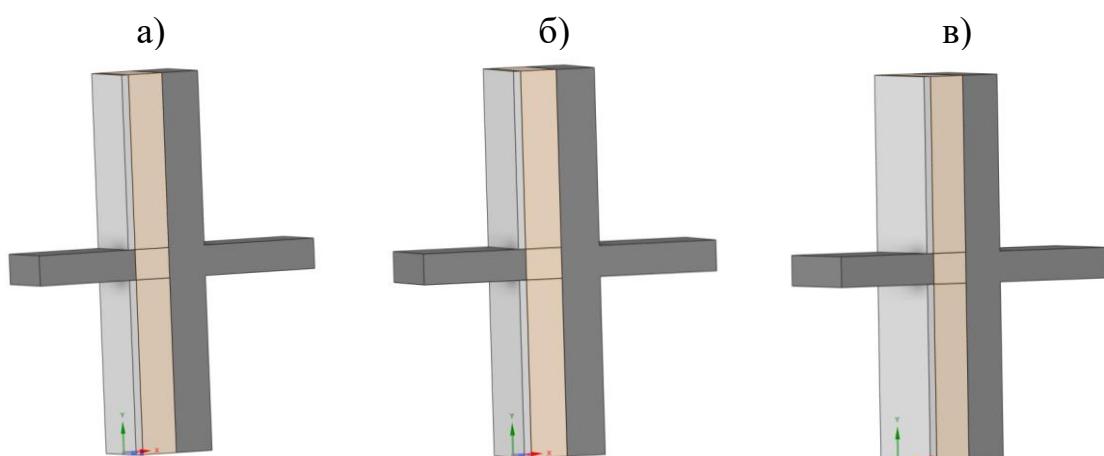


Рис. 2.6. Расчетная модель для определения классов пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

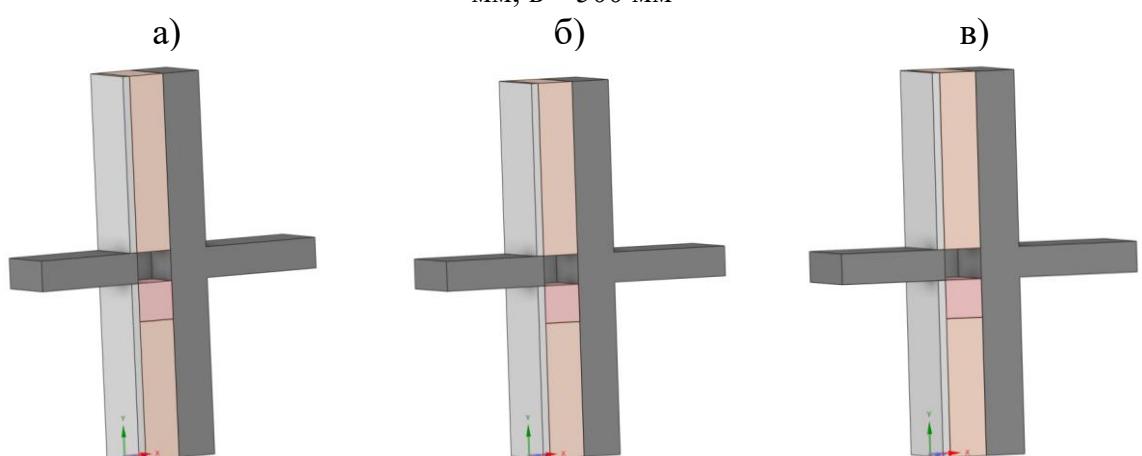


Рис. 2.7. Расчетная модель для определения пределов огнестойкости железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

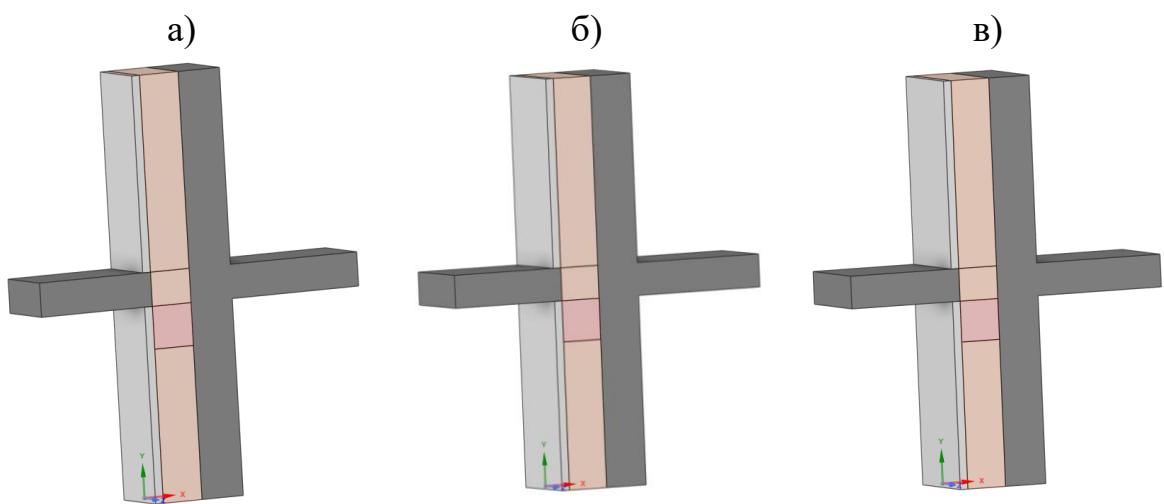


Рис. 2.8. Расчетная модель для определения классов пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

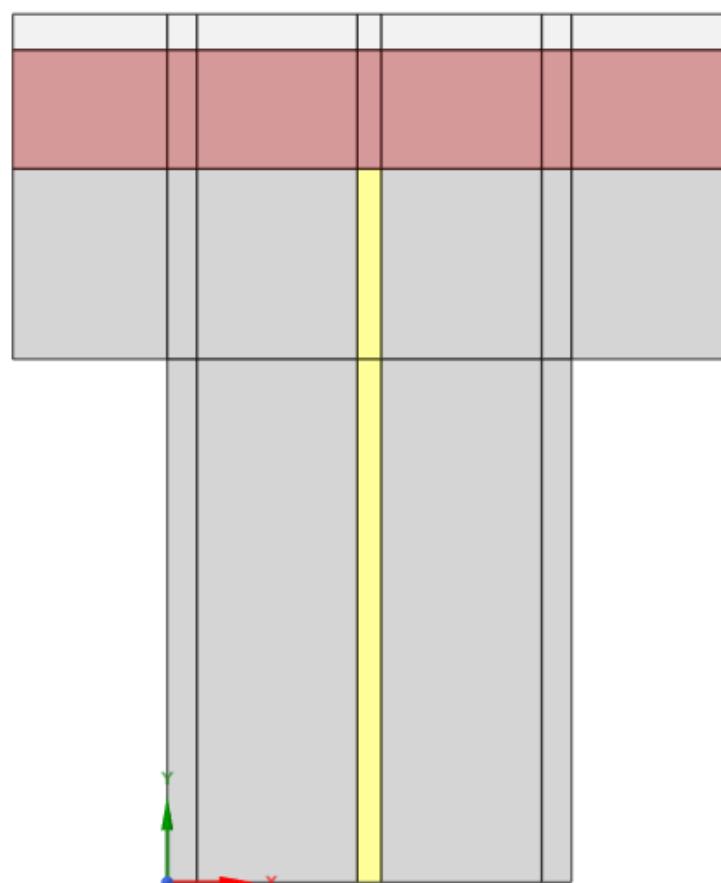


Рис. 2.9. Расчетная модель для определения предела огнестойкости и класса пожарной опасности деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 2 (У.2.2-2025.09)

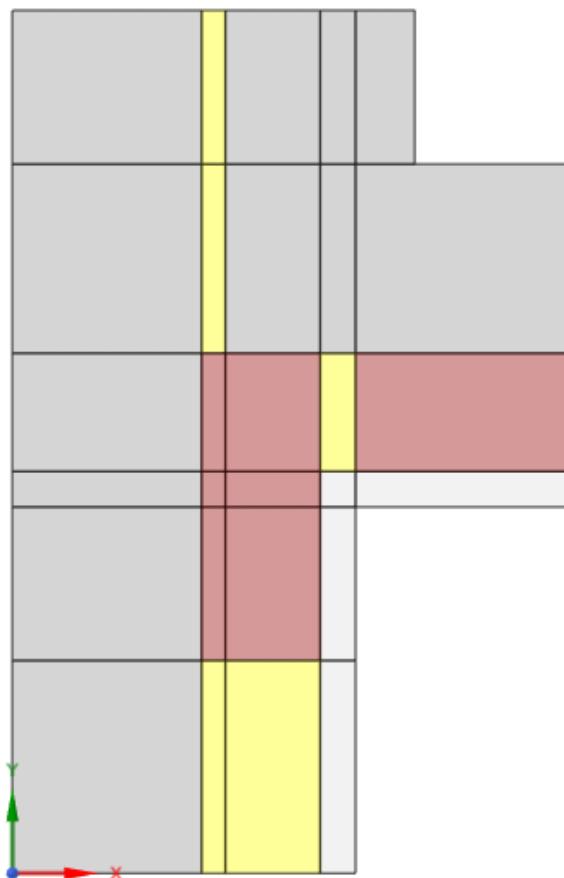


Рис. 2.10. Расчетная модель для определения предела огнестойкости и класса пожарной опасности углового деформационного шва с применением профиля. Вариант 1 (У.2.9-2025.09)

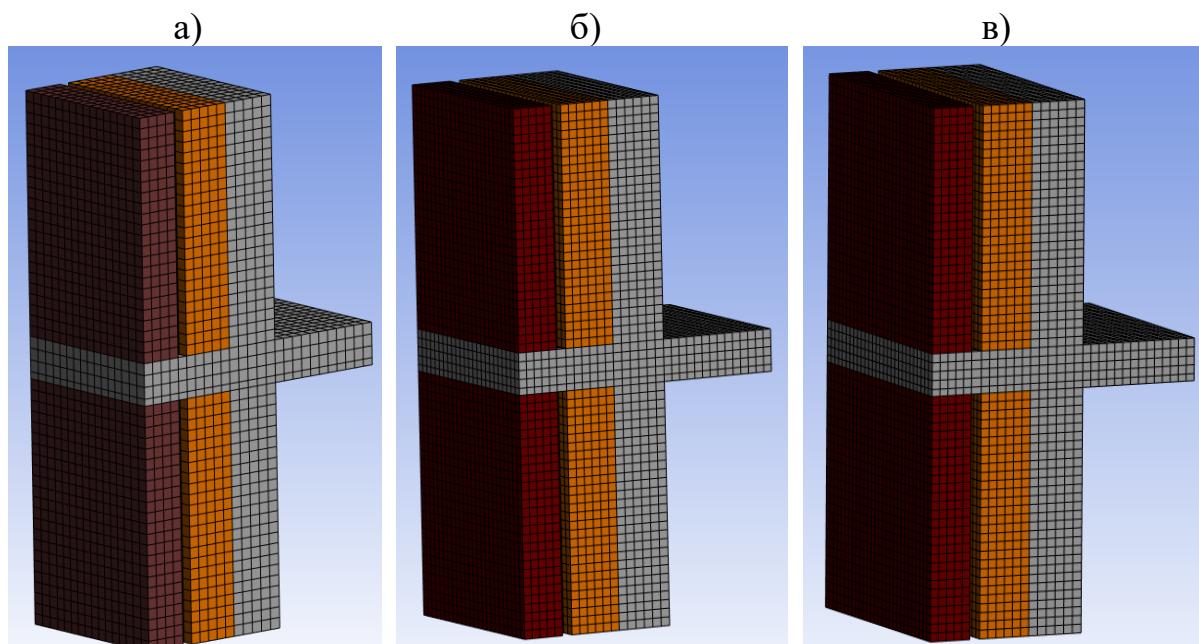


Рис. 2.11. Конечно-элементная сетка для определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

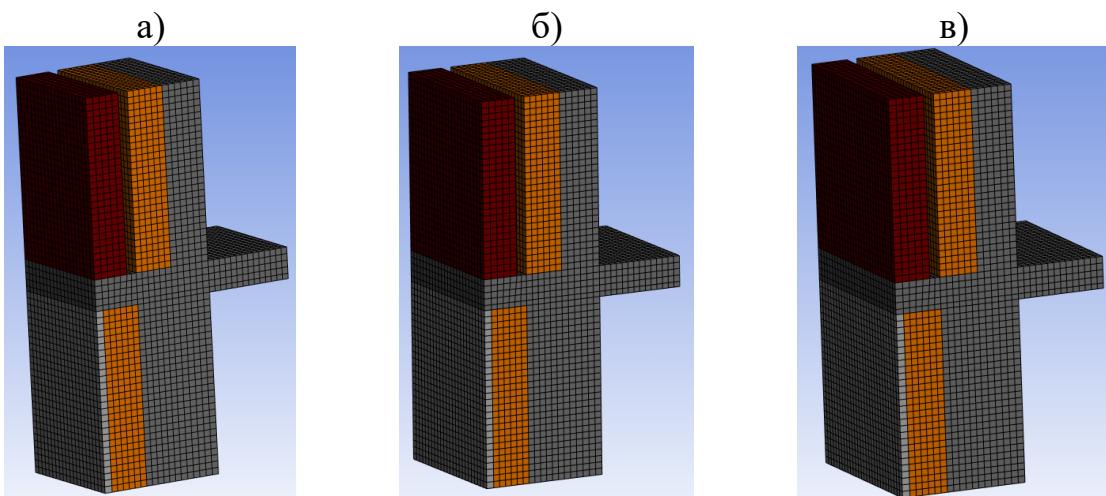


Рис. 2.12. Конечно-элементная сетка для определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

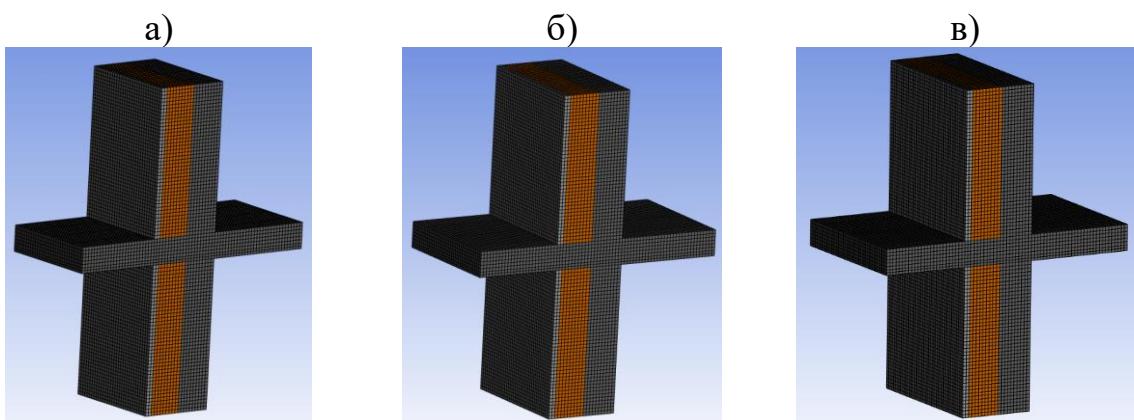


Рис. 2.13. Конечно-элементная сетка для определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

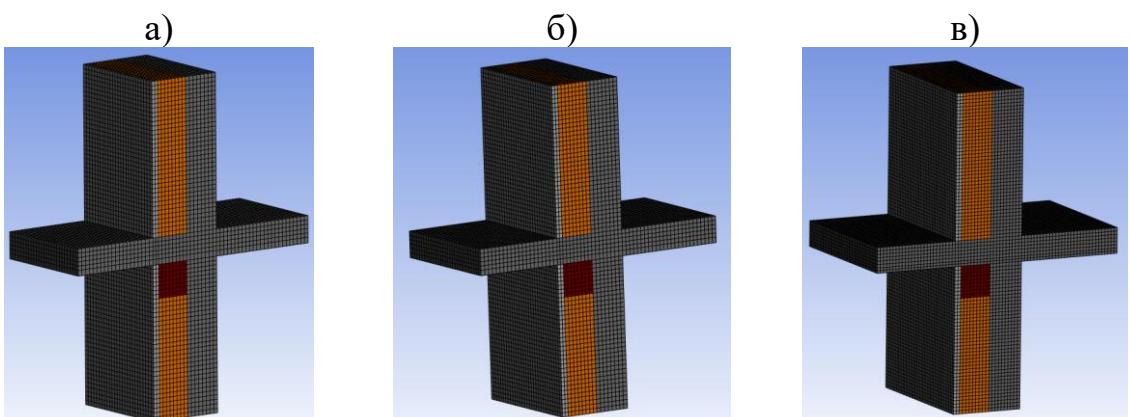


Рис. 2.14. Конечно-элементная сетка для определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша: а – 300 мм; б – 400 мм; в – 500 мм

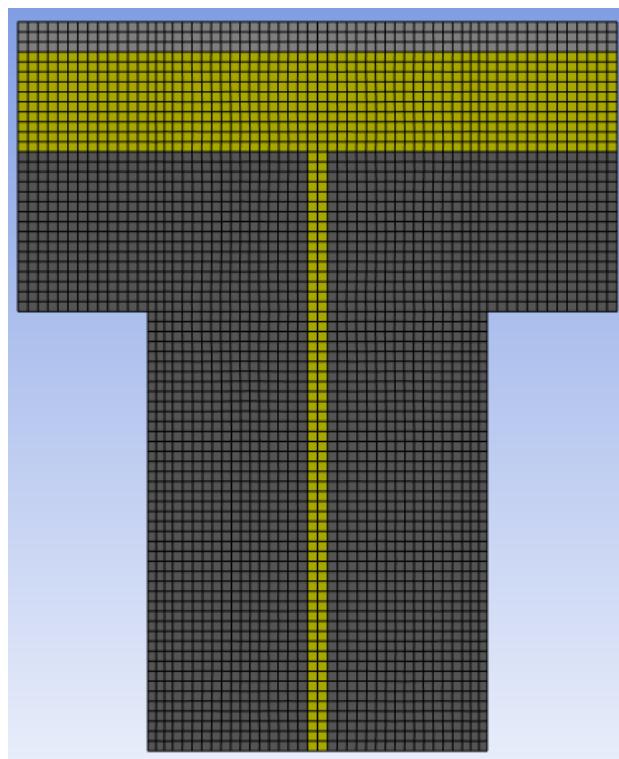


Рис. 2.15. Конечно-элементная сетка для определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности деформационного шва с применением ПВХ профиля.  
Вариант 1 (У.2.1-2025.09)

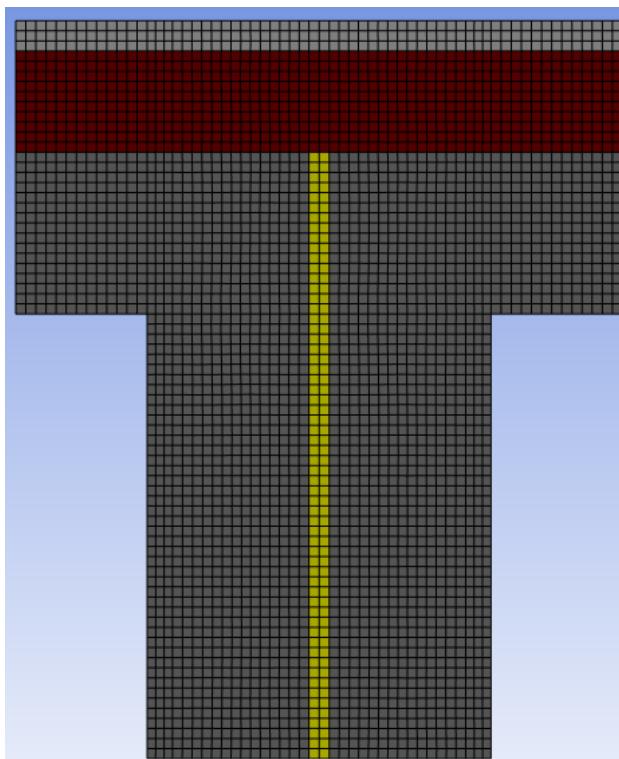


Рис. 2.16. Конечно-элементная сетка для определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности деформационного шва с применением ПВХ профиля.  
Вариант 2 (У.2.2-2025.09).

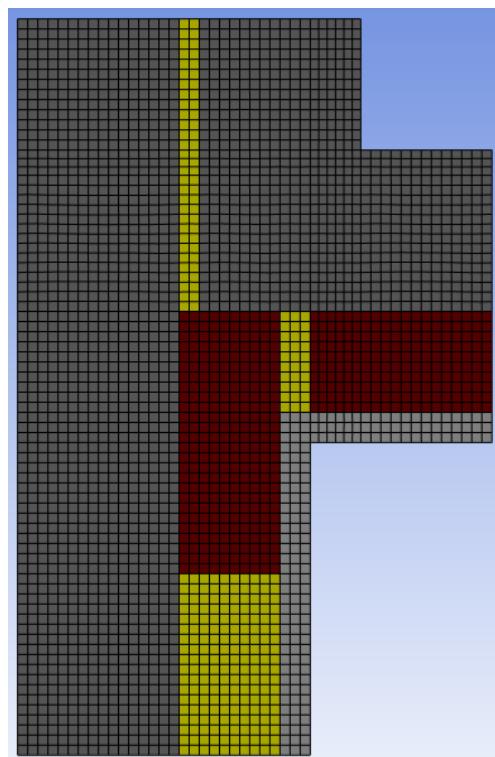


Рис. 2.17. Конечно-элементная сетка для определения пределов огнестойкости и классов пожарной опасности углового деформационного шва с применением профиля.  
Вариант 1 (У.2.9-2025.09).

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3 (Обязательное)**  
**Результаты расчета пределов огнестойкости железобетонных**  
**конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного**  
**пенополистирола**

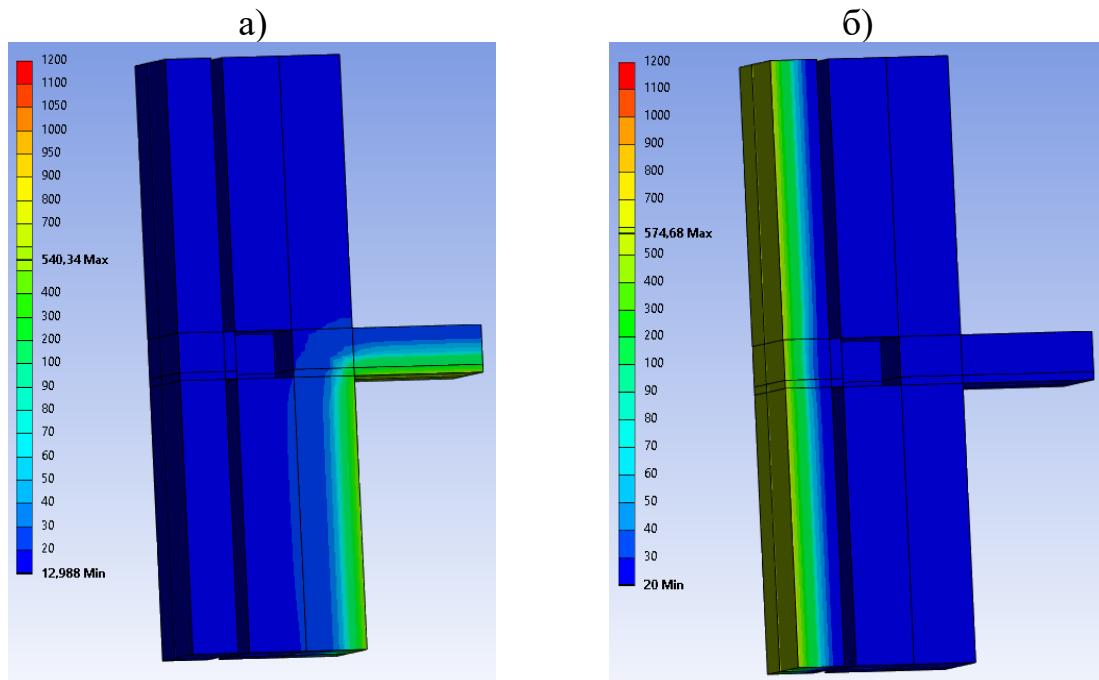


Рис. 3.1. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

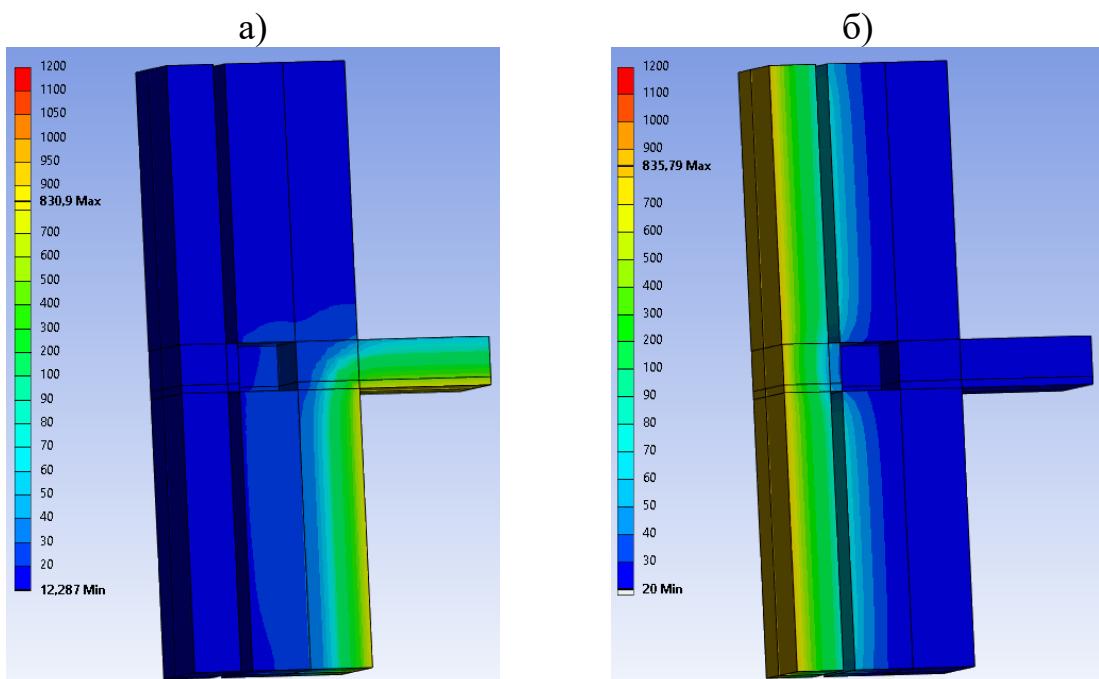


Рис. 3.2. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

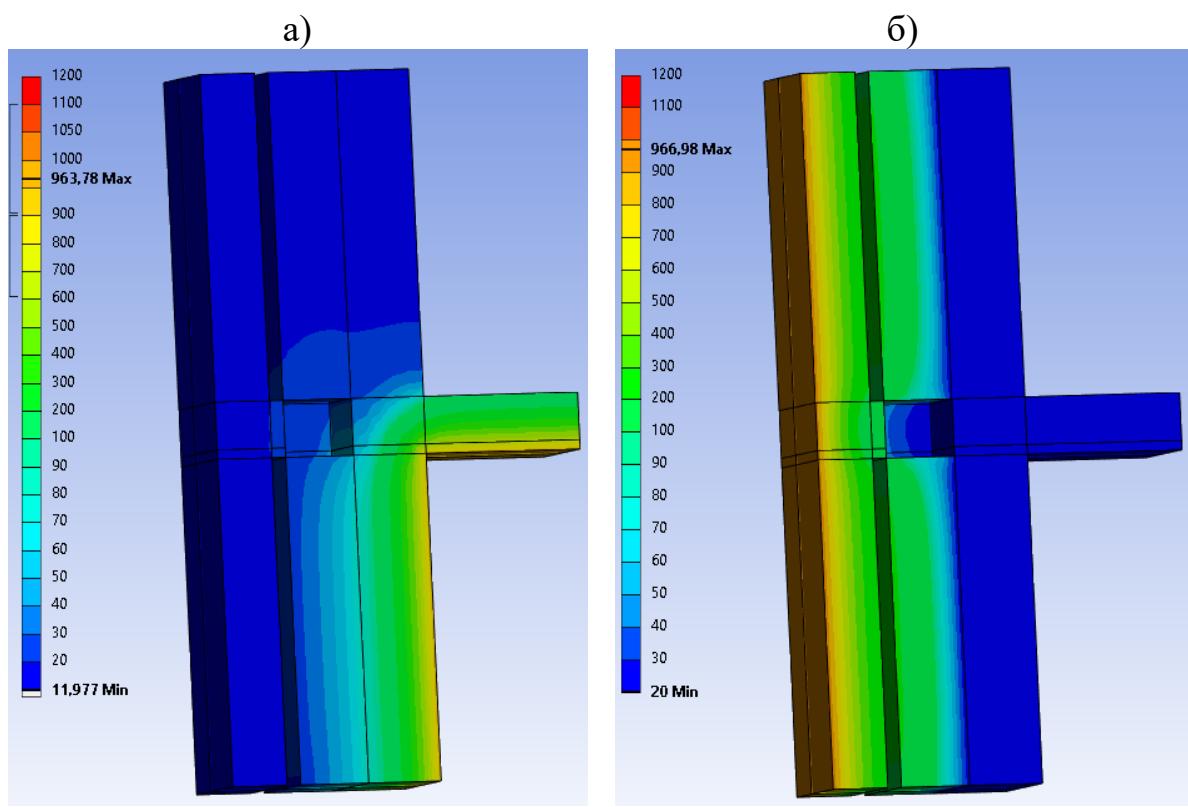


Рис. 3.3. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

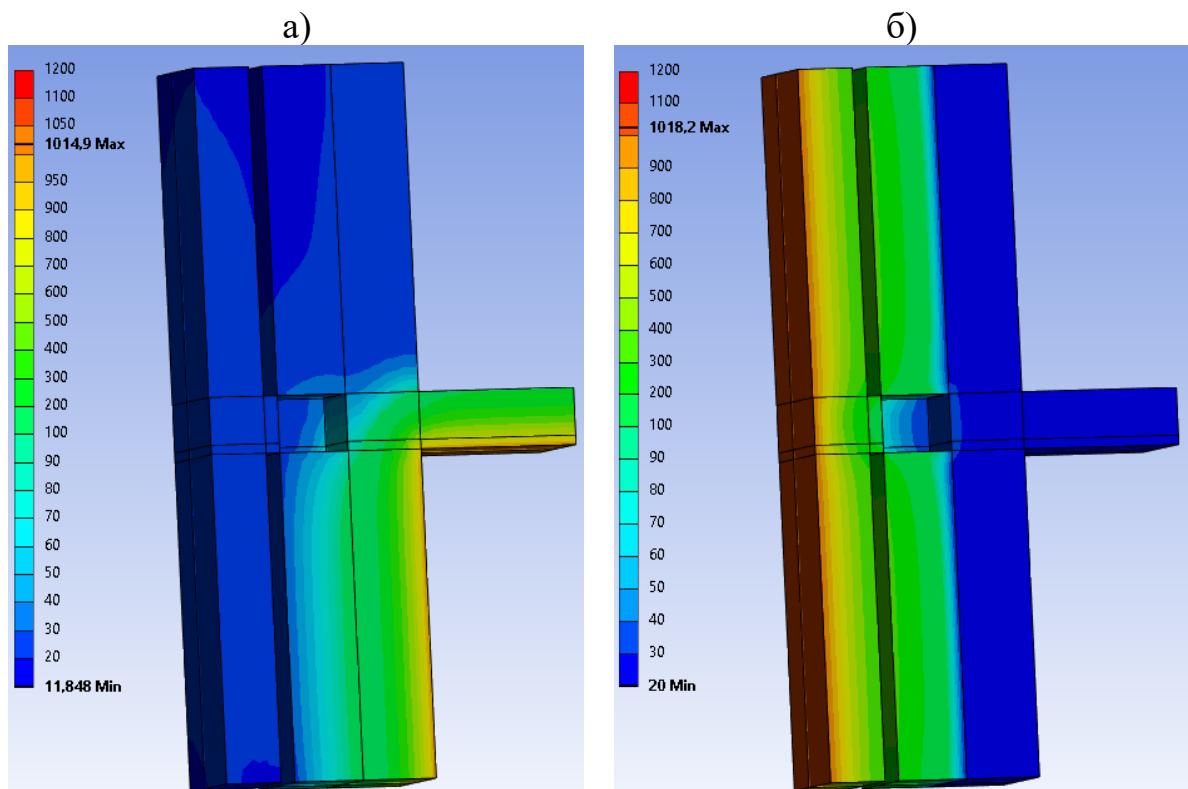


Рис. 3.4. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

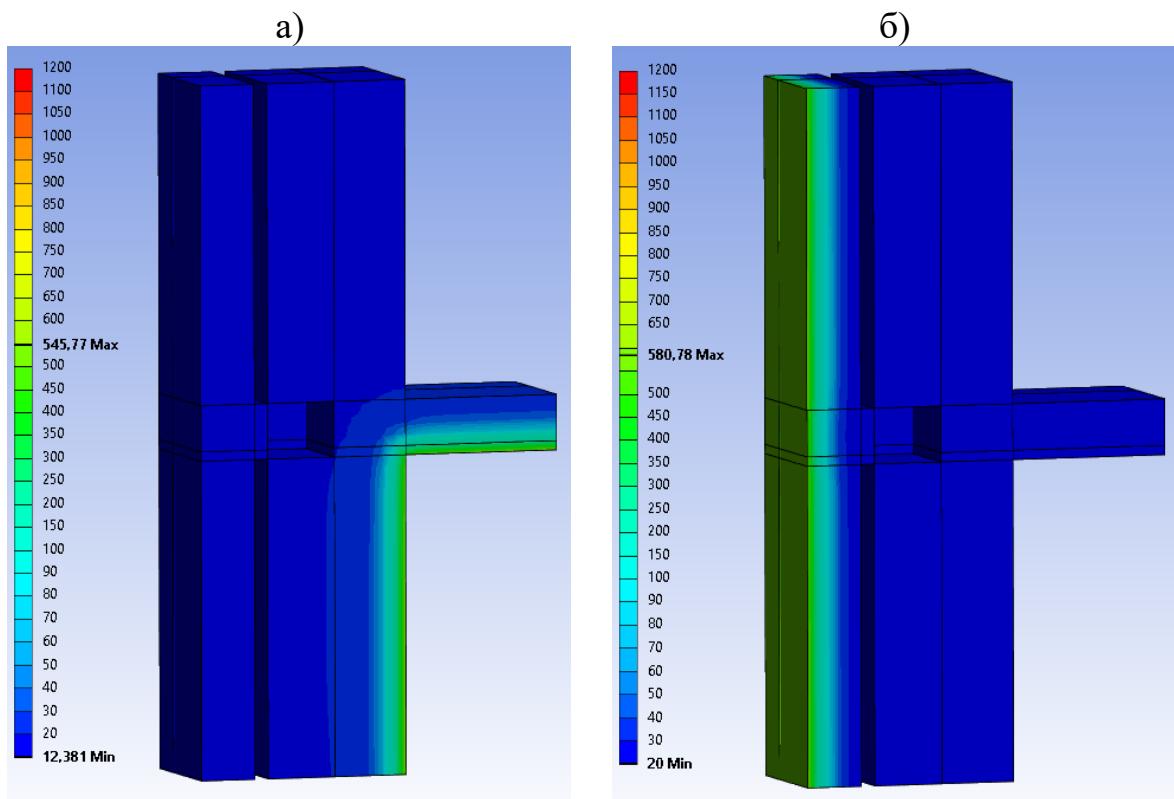


Рис. 3.5. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

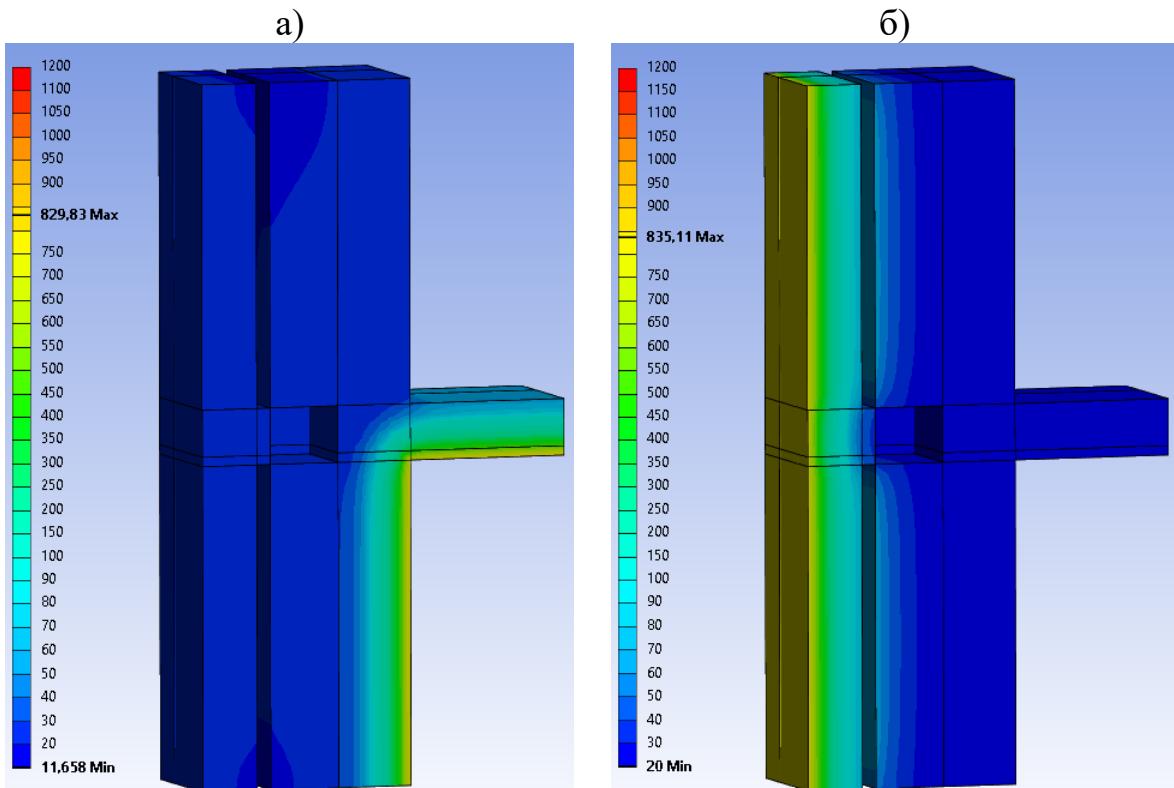


Рис. 3.6. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

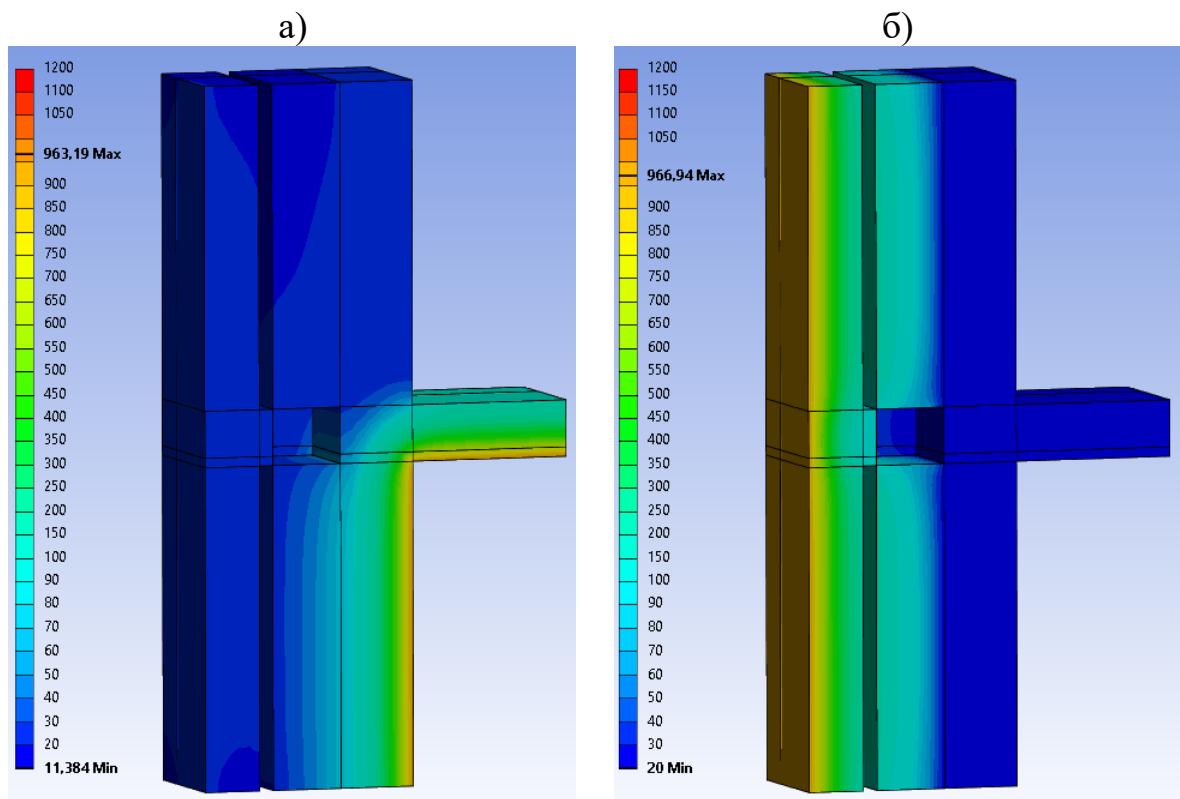


Рис. 3.7. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

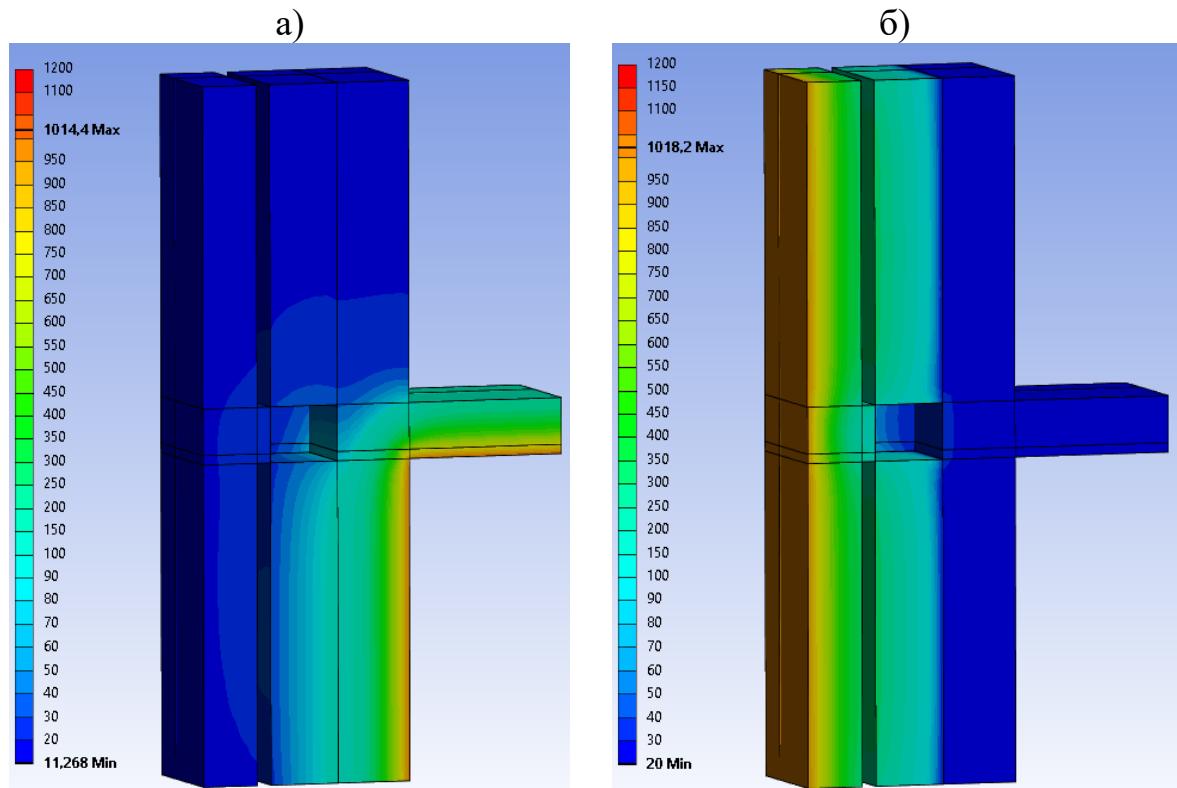


Рис. 3.8. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

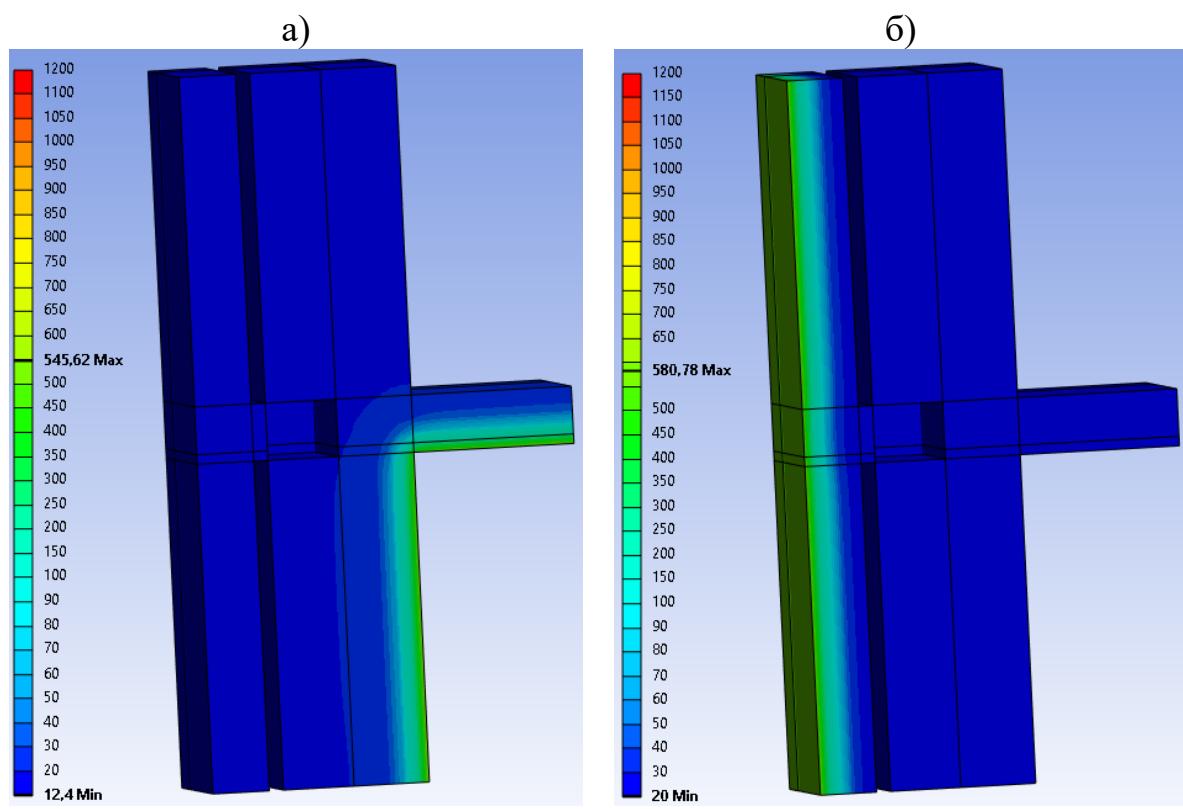


Рис. 3.9. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

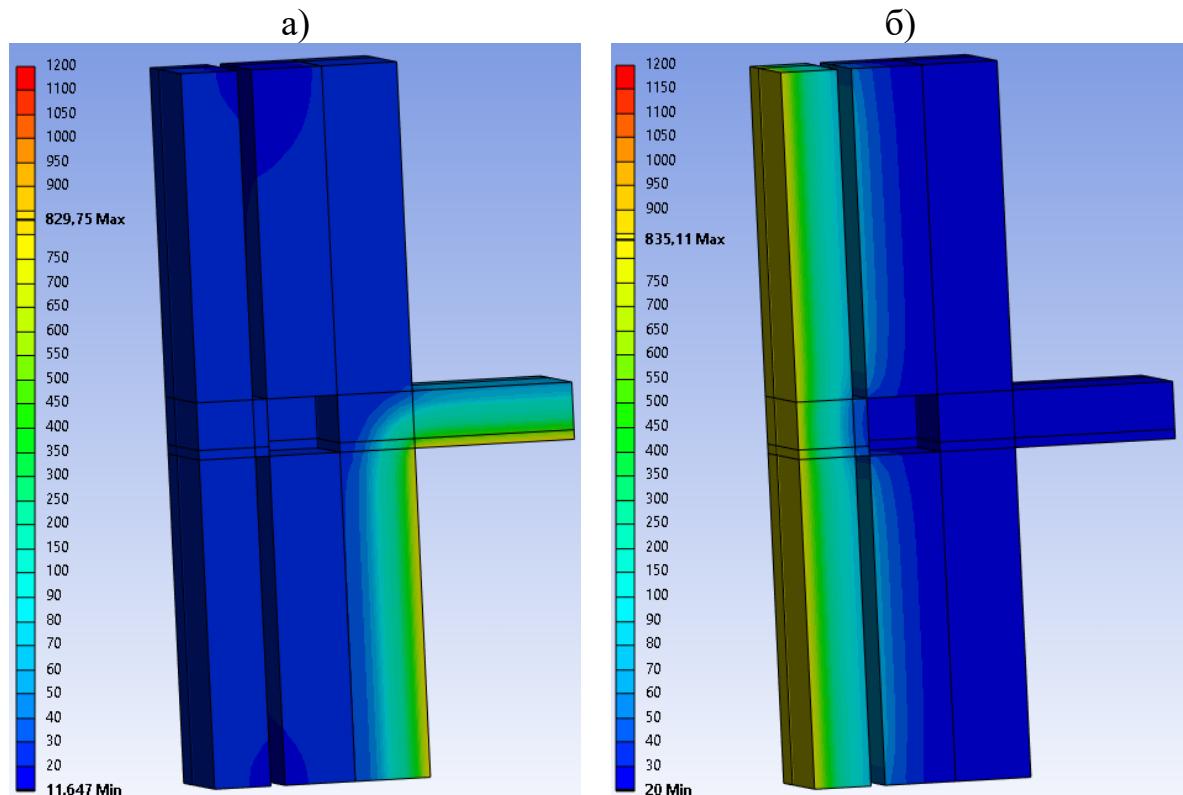


Рис. 3.10. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

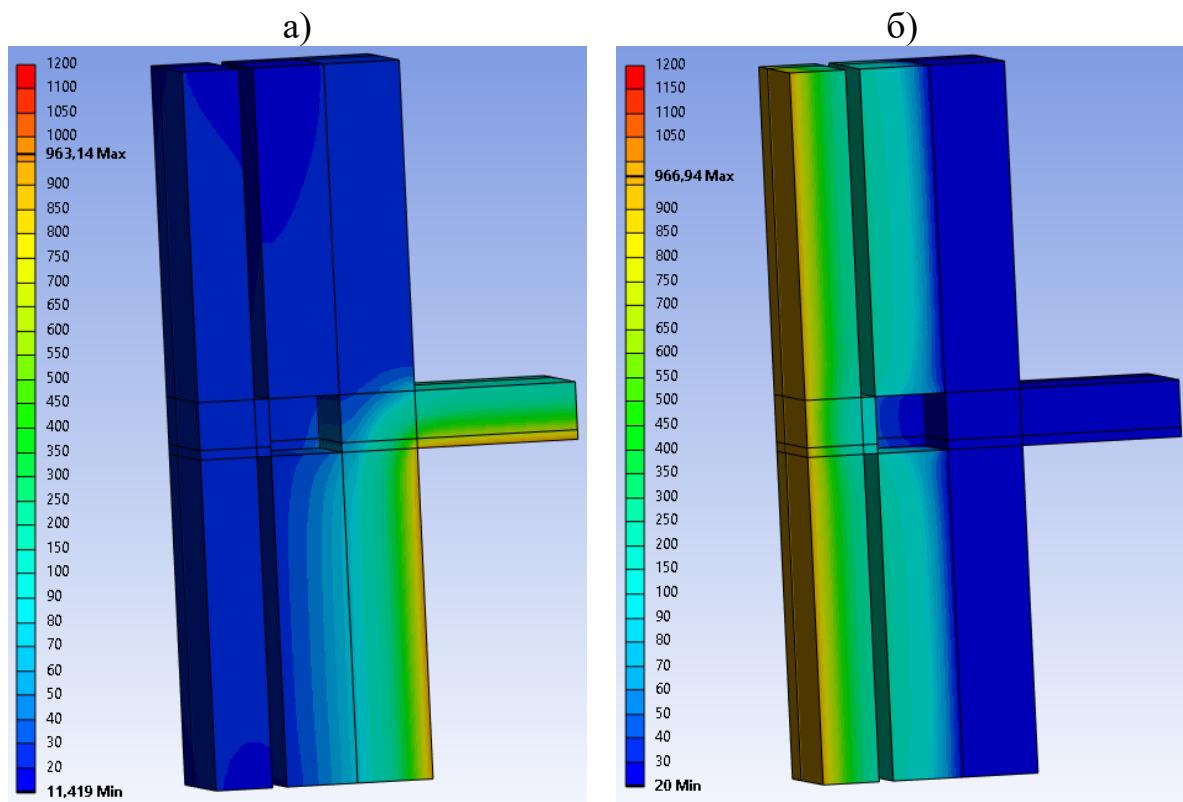


Рис. 3.11. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

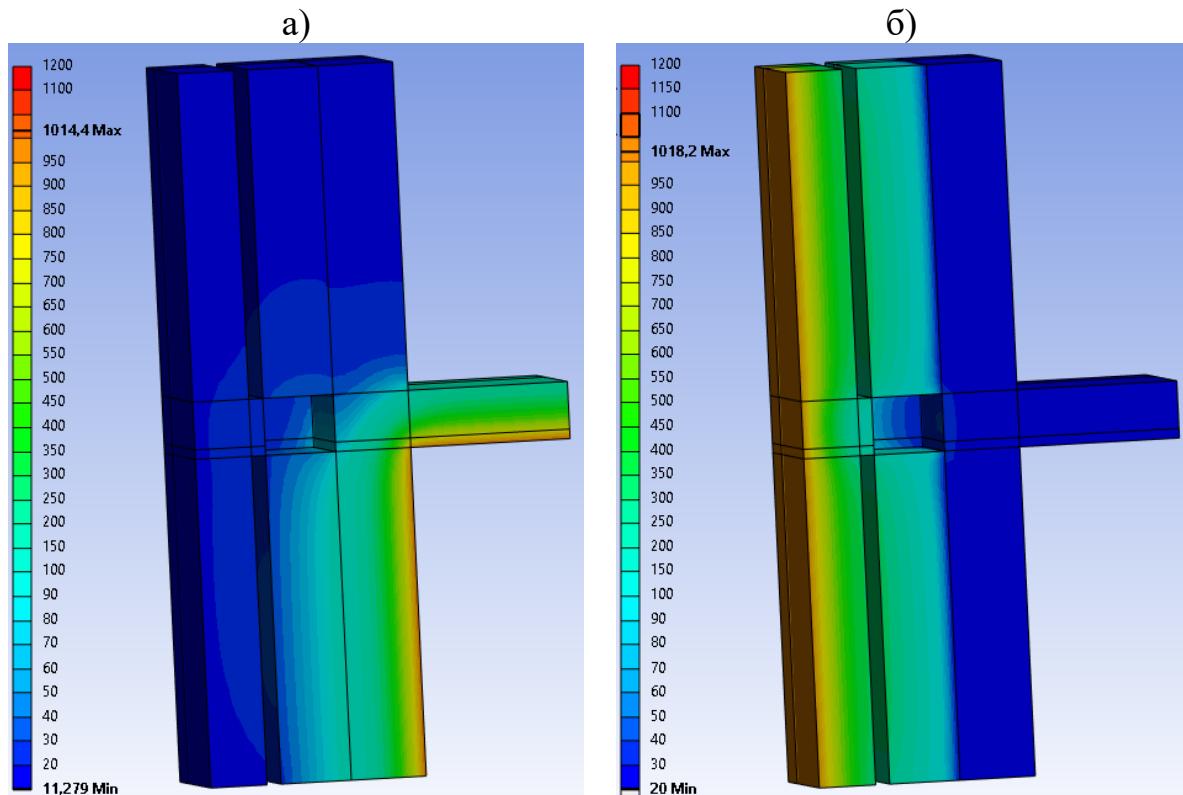


Рис. 3.12. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

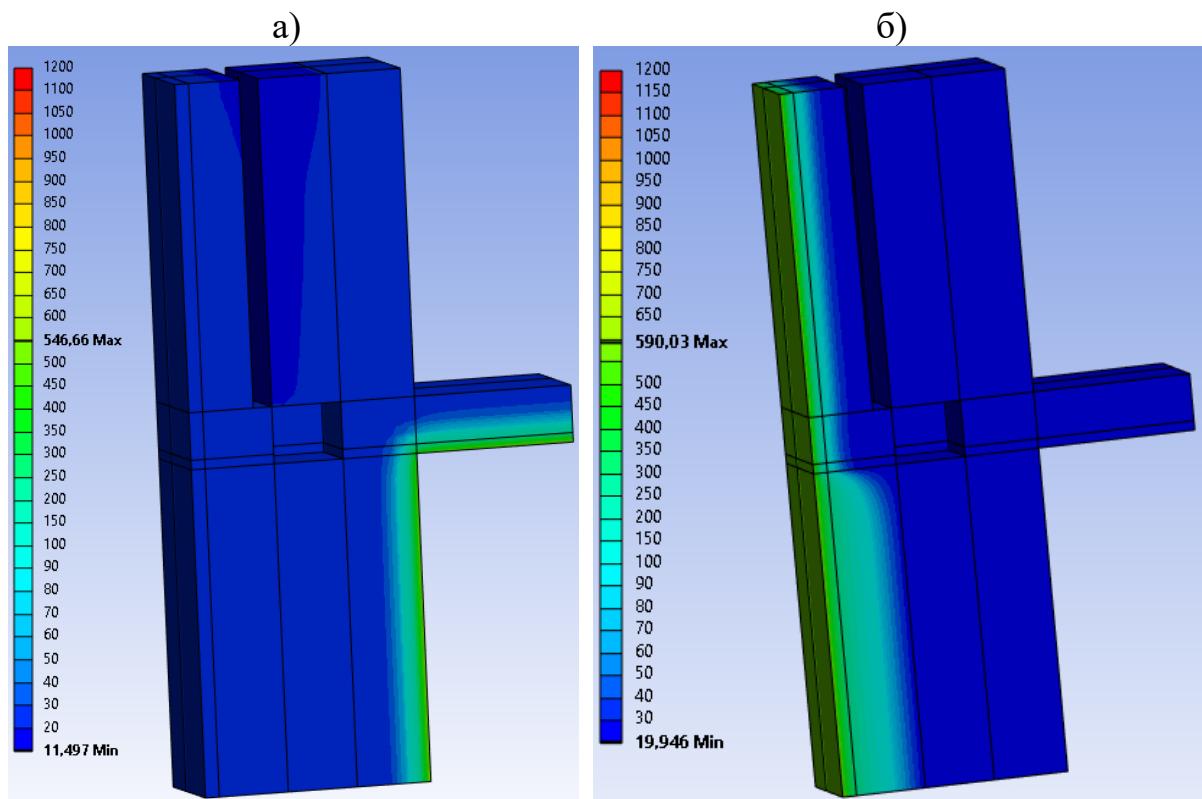


Рис. 3.13. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

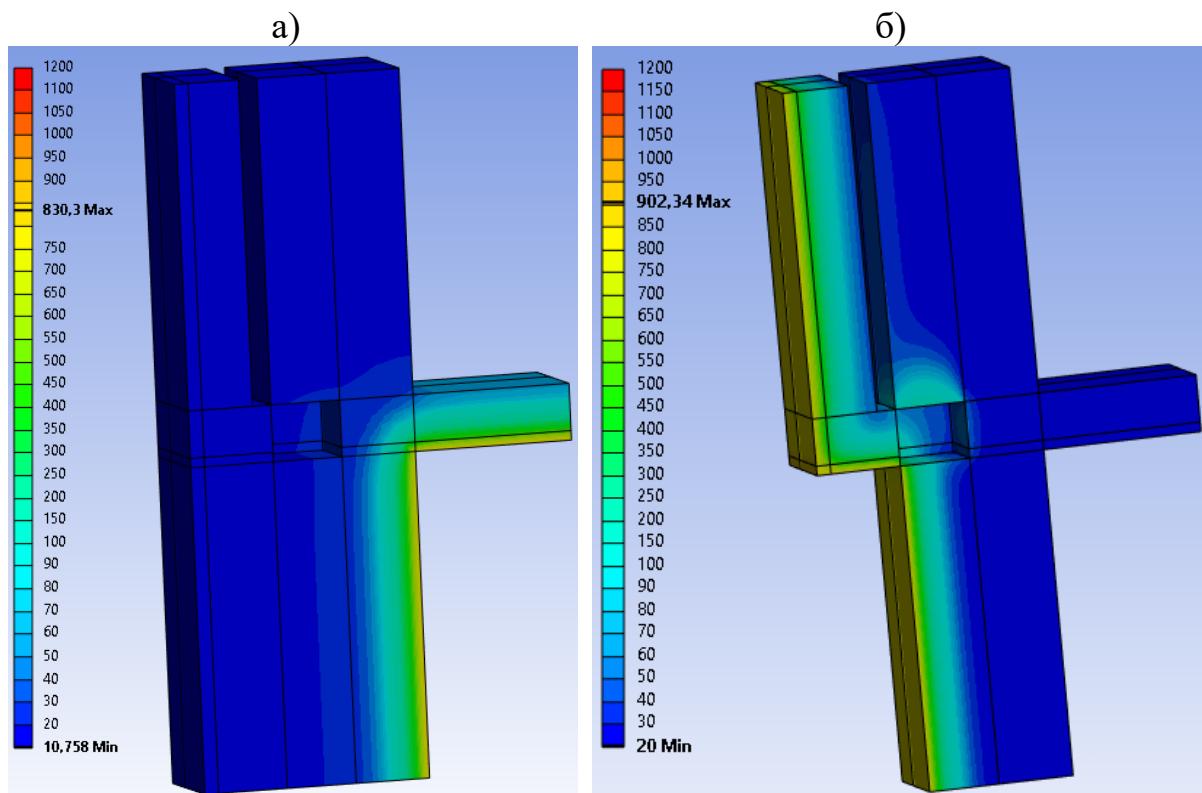


Рис. 3.14. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

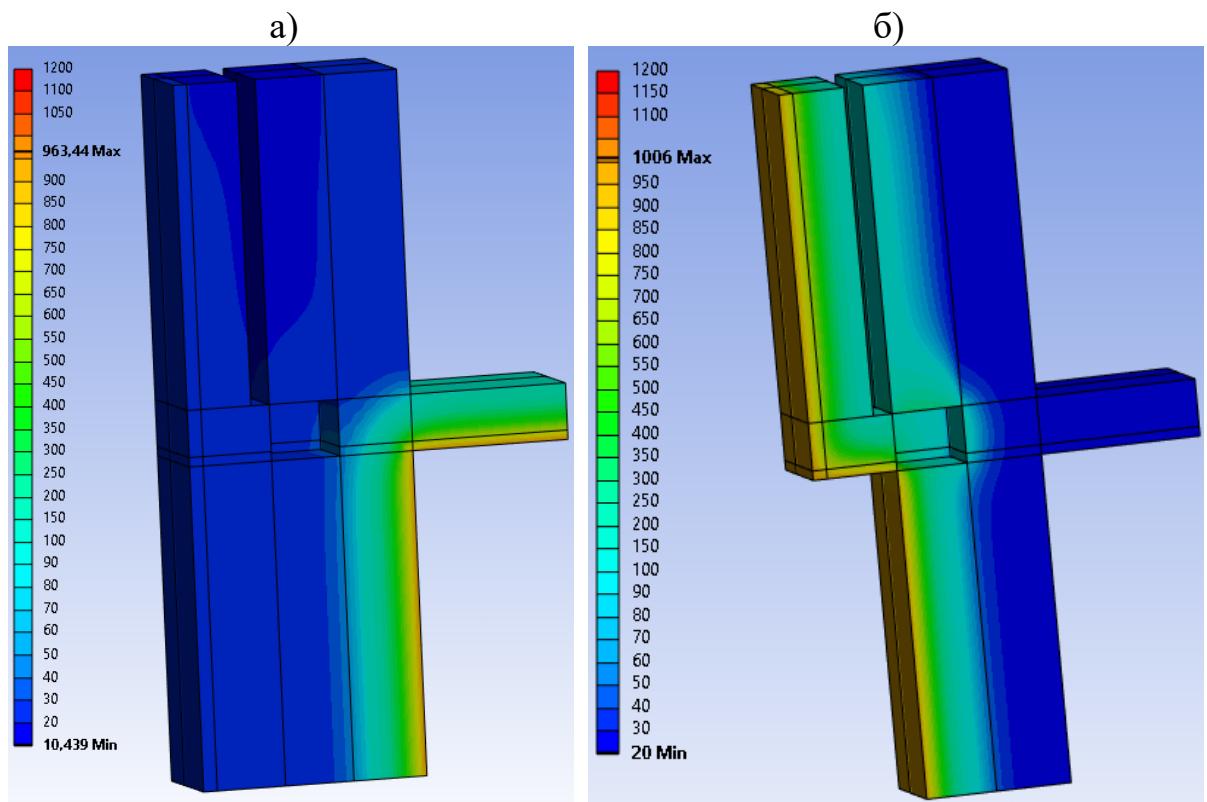


Рис. 3.15. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

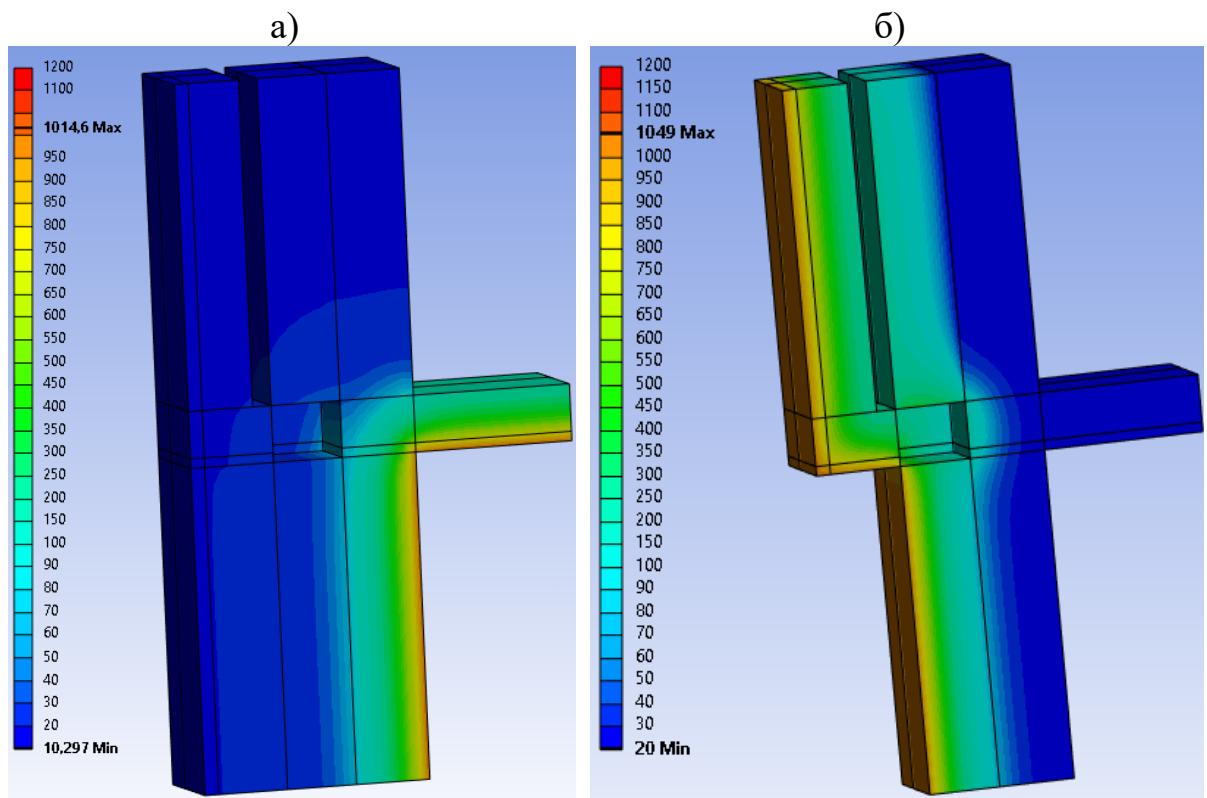


Рис. 3.16. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

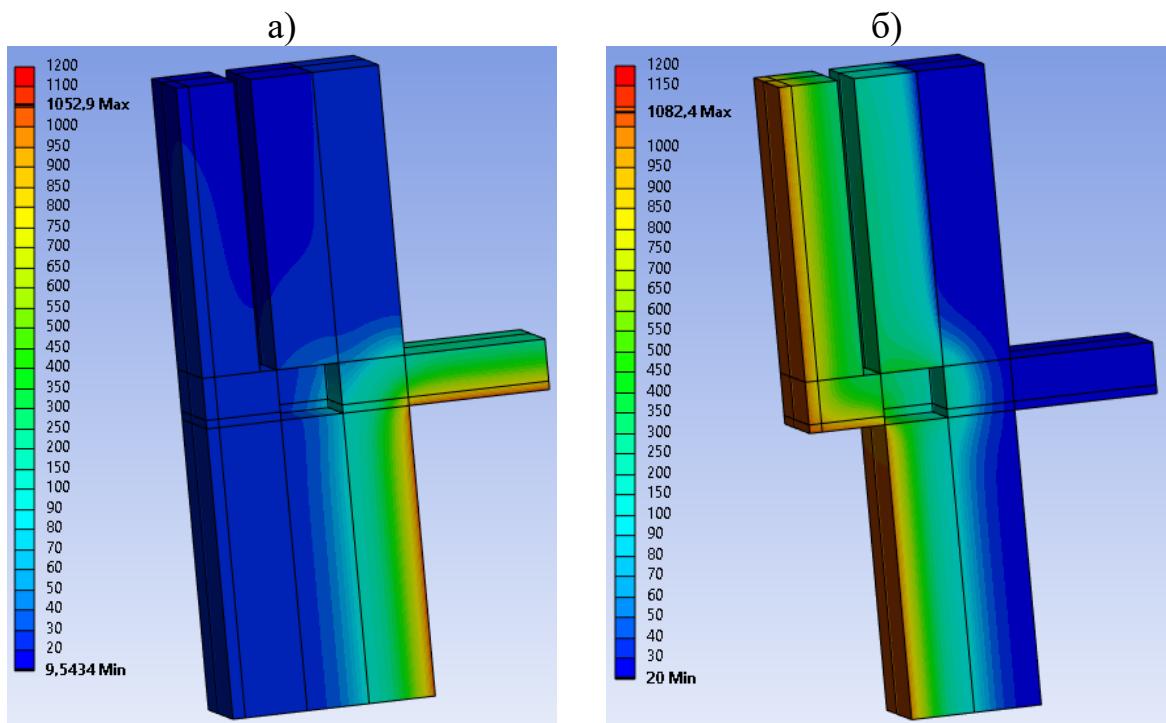


Рис. 3.17. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 150 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

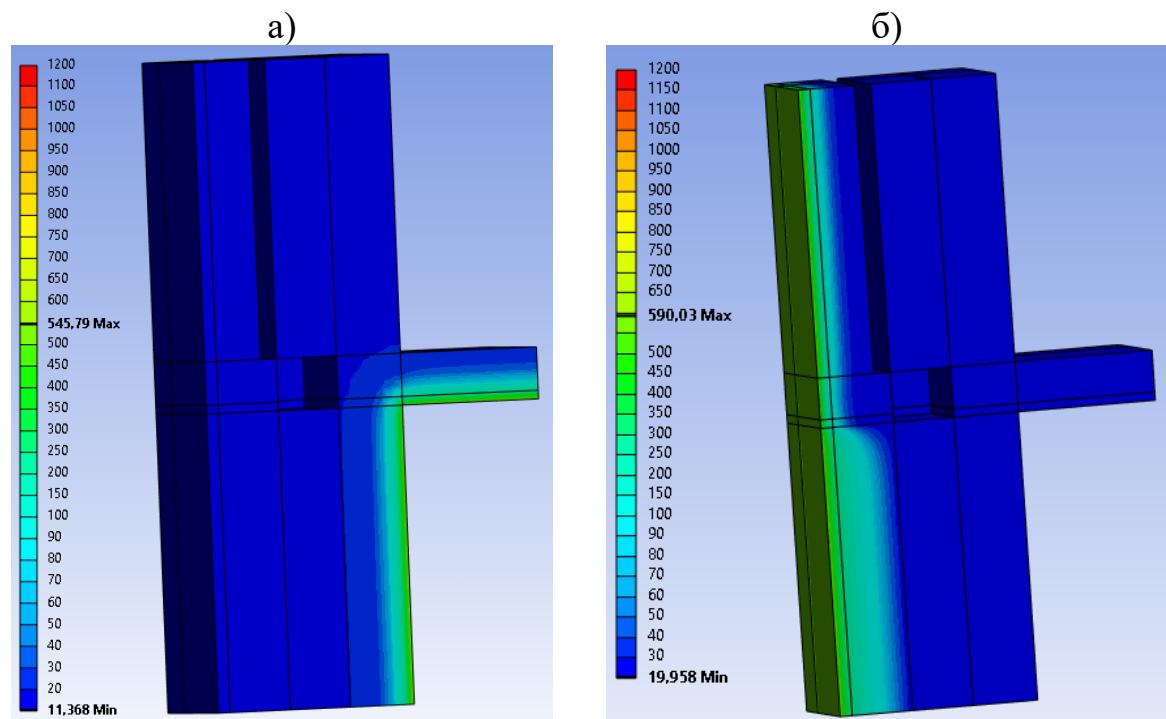


Рис. 3.18. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

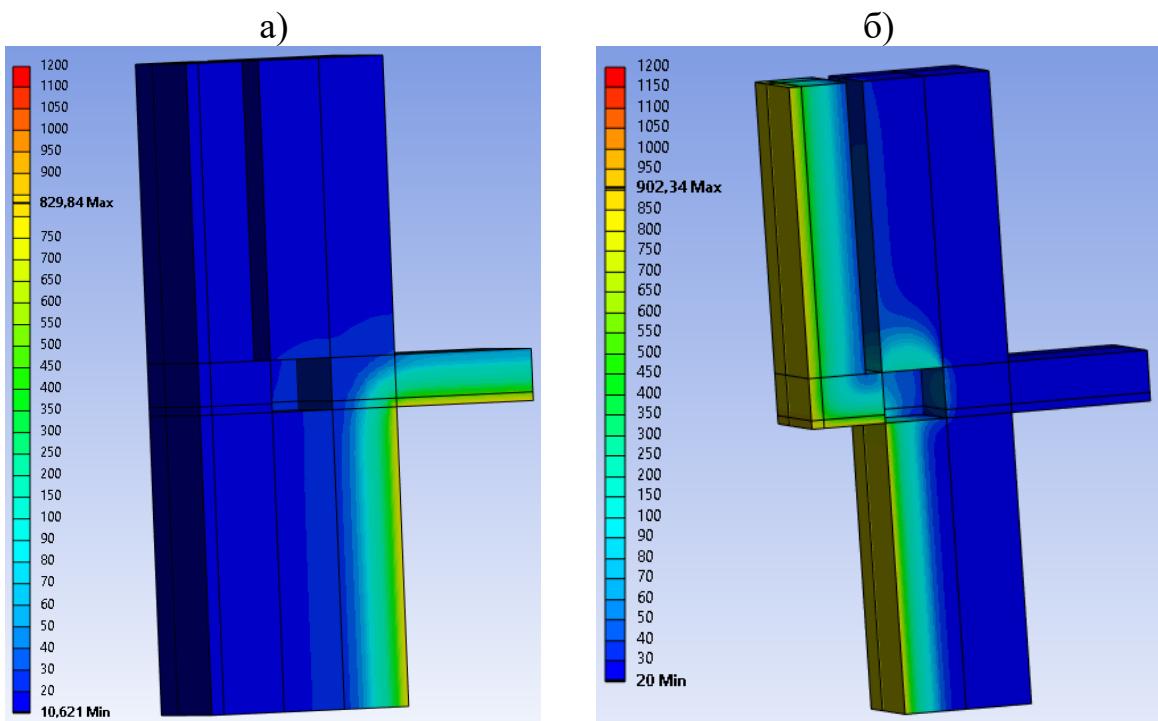


Рис. 3.19. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

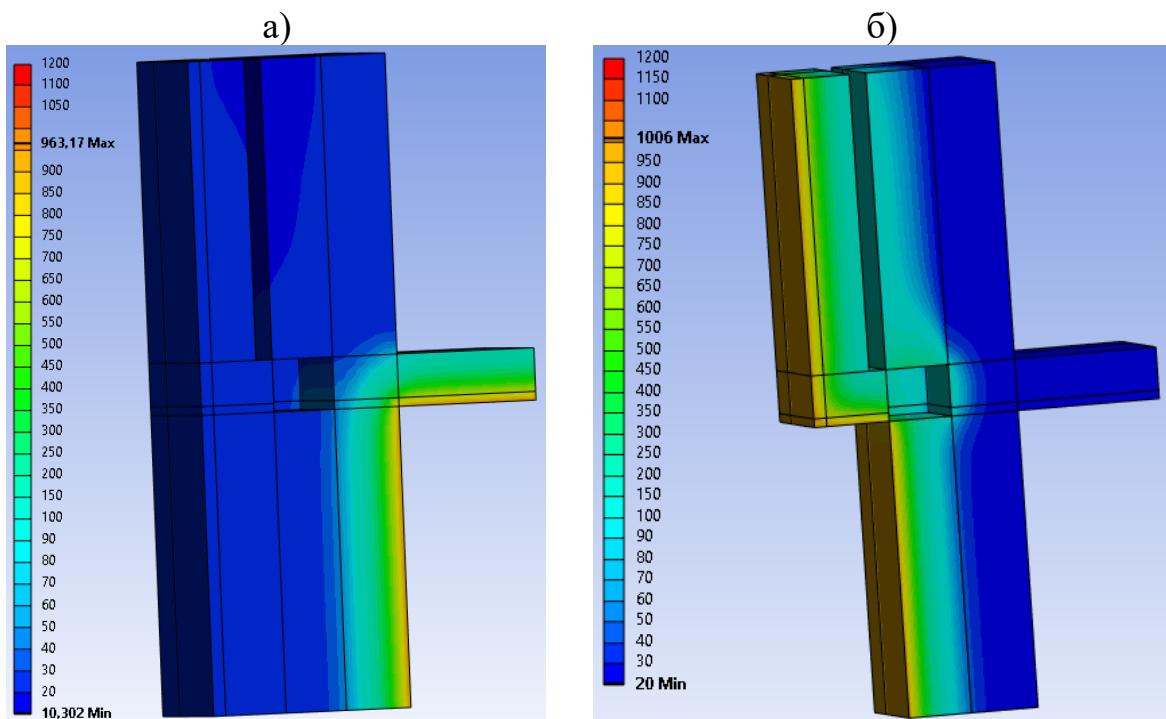


Рис. 3.20. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

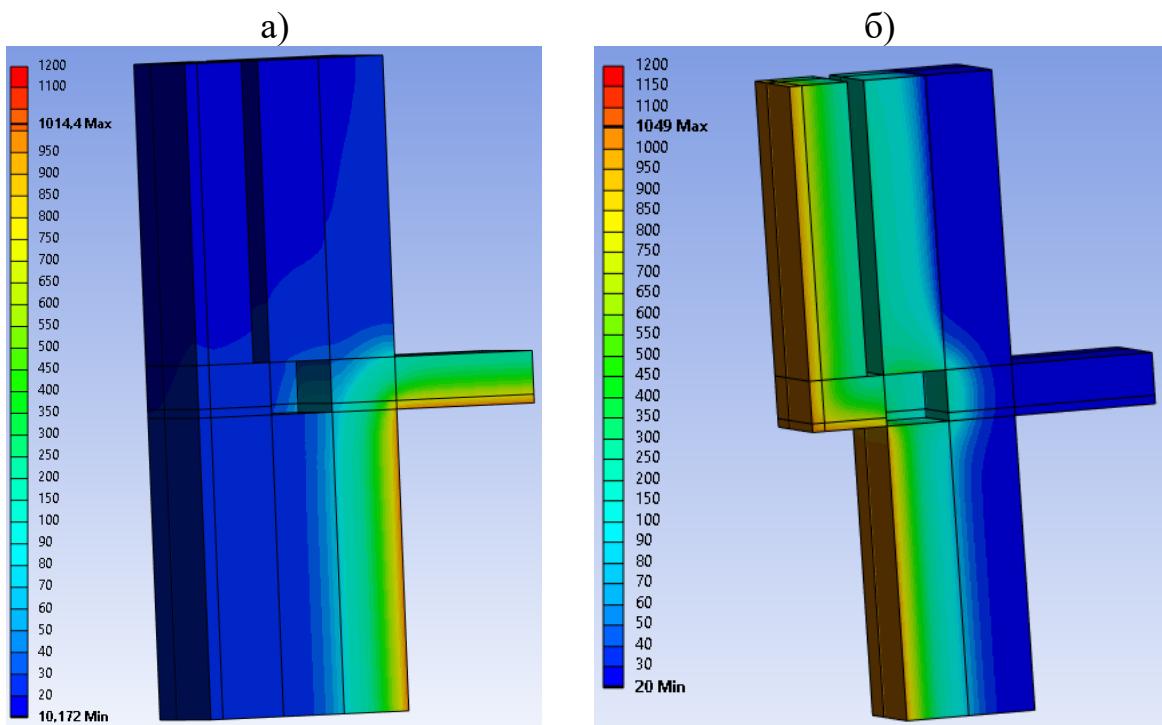


Рис. 3.21. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

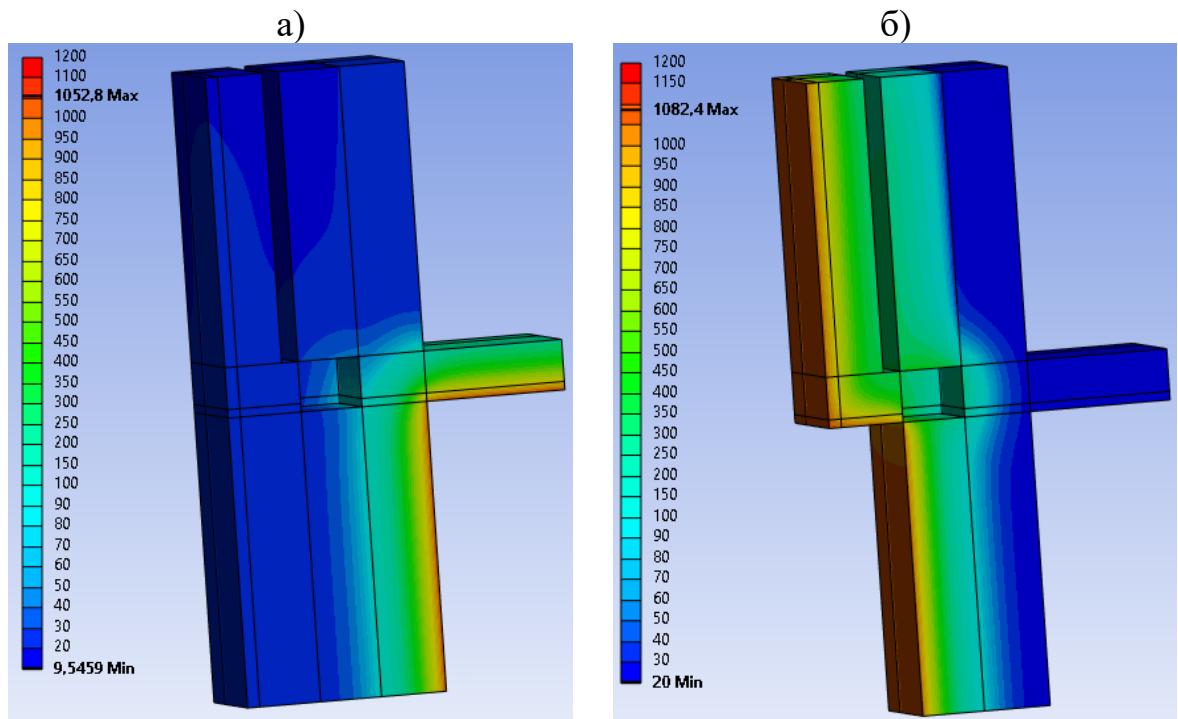


Рис. 3.22. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 150 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

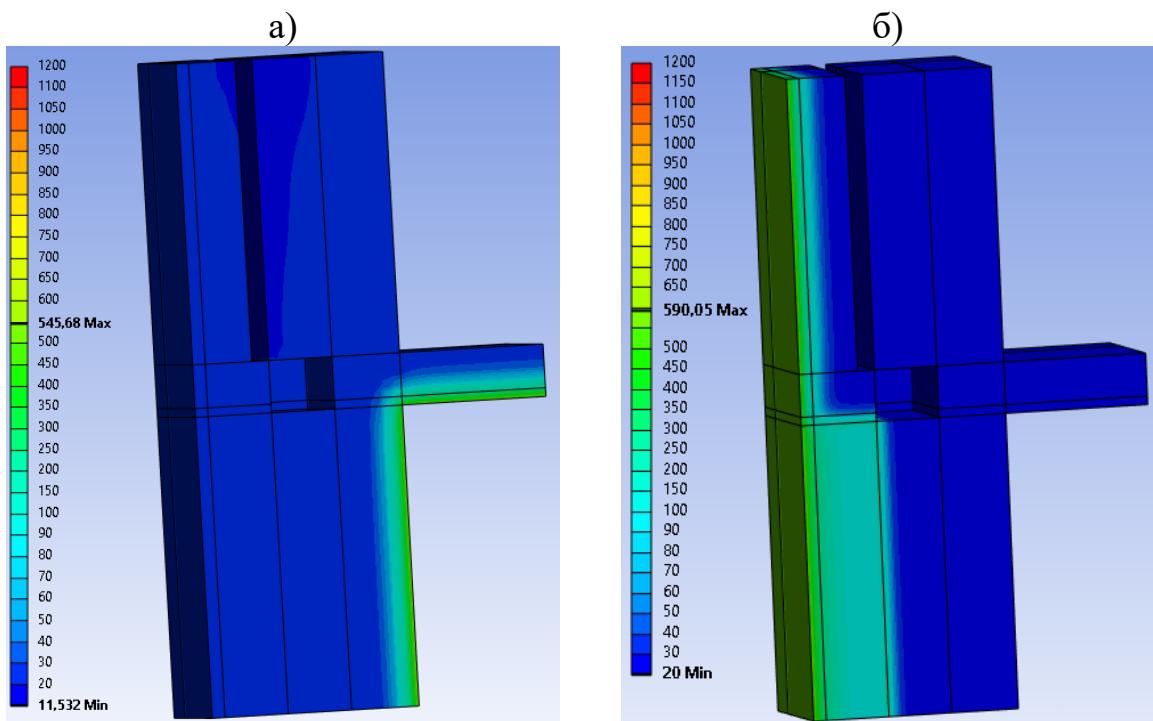


Рис. 3.23. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

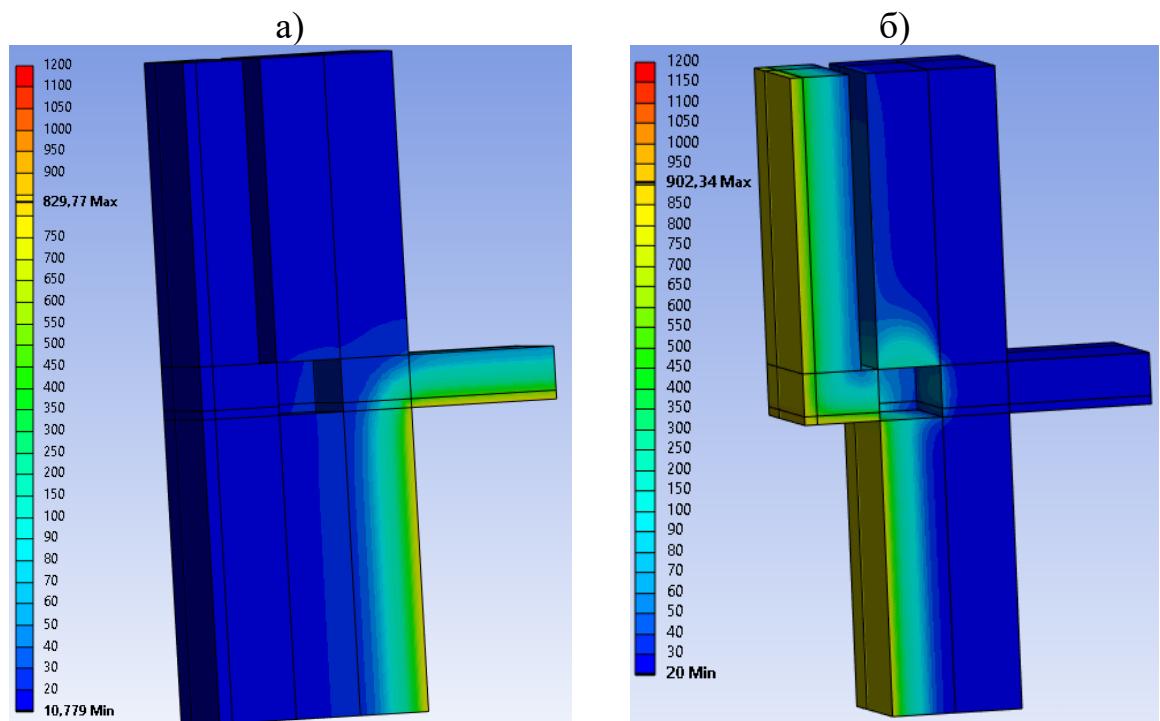


Рис. 3.24. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

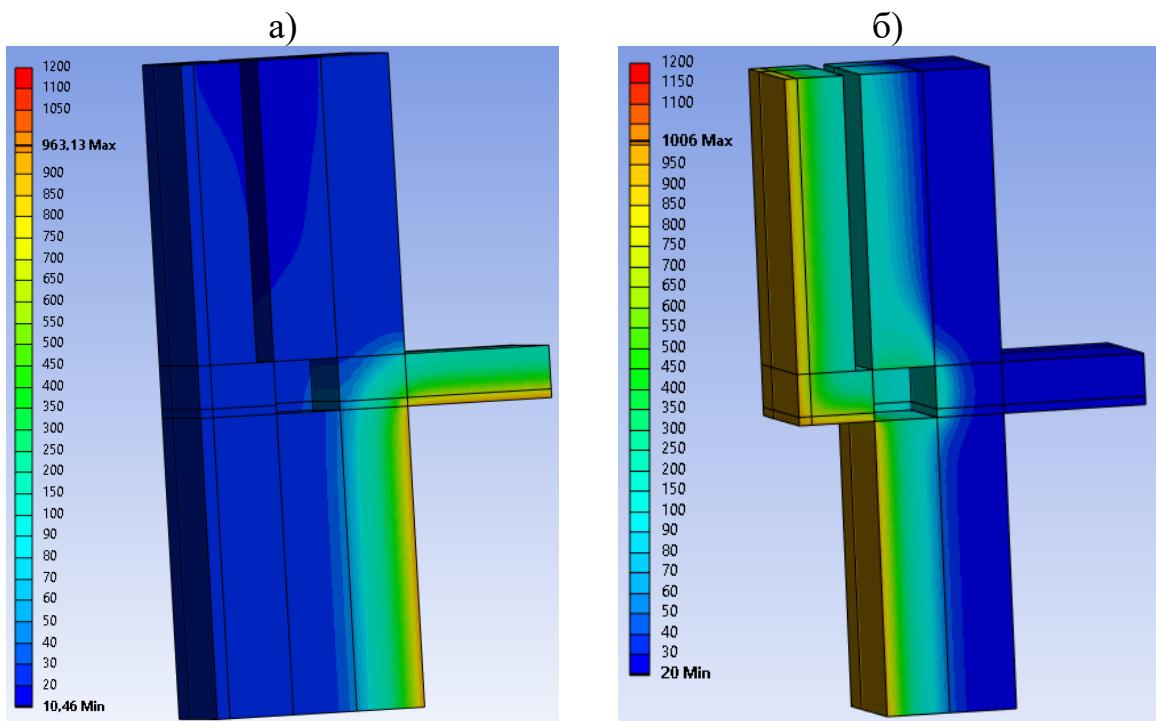


Рис. 3.25. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

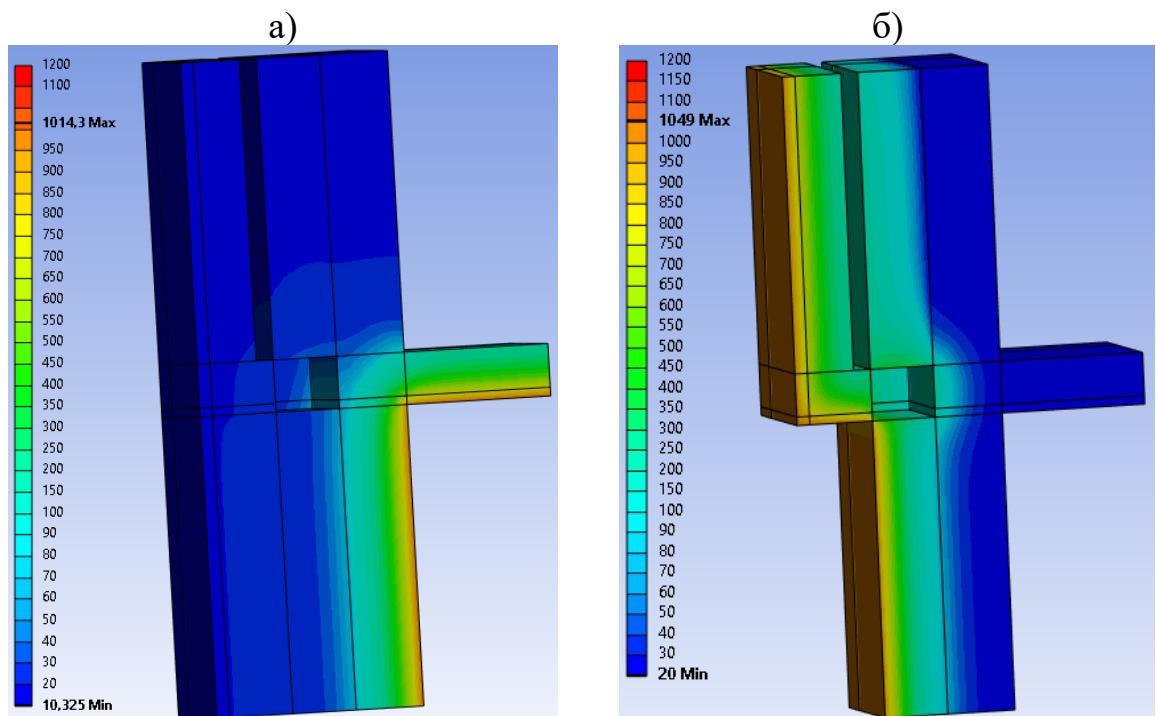


Рис. 3.26. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

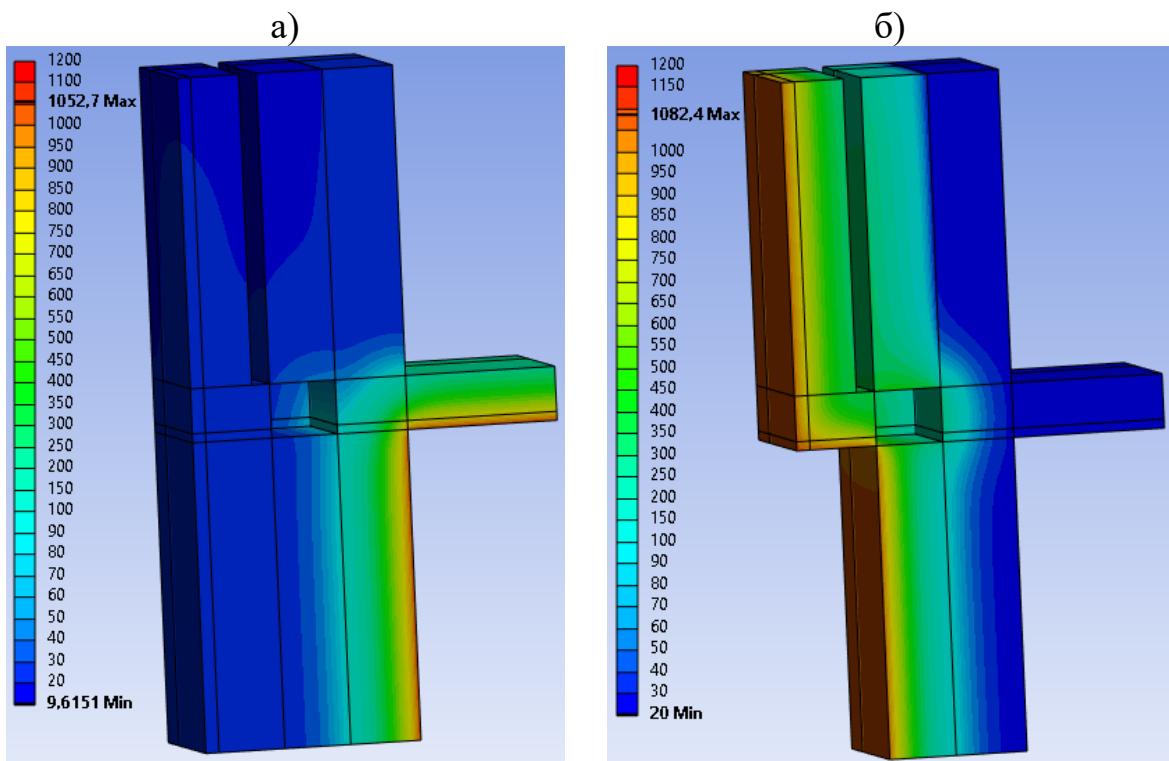


Рис. 3.27. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 150 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

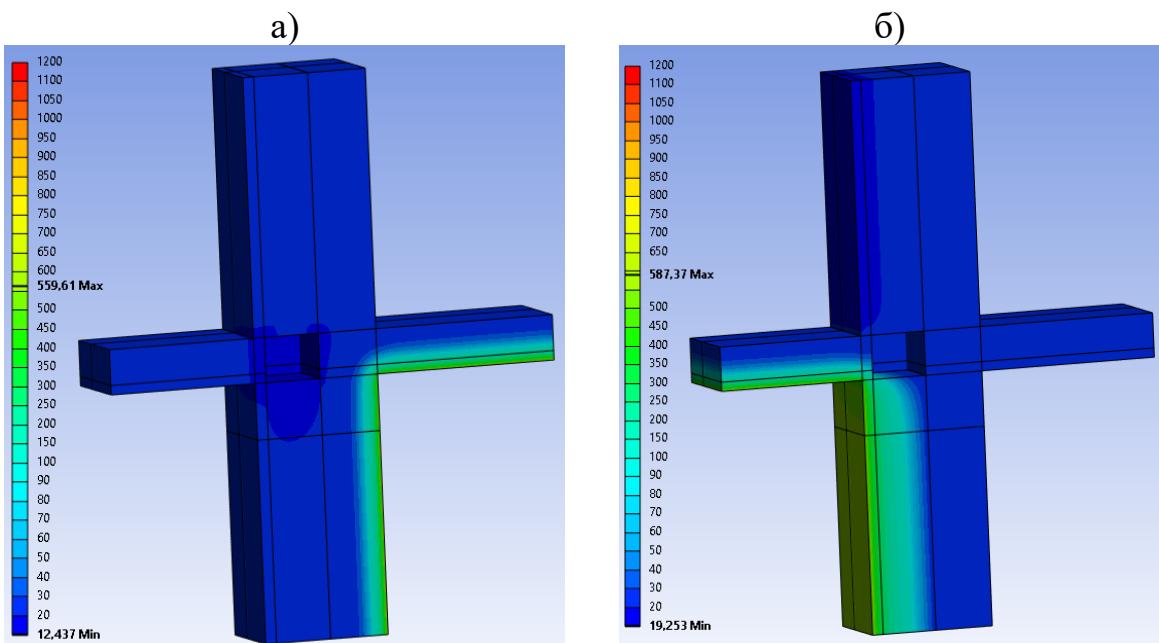


Рис. 3.28. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

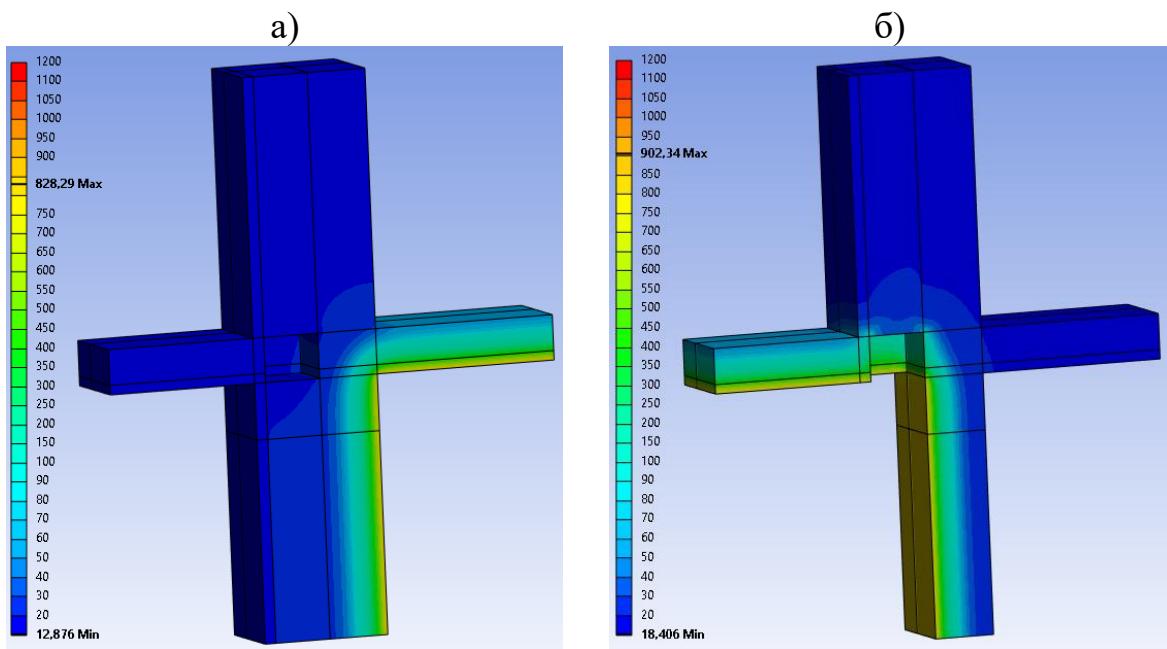


Рис. 3.29. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 45 минуте нагрева (в  $^{\circ}\text{C}$ ): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

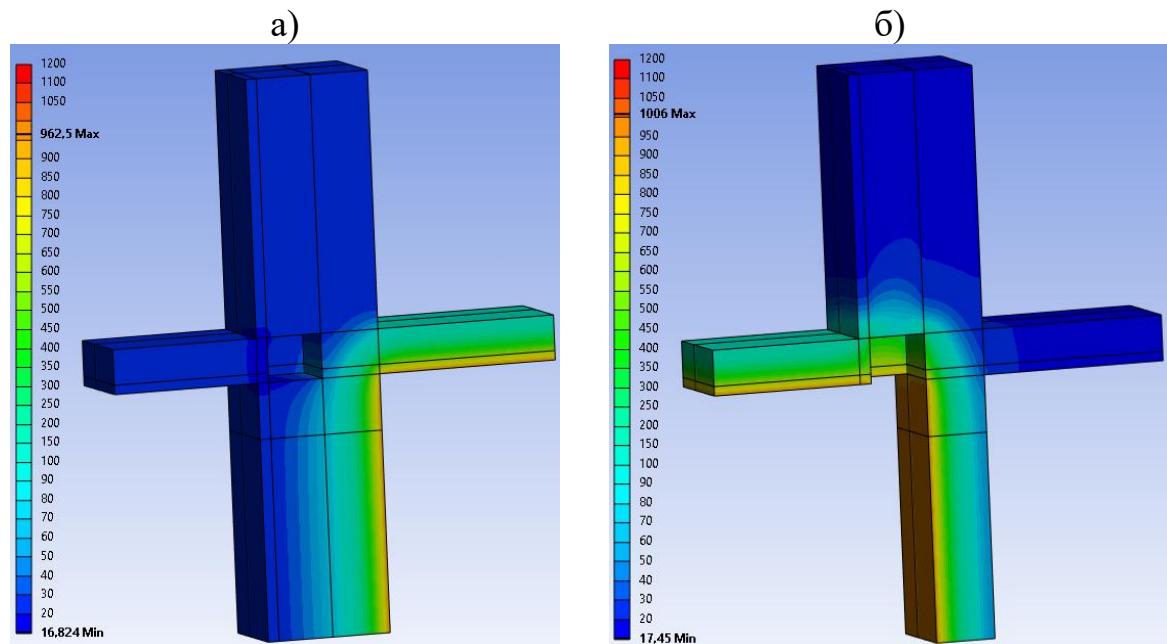


Рис. 3.30. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 90 минуте нагрева (в  $^{\circ}\text{C}$ ): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

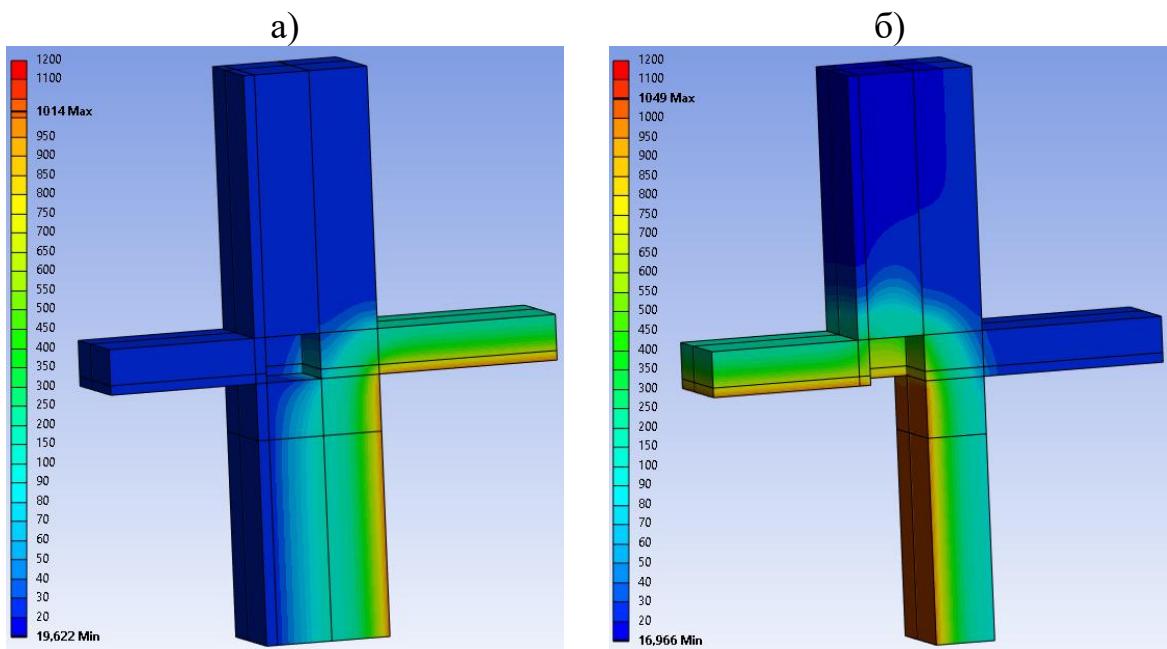


Рис. 3.31. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

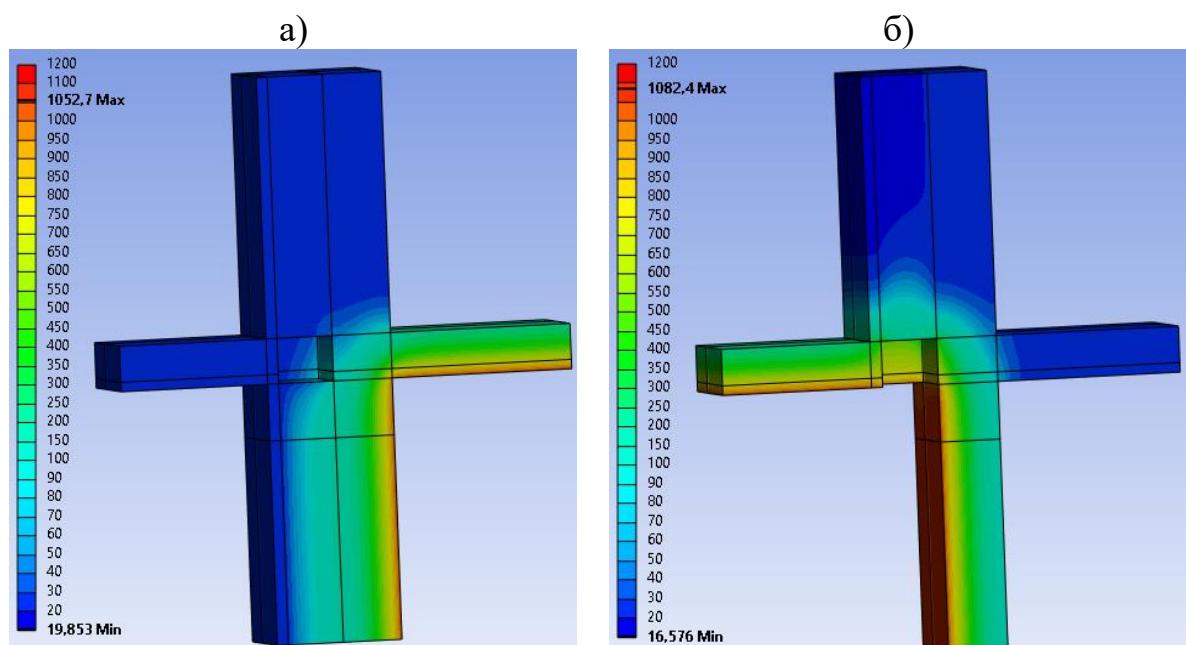


Рис. 3.32. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 150 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

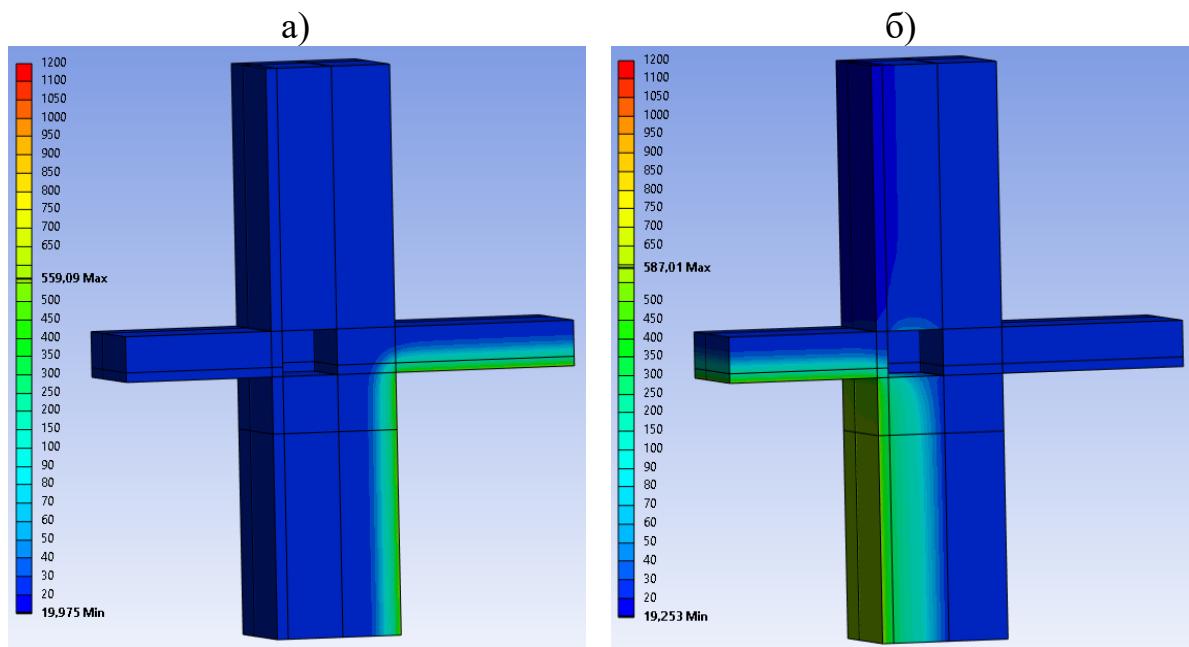


Рис. 3.23. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

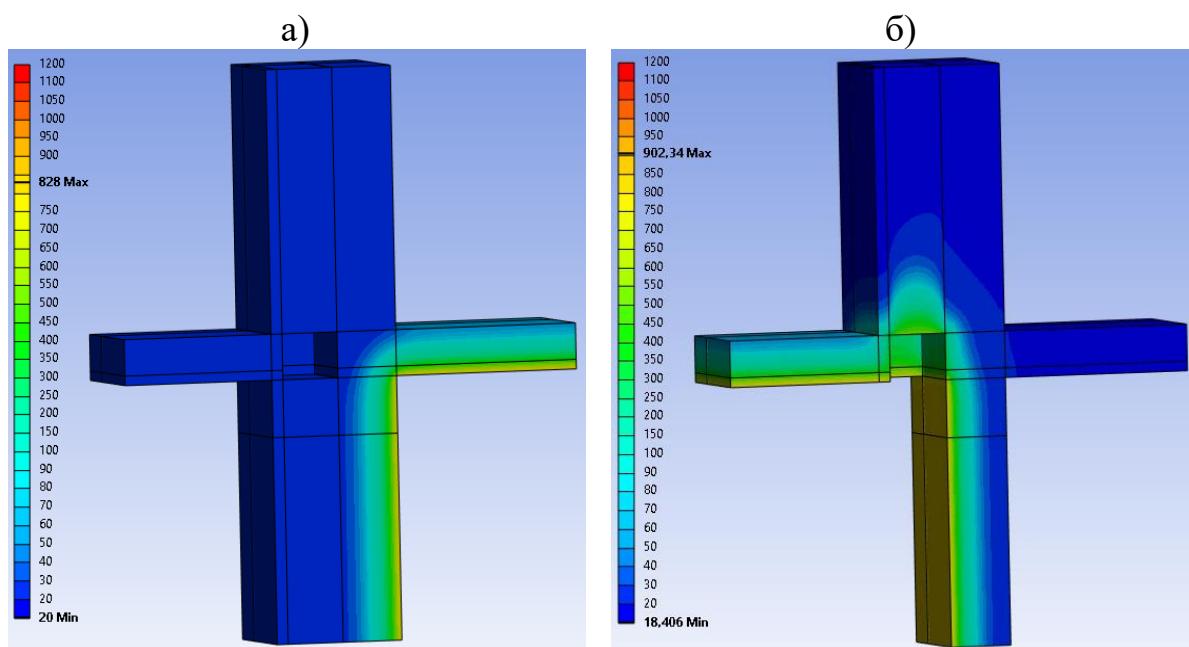


Рис. 3.24. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

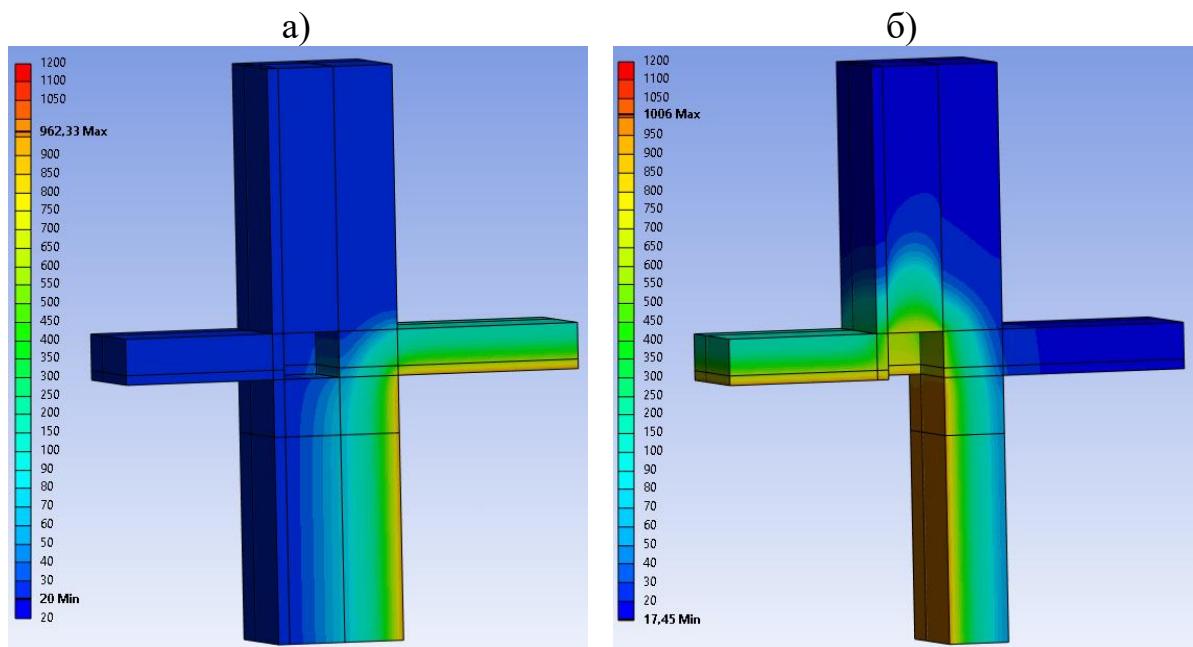


Рис. 3.25. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

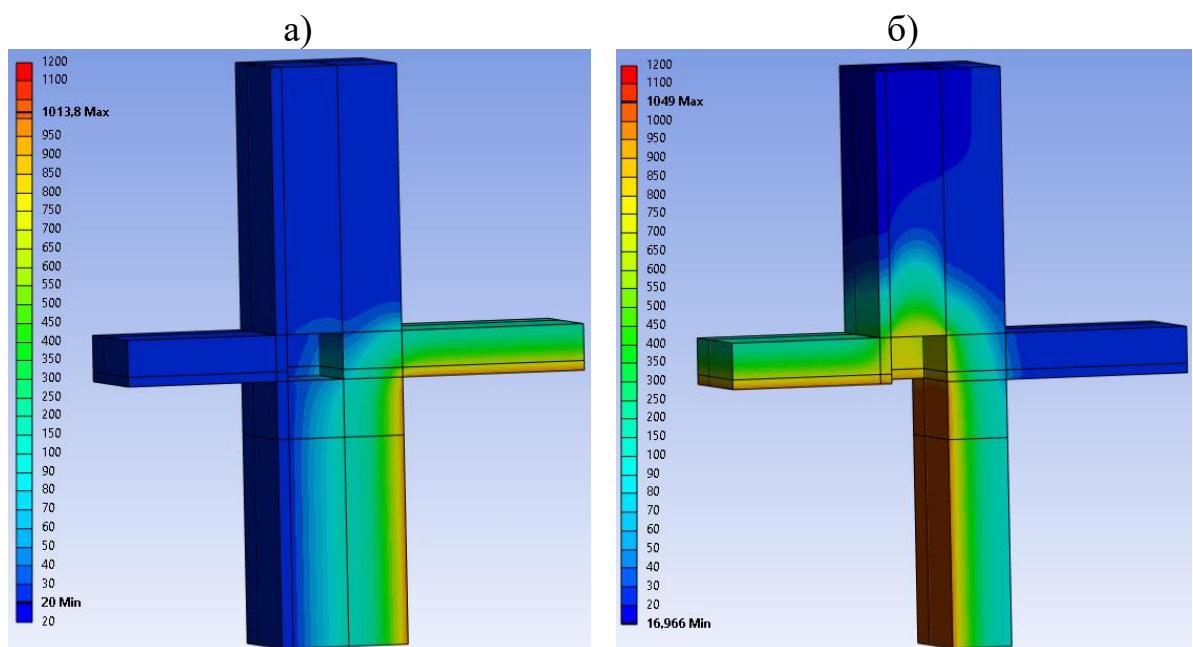


Рис. 3.26. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

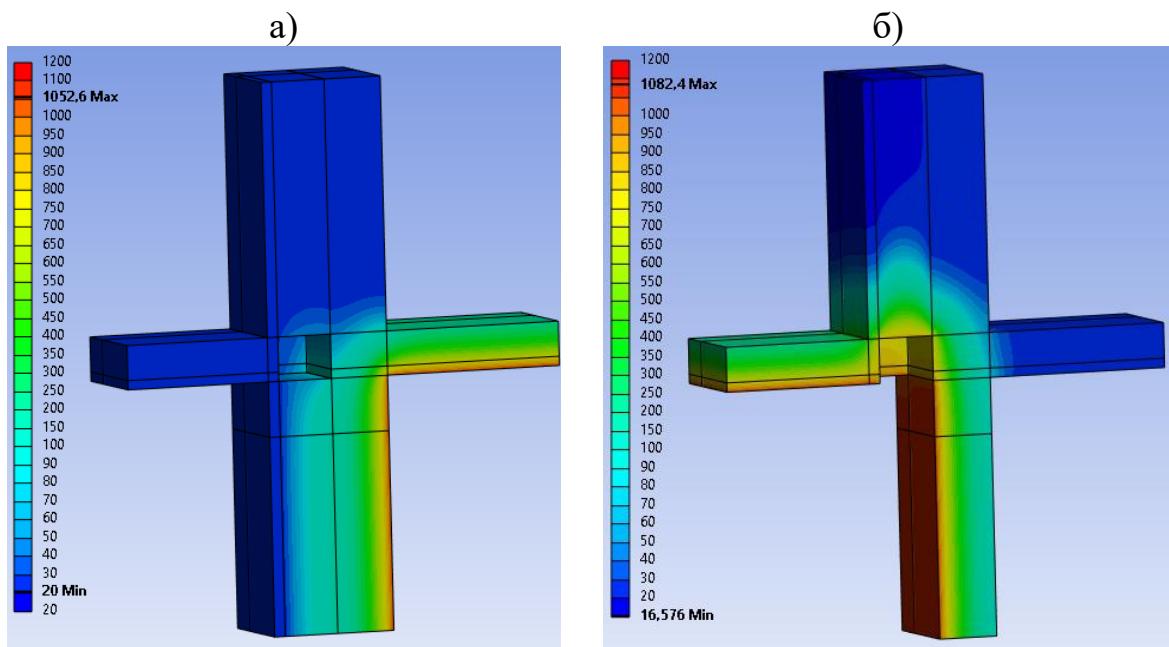


Рис. 3.27. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 150 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

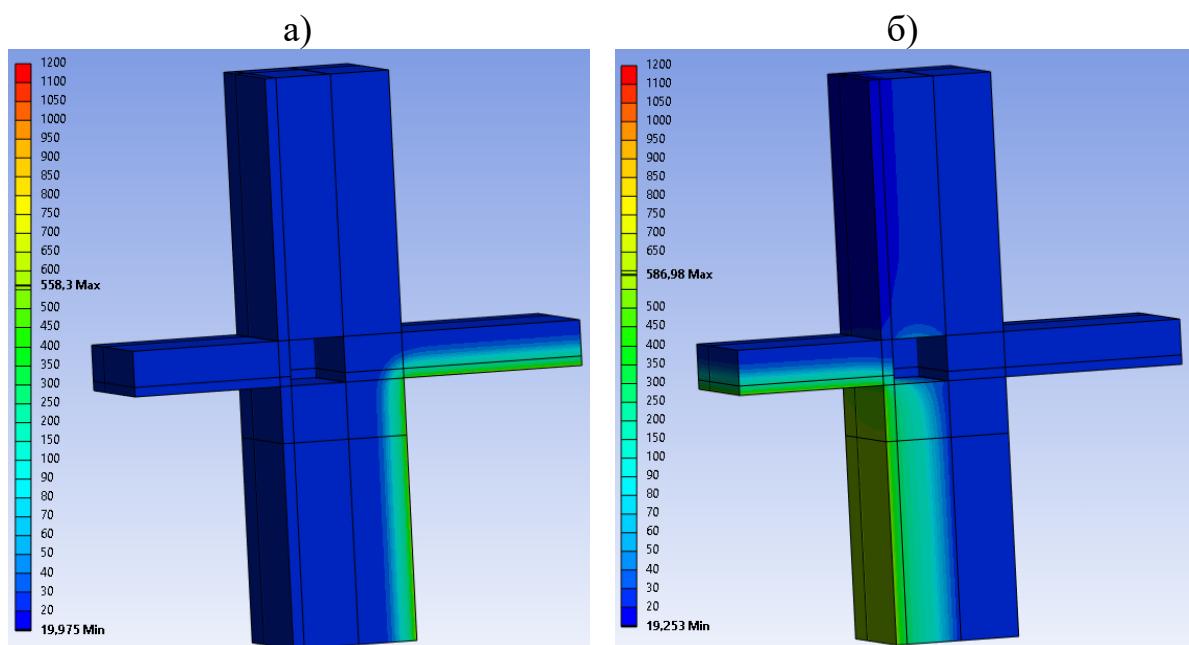


Рис. 3.28. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

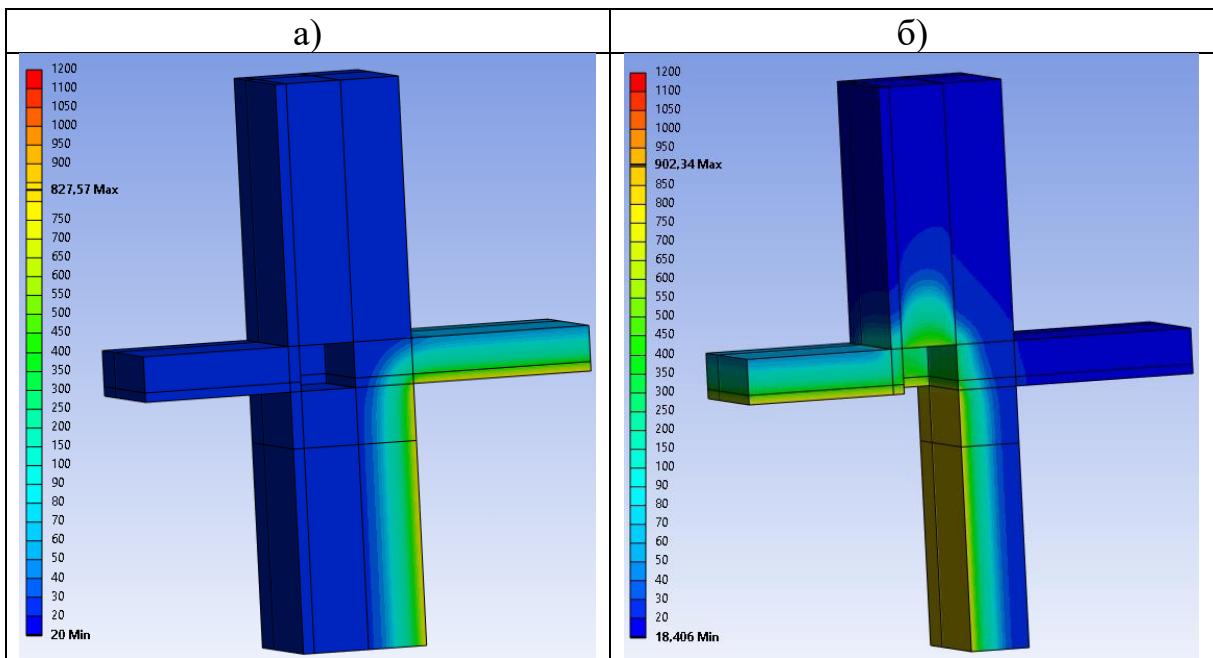


Рис. 3.29. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

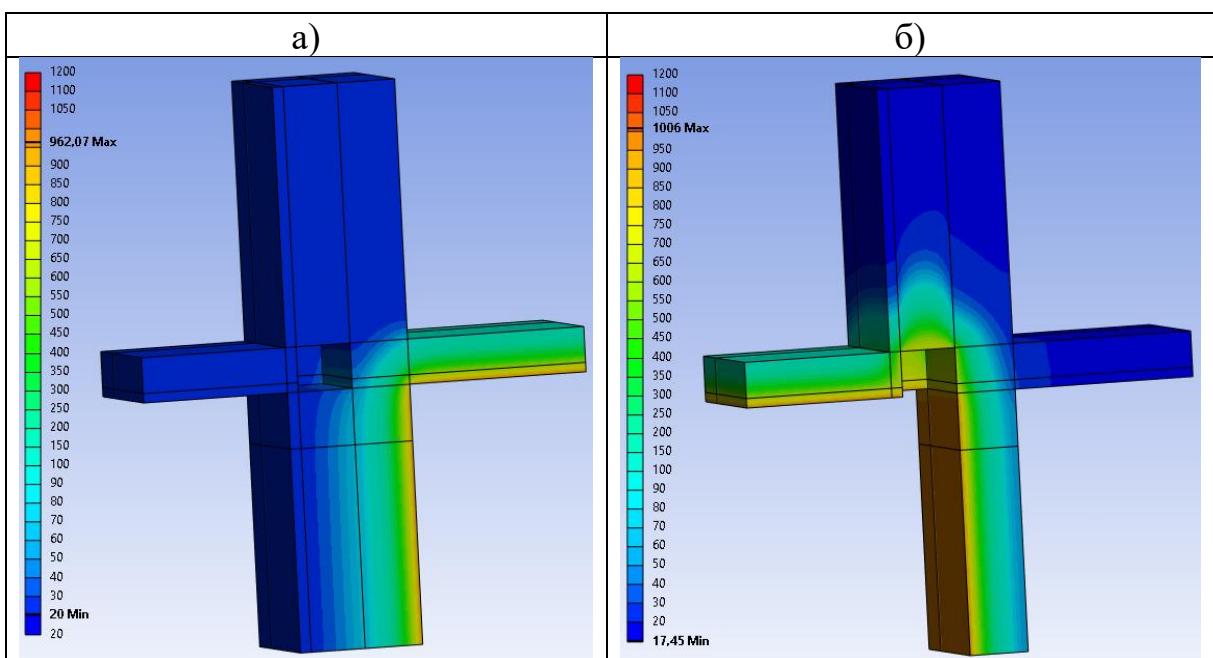


Рис. 3.30. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

а)

б)

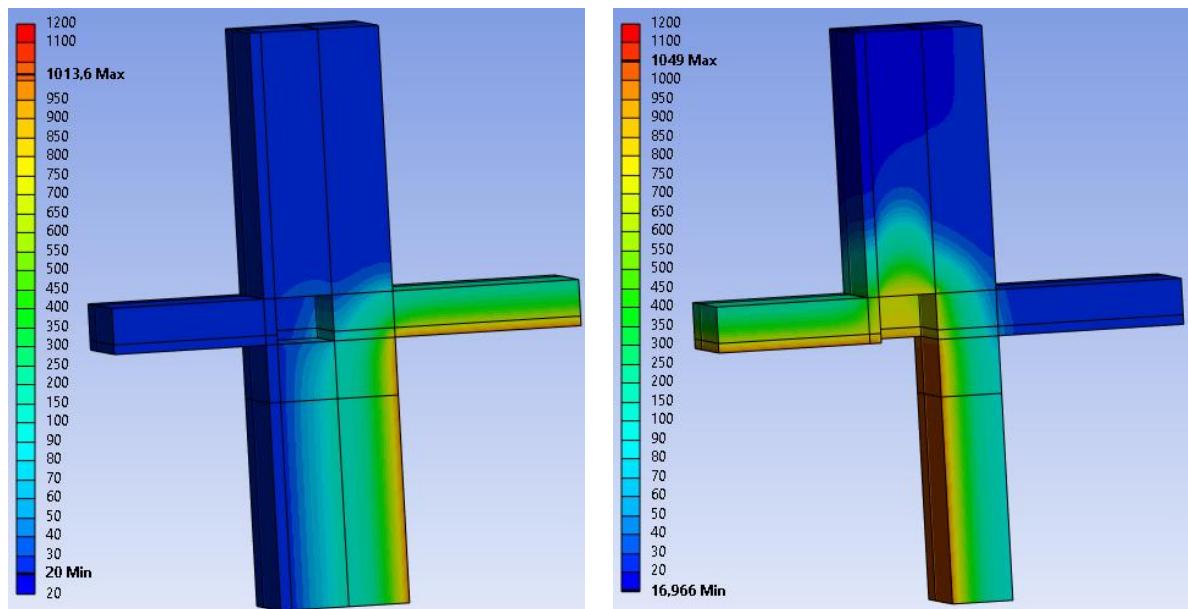


Рис. 3.31. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

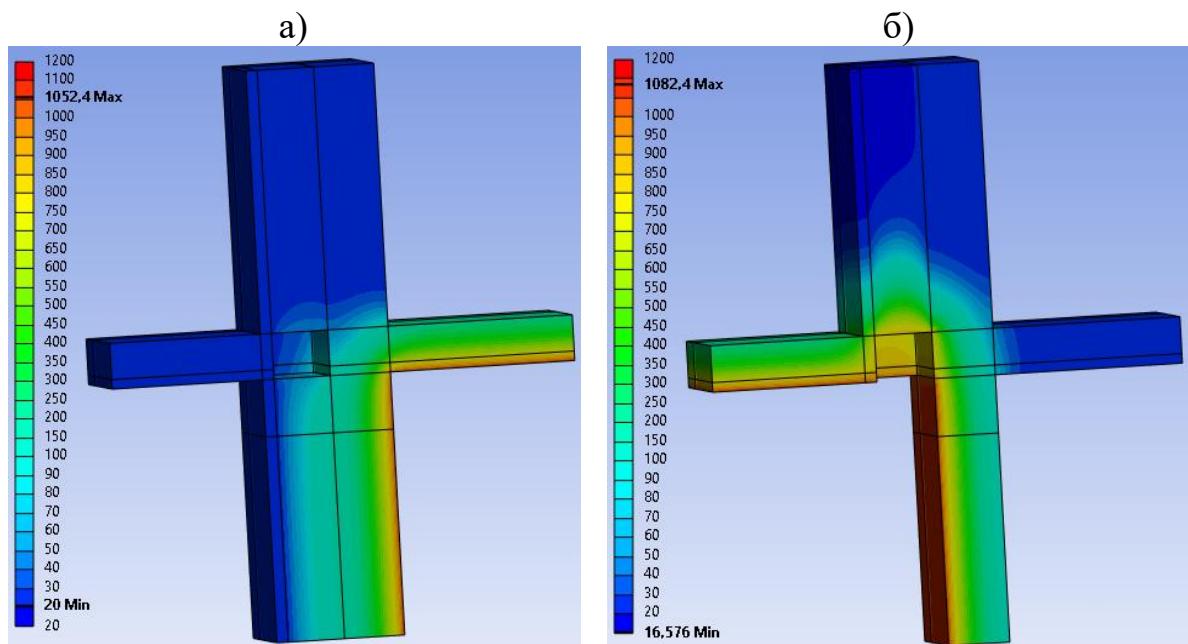


Рис. 3.32. Результат расчета теплотехнической задачи (расчет предела огнестойкости) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 150 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

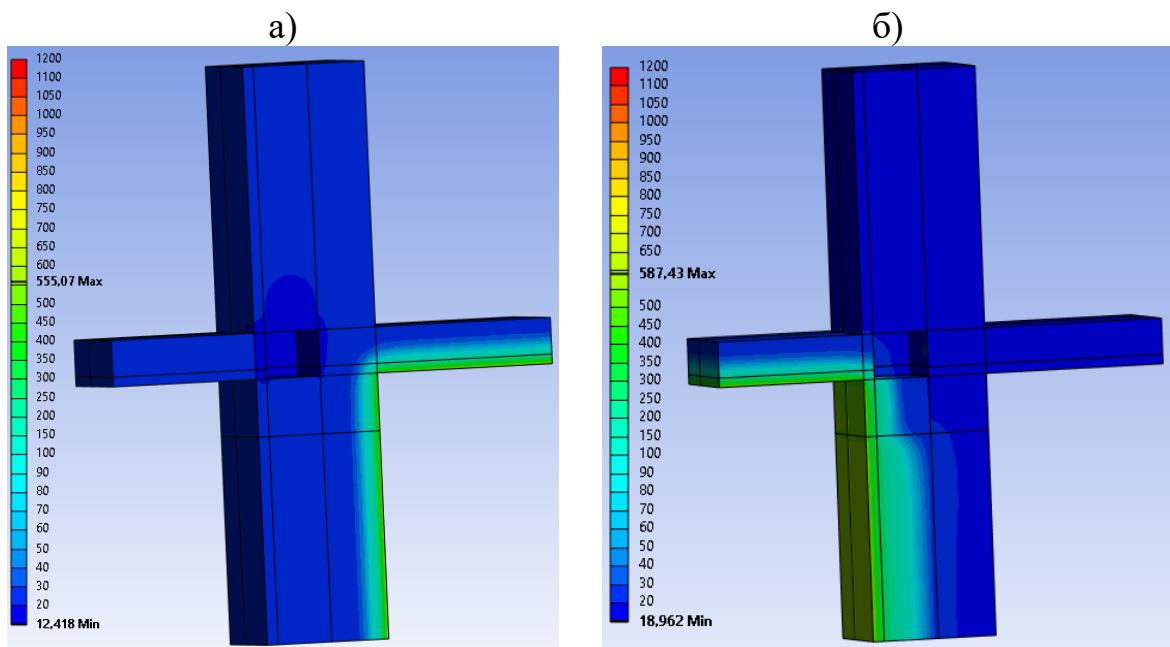


Рис. 3.33. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

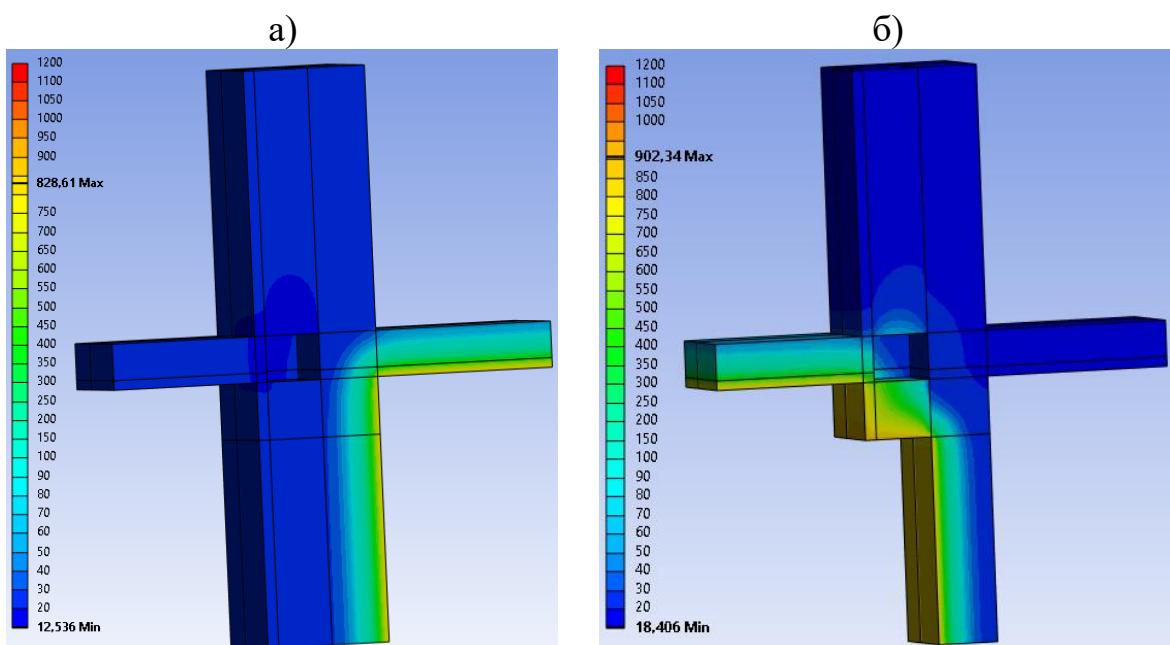


Рис. 3.34. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

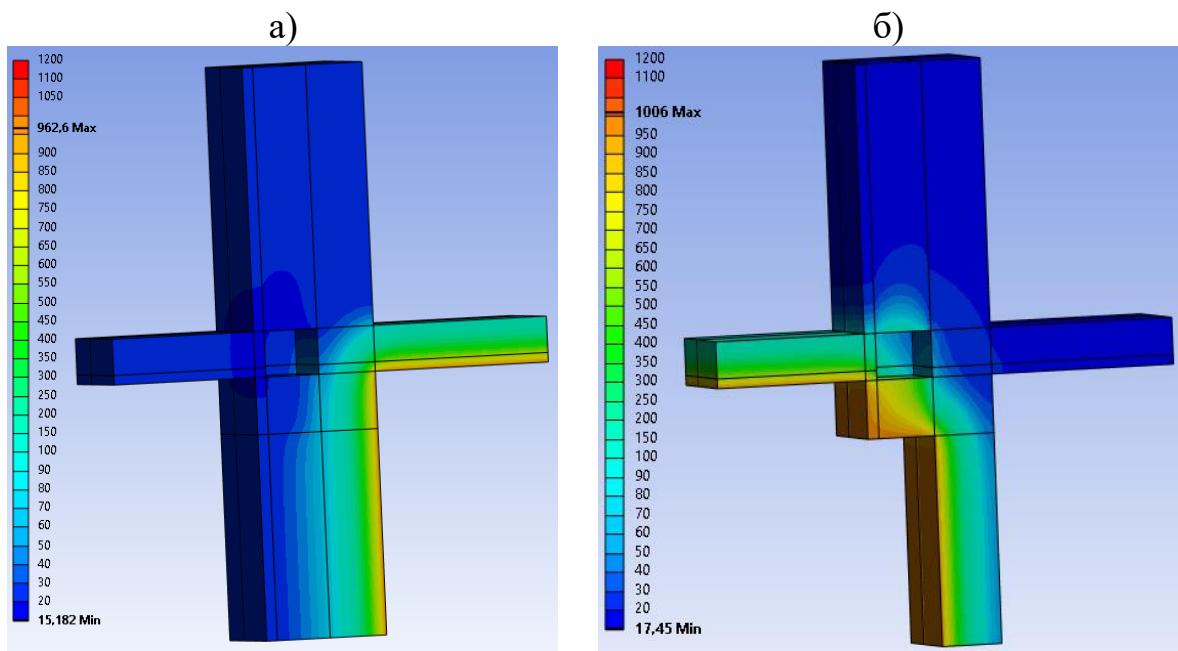


Рис. 3.35. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

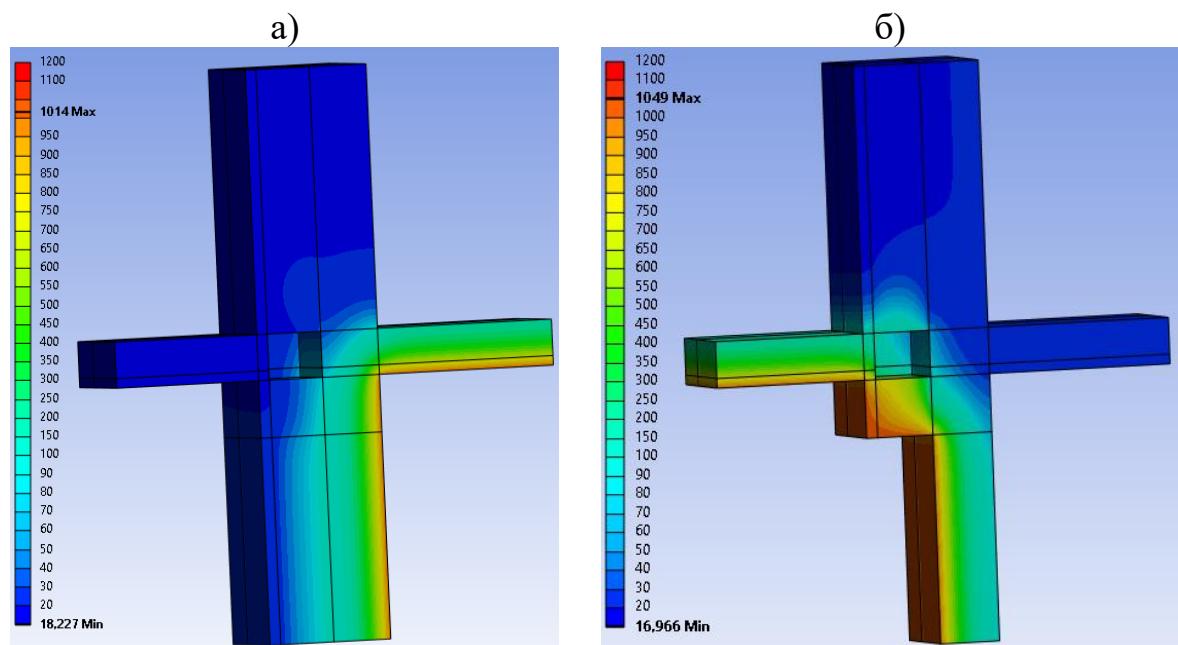


Рис. 3.36. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

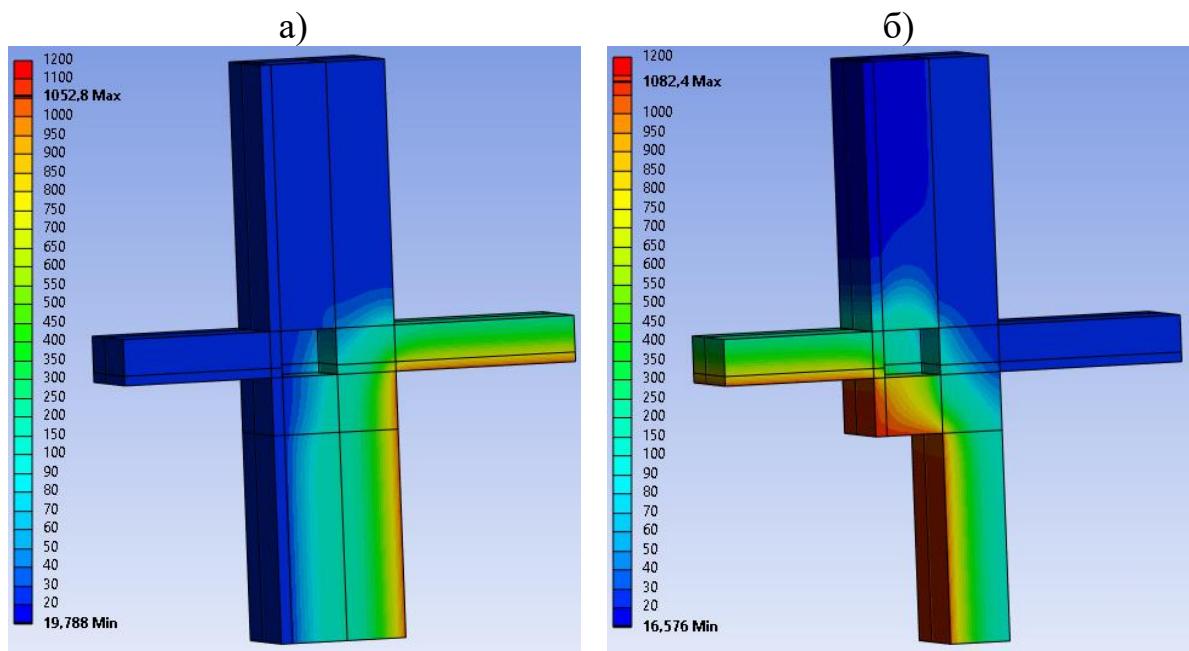


Рис. 3.37. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 150 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

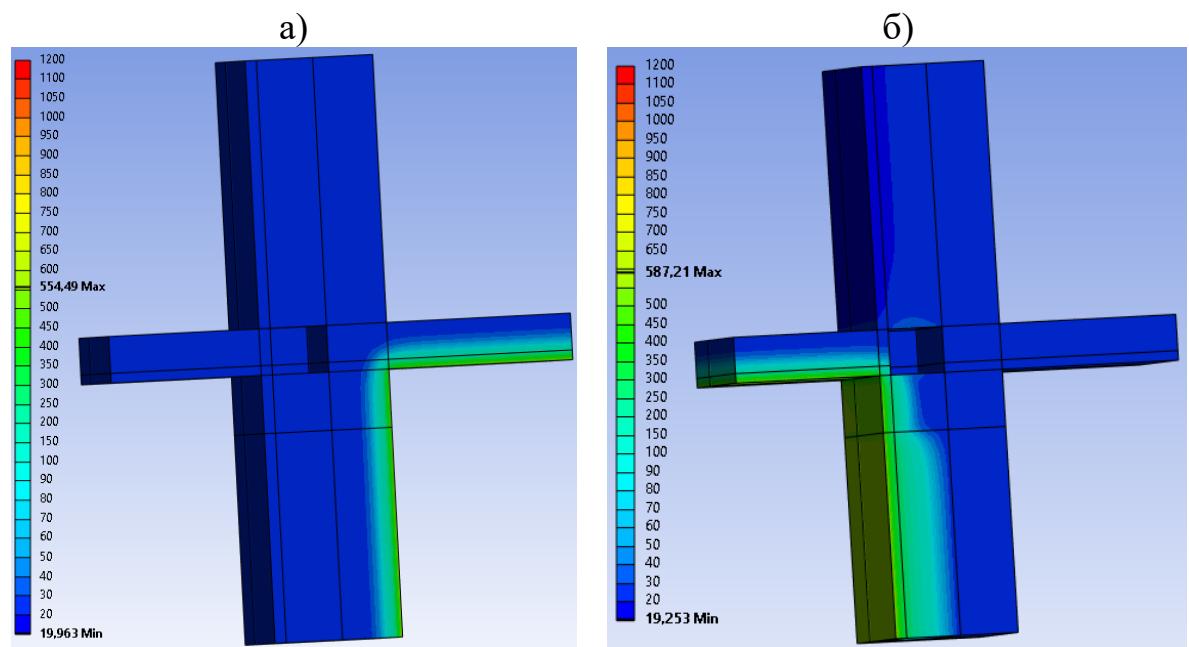


Рис. 3.38. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 15 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

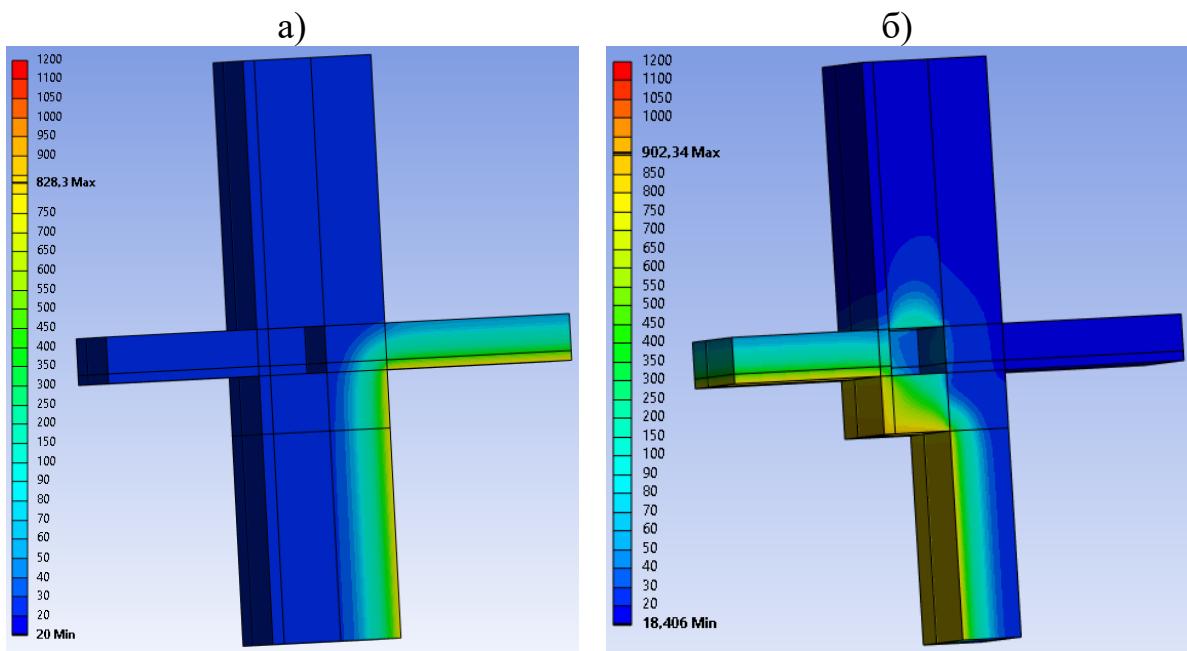


Рис. 3.39. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 45 минуте нагрева (в  $^{\circ}\text{C}$ ): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

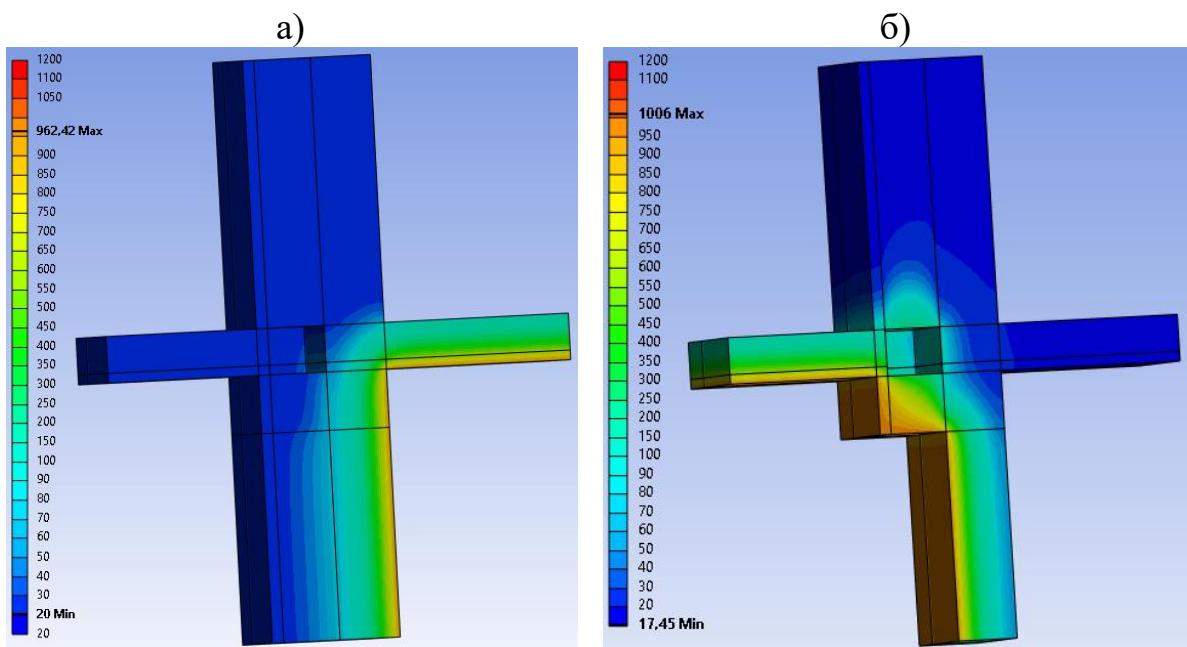


Рис. 3.40. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 90 минуте нагрева (в  $^{\circ}\text{C}$ ): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

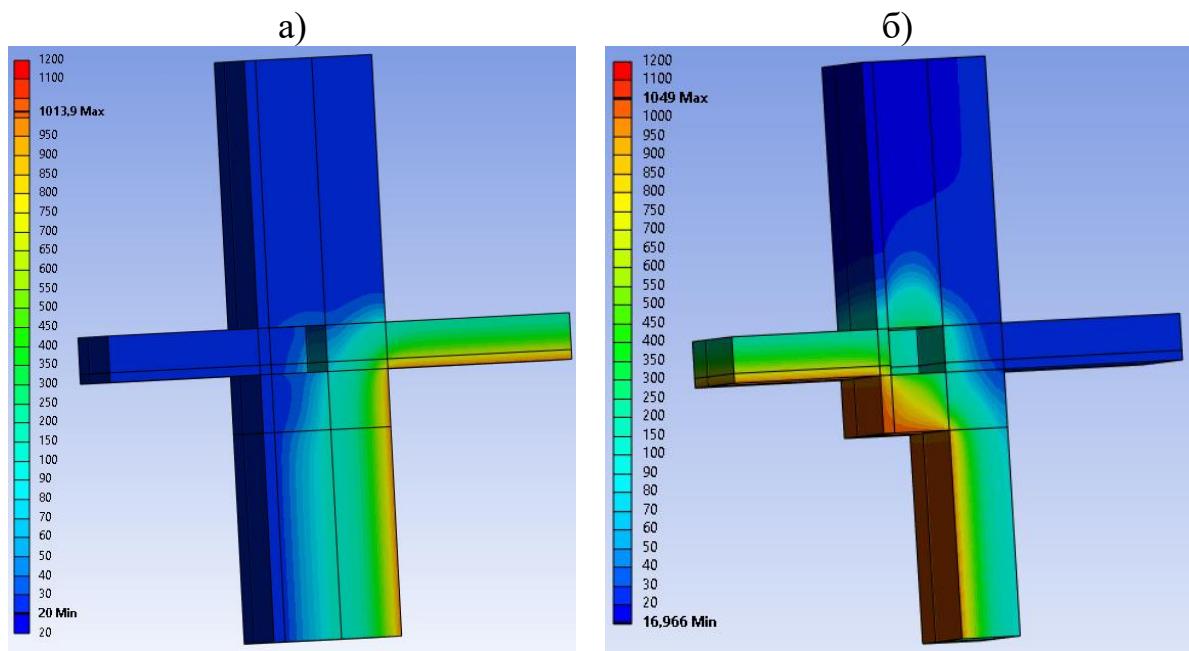


Рис. 3.41. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

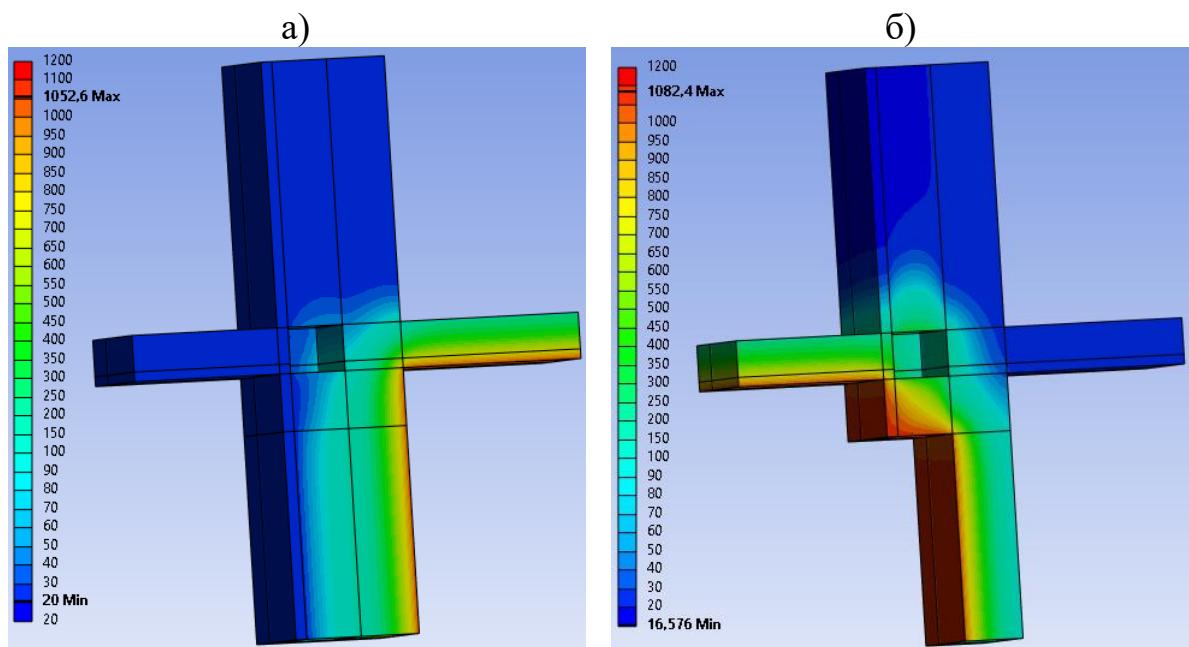


Рис. 3.42. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 150 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

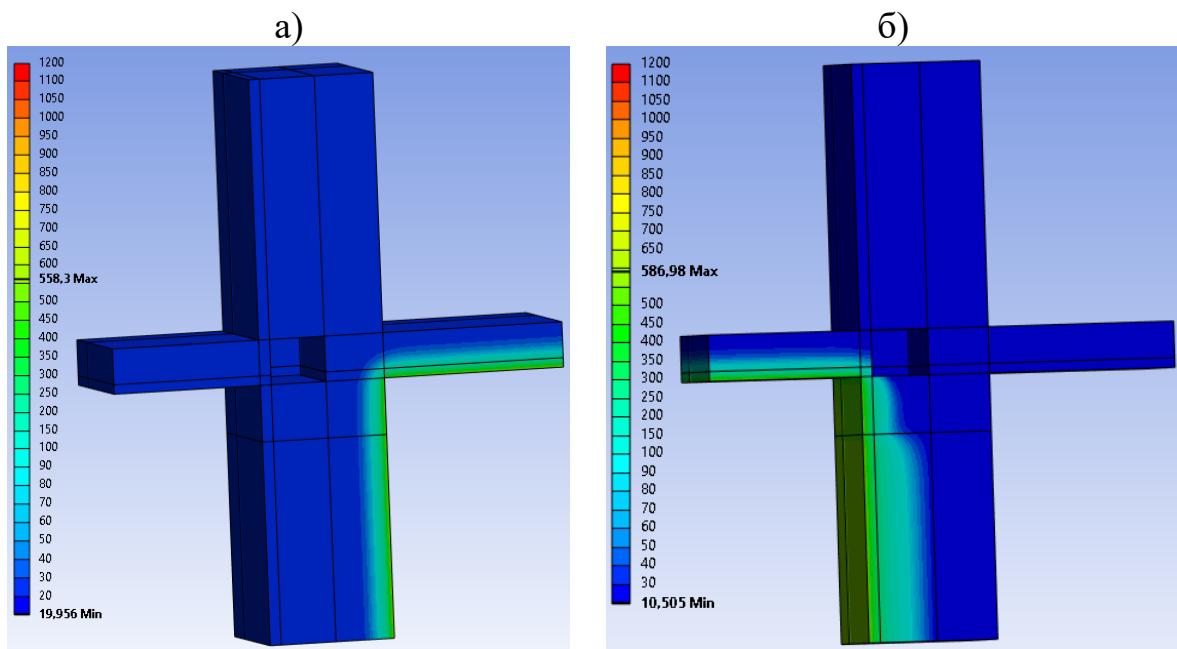


Рис. 3.43. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 15 минуте нагрева (в  $^{\circ}\text{C}$ ): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

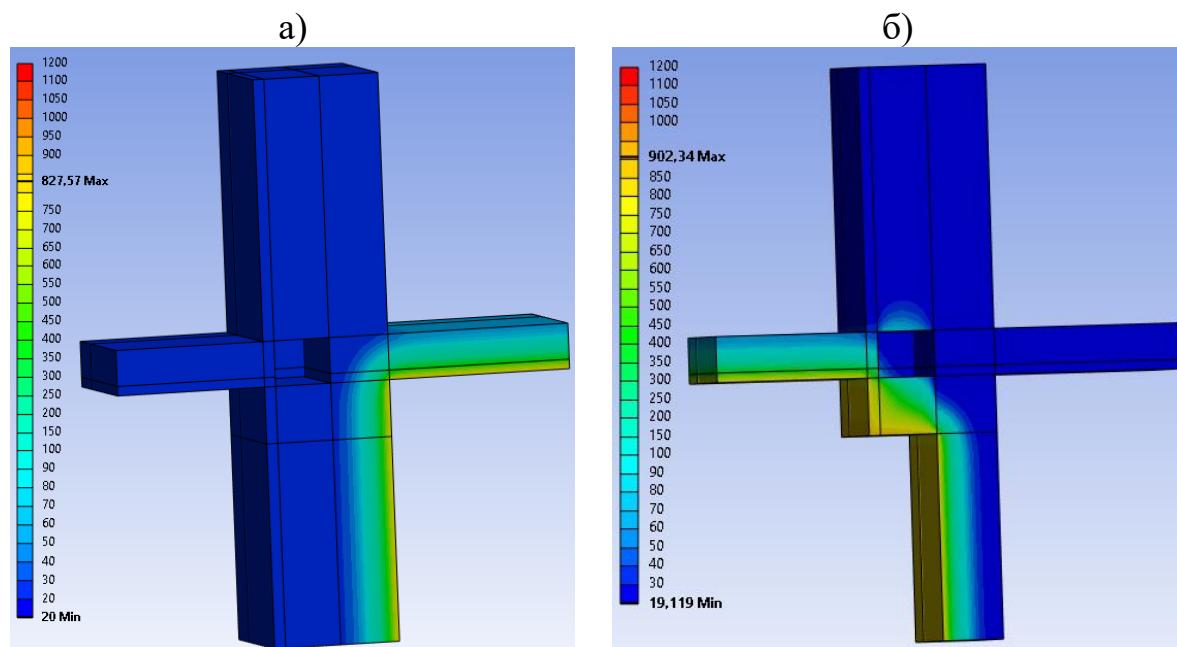


Рис. 3.44. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 45 минуте нагрева (в  $^{\circ}\text{C}$ ): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

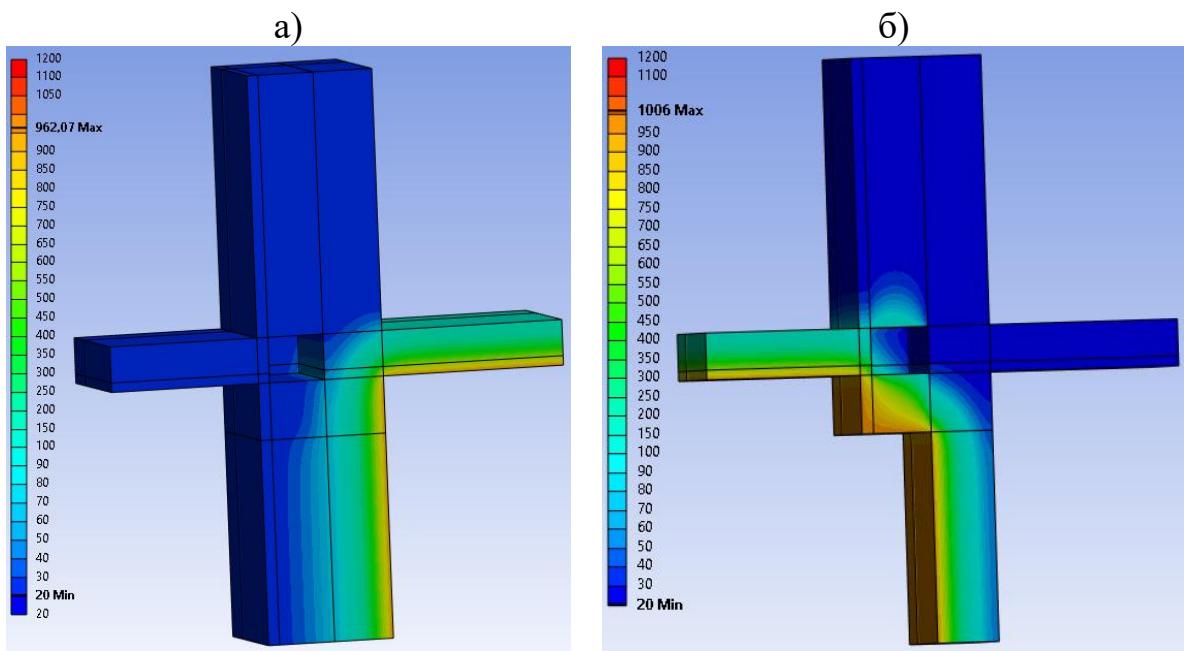


Рис. 3.45. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 90 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

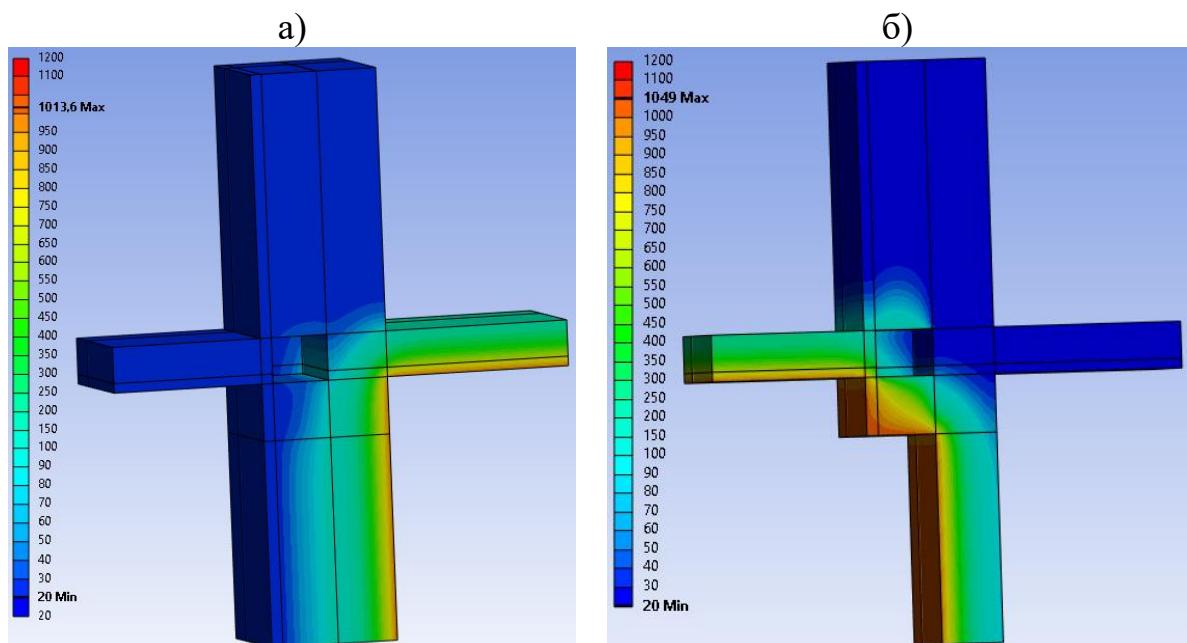


Рис. 3.46. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 120 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

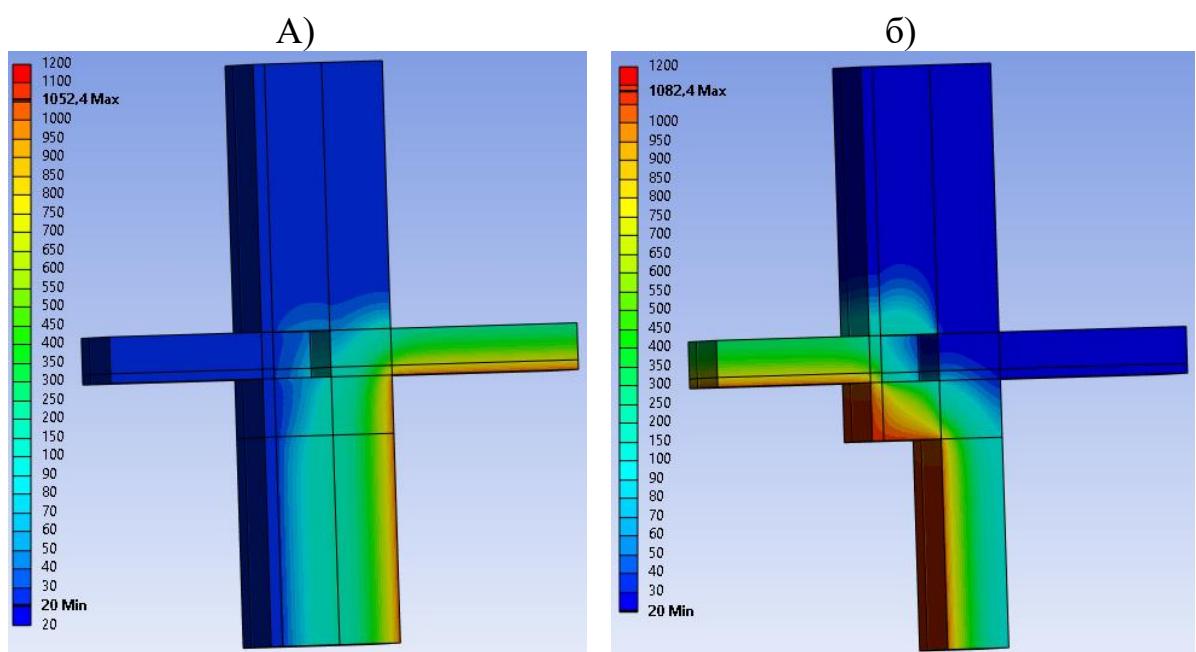


Рис. 3.47. Результат расчета теплотехнической задачи железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 150 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4 (Обязательное)

### Результаты расчета классов пожарной опасности железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола

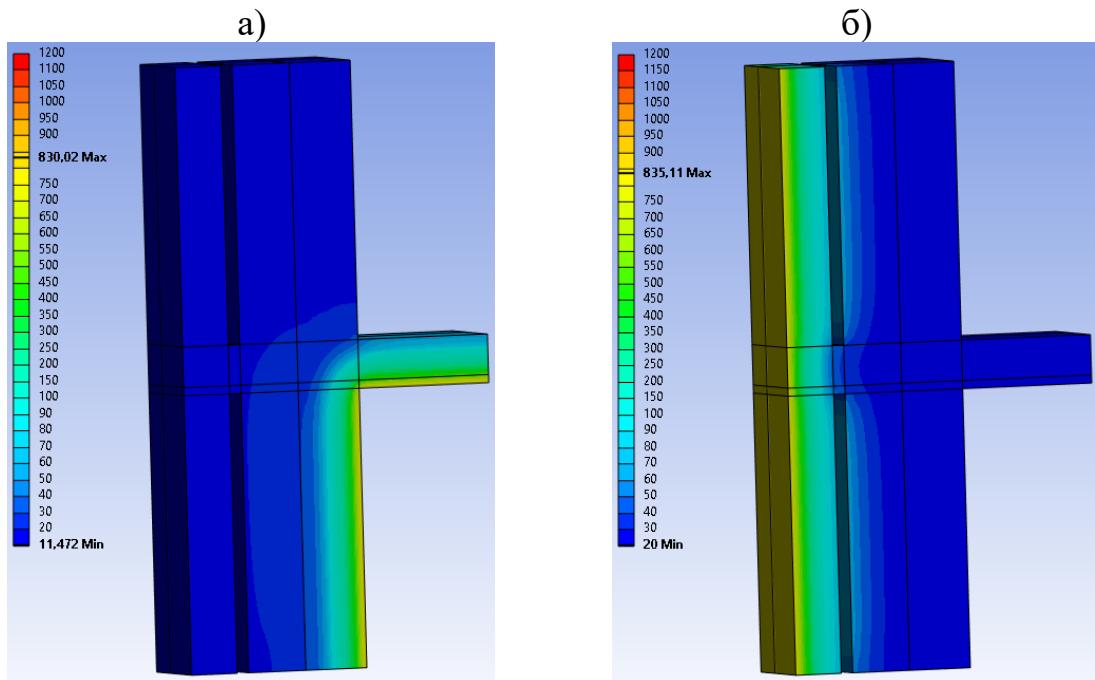


Рис. 4.1. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

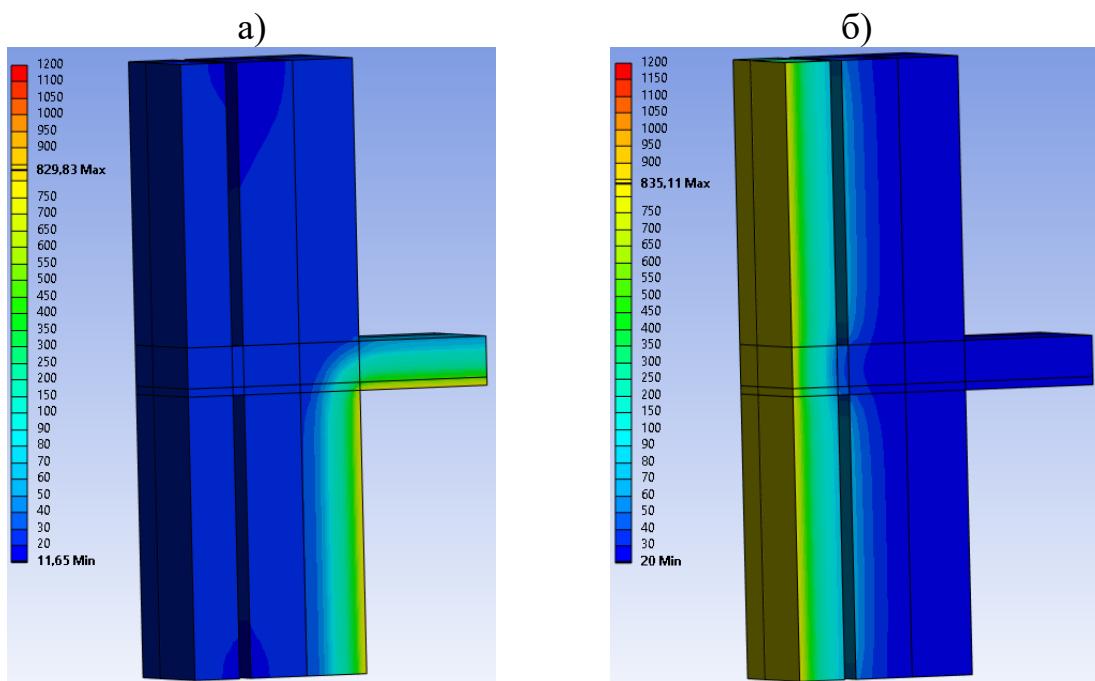


Рис. 4.2. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

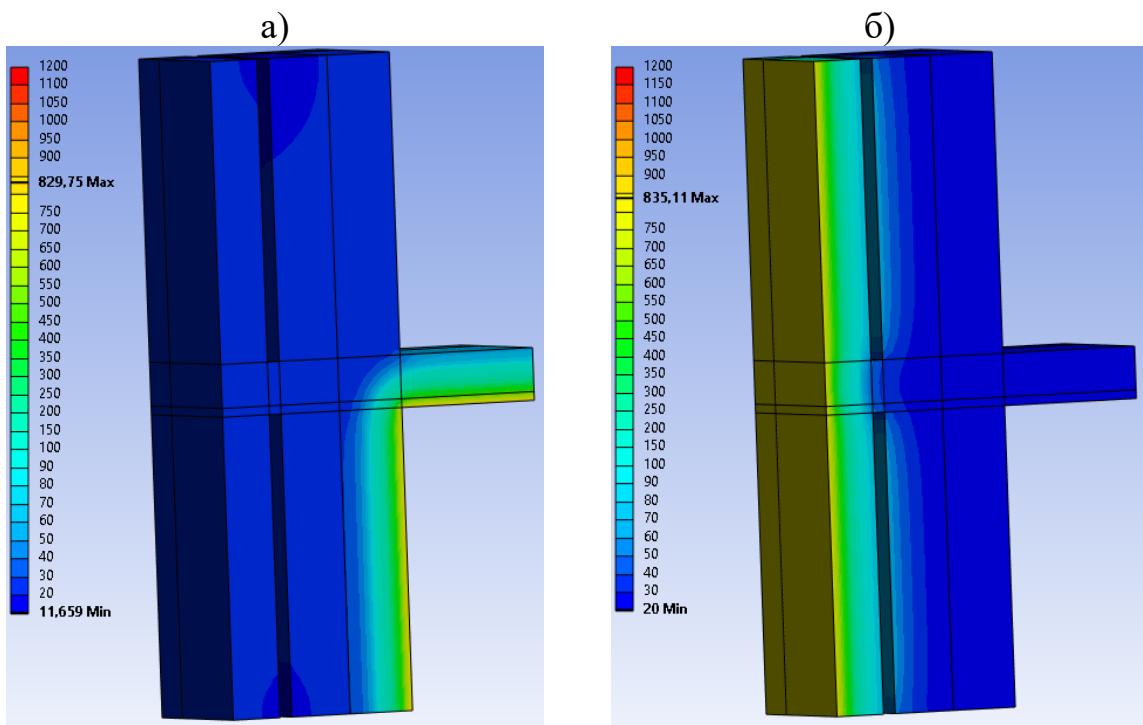


Рис. 4.3. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 1 (У.1.1-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

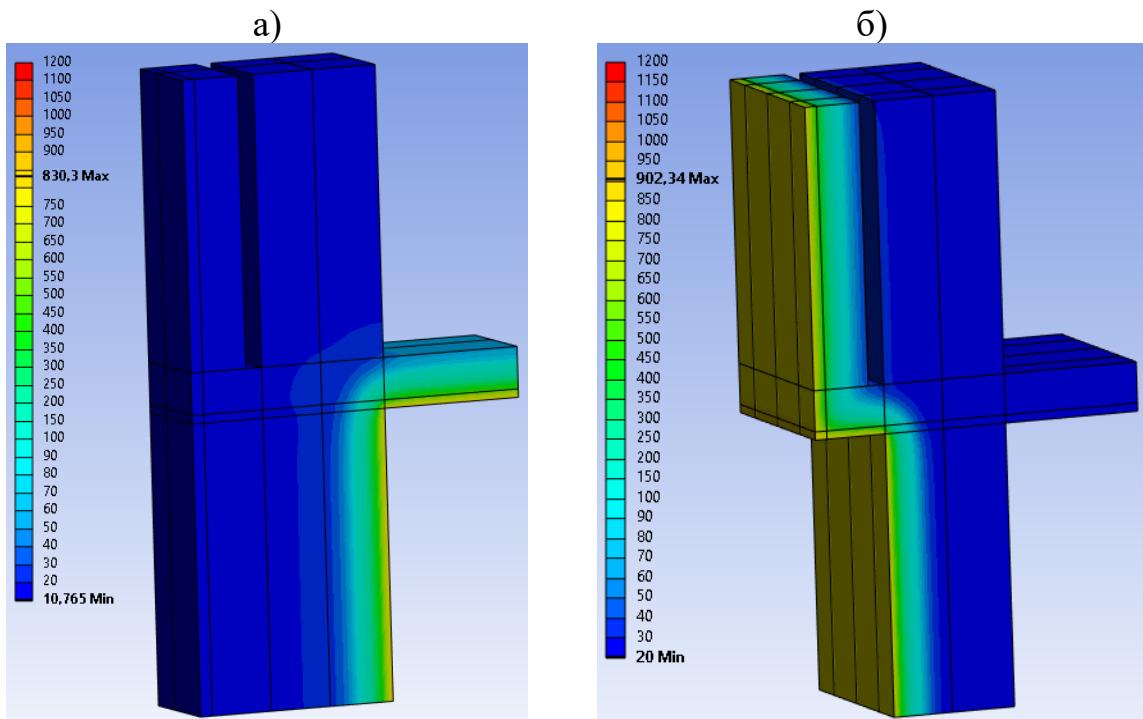


Рис. 4.4. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

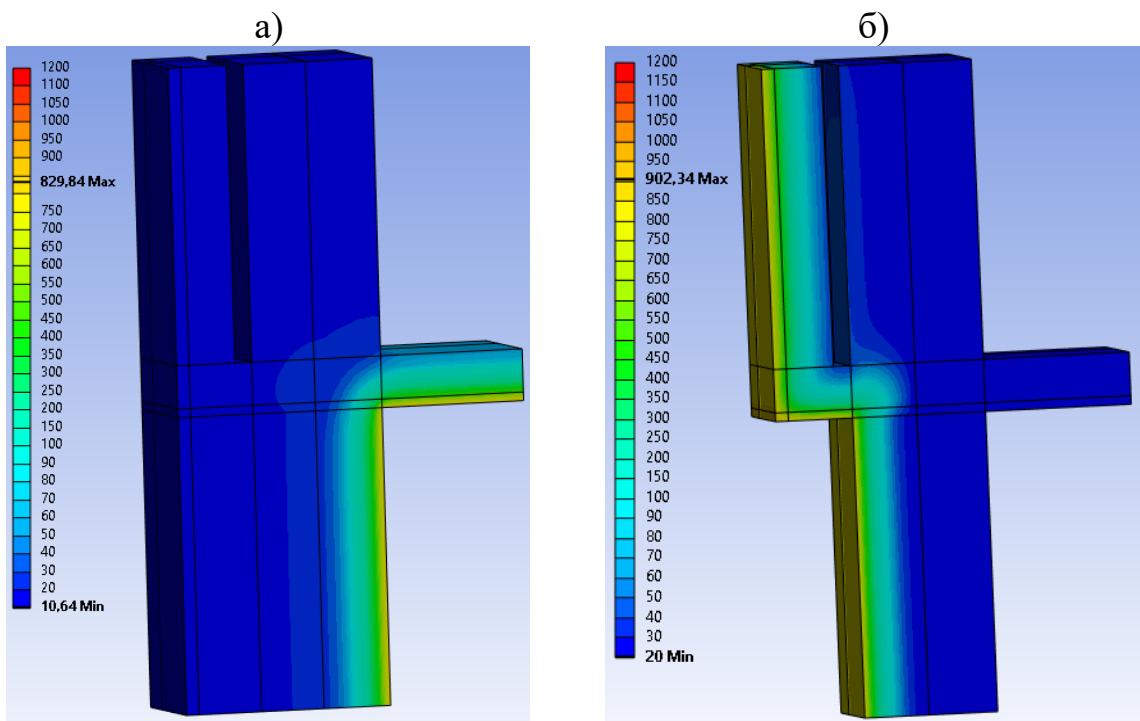


Рис. 4.5. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

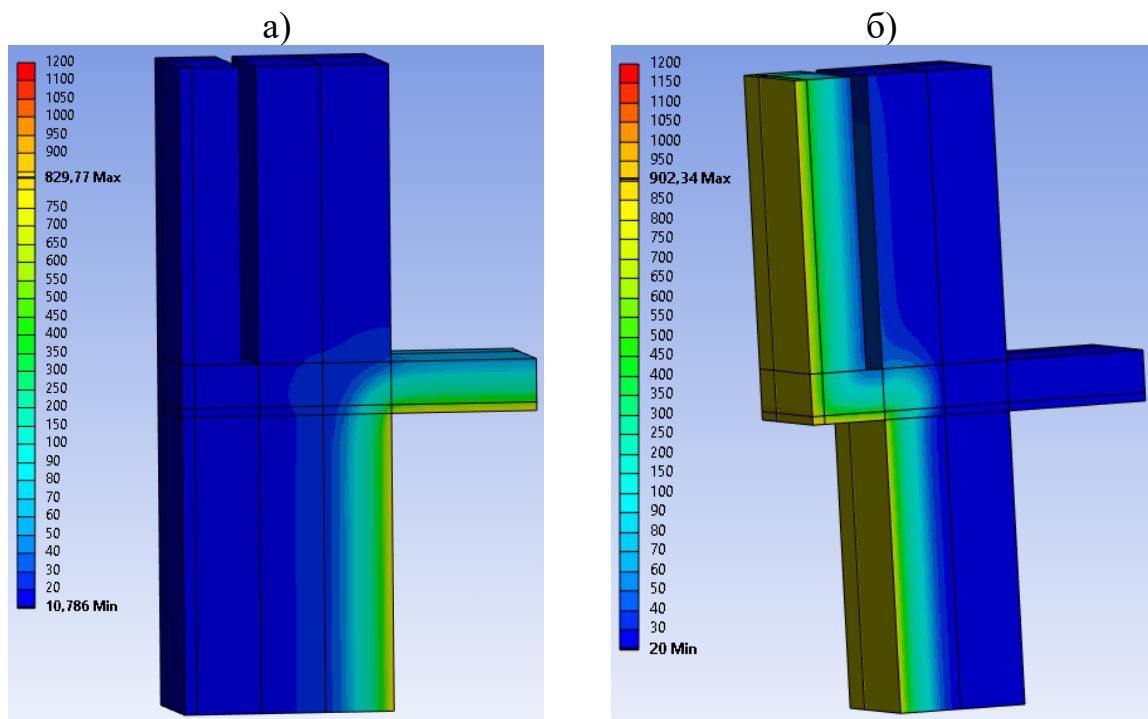


Рис. 4.6. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 2 (У.1.2-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

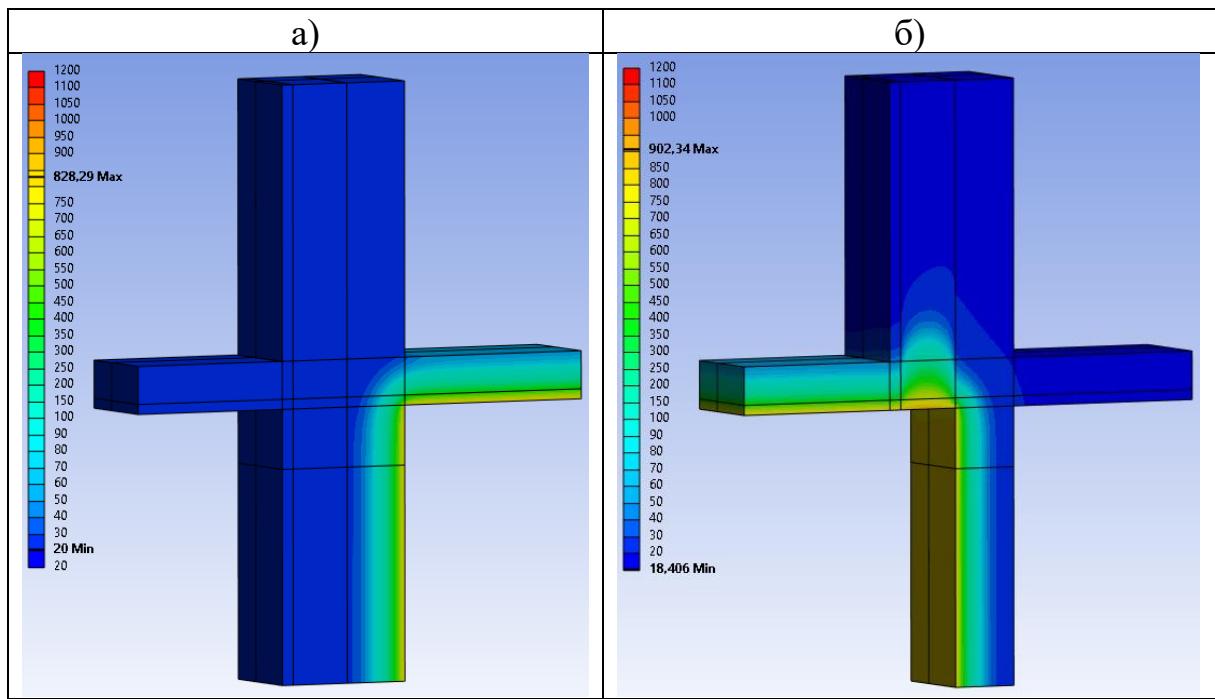


Рис. 4.7. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

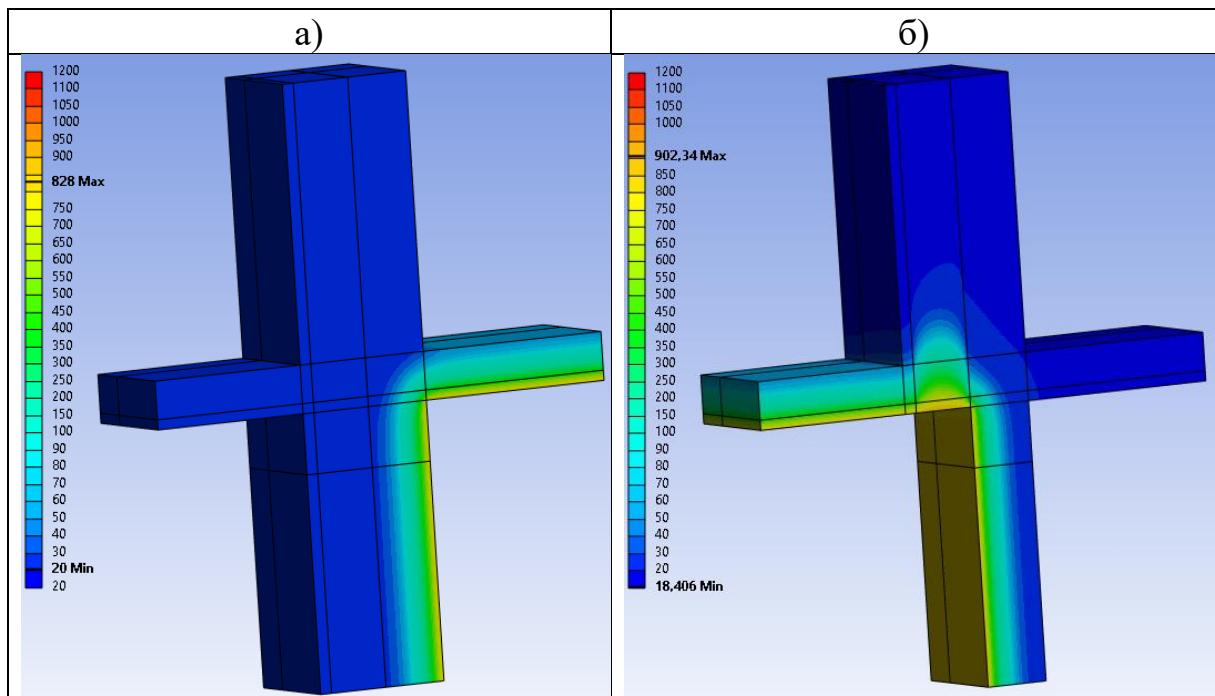


Рис. 4.8. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

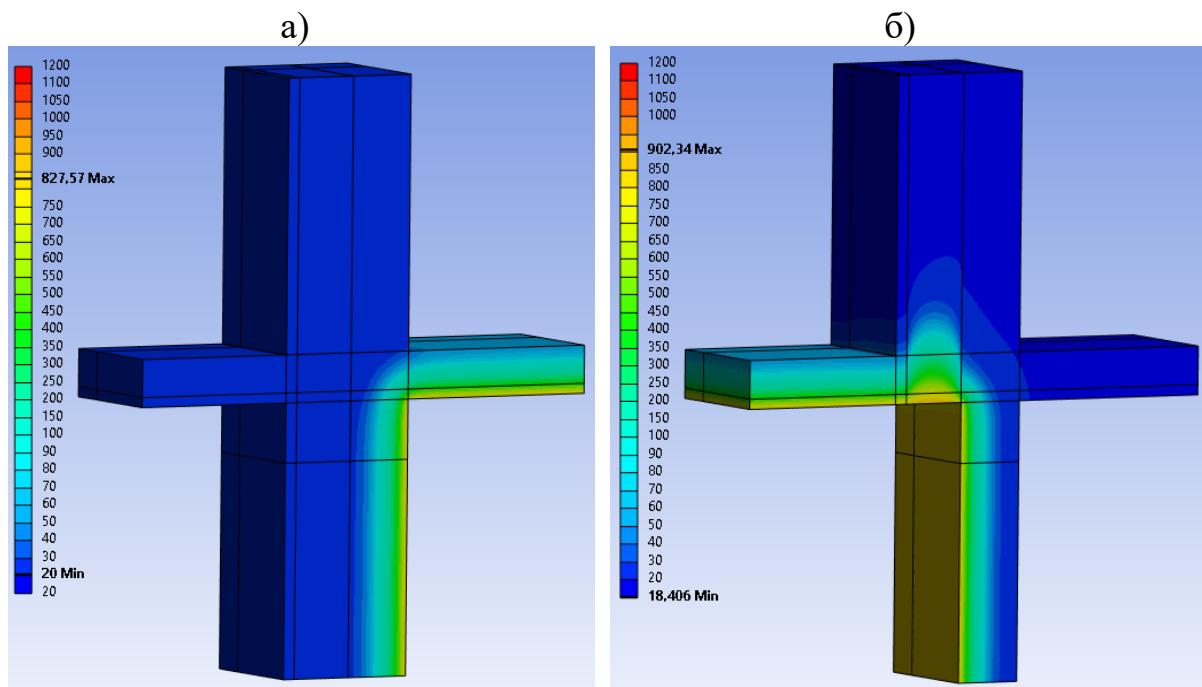


Рис. 4.9. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 4 (У.1.4-2025.09) с размерами вкладыша 500 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

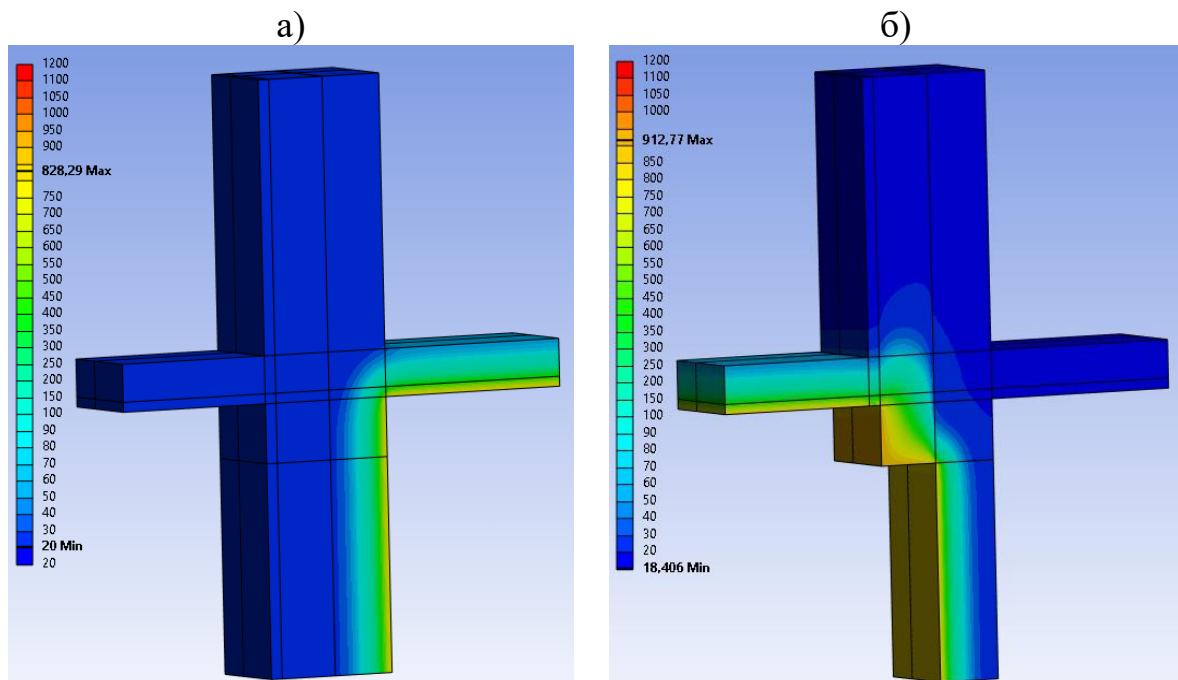


Рис. 4.10. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополистирола Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 300 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

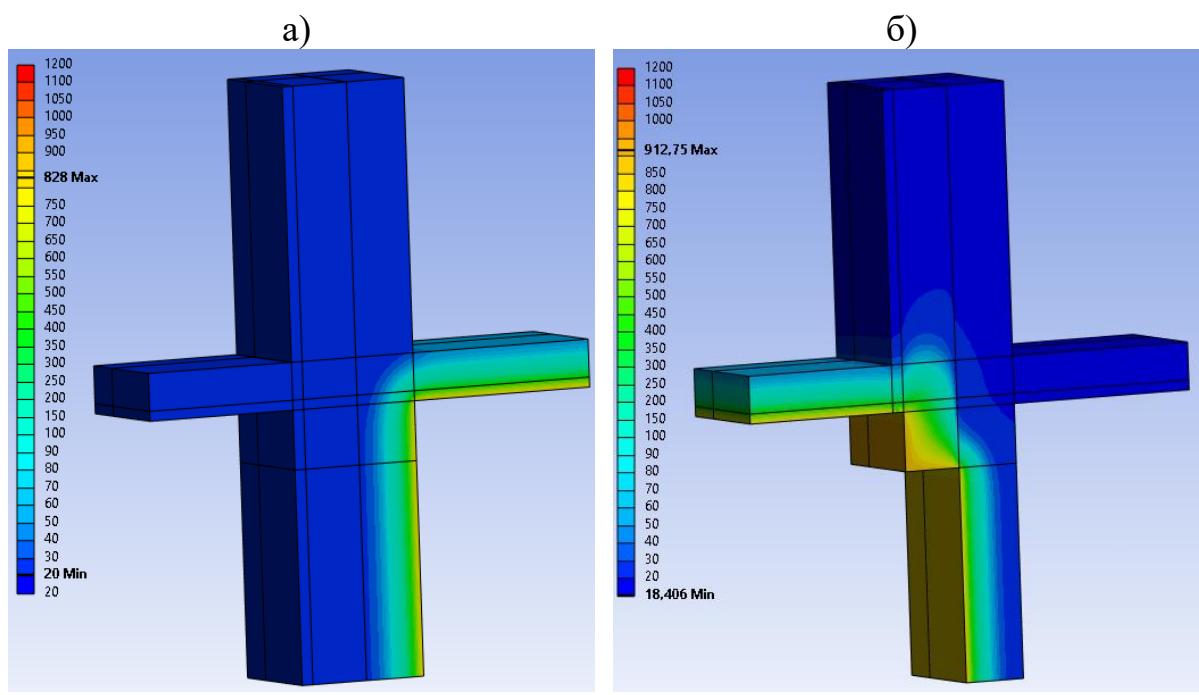


Рис. 4.11. Результат расчета теплотехнической задачи (класс пожарной опасности) железобетонных конструкций с устройством термовкладышей из экструдированного пенополиэтилена Вариант 13 (У.1.13-2025.09) с размерами вкладыша 400 мм на 45 минуте нагрева (в °C): а – нагрев со стороны помещения; б – нагрев со стороны фасада.

**ПРИЛОЖЕНИЕ 5 (Обязательное)**  
**Результаты расчета пределов огнестойкости и классов пожарной**  
**опасности конструкций деформационных швов с устройством**  
**термовкладышей из экструдированного пенополистирола**

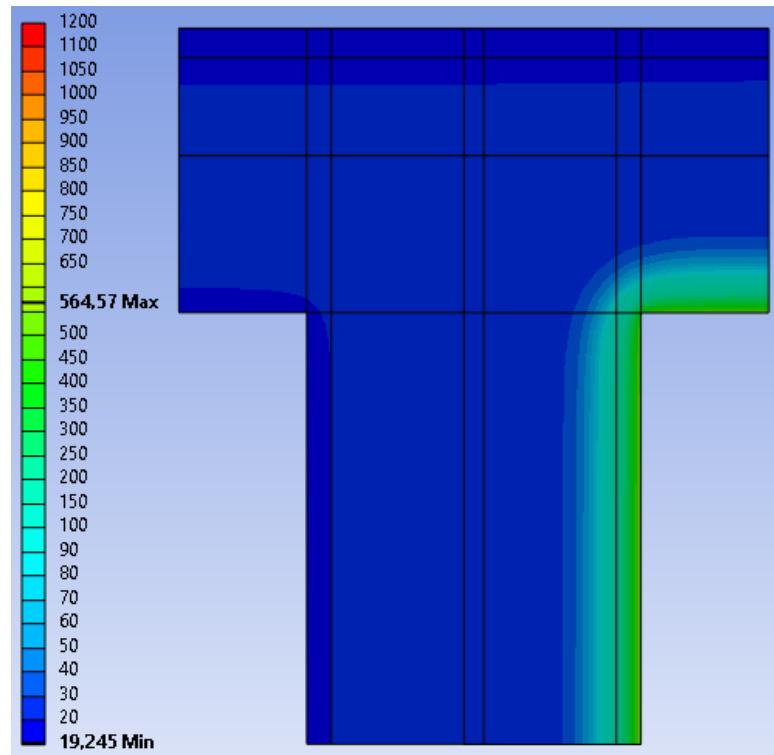


Рис. 5.1. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.1-2025.09) (в °C) на 15 минуте прогрева.

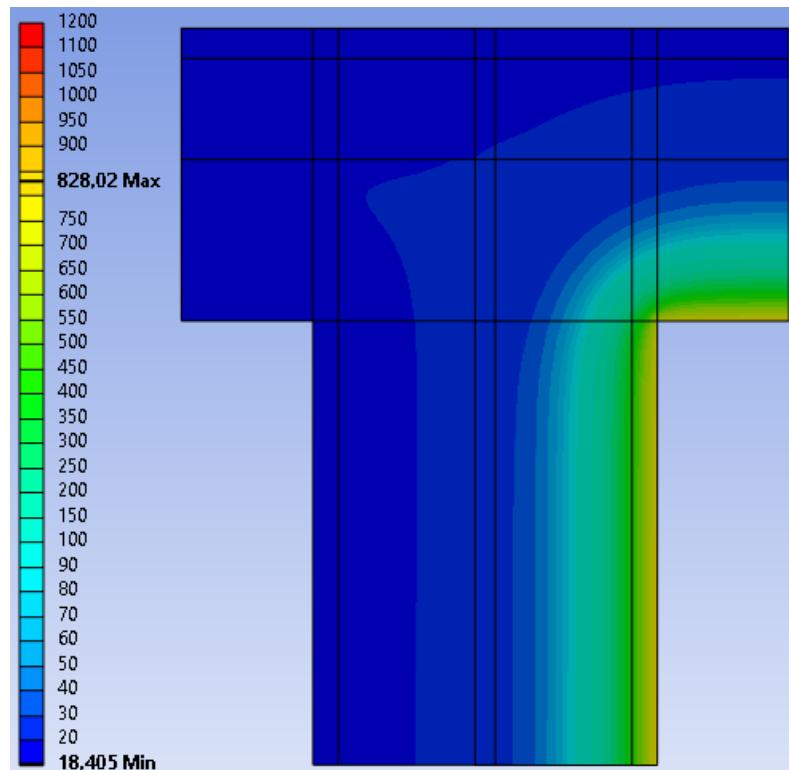


Рис. 5.2. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.1-2025.09) (в °C) на 45 минуте прогрева.

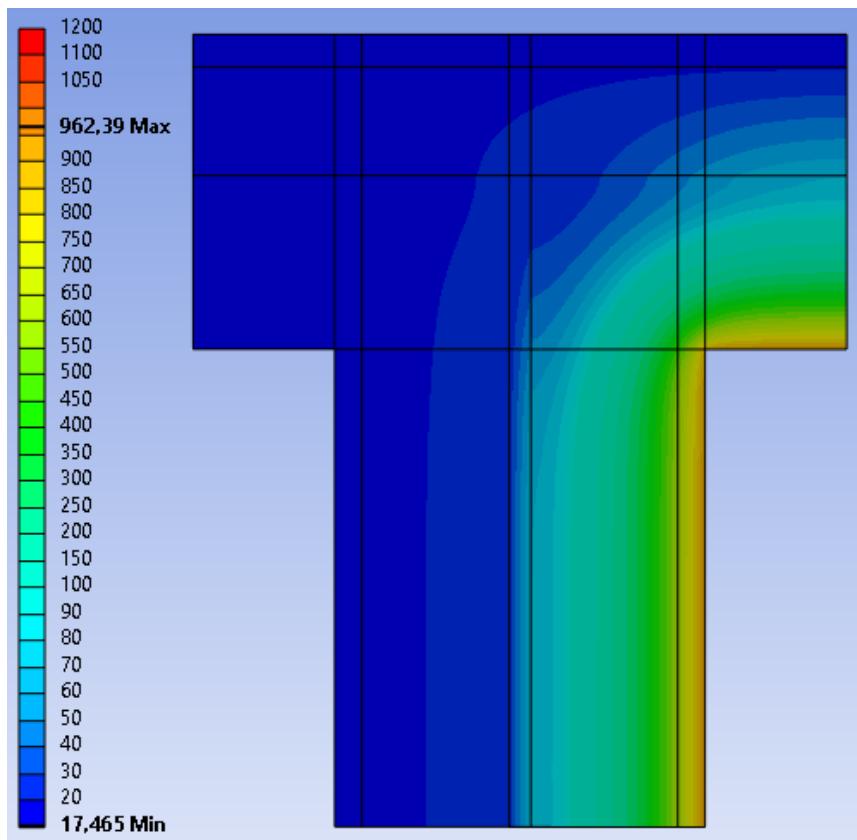


Рис. 5.3. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.1-2025.09) (в °C) на 90 минуте прогрева.

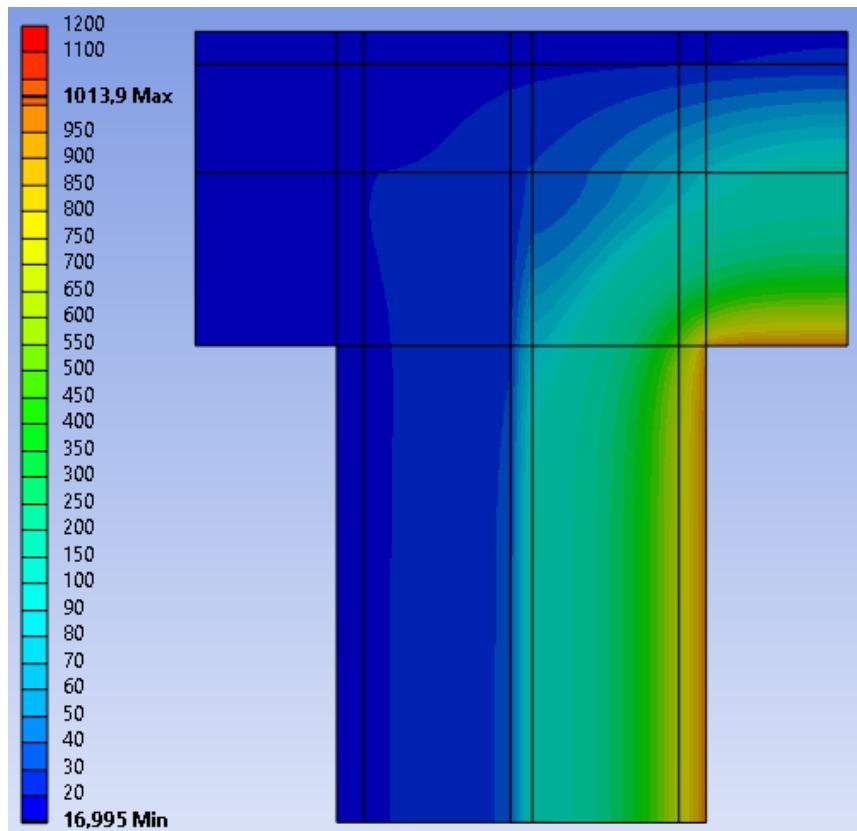


Рис. 5.4. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.1-2025.09) (в °C) на 120 минуте прогрева.

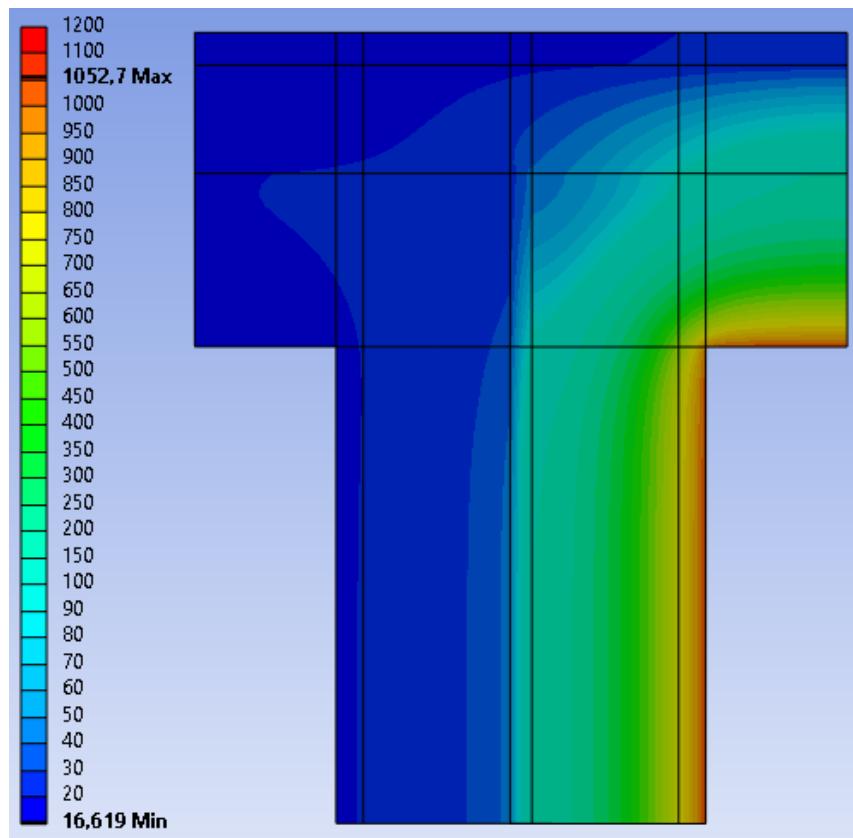


Рис. 5.5. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.1-2025.09) (в °C) на 150 минуте прогрева.

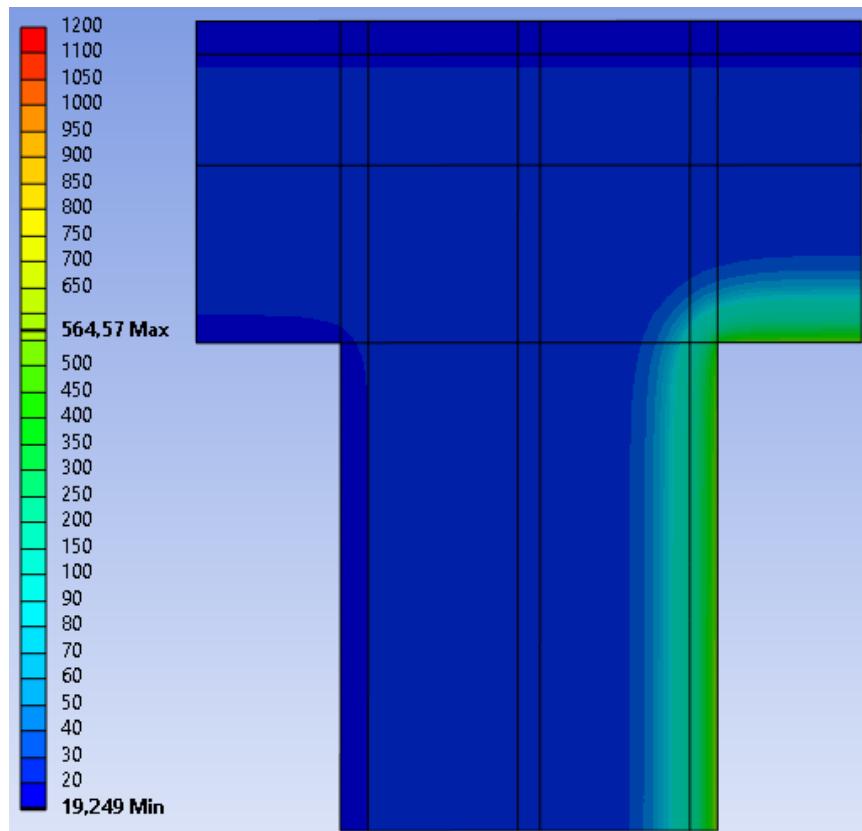


Рис. 5.6. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 2 (У.2.2-2025.09) (в °C) на 15 минуте прогрева.

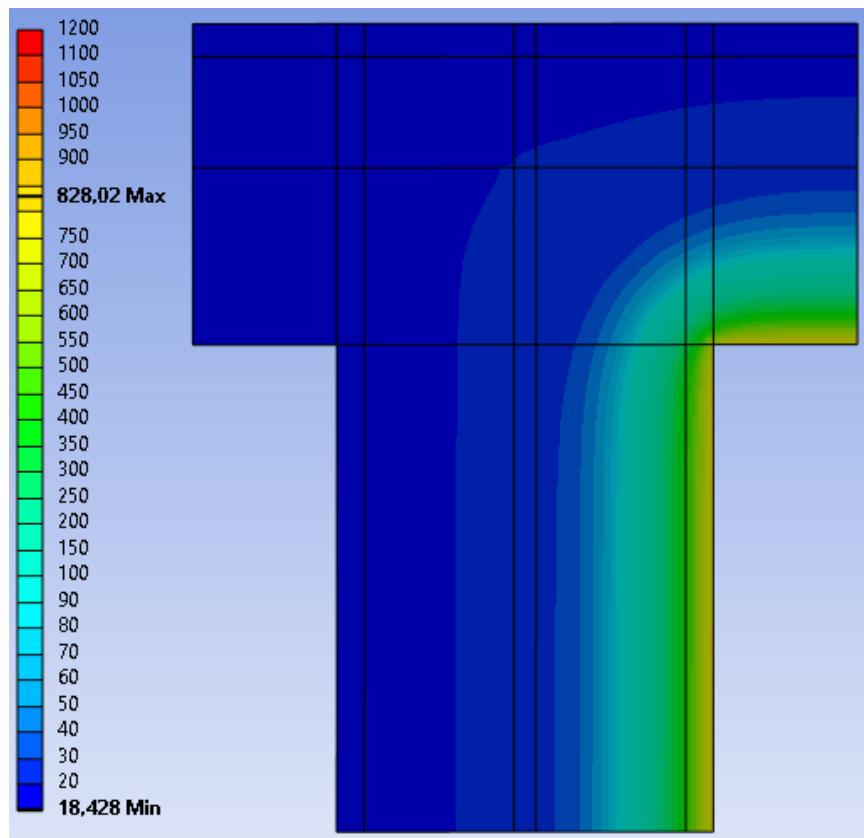


Рис. 5.7. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 2 (У.2.2-2025.09) (в °C) на 45 минуте прогрева.

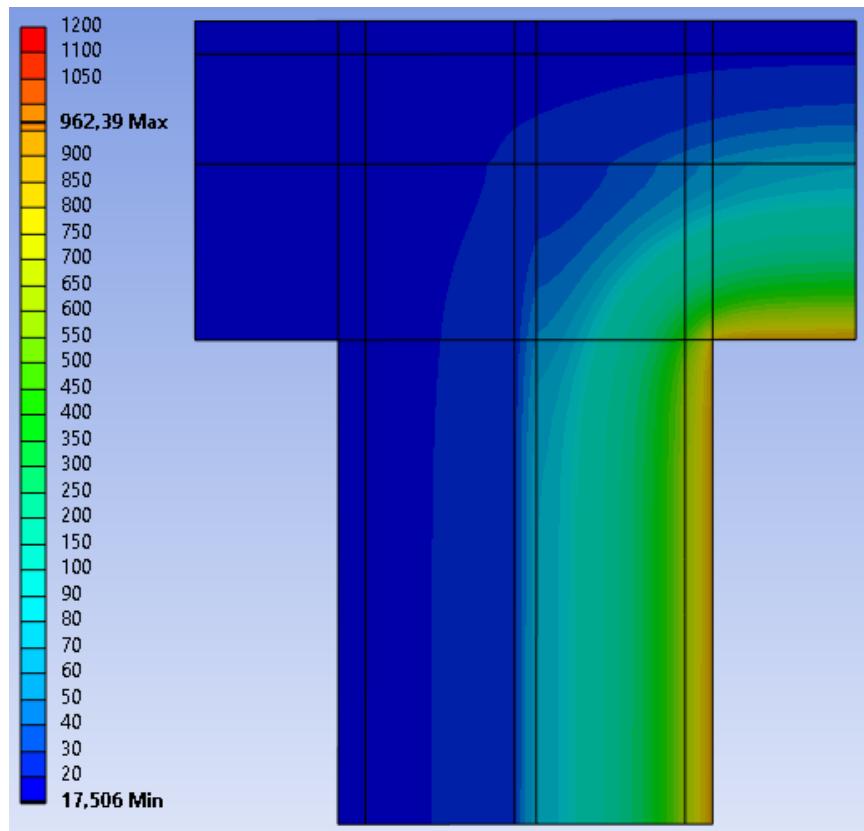


Рис. 5.8. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 2 (У.2.2-2025.09) (в °C) на 90 минуте прогрева.

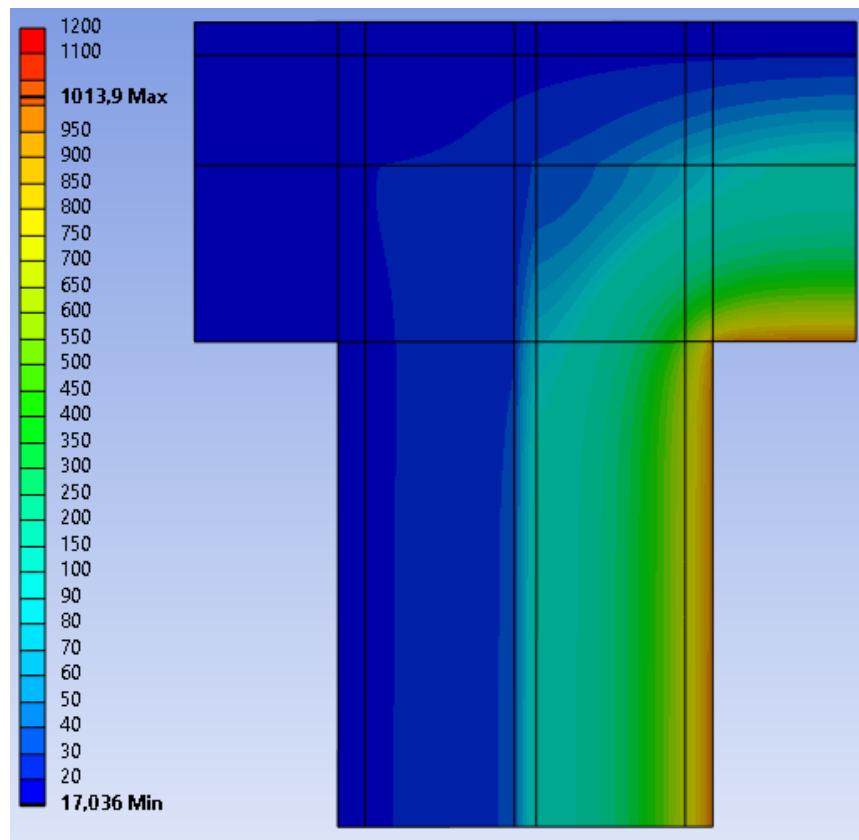


Рис. 5.9. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 2 (У.2.2-2025.09) (в °C) на 120 минуте прогрева.

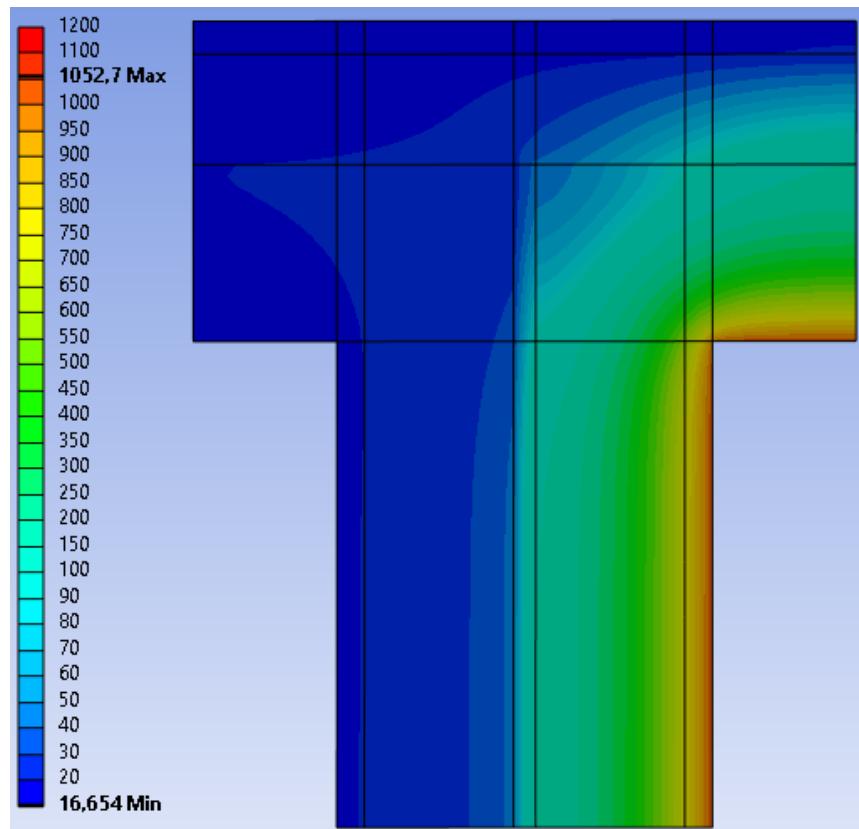


Рис. 5.10. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 2 (У.2.2-2025.09) (в °C) на 150 минуте прогрева.

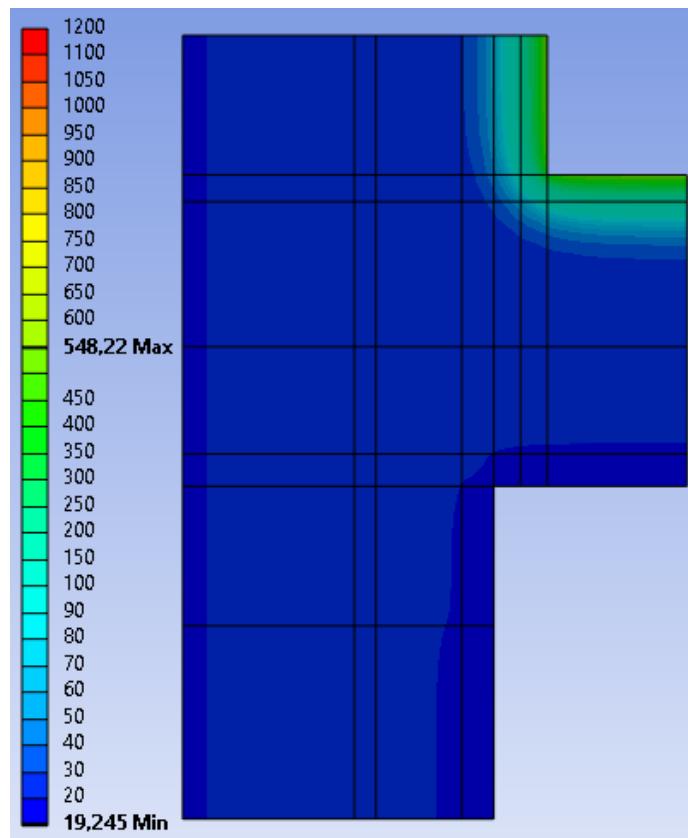


Рис. 5.11. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.9-2025.09) (в °C) на 15 минуте прогрева.

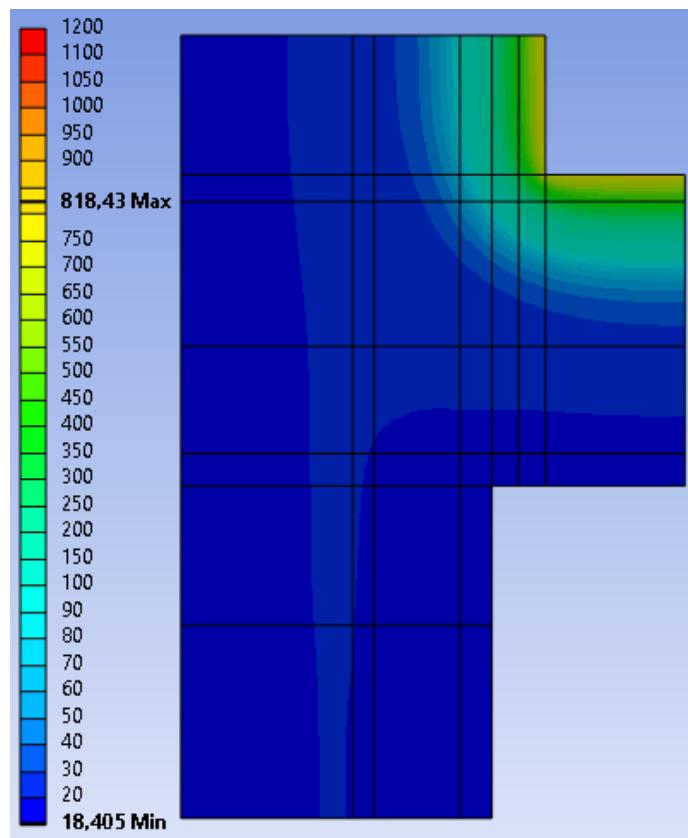


Рис. 5.12. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.9-2025.09) (в °C) на 45 минуте прогрева.

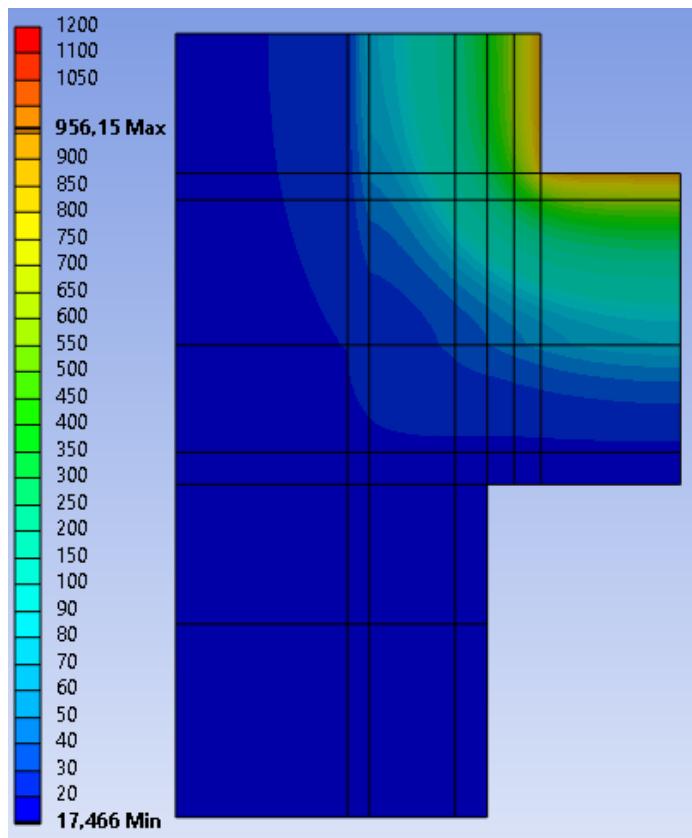


Рис. 5.13. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.9-2025.09) (в °C) на 90 минуте прогрева.

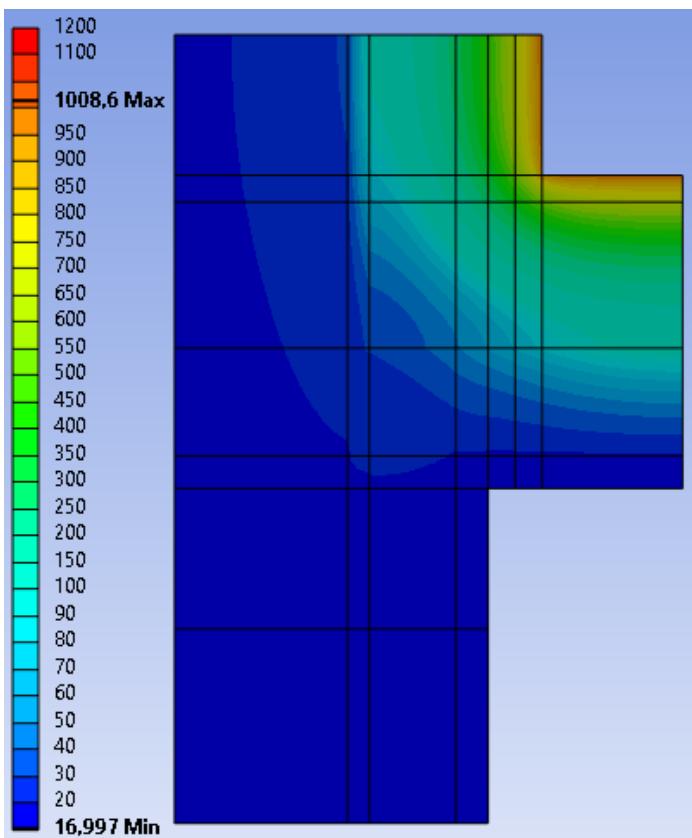


Рис. 5.14. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля. Вариант 1 (У.2.9-2025.09) (в °C) на 120 минуте прогрева.

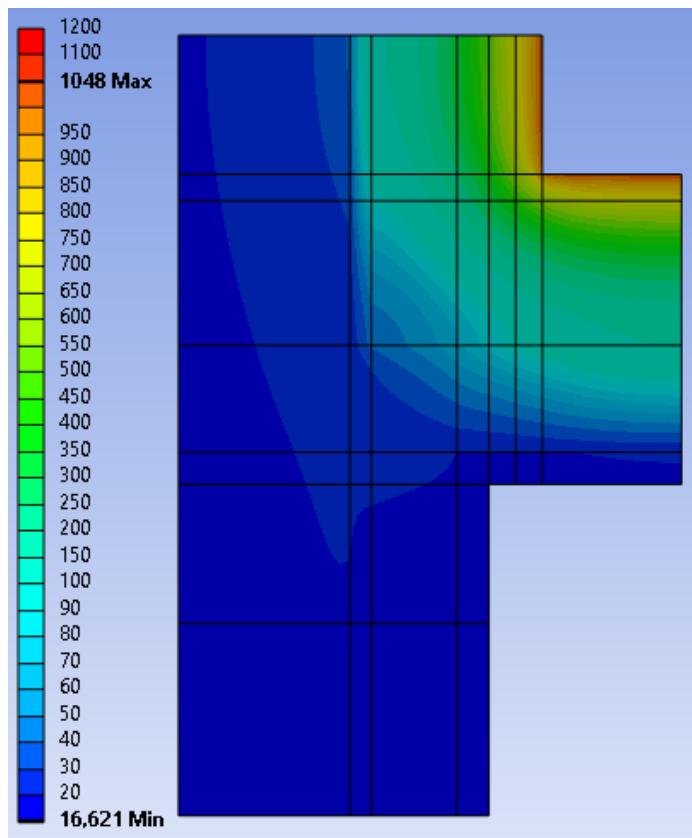


Рис. 5.15. Результат расчета теплотехнической задачи деформационного шва с применением ПВХ профиля Вариант 1 (У.2.9-2025.09) (в °C) на 150 минуте прогрева.