

В заключении отметим, что на кафедре физико-технических основ обеспечения пожарной безопасности Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России разработаны тестовые задания по всем темам курса общей физики – от механики до ядерной физики. Тесты планируется загрузить в базу для проверки знаний в среде EXCEL. На кафедре кроме описанных в данной статье созданы виртуальные модели по темам «Колесания и волны», «Волновая оптика», «Тепловое излучение», «Молекулярная физика» [5–9].

В настоящее время продолжается работа по созданию виртуальных лабораторных установок по другим разделам курса физики. Авторы приглашают всех заинтересованных лиц и организации к плодотворному сотрудничеству.

### **Литература**

1. Теплотехнические этюды с Excel, Mathcad и Интернет / под общ. ред. В.Ф. Очкова. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2015. 336 с.
2. Майер Р.В. Решение физических задач в электронных таблицах Excel: учеб. пособие. Глазов: Глазов. гос. пед. ин-т, 2016. 148 с.
3. Данилов И.Л. Изучение основных физических характеристик ионизирующих излучений методом совмещения натурального и виртуального экспериментов // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). 2014. № 3 (11). С. 78–87.
4. Данилов И.Л., Егорова Н.И. Лабораторный практикум по физике на основе моделирования в среде MS Excel // Интернет и современное общество: труды XX Междунар. объедин. науч. конф. СПб.: Ун-т ИТМО, 2017. С. 104–113.
5. Автоматизация изучения характеристик молекул и газов на основе классической статистики Максвелла-Больцмана: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016615696 от 27 мая 2016 г. / И.Л. Данилов [и др.]. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).
6. Автоматизация изучения законов и характеристик теплового излучения на основе построения функции Кирхгофа: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2016616688 от 17 июля 2016 г. / И.Л. Данилов [и др.]. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).
7. Данилов И.Л., Егорова Н.И. Автоматизация изучения явлений волновой оптики на примере дифракции на щели: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017661810 от 20 окт. 2017 г. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).
8. Данилов И.Л., Егорова Н.И. Автоматизация изучения явлений волновой оптики на примере дифракции на дифракционной решетке: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017662291 от 2 нояб. 2017 г. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).
9. Данилов И.Л., Егорова Н.И. Автоматизация изучения явлений волновой оптики на примере интерференции в виде колец Ньютона: свид-во о гос. регистрации программы для ЭВМ № 2017662290 от 2 нояб. 2017 г. URL: <http://www.reestr.minsvtaz.ru> (дата обращения: 10.05.2018).

## **РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ELCUT 6.3**

**Н.Н. Романов, кандидат технических наук, доцент;**

**А.С. Константинова.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Проведен сравнительный анализ методов определения предела огнестойкости строительных конструкций путем натуральных огневых испытаний и расчетным путем.

Разработан алгоритм подбора сложной формы огнезащитного покрытия с применением программного комплекса ELCUT 6.3.

*Ключевые слова:* предел огнестойкости, огнезащитное покрытие, ELCUT 6.3

## CALCULATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF THE FIREPROOF COVERING BY MEANS OF THE PROGRAM COMPLEX «ELCUT 6.3»

N.N. Romanov; A.S. Konstantinova.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

In article the comparative analysis of methods of definition of a limit of fire resistance of building constructions by natural fire tests and is carried out a settlement way. The algorithm of selection of irregular shape of a fireproof covering with application of the program complex «ELCUT 6.3» is developed.

*Keywords:* fire resistance limit, fireproof covering, ELCUT 6.3

С позиции обеспечения пожарной безопасности одно из наиболее важных свойств строительной конструкции – предел огнестойкости, отражающий ее способность выдерживать нормативную нагрузку при воздействии повышенной температуры среды в помещении в случае пожара.

Пунктом 10 ст. 87 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] допускается определение пределов огнестойкости строительных конструкций путем огневых испытаний либо – для конструкций, «...аналогичных по форме, материалам, конструктивному исполнению строительным конструкциям, прошедшим огневые испытания...», – расчетно-аналитическим путем.

Огневые испытания производятся с помощью испытательных печей, где имитируются реальные условия нагружения и опирания испытуемой строительной конструкции, создаются необходимые условия температуры греющей среды и давления [2].

Испытанию подвергаются два одинаковых образца строительной конструкции определенного вида. Среднее значение результатов двух испытаний принимается пределом огнестойкости данной конструкции. В случае если результаты различаются более чем на 20 %, должно быть проведено дополнительное испытание в целях уточнения полученных результатов.

Изложенные условия позволяют выделить такие недостатки метода натурных огневых испытаний, как его неэкономичность, высокая трудоемкость и временные затраты (связанные в том числе с длительной процедурой согласования), а также вероятность отсутствия возможности проведения таких испытаний в некоторых случаях (например, потребность оценить предел огнестойкости отдельного элемента монолитного каркаса здания и т.п.).

В случае отсутствия возможности проведения огневых испытаний конкретного элемента здания или сооружения или экономической нецелесообразности огневого испытания определение предела огнестойкости может быть осуществлено расчетным методом. Кроме того, при использовании расчетного метода существует возможность проверить множество разных вариантов с целью подбора наиболее эффективного решения.

Статья 52 Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [1] в числе способов защиты людей и материальных ценностей от опасных факторов пожара определяет использование огнезащитных составов и облицовок для обеспечения требуемого предела огнестойкости строительных конструкций. Наиболее широкое применение данный способ находит в сфере защиты металлических строительных конструкций.

Как правило, для каждого вида огнезащитного покрытия существуют таблицы значений необходимой толщины нанесения покрытия для обеспечения требуемого предела огнестойкости, отнесенной к приведенной толщине металла. Однако в случае нанесения

огнезащитного покрытия на металлическую конструкцию сложной формы существует возможность уменьшить толщину покрытия в наименее уязвимых областях конструкции без потери огнезащитных свойств, добившись тем самым существенной экономии огнезащитного материала, особенно в случае достаточно больших площадей, подлежащих огнезащитной обработке. Подбор толщины покрытия в этом случае с помощью готовых таблиц представляет объективные сложности, связанные с необходимостью деления сечения конструкции на простые элементы и определения суммарного влияния высокой температуры греющей среды на данную конструкцию.

Для подбора сложной конфигурации огнезащитного покрытия для конструкций сложной формы может быть использован программный комплекс ELCUT 6.3 [3], позволяющий решать задачи нестационарной теплопроводности методом конечных элементов. В качестве примера проведем подбор оптимальных геометрических параметров огнезащитного покрытия на основе вермикулита для стальной колонны, имеющей форму двутавра.

Зададимся требуемым пределом огнестойкости колонны R 30. В табл. 1 представлены теплофизические свойства стали, из которой изготовлена колонна, а также огнезащитного вермикулитового покрытия [4].

Таблица 1. Теплофизические свойства используемых материалов

Параметр	Вермикулитовое покрытие	Сталь 09Г2С
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	250	7600
Теплопроводность, Вт/м °С	$0,081+2,32 \cdot 10^{-4}t$	$58-0,042t$
Теплоемкость, кДж/кг °С	0,84	$0,47+2,1 \cdot 10^{-4}+5 \cdot 10^{-7}t^2$

На рис. 1 приведена геометрическая конфигурация двутавровой колонны [5].

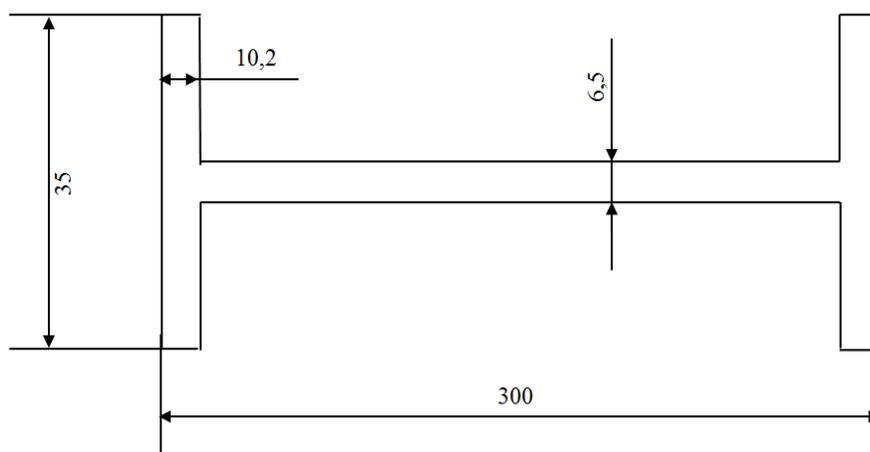


Рис. 1. Геометрические характеристики колонны, мм

Сечение колонны симметрично, что дает возможность при расчете рассматривать одну четверть сечения.

Для первоначального подбора примем толщину огнезащитного покрытия равной 20 мм. Зададимся температурным режимом пожара для горения углеводородов, описанным в работе [6] уравнением:

$$T(\tau) = 1080 \cdot (1 - 0,325 \cdot e^{-0,167\tau} - 0,675 \cdot e^{-2,5\tau}) + T_0$$

На рис. 2 приведена цветографическая схема температурного поля в сечении колонны на момент времени 30 мин.

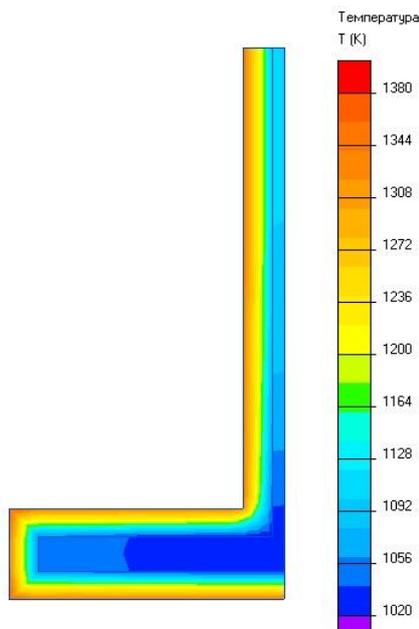


Рис. 2. Температурное поле в сечении колонны на момент времени 30 мин

Из анализа рисунка можно наблюдать, что наиболее уязвимым участком колонны является середина стенки. Определим локальные значения температуры в центре стенки (точка 1, рис. 3) и в углу полки на равном расстоянии от поверхности металла (точка 2, рис. 3).

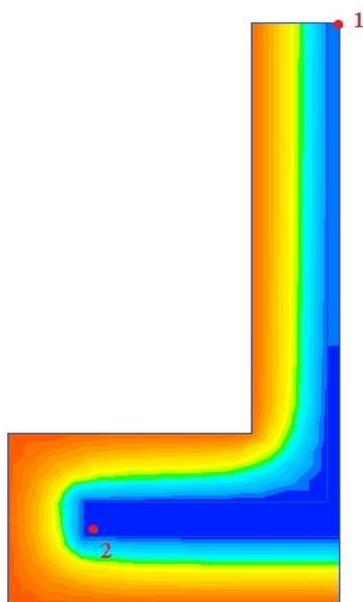


Рис. 3. Точки определения локальных значений температуры

Определенные локальные значения температуры приведены на рис. 4.

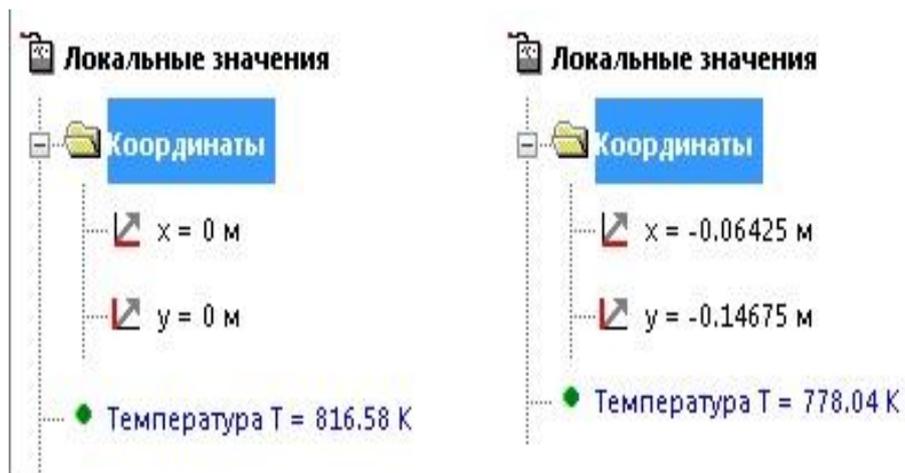


Рис. 4. Локальные значения температуры в контрольных точках

Значения температуры значительно выше критических значений (для стали – около 720 К). Необходимо увеличить толщину вермикулитового покрытия и повторить расчет.

На рис. 5 представлена цветографическая схема и локальные значения температуры в контрольных точках при толщине огнезащитного покрытия 30 мм.

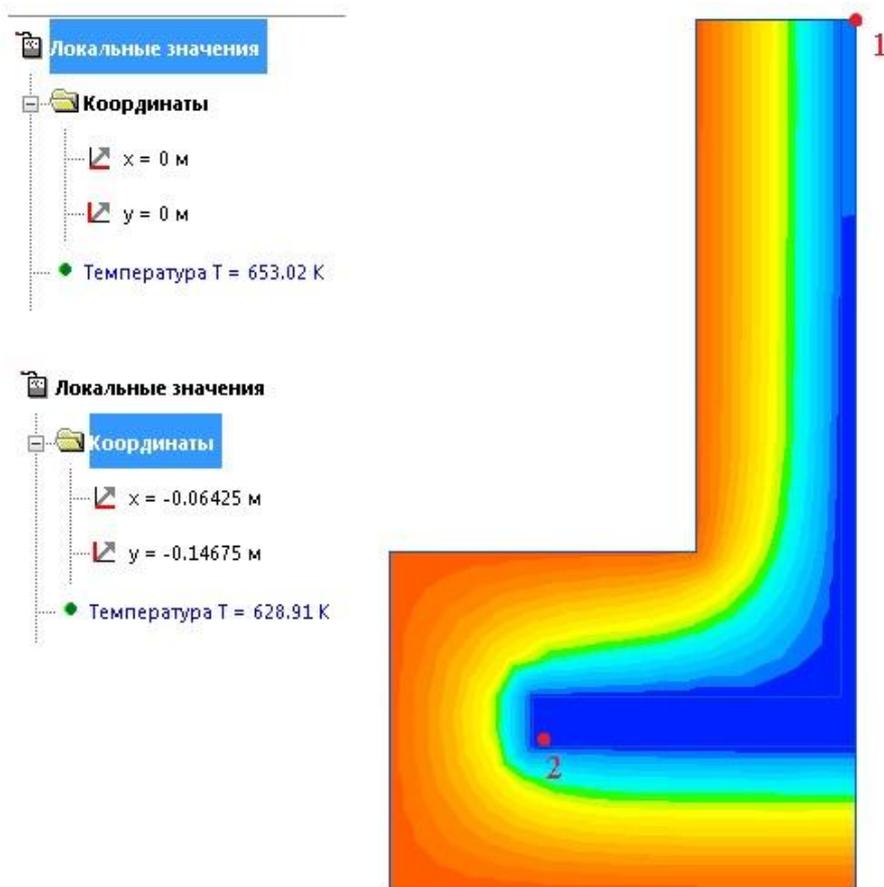


Рис. 5. Цветографическая схема температурного поля и локальные значения температуры в контрольных точках на момент времени 30 мин при покрытии толщиной 30 мм

При данной толщине огнезащитного покрытия значение температуры осталось значительно ниже критического. Следовательно, оптимальная толщина покрытия находится в промежутке от 20 до 30 мм. Произведем аналогичные расчеты для промежуточных значений толщины покрытия с шагом 1 мм.

Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2. Локальные значения температуры в контрольных точках на момент времени 30 мин при различной толщине огнезащитного покрытия

Толщина покрытия, мм	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
T(30) в точке 1, К	817	798	779	761	744	728	712	697	682	667	653
T(30) в точке 2, К	778	760	743	726	711	696	682	668	655	642	628

На рис. 6 показан график изменения температуры в контрольных точках на момент времени 30 мин в зависимости от толщины покрытия.

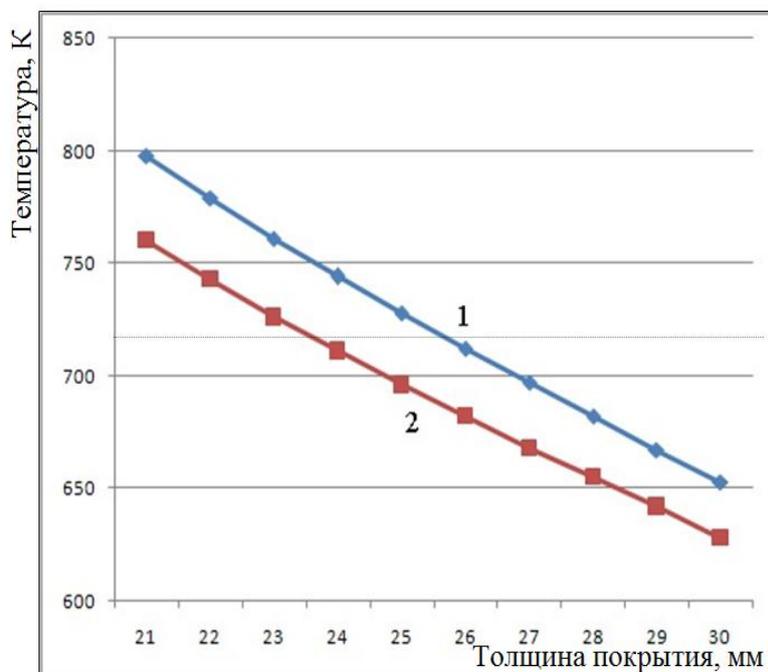


Рис. 6. График изменения температуры в контрольных точках № 1, 2 соответственно при различной толщине защитного покрытия

На графике видно, что необходимая толщина вермикулитового покрытия для защиты стенки составляет около 26 мм, для защиты полок толщина покрытия должна быть около 24 мм. Зададим в качестве исходных данных огнезащитное покрытие сложной формы (26 мм – с обеих сторон стенки двутавра, 24 мм – на остальных участках). Локальные значения температуры в контрольных точках на момент времени 30 мин показаны на рис. 7.

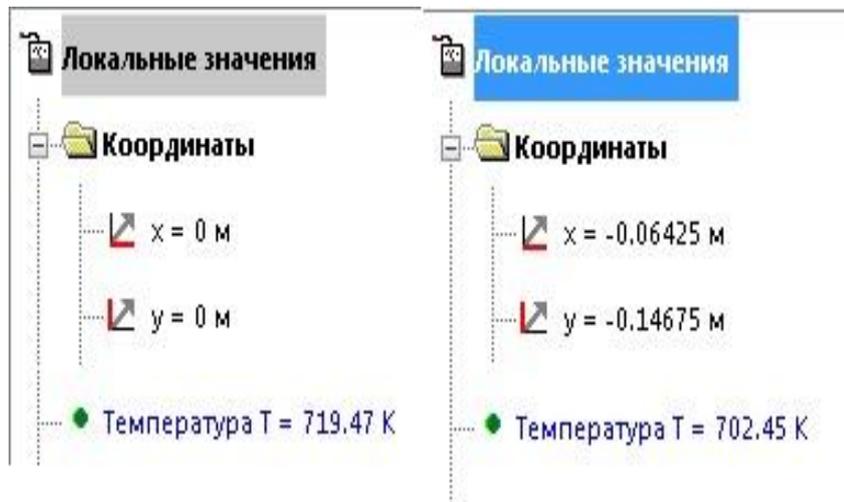


Рис. 7. Локальные значения температуры в точках 1, 2 соответственно на момент времени 30 мин

Таким образом, можно наблюдать, что подобранная конфигурация вермикулитового огнезащитного покрытия обеспечивает требуемый предел огнестойкости. Проведем расчет сэкономленного огнезащитного материала.

Определим защищаемый периметр колонны:

$$P = 0,135 \cdot 2 + 0,0102 \cdot 4 + (0,3 - 0,0102 \cdot 2) \cdot 2 + (0,135 - 0,0065) \cdot 2 = 1,127 \text{ м}$$

Примем высоту колонны равной 3 м. В этом случае площадь покрытия составит:

$$S = 1,127 \cdot 3 = 3,381 \text{ м}^2$$

При толщине покрытия, равной 26 мм, и плотности огнезащитного материала, равной  $250 \text{ кг/м}^3$ , масса покрытия в расчете на одну колонну составит:

$$m_1 = 3,381 \cdot 0,026 \cdot 250 = 21,98 \text{ кг}$$

Определим массовый расход материала на одну колонну при покрытии подобранной сложной конфигурации:

$$m_2 = (0,5592 \cdot 0,026 + 0,5678 \cdot 24) \cdot 3 \cdot 205 = 17,32 \text{ кг}$$

Экономия материала составит:

$$\Delta m = 21,98 - 17,32 = 4,66 \text{ кг}$$

Таким образом, подбор оптимальной конфигурации покрытия позволяет при огнезащитной обработке добиться существенной экономии огнезащитного материала без потери защитных свойств, что представляет практический интерес для организаций, имеющих потребность проведения огнезащитной обработки строительных конструкций в крупных масштабах.

### **Литература**

1. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 29 июля 2017 г.). Доступ из информ.-правового портала «Гарант».

2. ГОСТ 30247.0–94 (ИСО 834-75). Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. Общие требования // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 02.03.2018).

3. ELCUT ® Моделирование электромагнитных, тепловых и упругих полей методом конечных элементов. Версия 6.3 – Руководство пользователя. СПб.: ООО «Тор», 2017.

4. Основы пожарной теплофизики: учеб. для пож.-техн. училищ / М.П. Башкирцев [и др.]. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат, 1984. 200 с.

5. ГОСТ 8239–89. Двутавры стальные горячекатаные. Сортамент // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://www.docs.cntd.ru> (дата обращения: 02.03.2018).

6. Моделирование огнестойкости бетона при высокоинтенсивном нагреве / Р.Ш. Еналеев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2012. № 10.

