

ОТЧЕТ

**по результатам научно-технической работы:
Расчет огнестойкости деревянных перекрытий**

Екатеринбург 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ	3
2. СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛНИТЕЛЯХ	4
3. АННОТАЦИЯ	4
4. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ	4
5. РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ	5
6. ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ	8
7. МОДЕЛЬ ПЕЧИ	17
8. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ	19
9. РАСЧЕТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ.....	21
10. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	32
11. ОГНЕСТОЙКОСТЬ ПЕРЕКРЫТИЙ.....	32
12. ВЫВОД.....	35
13. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ.....	35
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	36
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	37

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Настоящий отчет подготовлен ... по результатам проведения научно-технической работы: Расчет огнестойкости деревянных перекрытий здания

Содержание и порядок проведения работы определены техническим заданием Заказчика.

Исполнитель не несет ответственности за полноту и достоверность предоставленной Заказчиком информации, использованной при проведении обследования и составлении отчета, в случае изменения технических характеристик перекрытия настоящий отчет подлежит переработке.

При проведении подготовке настоящего отчета использованы актуальные на дату проведения нормативные документы, содержащие как обязательные, так и рекомендуемые требования в области пожарной безопасности.

2. СВЕДЕНИЯ ОБ ИСПОЛНИТЕЛЯХ

Акулов Артем Юрьевич – к.т.н. начальник адъюнктуры ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России.

Субачев Сергей Владимирович – доцент, к.т.н. доцент кафедры управления в кризисных ситуациях ФГБОУ ВО Уральский институт ГПС МЧС России.

3. АННОТАЦИЯ

В работе описаны расчетная модель и результаты компьютерного моделирования прогрева рассматриваемых плит перекрытия при стандартном пожаре.

4. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Цель работы – определение предела огнестойкости плит перекрытия в соответствии с [3, 4] расчетным методом на основе результатов компьютерного моделирования.

Задачи:

- описание расчетной модели;
- построение топологии плит перекрытия, формулирование тепловых характеристик их элементов и материалов;
- построение компьютерной модели печи, реализующей температурный режим, соответствующий стандартному температурному режиму пожара в соответствии с [3];
- моделирование прогрева плит перекрытия в процессе испытания, получение расчетных данных;
- определение времени начала обугливания балок;
- определение времени достижения максимальной рабочей температуры стекломагнезового листа;
- определение предела огнестойкости плит перекрытия.

5. РАСЧЕТНАЯ МОДЕЛЬ

Моделирование выполнено в программе FDS с использованием графического интерфейса PyroSim.

FDS (Fire Dynamic Simulation) реализует вычислительную гидродинамическую модель (CFD) тепломассопереноса при горении. FDS численно решает уравнения Навье-Стокса для низкоскоростных температурно-зависимых потоков, особое внимание уделяется распространению дыма и теплопередаче при пожаре. Модель представляет собой систему уравнений в частных производных, включающую уравнение сохранения массы, момента и энергии, и решается на трехмерной регулярной сетке. Тепловое излучение рассчитывается методом конечных объемов на этой же сетке. Для моделирования движения дыма, спринклеров и распыла топлива используются лагранжевы частицы.

На сегодняшний день приблизительно половина приложений модели служит для проектирования систем управления дымом и изучения активации спринклеров и детекторов. Другая часть служит для восстановления картины пожара в жилых и промышленных помещениях. Основной целью FDS на протяжении своего развития было решение прикладных задач пожаробезопасности и, в тоже время, обеспечение инструментом для изучения фундаментальных процессов при пожаре.

Программа разрабатывается лабораторией строительных и пожарных исследований (BFRL) национального института стандартов и технологий США. Вклад в исследования и развитие модели внесли сотрудники комиссии по ядерному регулированию США (NRC), центра научно-технических исследований Финляндии (VTT), общества инженеров по пожарной безопасности (SFPE) и др.

Математическая модель FDS базируется на использовании дифференциальных уравнений в частных производных, описывающих пространственно-временное распределение температуры и скоростей газовой

среды в помещении, концентраций компонентов газовой среды (кислорода, продуктов горения и т.д.), давлений и плотностей.

Закон сохранения массы:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = \dot{m}_b'''$$

Закон сохранения момента импульса:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{u}) + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} \mathbf{u} + \nabla p = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f}_b + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau}_{ij}$$

где тензор вязких напряжений:

$$\boldsymbol{\tau}_{ij} = \mu \left(2 \mathbf{S}_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} (\nabla \cdot \mathbf{u}) \right) \quad ; \quad \delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i=j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \quad ; \quad \mathbf{S}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad i, j = 1, 2, 3$$

Закон сохранения энергии:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho h_s) + \nabla \cdot \rho h_s \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} + \dot{q}''' - \dot{q}_b''' - \nabla \cdot \dot{\mathbf{q}}'' + \varepsilon$$

где теплоперенос

$$\dot{\mathbf{q}}'' = -k \nabla T - \sum_{\alpha} h_{s,\alpha} \rho D_{\alpha} \nabla Y_{\alpha} + \dot{\mathbf{q}}_r''$$

а энергия рассеяния

$$\varepsilon \equiv \boldsymbol{\tau}_{ij} \cdot \nabla \mathbf{u} = \mu \left(2 \mathbf{S}_{ij} \cdot \mathbf{S}_{ij} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \mathbf{u})^2 \right)$$

Уравнение состояния газа:

$$p = \frac{\rho \mathcal{R} T}{W}$$

Эти шесть уравнений имеют шесть независимых переменных: три компоненты скорости, плотность, температура и давление.

Закон сохранения отдельных компонент:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_{\alpha}) + \nabla \cdot \rho Y_{\alpha} \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_{\alpha} \nabla Y_{\alpha} + \dot{m}_{\alpha}'''$$

Для моделирования турбулентности FDS использует метод LES (Large Eddy Simulation) – масштабное моделирование вихрей. LES используется для моделирования диссипативных процессов (вязкость, теплопроводность, диффузивность), масштабы которых меньше размеров явно определенной численной сетки. Это значит, что параметры μ , k , D в вышеприведенных

уравнениях не могут использоваться напрямую и заменяются выражениями, моделирующими их воздействие

$$\mu_{LES} = \rho (C_s \Delta)^2 \left(2 \bar{S}_{ij} \cdot \bar{S}_{ij} - \frac{2}{3} (\nabla \cdot \bar{\mathbf{u}})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$
$$k_{LES} = \frac{\mu_{LES} c_p}{Pr_t} \quad ; \quad (\rho D)_{l,LES} = \frac{\mu_{LES}}{Sc_t}$$

При использовании LES в качестве модели сгорания обычно используется модель доли в смеси (mixture fraction). «Доля в смеси» в данном смысле – скалярная величина, представляющая массовую долю одного или более компонентов газа в данной точке потока. По умолчанию рассчитываются два компонента смеси: массовая доля несгоревшего топлива и массовая доля сгоревшего топлива (т.е. продуктов сгорания).

Лучистый теплообмен включен в модель посредством решения уравнения переноса излучения для серого газа и, для некоторых ограниченных случаев, с использованием широкодиапазонной модели. Уравнение решается с помощью метода, аналогичного методу конечных объемов для конвективного переноса, соответственно отсюда и название «метод конечных объемов» (FVM). При использовании приблизительно 100 дискретных углов вычисления лучистого теплообмена занимает примерно 20 % общего времени загрузки центрального процессора, небольшой расход задан уровнем сложности лучистого теплообмена.

Подробнее с математической моделью FDS можно ознакомиться в [1].

Модель FDS подверглась подробным оценочным исследованиям, проводимым специалистами Национального института стандартов и технологий США (NIST) и других организаций. Подробнее результаты валидации FDS приведены в документе [2].

6. ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ

6.1. Плита междуэтажного перекрытия

6.1.1. Конструктивное исполнение

Конструктивное исполнение плиты междуэтажного перекрытия приведено в приложении 1.

Плита междуэтажного перекрытия имеет размеры 4000×3000 мм (рис. 1).

Балки плиты сечением 80×200 мм, располагаются с шагом 780 мм.

По балкам проложены лаги сечением 100×65 мм, с шагом 700 мм.

По лагам проложены доски толщиной 40 мм.

Пространство между балками заполнено базальтовой изоляцией «Техновент Оптима», которая опирается на полосы стекломагневого листа «Tehstrong Firestop L» толщиной 10 мм, шириной 280 мм (отступающие от балок на 100 мм в каждую сторону).

Снизу плита подшита стекломагниевыми листами «Tehstrong Firestop L» толщиной 10 мм.

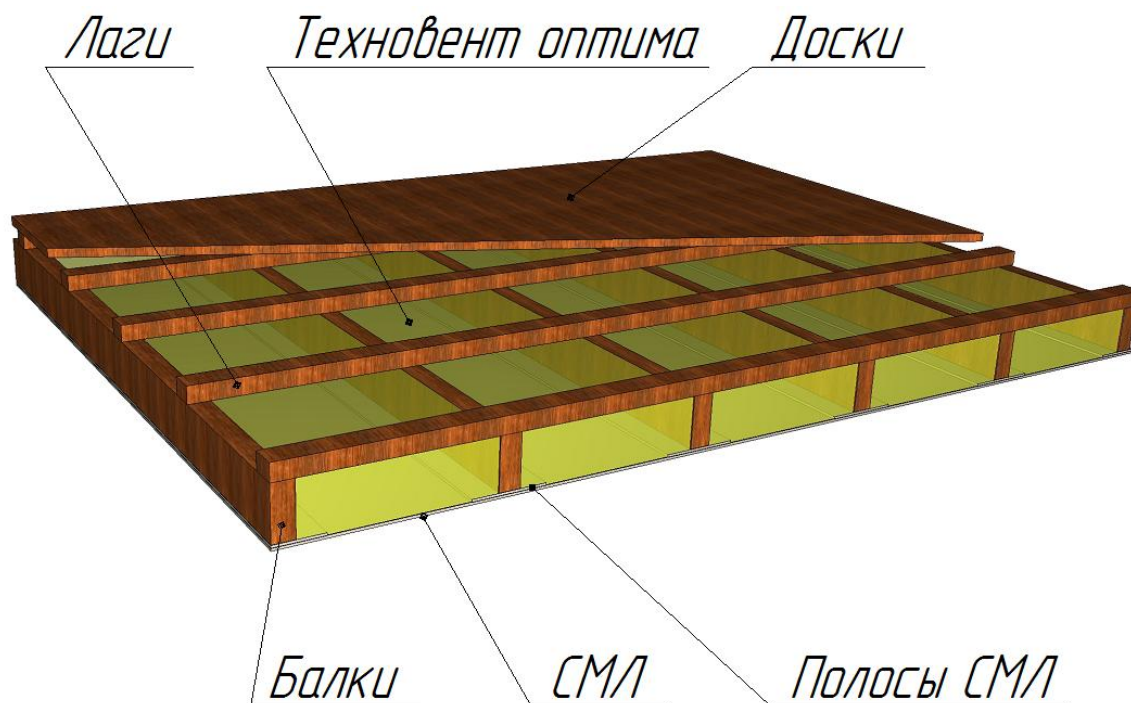


Рис. 1. Модель междуэтажного перекрытия

6.1.2. Теплотехническая модель

Исходя из конструкции плиты, необходимо обозначить 6 подмоделей нагрева плиты (6 типов температурных градиентов) с соответствующими наборами слоев различных материалов (рис. 2):

- тип 1: СМЛ 20 мм; балка 200 мм; лага 65 мм; доска 40 мм;
- тип 2: СМЛ 20 мм; балка 200 мм; воздушная прослойка 65 мм; доска 40 мм;
- тип 3: СМЛ 10 мм; термоизоляция 210 мм; лага 65 мм; доска 40 мм;
- тип 3*: СМЛ 20 мм; термоизоляция 200 мм; лага 65 мм; доска 40 мм;
- тип 4: СМЛ 10 мм; термоизоляция 210 мм; воздушная прослойка 65 мм; доска 40 мм;
- тип 4*: СМЛ 20 мм; термоизоляция 200 мм; воздушная прослойка 65 мм; доска 40 мм.

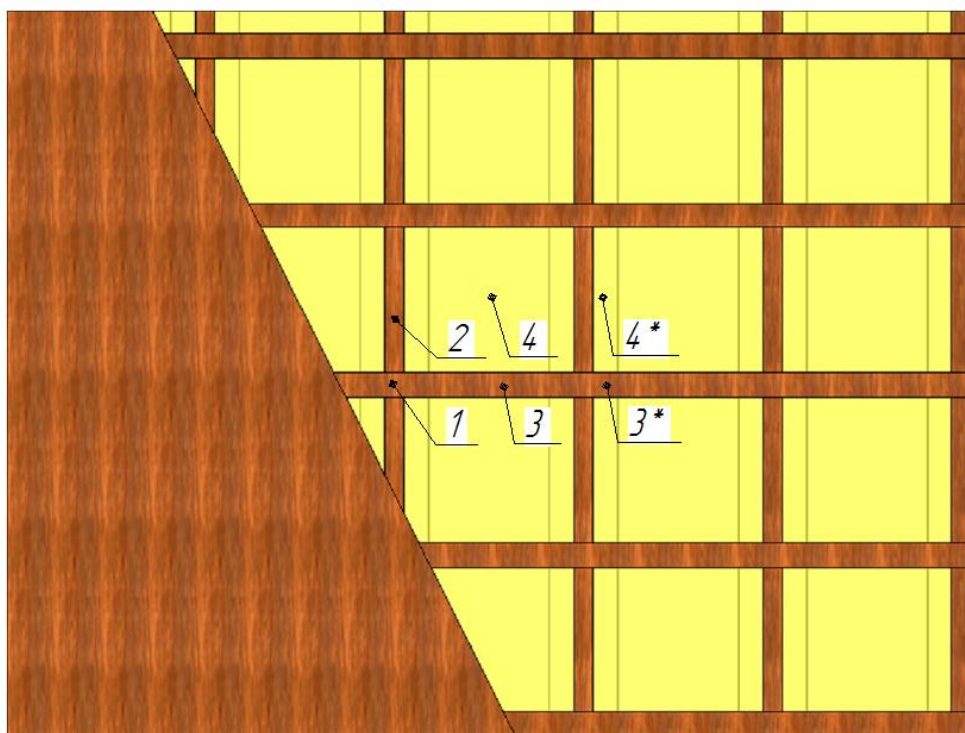


Рис. 2. Характерные точки, определяющие 6 типов температурных градиентов плиты перекрытия

Таблица 1

 Тепловые свойства конструктивных элементов¹

Элемент	Материал	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Теплоемкость, кДж/(кг·К)
Балки, лаги, доски	Сосна и ель поперек волокон (ГОСТ 8486-66**, ГОСТ 9463-72*)	500	0,18	2,3
Термоизоляция	Базальтовая изоляция «Техновент Оптима»	90	0,04	0,92
СМЛ	СМЛ	956	0,23	1,43
Воздушная прослойка (65 мм)	Воздух (параметры изменяются в зависимости от температуры)	по табл. 2	по табл. 2	по табл. 2

Таблица 2

 Тепловые свойства воздуха²

Температура, °С	Плотность, кг/м ³	Теплоемкость, кДж/(кг·К)	Теплопроводность, Вт/(м·К)
20	1,205	1,005	0,0259
30	1,165	1,005	0,0267
40	1,128	1,005	0,0276
50	1,093	1,005	0,0283
60	1,060	1,005	0,029
70	1,029	1,009	0,0296
80	1,000	1,009	0,0305
90	0,972	1,009	0,0313
100	0,946	1,009	0,0321
120	0,898	1,009	0,0334
140	0,854	1,013	0,0349
160	0,815	1,017	0,0364
180	0,779	1,022	0,0378
200	0,746	1,026	0,0393
250	0,674	1,038	0,0427
300	0,615	1,047	0,046
350	0,566	1,059	0,0491
400	0,524	1,068	0,0521
500	0,456	1,093	0,0574
600	0,404	1,114	0,0622
700	0,362	1,135	0,0671
800	0,329	1,156	0,0718
900	0,301	1,172	0,0763
1000	0,277	1,185	0,0807
1100	0,257	1,197	0,085
1200	0,239	1,210	0,0915

¹ значения приведены по информации Заказчика

² значения приведены по информации Заказчика

6.1.3. Исходный текст тепловой модели плиты в формате FDS

```

&MATL ID=' СМЛ' ,
    SPECIFIC_HEAT=1. 43,
    CONDUCTIVITY=0. 21,
    DENSITY=956. 0,
    EMISSIVITY=0. 0/
&MATL ID=' Балка' ,
    SPECIFIC_HEAT=2. 3,
    CONDUCTIVITY=0. 18,
    DENSITY=700. 0,
    EMISSIVITY=0. 0/
&MATL ID=' Лага' ,
    SPECIFIC_HEAT=2. 3,
    CONDUCTIVITY=0. 18,
    DENSITY=500. 0,
    EMISSIVITY=0. 0/
&MATL ID=' Доска' ,
    SPECIFIC_HEAT=2. 3,
    CONDUCTIVITY=0. 18,
    DENSITY=500. 0,
    EMISSIVITY=0. 0/
&MATL ID=' Воздушная прослойка' ,
    SPECIFIC_HEAT_RAMP=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' ,
    CONDUCTIVITY_RAMP=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP' ,
    DENSITY=1. 205,
    EMISSIVITY=0. 0/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=20. 0, F=1. 005/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=30. 0, F=0. 972/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=40. 0, F=0. 941/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=50. 0, F=0. 912/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=60. 0, F=0. 884/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=70. 0, F=0. 858/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=80. 0, F=0. 834/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=90. 0, F=0. 811/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=100. 0, F=0. 789/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=120. 0, F=0. 749/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=140. 0, F=0. 712/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=160. 0, F=0. 68/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=180. 0, F=0. 65/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=200. 0, F=0. 622/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=250. 0, F=0. 562/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=300. 0, F=0. 513/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=350. 0, F=0. 472/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=400. 0, F=0. 437/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=500. 0, F=0. 38/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=600. 0, F=0. 337/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=700. 0, F=0. 302/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=800. 0, F=0. 274/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=900. 0, F=0. 251/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=1000. 0, F=0. 231/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=1100. 0, F=0. 214/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_SPECIFIC_HEAT_RAMP' , T=1200. 0, F=0. 199/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP' , T=20. 0, F=0. 0259/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP' , T=30. 0, F=0. 0267/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP' , T=40. 0, F=0. 0276/
    
```

```

&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=50.0, F=0.0283/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=60.0, F=0.029/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=70.0, F=0.0296/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=80.0, F=0.0305/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=90.0, F=0.0313/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=100.0, F=0.0321/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=120.0, F=0.0334/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=140.0, F=0.0349/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=160.0, F=0.0364/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=180.0, F=0.0378/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=200.0, F=0.0393/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=250.0, F=0.0427/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=300.0, F=0.046/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=350.0, F=0.0491/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=400.0, F=0.0521/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=500.0, F=0.0574/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=600.0, F=0.0622/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=700.0, F=0.0671/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=800.0, F=0.0718/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=900.0, F=0.0763/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=1000.0, F=0.0807/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=1100.0, F=0.085/
&RAMP ID=' Воздушная прослойка_CONDUCTIVITY_RAMP', T=1200.0, F=0.0915/
&MATL ID=' Вата',
    SPECIFIC_HEAT=0.84,
    CONDUCTIVITY=0.04,
    DENSITY=90.0,
    EMISSIVITY=0.0/
&SURF ID=' 1 тип',
    RGB=59.0, 71.0, 127.0,
    EMISSIVITY=0.0,
    MATL_ID(1, 1)=' СМЛ',
    MATL_ID(2, 1)=' Балка',
    MATL_ID(3, 1)=' Лага',
    MATL_ID(4, 1)=' Доска',
    MATL_MASS_FRACTION(1, 1)=1.0,
    MATL_MASS_FRACTION(2, 1)=1.0,
    MATL_MASS_FRACTION(3, 1)=1.0,
    MATL_MASS_FRACTION(4, 1)=1.0,
    THICKNESS(1: 4)=0.02, 0.2, 0.065, 0.04/
&SURF ID=' 2 тип',
    RGB=51.0, 106.0, 198.0,
    EMISSIVITY=0.0,
    MATL_ID(1, 1)=' СМЛ',
    MATL_ID(2, 1)=' Балка',
    MATL_ID(3, 1)=' Воздушная прослойка',
    MATL_ID(4, 1)=' Доска',
    MATL_MASS_FRACTION(1, 1)=1.0,
    MATL_MASS_FRACTION(2, 1)=1.0,
    MATL_MASS_FRACTION(3, 1)=1.0,
    MATL_MASS_FRACTION(4, 1)=1.0,
    THICKNESS(1: 4)=0.02, 0.2, 0.065, 0.04/
&SURF ID=' 3 тип',
    RGB=0.0, 204.0, 102.0,
    EMISSIVITY=0.0,
    
```

```
MATL_ID(1, 1)=' СМЛ' ,  
MATL_ID(2, 1)=' Вата' ,  
MATL_ID(3, 1)=' Лага' ,  
MATL_ID(4, 1)=' Доска' ,  
MATL_MASS_FRACTION(1, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(2, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(3, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(4, 1)=1. 0,  
THICKNESS(1: 4)=0. 01, 0. 21, 0. 065, 0. 04/  
&SURF ID=' 3* тип' ,  
RGB=0. 0, 152. 0, 132. 0,  
EMISSIONIVITY=0. 0,  
MATL_ID(1, 1)=' СМЛ' ,  
MATL_ID(2, 1)=' Вата' ,  
MATL_ID(3, 1)=' Лага' ,  
MATL_ID(4, 1)=' Доска' ,  
MATL_MASS_FRACTION(1, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(2, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(3, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(4, 1)=1. 0,  
THICKNESS(1: 4)=0. 02, 0. 2, 0. 065, 0. 04/  
&SURF ID=' 4 тип' ,  
RGB=255. 0, 153. 0, 102. 0,  
EMISSIONIVITY=0. 0,  
MATL_ID(1, 1)=' СМЛ' ,  
MATL_ID(2, 1)=' Вата' ,  
MATL_ID(3, 1)=' Воздушная прослойка' ,  
MATL_ID(4, 1)=' Доска' ,  
MATL_MASS_FRACTION(1, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(2, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(3, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(4, 1)=1. 0,  
THICKNESS(1: 4)=0. 01, 0. 21, 0. 065, 0. 04/  
&SURF ID=' 4* тип' ,  
RGB=255. 0, 153. 0, 170. 0,  
EMISSIONIVITY=0. 0,  
MATL_ID(1, 1)=' СМЛ' ,  
MATL_ID(2, 1)=' Вата' ,  
MATL_ID(3, 1)=' Воздушная прослойка' ,  
MATL_ID(4, 1)=' Доска' ,  
MATL_MASS_FRACTION(1, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(2, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(3, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(4, 1)=1. 0,  
THICKNESS(1: 4)=0. 02, 0. 2, 0. 065, 0. 04/
```

6.2. Плита чердачного перекрытия

6.2.1. Конструктивное исполнение

Конструктивное исполнение чердачного перекрытия приведено в приложении 2.

Плита чердачного перекрытия имеет размеры 4000×3000 мм (рис. 3).

Балки плиты сечением 100×150 мм, располагаются с шагом 600 мм.

Пространство между балками заполнено базальтовой изоляцией «Техновент Оптима», которая опирается на полосы стекломагневого листа «Tehstrong Firestop L» толщиной 10 мм, шириной 300 мм (отступающие от балок на 100 мм в каждую сторону).

Снизу плита подшита стекломагневыми листами «Tehstrong Firestop L» толщиной 10 мм.

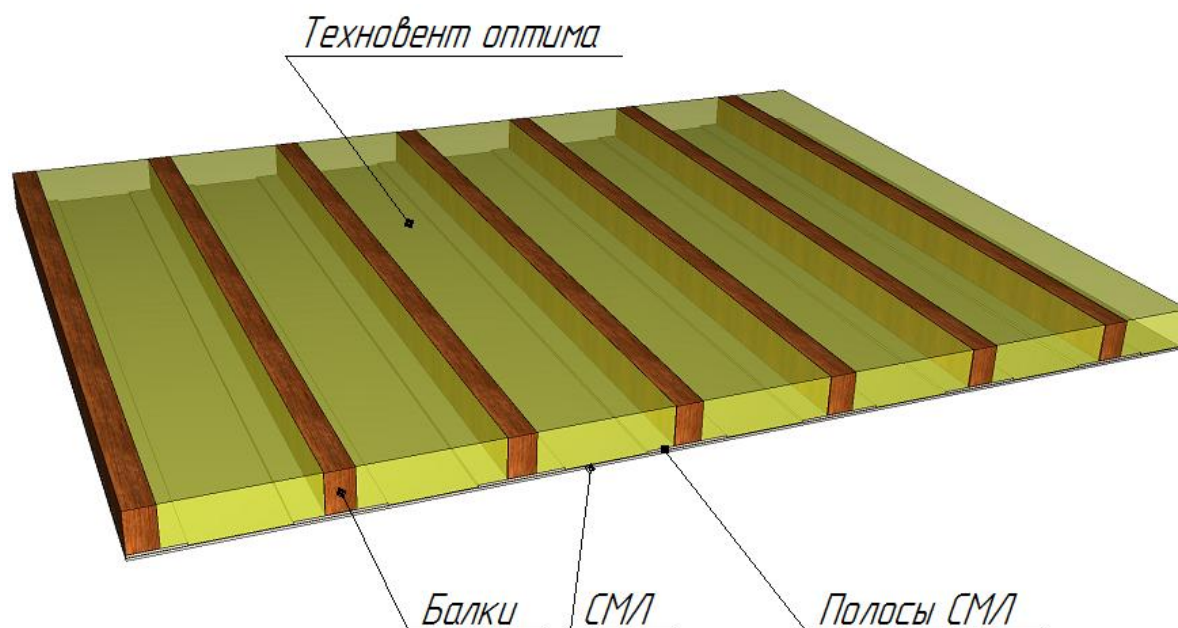


Рис. 3. Плита чердачного перекрытия
6.2.2. Теплотехническая модель

Исходя из конструкции плиты, необходимо обозначить 3 подмодели нагрева плиты (3 типа температурных градиентов) с соответствующими наборами слоев различных материалов (рис. 4):

- тип 1: СМЛ 20 мм; балка 150 мм;
- тип 2: СМЛ 10 мм; термоизоляция 160;
- тип 2*: СМЛ 20 мм; термоизоляция 150.

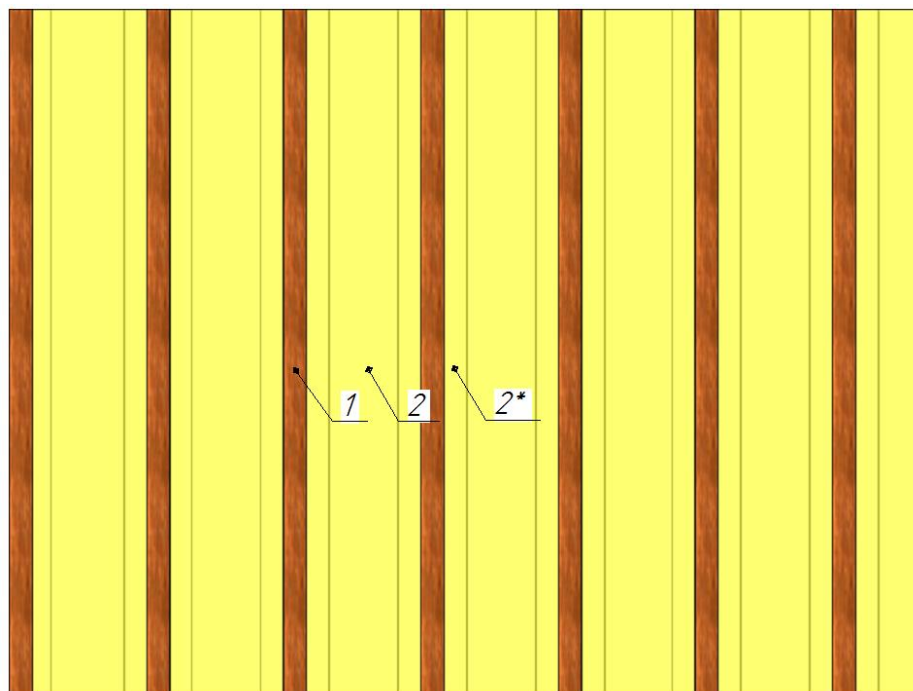


Рис. 4. Характерные точки, определяющие 3 типа температурных градиентов плиты чердачного перекрытия

Таблица 3

Тепловые свойства конструктивных элементов³

Элемент	Материал	Плотность, кг/м ³	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Теплоемкость, кДж/(кг·К)
Балки	Сосна и ель поперек волокон (ГОСТ 8486-66**, ГОСТ 9463-72*)	500	0,18	2,3
Термоизоляция	Базальтовая изоляция «Техновент Оптима»	90	0,04	0,92
СМЛ	СМЛ	956	0,23	1,43

6.2.3. Исходный текст тепловой модели плиты в формате FDS

```

&MATL ID=' СМЛ' ,
    SPECIFIC_HEAT=1.43,
    CONDUCTIVITY=0.21,
    DENSITY=956.0,
    EMISSIVITY=0.0/
&MATL ID=' Балка' ,
    SPECIFIC_HEAT=2.3,
    CONDUCTIVITY=0.18,
    DENSITY=700.0,
    EMISSIVITY=0.0/
&MATL ID=' Вата' ,
    SPECIFIC_HEAT=0.84,
    CONDUCTIVITY=0.04,
    DENSITY=90.0,
    
```

³ расчетные значения по информации Заказчика

```
EMI SSI VI TY=0. 0/  
&SURF ID=' 1 тип' ,  
RGB=51. 0, 106. 0, 198. 0,  
EMI SSI VI TY=0. 0,  
MATL_ID(1, 1)=' СМЛ' ,  
MATL_ID(2, 1)=' Балка' ,  
MATL_MASS_FRACTION(1, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(2, 1)=1. 0,  
THICKNESS(1: 2)=0. 02, 0. 15/  
&SURF ID=' 2 тип' ,  
RGB=255. 0, 153. 0, 102. 0,  
EMI SSI VI TY=0. 0,  
MATL_ID(1, 1)=' СМЛ' ,  
MATL_ID(2, 1)=' Вата' ,  
MATL_MASS_FRACTION(1, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(2, 1)=1. 0,  
THICKNESS(1: 2)=0. 01, 0. 16/  
&SURF ID=' 2* тип' ,  
RGB=255. 0, 153. 0, 170. 0,  
EMI SSI VI TY=0. 0,  
MATL_ID(1, 1)=' СМЛ' ,  
MATL_ID(2, 1)=' Вата' ,  
MATL_MASS_FRACTION(1, 1)=1. 0,  
MATL_MASS_FRACTION(2, 1)=1. 0,  
THICKNESS(1: 2)=0. 02, 0. 15/
```


7. МОДЕЛЬ ПЕЧИ

Модель испытательной печи разработана в соответствии с требованиями [3]. Размеры печи соответствуют проектным размерам испытуемых конструкций.

Температурный режим в печи соответствует требованиям [3]. В процессе испытания в испытательной печи создается стандартный температурный режим, характеризуемый зависимостью:

$$T = T_0 + 345 \cdot \lg(8t + 1),$$

где T – температура в печи, соответствующая времени t , °С;

T_0 – температура в печи до начала теплового воздействия (принимается равной температуре окружающей среды), °С;

t – время, исчисляемое от начала испытания, мин.

Температура среды в огневой камере печи измеряется не менее, чем в пяти местах. При этом на каждые 1,5 кв. м проема печи установлено не менее одного датчика температуры (всего 8 шт.).

Датчики температуры установлены на расстоянии 100 мм от поверхности образца.

При этом расстояние от всех датчиков температуры до стенок печи не менее 200 мм.

Отклонение средней измеренной температуры в печи от значений, соответствующих стандартному температурному режиму не превышают значений, установленных [3] (рис. 5, рис. 6).

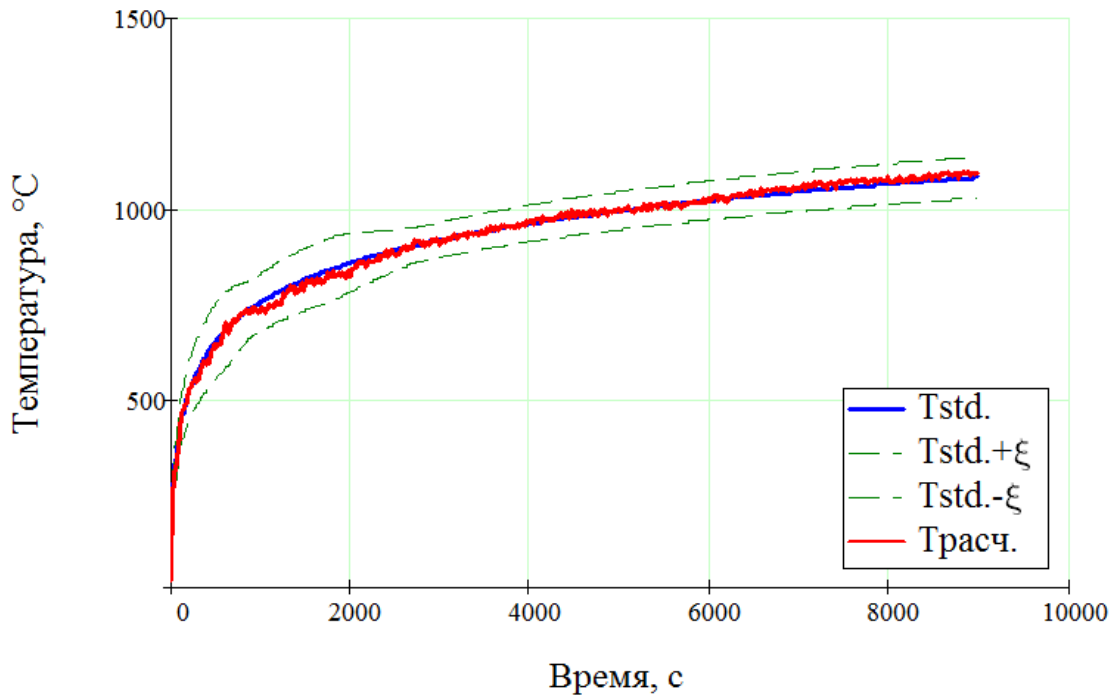


Рис. 5. Температура в печи в процессе испытания плиты междуэтажного перекрытия

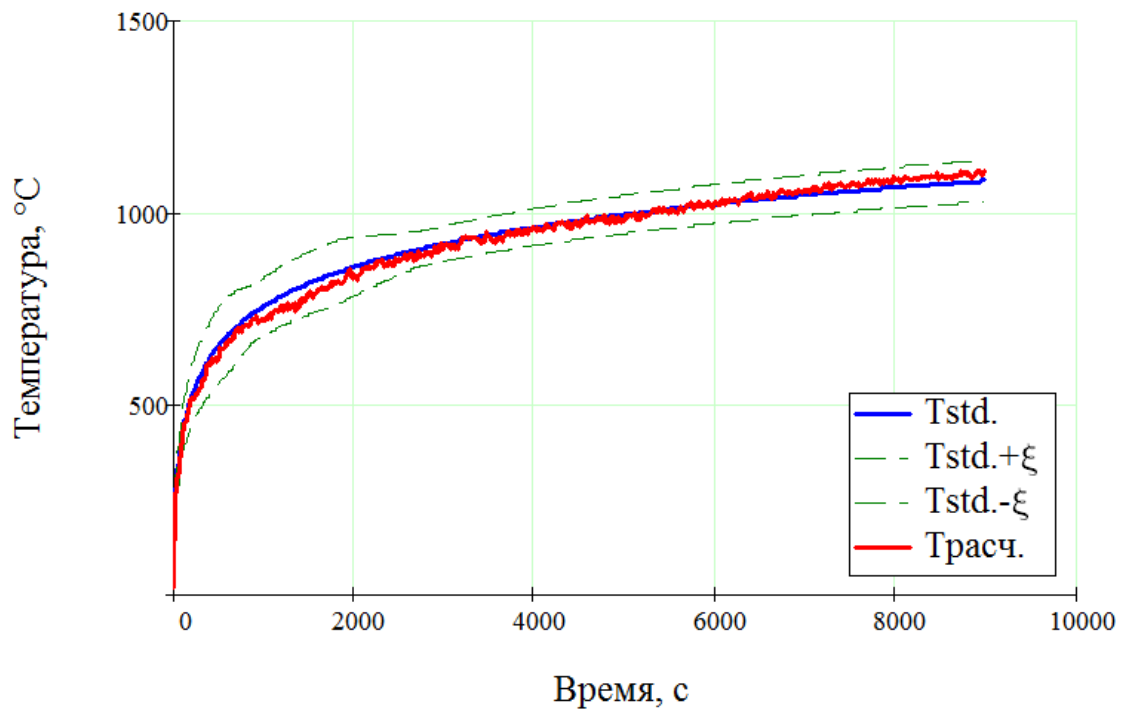


Рис. 6. Температура в печи в процессе испытания плиты чердачного перекрытия

Согласно [3] образцы плит перекрытия испытывались при воздействии тепла снизу.

8. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ ОБРАЗЦОВ

Расстановка датчиков температуры выполнялась в соответствии с требованиями [4].

Средняя температура на необогреваемой поверхности образцов определялась как среднее арифметическое показаний пяти датчиков температуры. При этом один датчик температуры расположен в центре, а остальные – в середине прямых, соединяющих центр и углы проема печи (рис. 7).

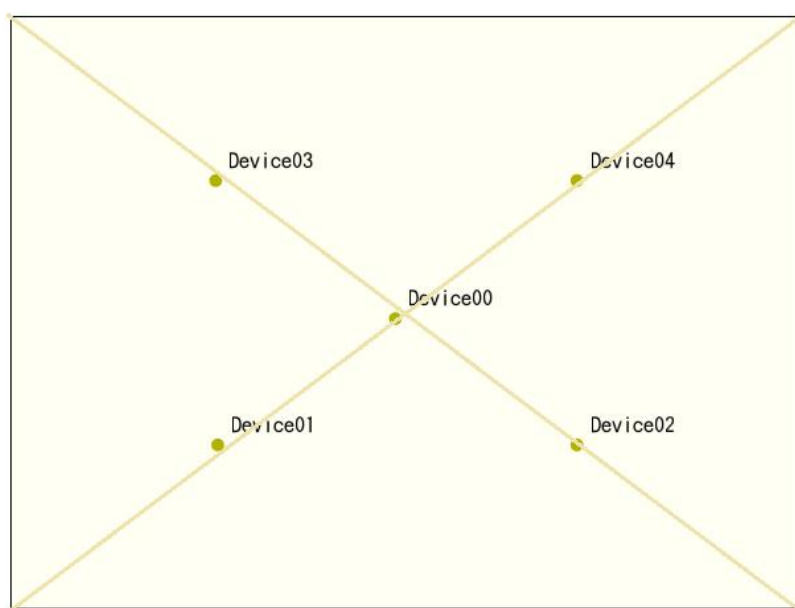


Рис. 7. Расположение датчиков температуры для измерения средней температуры необогреваемой поверхности

Для определения температуры в любой точке поверхности образца датчики температуры установлены таким образом, чтобы получить значение температуры для каждого типа теплопроводящей поверхности не менее, чем в 5 точках установлено по 12 датчиков температуры для каждого типа поверхности (рис. 8, рис. 9, различные типы поверхности условно показаны различными цветами).

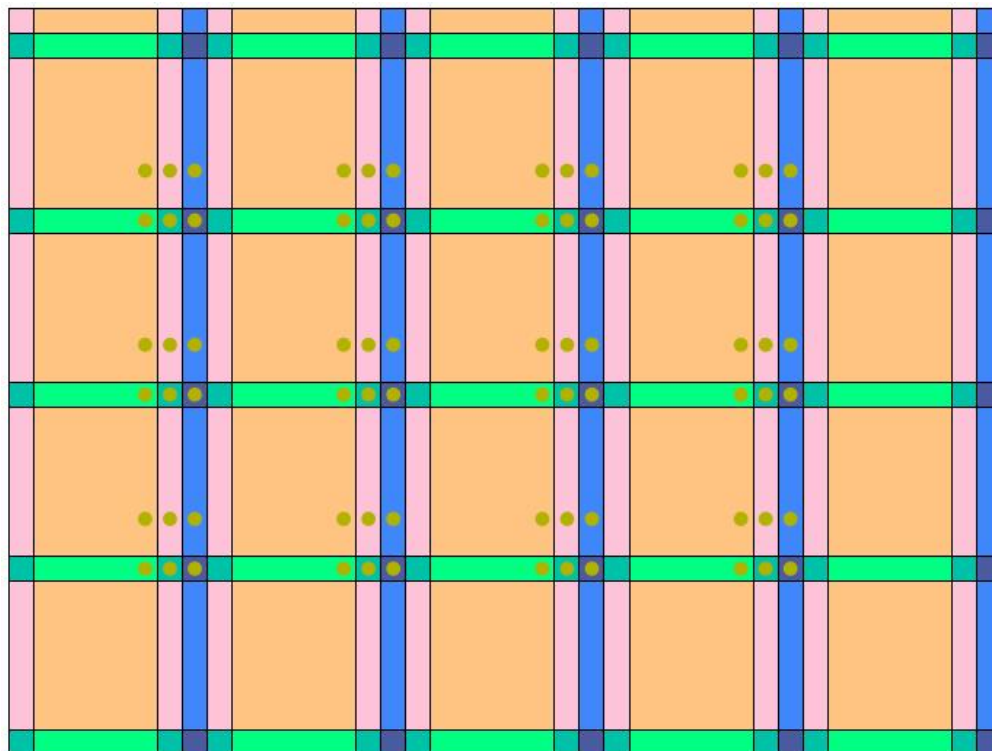


Рис. 8. Расположение датчиков измерения температуры необогреваемой поверхности плиты междуэтажного перекрытия

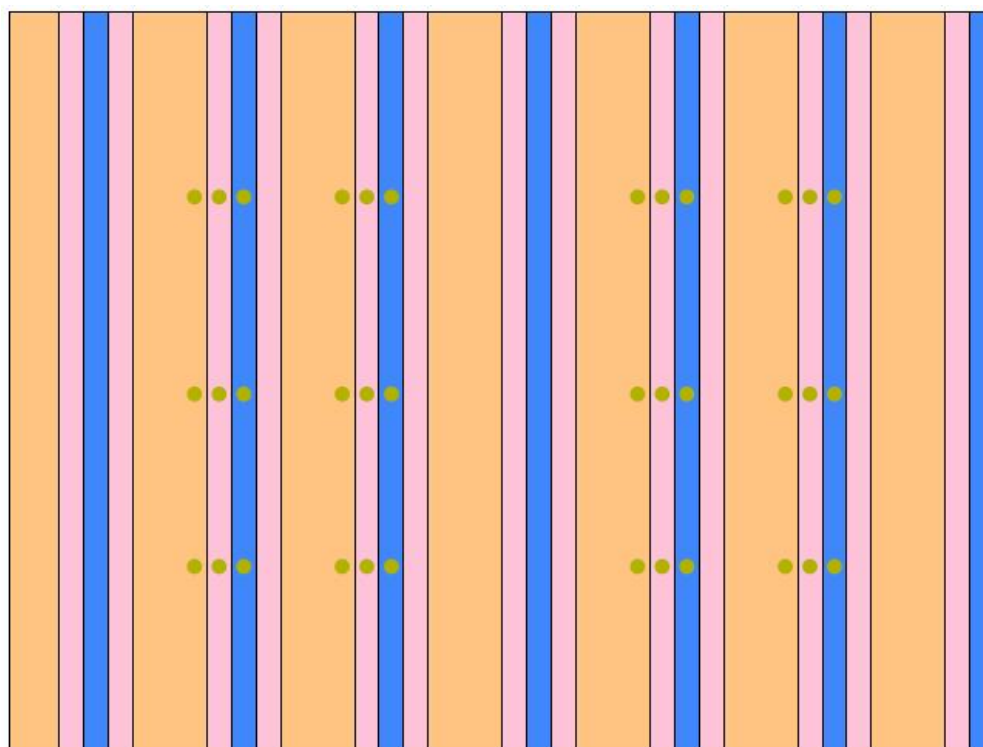


Рис. 9. Расположение датчиков измерения температуры необогреваемой поверхности плиты чердачного перекрытия

Датчики для измерения температуры на необогреваемой поверхности образцов располагаются не ближе 100 мм от края проема печи.

9. РАСЧЕТНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

9.1. Плита междуэтажного перекрытия

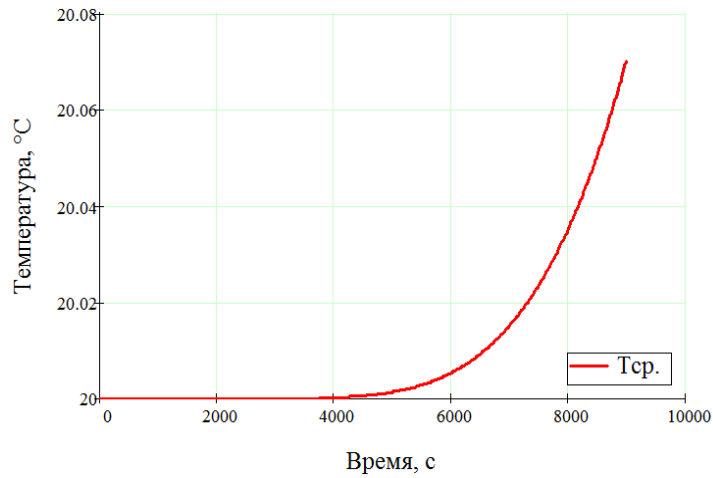


Рис. 10. Средняя температура необогреваемой поверхности

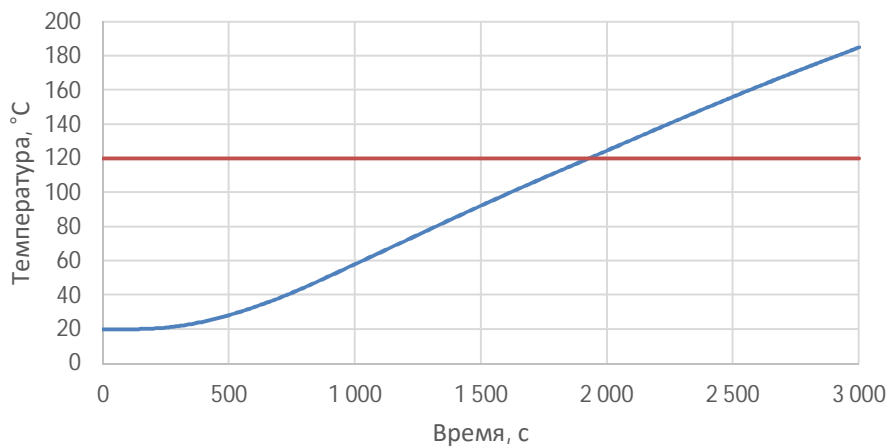


Рис. 11. Определение времени начала обугливания балок

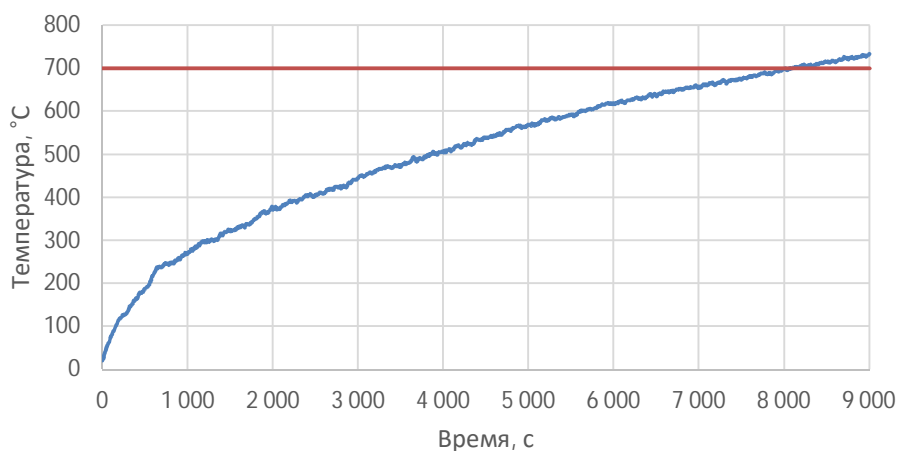


Рис. 12. Определение времени достижения максимальной рабочей температуры стекломагниевого листа

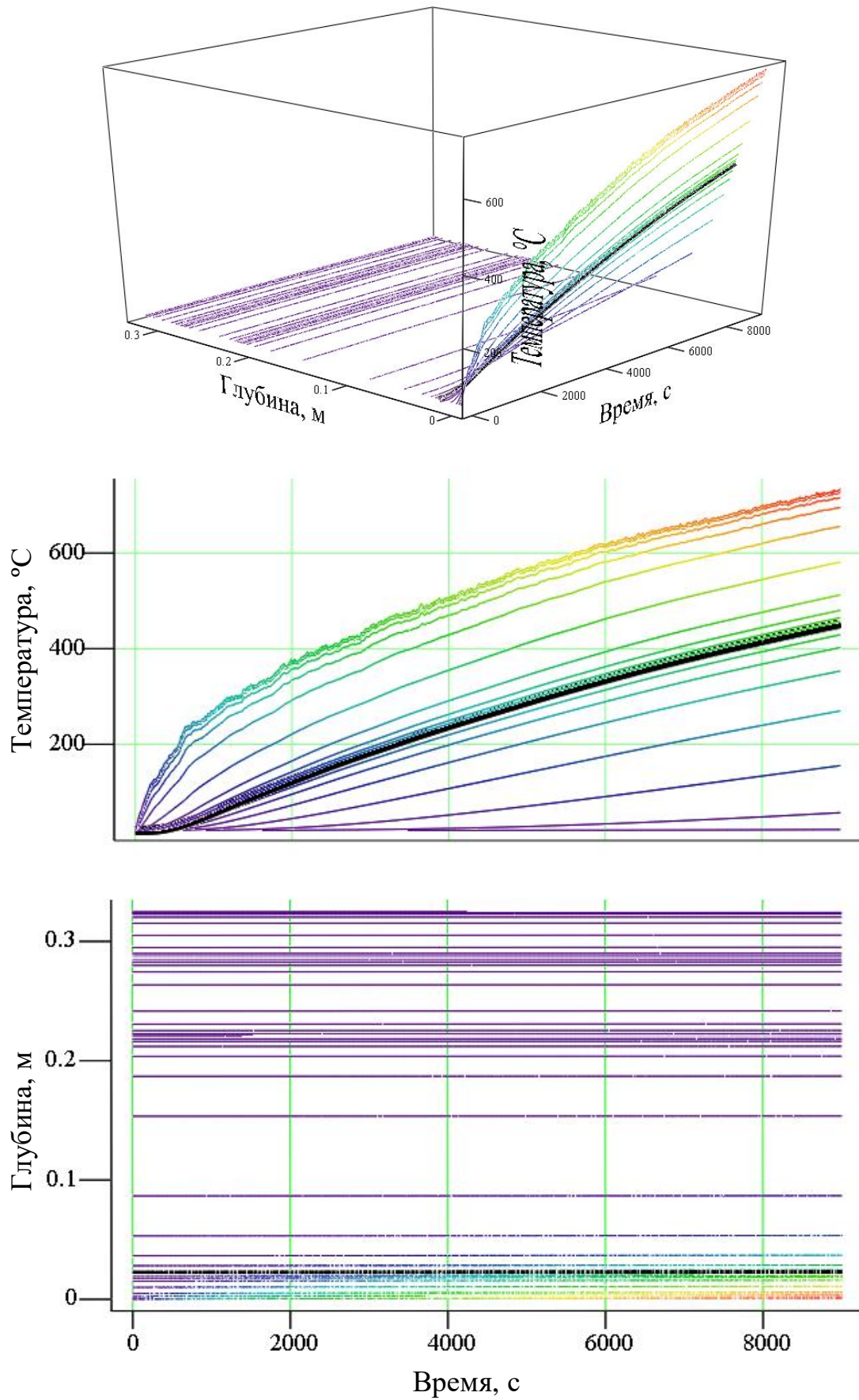


Рис. 13. Градиент температуры в профиле типа 1

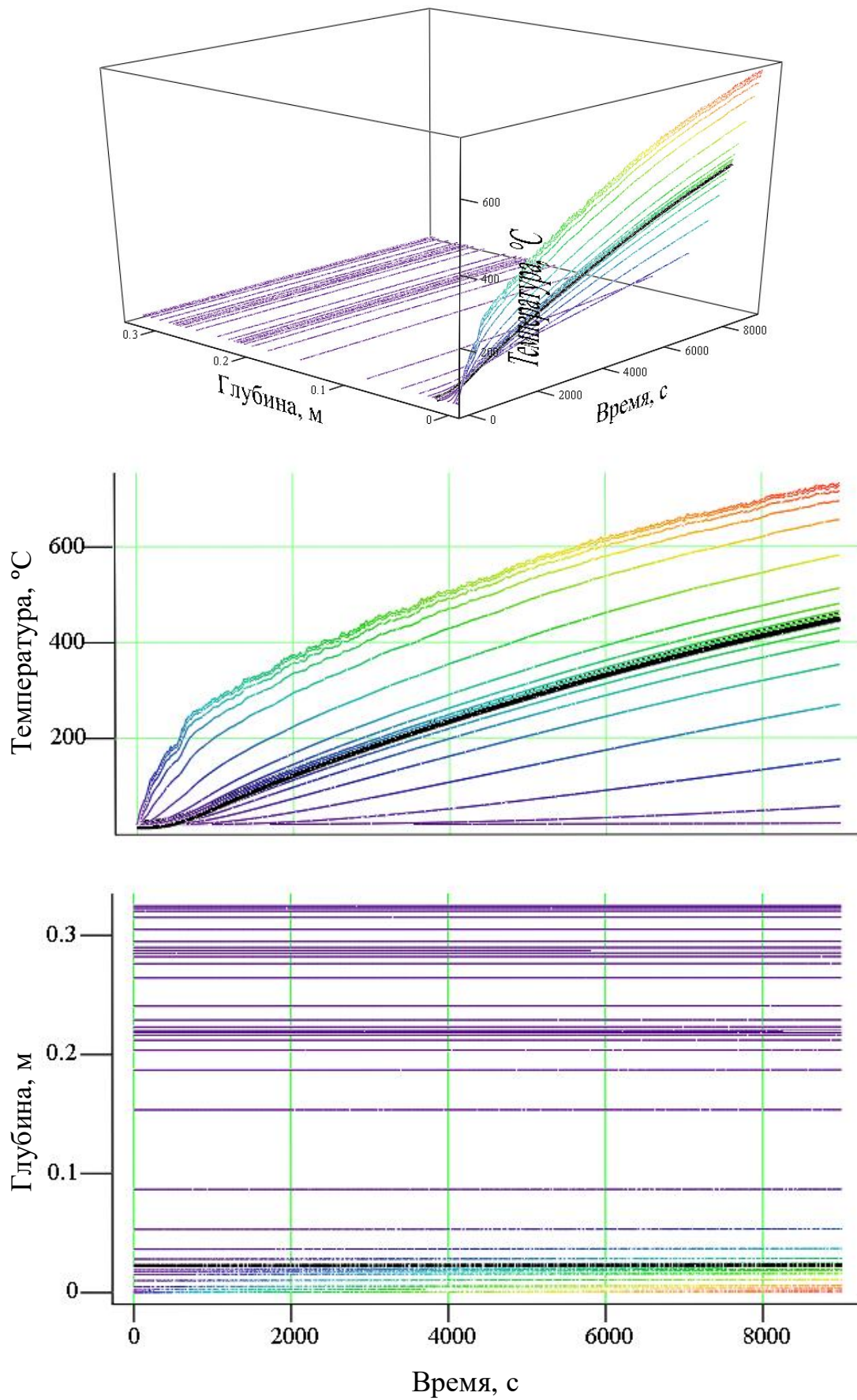


Рис. 14. Градиент температуры в профиле типа 2

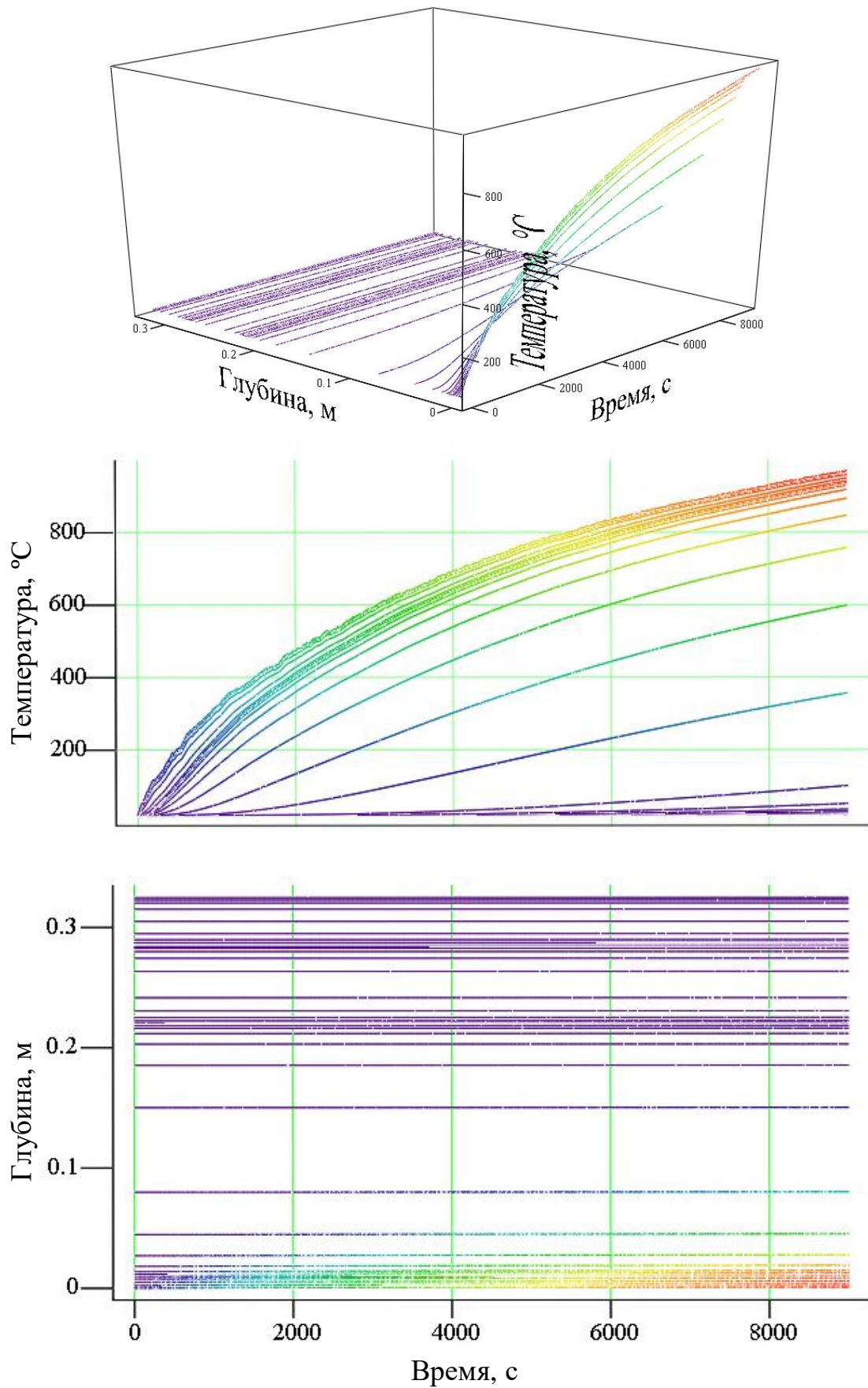


Рис. 15. Градиент температуры в профиле типа 3

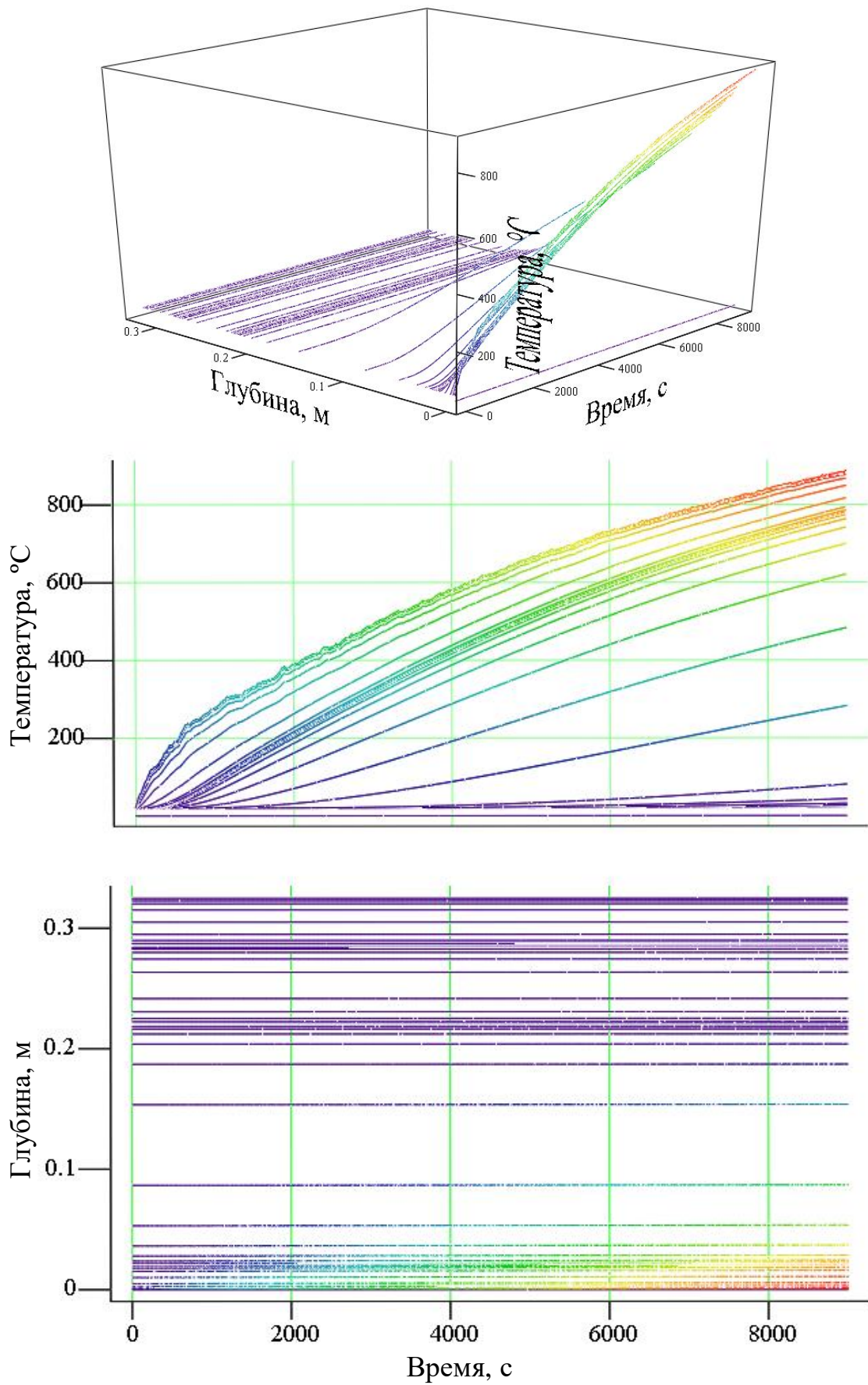


Рис. 16. Градиент температуры в профиле типа 3*

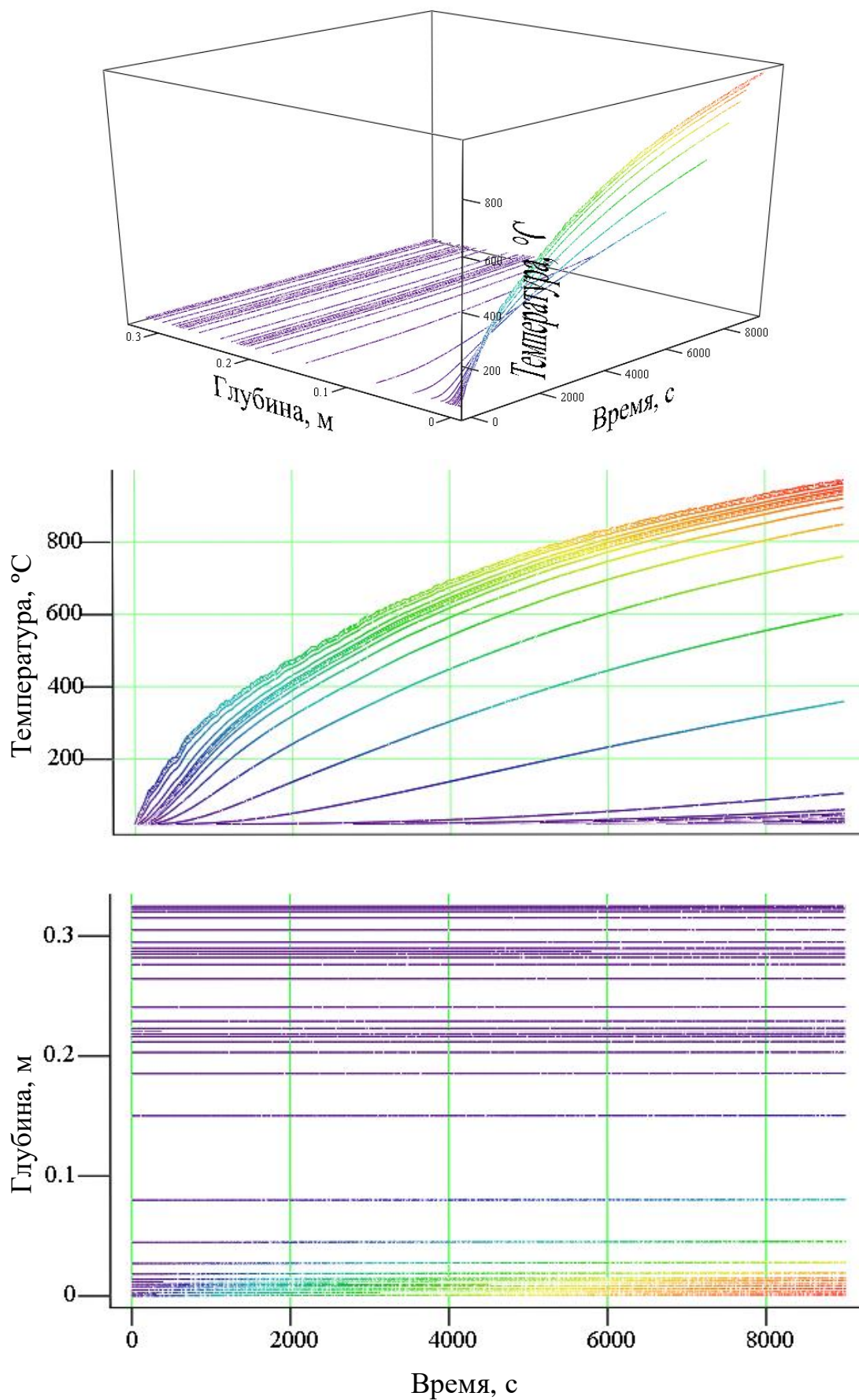


Рис. 17. Градиент температуры в профиле типа 4

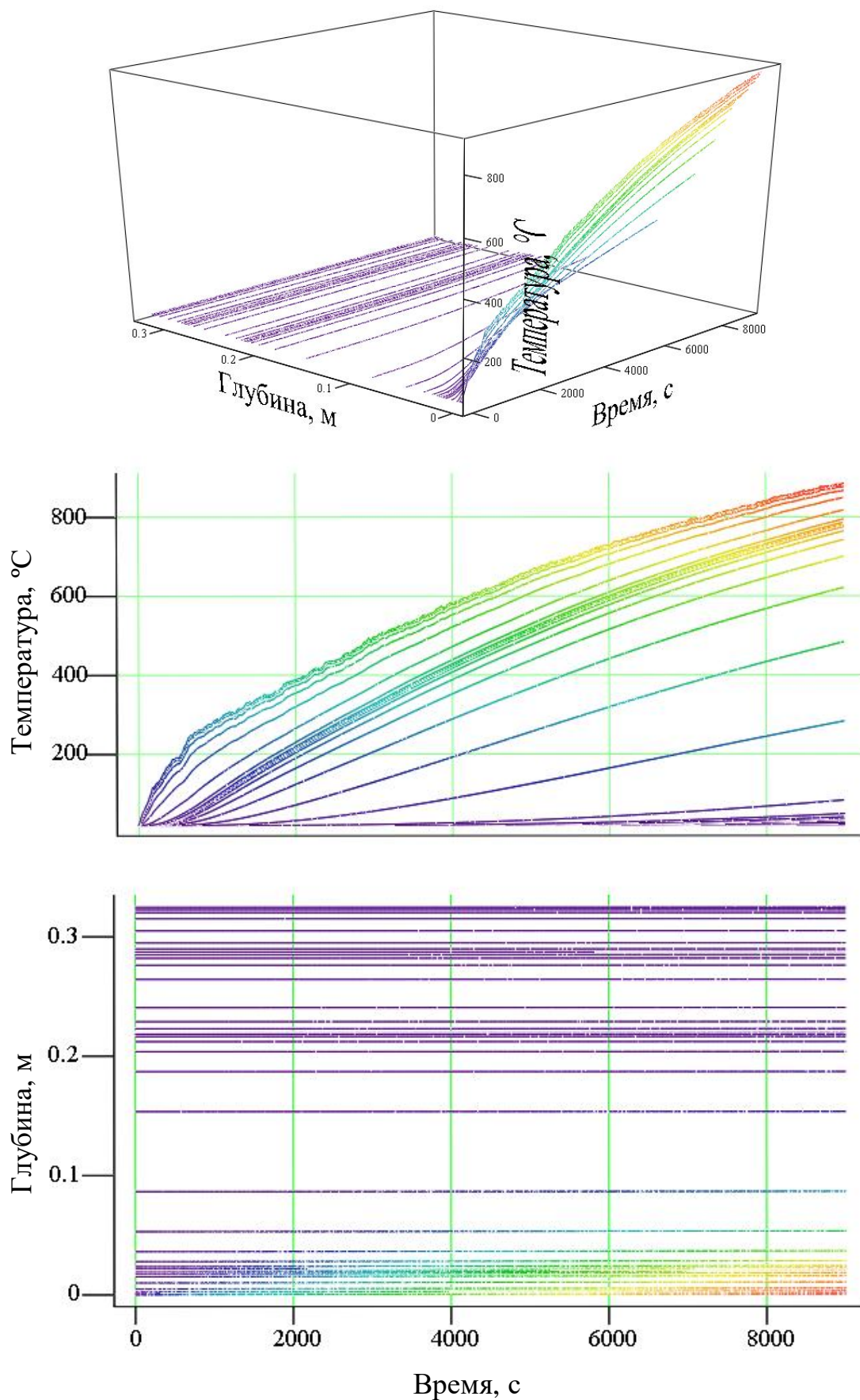


Рис. 18. Градиент температуры в профиле типа 4*

9.2. Плита чердачного перекрытия

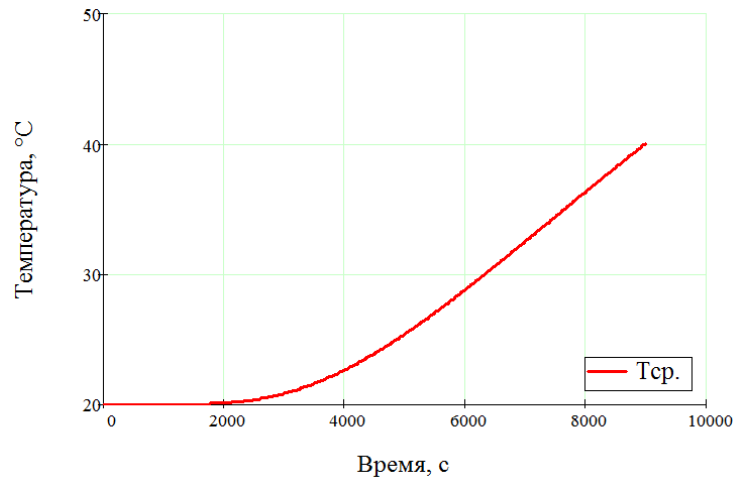


Рис. 19. Средняя температура необогреваемой поверхности

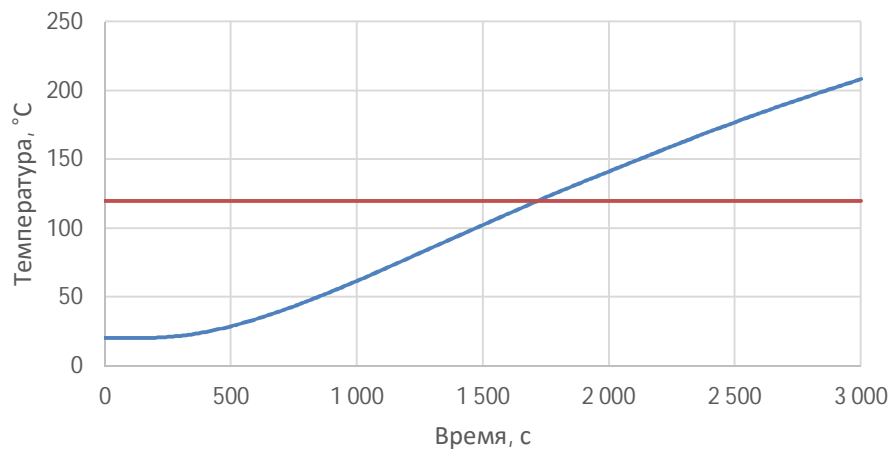


Рис. 20. Определение времени начала обугливания балок

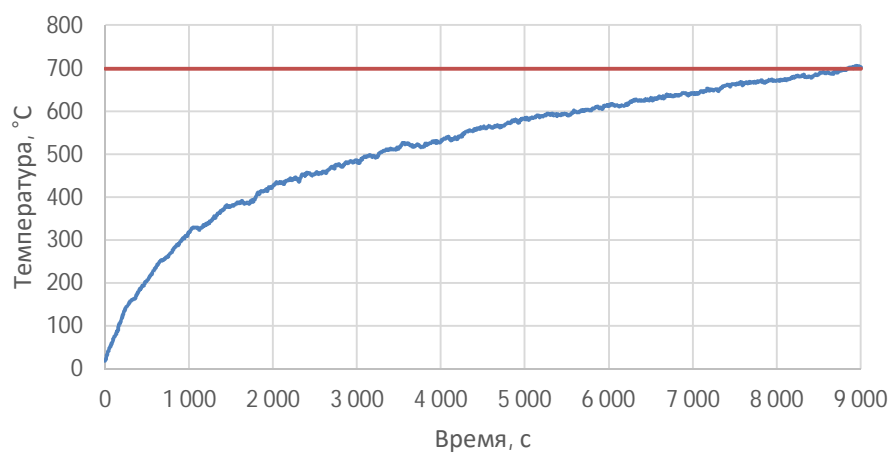


Рис. 21. Определение времени достижения максимальной рабочей температуры стекломагнезового листа

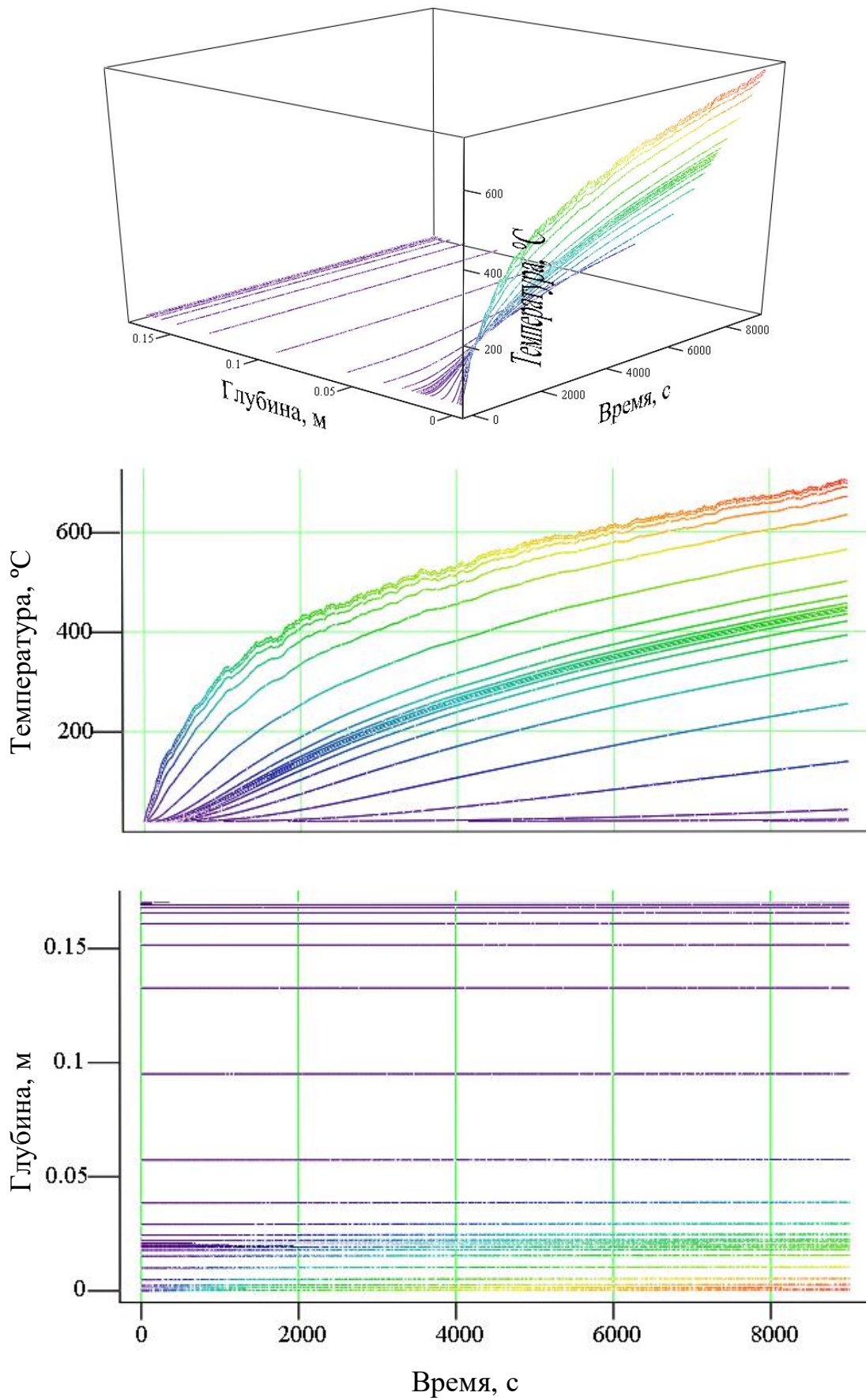


Рис. 22. Градиент температуры в профиле типа 1

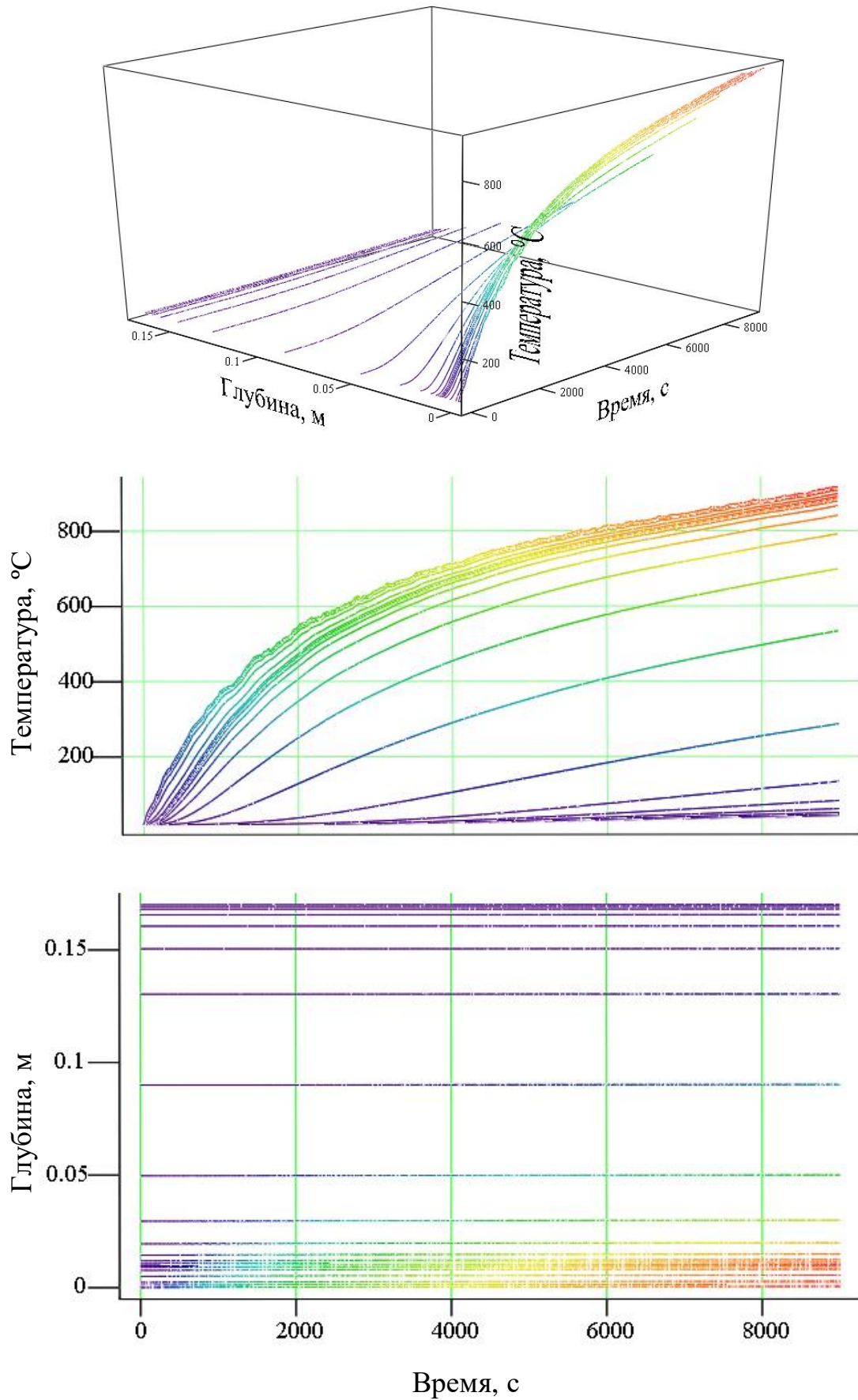


Рис. 23. Градиент температуры в профиле типа 2

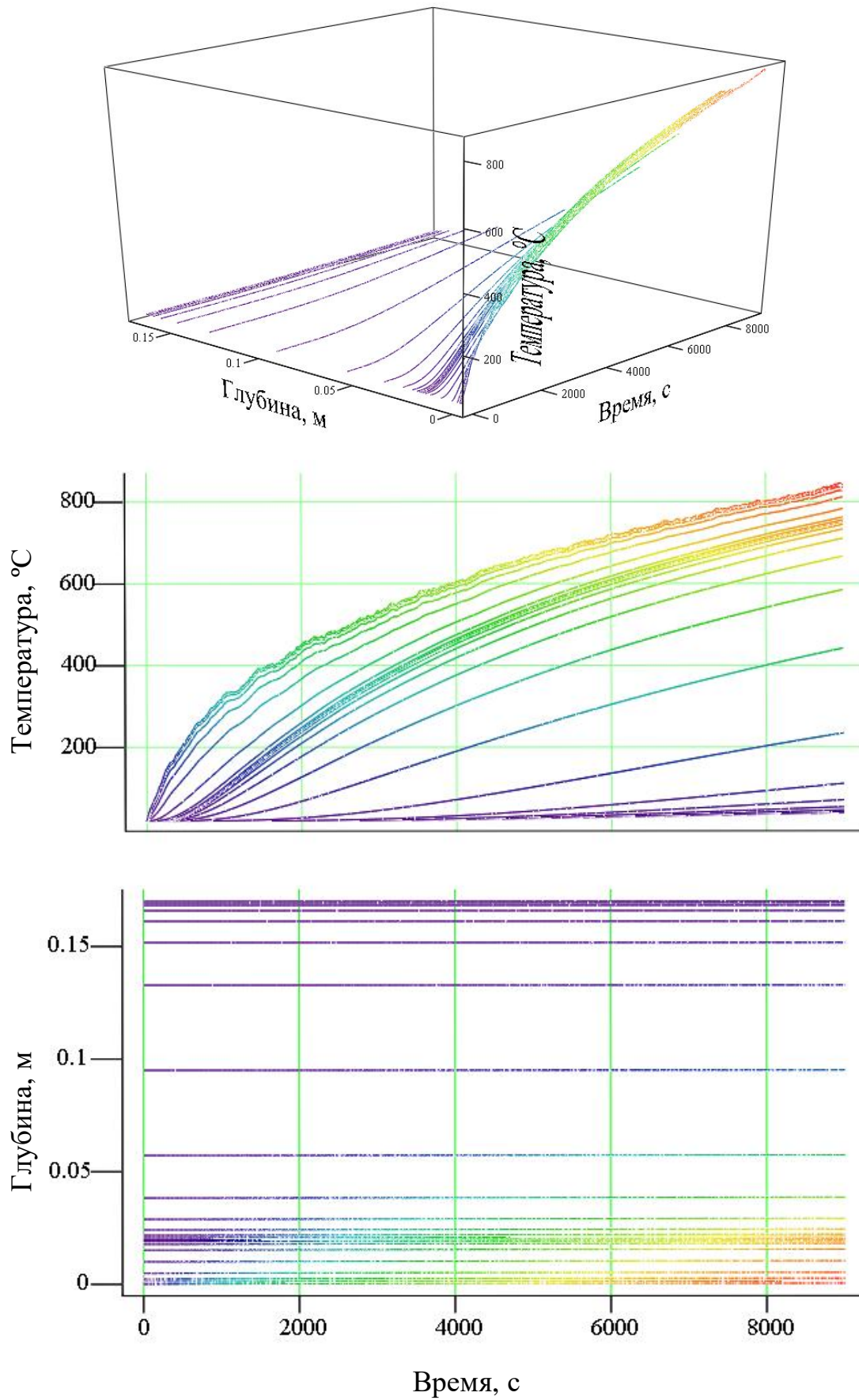


Рис. 24. Градиент температуры в профиле типа 2*

10. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В результате компьютерного моделирования испытания плит перекрытия получены следующие расчетные значения.

1. Время начала обугливания балок ($120\text{ }^{\circ}\text{C}$):

- междуэтажного перекрытия: 1890 секунд;
- чердачного перекрытия 1720 секунд.

2. Время достижения максимальной рабочей температуры стекломagneйного листа ($700\text{ }^{\circ}\text{C}$):

- междуэтажного перекрытия: 8000 секунд;
- чердачного перекрытия 8830 секунд.

3. Превышения средней температуры необогреваемой поверхности плит перекрытия по [4] более чем на $140\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сравнении с температурой конструкции до испытания не произошло.

4. Превышения температуры в любой точке необогреваемой поверхности плит перекрытия по [4] более чем на $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ в сравнении с температурой конструкции до испытания не произошло.

5. Превышения температуры в любой точке необогреваемой поверхности плит перекрытия по [4] более $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ не произошло.

11. ОГНЕСТОЙКОСТЬ ПЕРЕКРЫТИЙ

11.1. Огнестойкость перекрытий по потере несущей способности (предельное состояние по огнестойкости R)

В соответствии с [4] предельное состояние R (потеря несущей способности конструкций) наступает в результате наступления предельных деформаций или обрушении конструкции. При пожаре несущая способность деревянных конструкций снижается за счет уменьшения их размеров сечения в результате обугливания древесины и снижения ее прочности в необугленной части элемента.

Междуэтажное перекрытие.

Несущим элементом междуэтажного перекрытия является деревянная балка, выполненная из цельной древесины (сосны) первого сорта длиной 3 м и сечением $80\times 200\text{ мм}$. На перекрытие действует нагрузка 200 кг/м^2 . Расстояние между балками 0,78 м, нагрузка, распределяемая по несущим элементам перекрытия $1,56\text{ кН/м}$. Время начала обугливания балок – 31,5 минуты (1890 секунд), скорость обугливания древесины – $1,0\text{ мм/мин}$.

Площадь сечения несущего элемента перекрытия:

$$A = bh = 0,08 \cdot 0,2 = 0,016 \text{ м}^2$$

Момент сопротивления несущего элемента перекрытия:

$$W = bh^2 / 6 = 0,08 \cdot 0,2^2 / 6 = 0,00053 \text{ м}^3$$

Изгибающий момент несущего элемента перекрытия:

$$M_n = q_n l^2 / 8 = 1,56 \cdot 3^2 / 8 = 1,8 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Поперечная сила действующая на несущий элемент перекрытия:

$$Q_n = q_n l / 2 = 1,56 \cdot 3 / 2 = 2,34 \text{ кН}$$

Значения коэффициента η :

$$\eta_{w(3)} = M_n / WR_{fw} = 1,8 \cdot 10^3 / 0,00053 \cdot 29 \cdot 10^6 = 0,117$$

$$\eta_{A(3)} = 1,5 Q_n / AR_{fs} = 1,5 \cdot 2,34 \cdot 10^3 / 0,016 \cdot 1,3 \cdot 10^6 = 0,169$$

Критическая глубина обугливания несущего элемента перекрытия:

- при $h/b = 200/80 = 2,5$ и $\eta_{w(3)} = 0,117$

$$z_{cr} = 0,25b = 0,25 \cdot 80 = 20 \text{ мм}$$

- при $h/b = 2,5$ и $\eta_{A(3)} = 0,169$

$$z_{cr} = 0,25b = 0,25 \cdot 80 = 20 \text{ мм}$$

Предел огнестойкости несущего элемента междуэтажного перекрытия:

$$P_\phi = \tau_0 + \frac{z_{cr}}{v} = 31,5 + 20 / 1 = 51,5 \text{ мин}$$

Предел огнестойкости по потере несущей способности R междуэтажного перекрытия составляет не менее 51,5 минуты.

Чердачное перекрытие.

Несущим элементом чердачного перекрытия является деревянная балка, выполненная из цельной древесины (сосны) первого сорта длиной 3 м и сечением 100×150 мм. На перекрытие действует нагрузка 200 кг/м². Расстояние между балками 0,6 м, нагрузка, распределяемая по несущим элементам перекрытия 1,2 кН/м. Время начала обугливания балок – 28,6 минуты (1720 секунд), скорость обугливания древесины – 1,0 мм/мин.

Площадь сечения несущего элемента перекрытия:

$$A = bh = 0,1 \cdot 0,15 = 0,015 \text{ м}^2$$

Момент сопротивления несущего элемента перекрытия:

$$W = bh^2 / 6 = 0,1 \cdot 0,15^2 / 6 = 0,00038 \text{ м}^3$$

Изгибающий момент несущего элемента перекрытия:

$$M_n = q_n l^2 / 8 = 1,2 \cdot 3^2 / 8 = 1,35 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Поперечная сила действующая на несущий элемент перекрытия:

$$Q_n = q_n l / 2 = 1,2 \cdot 3 / 2 = 1,8 \text{ кН}$$

Значения коэффициента η :

$$\eta_{w(3)} = M_n / WR_{fw} = 1,35 \cdot 10^3 / 0,00038 \cdot 29 \cdot 10^6 = 0,123$$

$$\eta_{A(3)} = 1,5Q_n / AR_{fqs} = 1,5 \cdot 1,8 \cdot 10^3 / 0,015 \cdot 1,3 \cdot 10^6 = 0,139$$

Критическая глубина обугливания несущего элемента перекрытия:

- при $h/b = 150/100 = 1,5$ и $\eta_{w(3)} = 0,123$

$$z_{cr} = 0,25b = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ мм}$$

- при $h/b = 1,5$ и $\eta_{A(3)} = 0,139$

$$z_{cr} = 0,25b = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ мм.}$$

Предел огнестойкости несущего элемента чердачного перекрытия:

$$P_{\phi} = \tau_0 + \frac{z_{cr}}{v} = 28,6 + 25/1 = 53,6 \text{ мин}$$

Предел огнестойкости по потере несущей способности R чердачного перекрытия составляет не менее 51,5 минуты.

11.2. Огнестойкость перекрытий по целостности (предельное состояние E)

В соответствии с [4] предельное состояние E (потеря целостности конструкций) наступает в результате образования в конструкциях сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникают продукты горения или пламя.

Для рассматриваемых перекрытий в нижней (обогреваемой) части используется подшивка из огнестойких плит марки ТЕНSTRONG FIRESTOP L, максимальная рабочая температура применения которых составляет 700 °С. По результатам моделирования данная температура на поверхности указанных плит междуэтажного перекрытия достигается через 133,3 минуты (8000 секунд), а для чердачного перекрытия – через 147,2 минуты (8830 секунды). Достижение данной температуры обозначает начало разрушение огнестойких плит ТЕНSTRONG FIRESTOP L, которое приведет к образованию в перекрытиях сквозных трещин или отверстий, через которые на необогреваемую поверхность проникнут продукты горения или пламя.

Указанное время будет являться пределом огнестойкости по потере целостности для перекрытий.

11.3. Огнестойкость перекрытий по потере теплоизолирующей способности (предельное состояние I)

В соответствии с [4] предельное состояние I (потеря теплоизолирующей способности конструкции) наступает вследствие повышения температуры на необогреваемой поверхности конструкции в среднем более чем на 140 °С или любой точке этой поверхности более чем на 180 °С в сравнении с температурой

конструкции до испытания или более 220 °С независимо от температуры конструкции до испытания.

По результатам проведенного моделирования предельное состояние по потере теплоизолирующей способности исследуемых перекрытий за время проведения испытания (2,5 часа) – не достигнуто.

12. ВЫВОД

В соответствии с [3] предел огнестойкости рассматриваемых перекрытий принимается по минимальному значению времени достижения одного или нескольких предельных состояний.

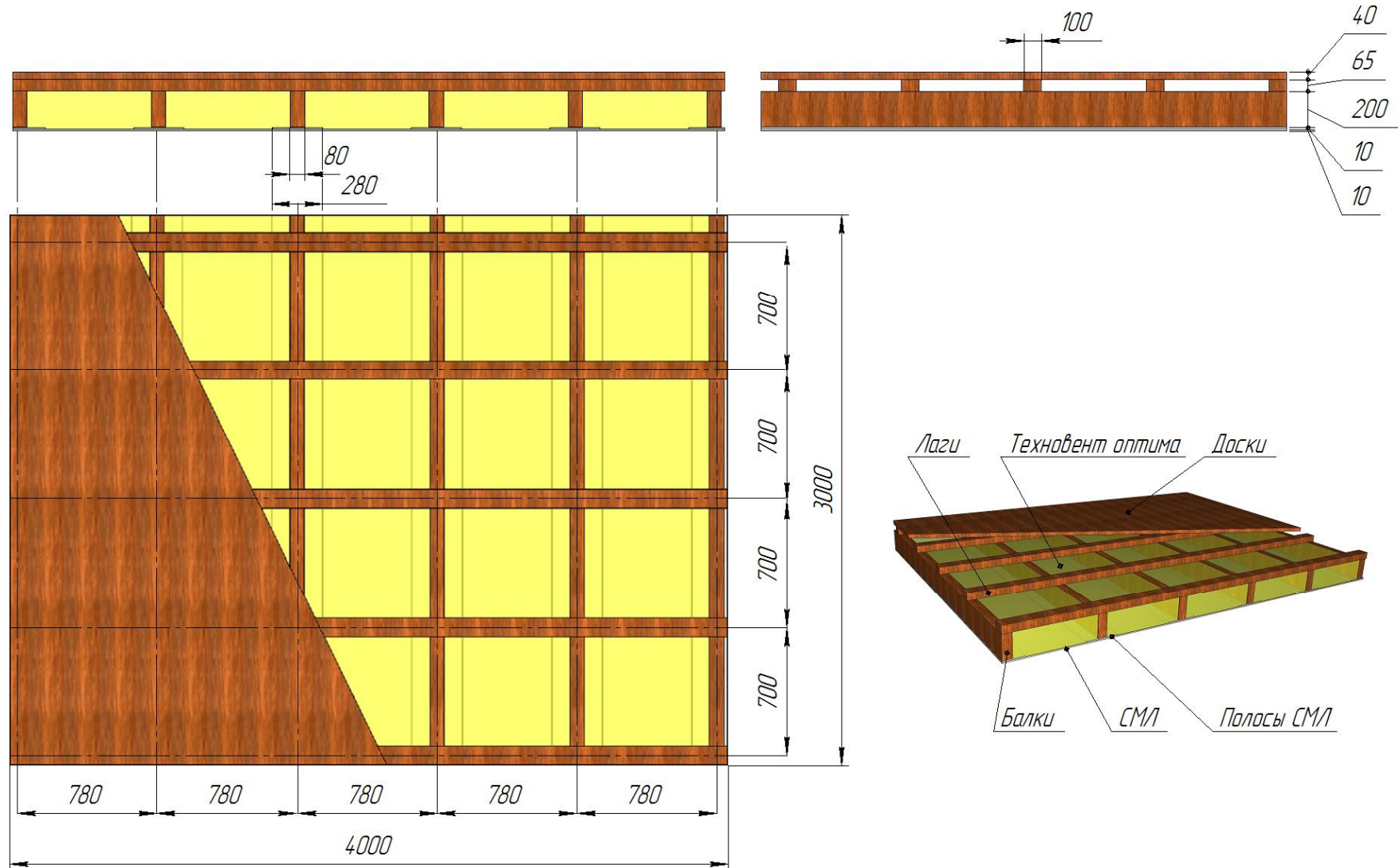
В ходе выполнения работы установлено, что для деревянных перекрытий здания ... фактическая огнестойкость определяется по потере несущей способности и составляет:

- для междуэтажного перекрытия – 51,5 минуты;
- для чердачного перекрытия – 53,6 минуты.

13. БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 1: Mathematical Model / NIST Special Publication 1018-1. Sixth Edition.– 2015.
2. Fire Dynamics Simulator. Technical Reference Guide. Volume 3: Validation / NIST Special Publication 1018-3. Sixth Edition.– 2015.
3. ГОСТ 30247.0-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования.
4. ГОСТ 30247.1-94 Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Несущие и ограждающие конструкции.

Πρόσβαση από την αίθουσα



×āđäà÷íîā ìāđāēđūòèā

