

УДК 614.841.332

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА НА ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР С ПОМОЩЬЮ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

**Леменков Михаил Дмитриевич, Шархун Сергей Владимирович,  
Штерензон Вера Анатольевна**

Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

### **АННОТАЦИЯ**

В статье рассматривается проблема термической деструкции теплоизоляционных строительных материалов при воздействии теплового потока, а также влияние последнего на теплотехнические характеристики. Авторы предлагают новый подход к оценке этого влияния с помощью специального прибора и проводят математический анализ принятой модели, что позволяет лучше понять процессы, происходящие в материалах при нагревании. Результаты исследования могут быть полезны для специалистов в области строительства и теплоизоляции. Контекст статьи охватывает результаты анализа фасадных систем, которые были сгруппированы в четыре основные категории, встречающиеся в гражданском строительстве России. Исследуется, что наибольшее распространение получают негорючие строительные материалы, поскольку вопросы безопасности становятся приоритетными в современных строительных проектах. Тем не менее, в статье также подчеркивается проблема соотношения горючих и негорючих материалов, что подтверждает сложность выбора, стоящего перед архитекторами и строителями. Структура статьи включает введение в тему фасадных решений, их классификацию и последующее обсуждение их применения в современных условиях. В заключение можно отметить, что, рассматривая фасадные системы как одно из ведущих направлений в современном строительстве, автор подчеркивает, что создание гармоничного и безопасного архитектурного образа должно стать основополагающей целью в работе над будущими проектами.

**Ключевые слова:** устойчивость системы теплоснабжения, воздействие повышенных температур, фасадные системы, тепловой поток

## **STUDY OF THE INFLUENCE OF HEAT FLOW ON THE THERMAL PROPERTIES OF THERMAL INSULATION BUILDING MATERIALS UNDER THE INFLUENCE OF ELEVATED TEMPERATURES USING MATHEMATICAL ANALYSIS**

**Mikhail D. Lemenkov, Sergey V. Sharkhun, Vera A. Shterenzon**

Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

## ABSTRACT

The article deals with the problem of thermal destruction of thermal insulation building materials under the influence of heat flow, as well as the influence of the latter on thermal engineering characteristics. The authors propose a new approach to assessing this effect using a special device and conduct a mathematical analysis of the adopted model, which allows for a better understanding of the processes occurring in materials during heating. The results of the study may be useful for specialists in the field of construction and thermal insulation. The context of the article covers the results of the analysis of facade systems, which were grouped into four main categories found in civil engineering in Russia. It is investigated that non-combustible building materials are becoming the most widespread, since safety issues are becoming a priority in modern construction projects. However, the article also highlights the problem of the ratio of combustible and non-combustible materials, which confirms the complexity of the choice facing architects and builders. The structure of the article includes an introduction to the topic of facade solutions, their classification and subsequent discussion of their application in modern conditions. In conclusion, it can be noted that, considering facade systems as one of the leading trends in modern construction, the author emphasizes that creating a harmonious and safe architectural image should be a fundamental goal in working on future projects.

**Keywords:** stability of the heat supply system, exposure to elevated temperatures, facade systems, heat flow

## Введение

В современном мире архитектуры существует тенденция создавать объекты, которые отличаются уникальным внешним видом. Для достижения этой цели все чаще используются различные фасадные системы. Анализ характеристик фасадной системы позволяет выделить четыре основные группы, наиболее часто используемые в гражданском строительстве на территории Российской Федерации. Чаще всего для теплоизоляции фасадной системы используются негорючие строительные материалы. Однако соотношение горючих материалов по-прежнему велико. Эта тема подробно обсуждается в работе [1].

Обнаружение дефектов в теплоизоляционном слое фасадной системы, вызванных возможным тепловым потоком источника огня, является проблемным местом при реализации закона «Об энергосбережении и повышении энерго-

эффективности». В настоящее время особенно важно оценить влияние теплового потока источников возгорания на теплоизоляционный слой горючих материалов. Оценка состава фасадной системы с применением внешнего штукатурного слоя проводится с целью соответствия требованиям действующих нормативных документов. Анализ воздействия повышенной температуры проводится также для установления потенциальных скрытых повреждений от пожара, что актуально, учитывая плотность современной застройки [2].

В процессе производства строительные материалы фасадной системы проходят обязательные испытания по различным показателям. В работе [3] представлена классификация строительных, текстильных и кожаных материалов по пожароопасности. Эта классификация основана на свойствах материала и его способности представлять опасность возгорания. Показатели пожарной опасности

строительных материалов определяются по методу [3]. В зависимости от параметров испытаний учитываются воспламеняемость, распространение пламени по поверхности, токсичность продуктов горения и способность образовывать дым [3–6]. Испытаниям на пожарную опасность особое внимание уделяется не только в России, но и за рубежом [7–15]. Так, например, методы тестирования строительных материалов европейских стран более подробно описан в [16].

Исследования в области пожарной безопасности в строительной отрасли продолжают развиваться и совершенствоваться. Некоторые из пожароопасных факторов, включая воспламеняемость, токсичность, распространение поверхностного пламени и образование дыма, определяются с использованием стандартных методов испытаний, описанных в [17].

Современные приборы и испытательное оборудование предназначены только для проведения испытаний в соответствии с утвержденными методами, подробно описанными в [4–5, 17, 18]. Характеристики регистрирующих элементов данных методик не позволяют оценить степень воздействия теплового потока на утеплитель, находящийся в фасадной системе, тем самым ограничивая возможность комплексной оценки безопасности, надежности и эксплуатационной устойчивости всего объекта.

Целью следующих испытаний является определение степени влияния материала на динамику развития горения (пожара) [4, 7, 9, 17, 19]. Методы на оценку распространения пламени описаны в нормативных документах [5,8,10,14]. Испытания негативного воздействия на людей опасных факторов пожара освещены в работах [12, 13, 15, 18, 20]. Существующие российские и зарубежные методы контроля [4, 5, 17, 18, 19]. Однако роль те-

плогового потока и степень воздействия на содержащуюся в фасадной системе изоляцию не оценивались. На практике даже если требования правил пожарной безопасности выполняются в соответствии с относительным расположением объекта с точки зрения расстояния тушения между ними это указывает на то, что воздействие высоких температур может повлиять на материал теплозащитного слоя, не причиняя видимых повреждений внешнему (декоративному) слою.

Это ограничивает возможность всесторонней оценки безопасности, надежности и эксплуатационной стабильности всего объекта. В связи с этим был предложен новый метод оценки степени влияния теплового потока на строительные материалы, подробно описанный в [16].

Методика контроля и оценки степени влияния теплового потока на изоляционные строительные материалы основана на экспериментальном определении величины плотности теплового потока, отрицательно влияющей на теплоизоляционные свойства строительных материалов. Перед проведением испытания эталонное значение плотности теплового потока используемого устройства должно быть определено экспериментально. Метод определения показан на рис. 1. Для определения интенсивности теплового потока на заданном расстоянии к мультиметру в режиме измерения напряжения подключается контрольный датчик. Рабочая поверхность приемника ориентирована перпендикулярно вектору теплового потока. Его площадь составляет  $0,02 \text{ м}^2$ .

По результатам определения плотности теплового потока прибора строится график зависимости теплового потока от расстояния, на котором располагается образец. График этой зависимости представлен на рис. 2.



**Рис. 1.** Методика экспериментального определения эталонной величины плотности теплового потока прибора

**Fig. 1.** The method of experimental determination of the reference value of the heat flux density of the device

Таблица 1

Результаты определения плотности теплового потока

Table 1

The results of determining the heat flux density

Расстояние, м Distance, m	Показания мультиметра в режиме вольтметра, мкВ Multimeter reading in voltmeter mode, mkV	Плотность теплового потока на заданных расстояниях, кВт/м <sup>2</sup> Heat flux density at specified distances, kW/m <sup>2</sup>
0,5	0,9	11,25
0,75	0,4	5
1	0,2	2,5
1,25	0,15	1,875
1,5	0,1	1,25

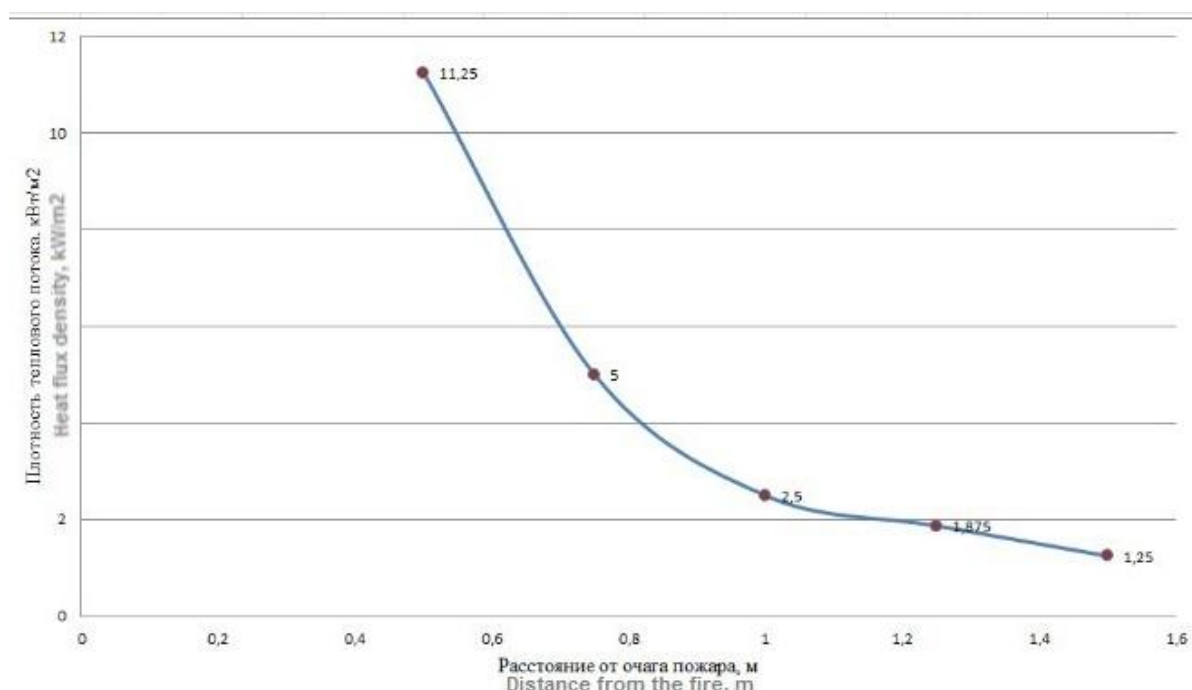


Рис. 2. График зависимости теплового потока от расстояния

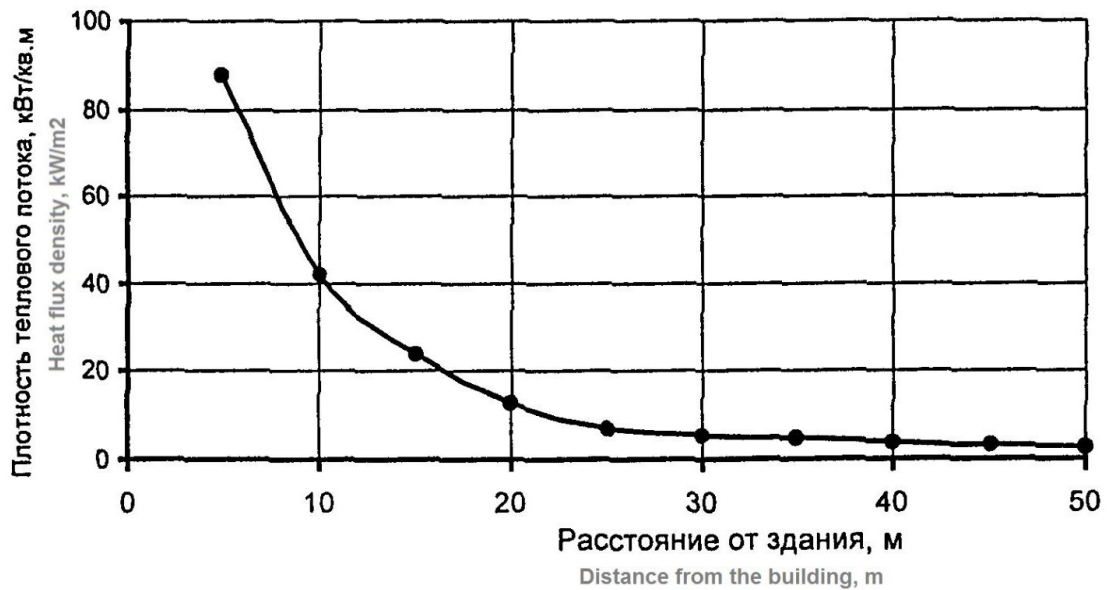
Fig. 2. A graph of the dependence of heat flow on distance

Исследователи в области поведения полимерных материалов А. И. Сечин и О. С. Кырмакова определили зависимость плотности теплового потока от расстояния между зданиями в случае возгорания огнеупорных конструкций I–III степени огнестойкости [21]. Показан график, показанный на рис. 3. На рисунке показано, что мощность на расстоянии 5 м составляет 90 кВт/м<sup>2</sup>. На расстоянии 10 м мощность составит 42 кВт/м<sup>2</sup>, а на расстоянии 15 метров – 25 кВт/м<sup>2</sup> между зданиями. Значи-

тельное снижение огневой мощности происходит на дистанции 20 м – до 13 кВт/м<sup>2</sup>. То есть, если расстояние между сооружениями составляет 25 м, мощность составит 7 кВт/м<sup>2</sup>. Дальнейшее увеличение дистанции не приведет к существенному изменению мощности. То есть на дистанции 30, 35, 40, 45 и 50 м мощность составляет 6,5, 4, 3, 2 кВт/м<sup>2</sup> соответственно.

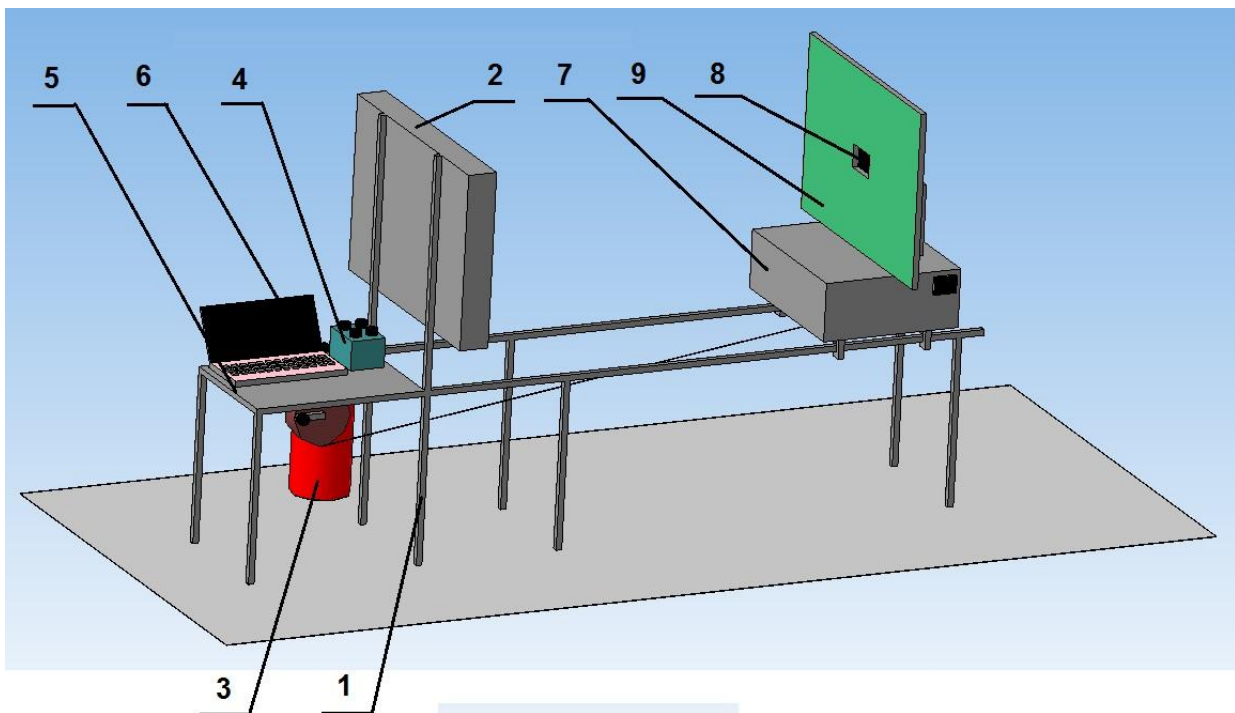
Для решения практической задачи определения степени воздействия теплового потока на изоляционные строитель-

ные материалы было разработано экспериментальное оборудование, показанное на рис. 4.



**Рис. 3.** Графическая зависимость теплового потока на расстоянии от источника теплового излучения

**Fig. 3.** Graphical dependence of the heat flux at a distance from the source of thermal radiation



**Рис. 4.** Прибор по определению степени влияния теплового потока

**Fig. 4.** A device for determining the degree of influence of heat flow

С помощью этого прибора был проведен ряд экспериментов для определения различных зависимостей тепловых свойств строительных материалов под

воздействием высоких температур. Оценка полученных результатов производится по алгоритму. На первом этапе собираются и систематизируются данные, полученные в ходе испытаний: результаты измерений, наблюдения, фотографии и видеозапись процесса. На этапе сравнения данные анализируются для определения основных характеристик горения: времени теплового воздействия, потери массы и изменения длины образца, а также определения горения пламени. Затем сравниваются полученные результаты с критериями оценки, установленными этим методом тестирования. В результате создается отчет об испытаниях, в котором отображаются все полученные данные и заключение о соответствии/несоответствии материала критериям оценки этого метода.

С целью выявления закономерностей, улучшения качества данных и прогнозирования результаты серии эксперимента подверглись математической обработке. В ходе математического анализа были предложены и исследованы различные математические модели.

### **Математический анализ**

Математическая обработка и анализ данных экспериментов проводятся с несколькими целями.

1. Выявление закономерностей.
2. Статистическая значимость.
3. Прогнозирование.
4. Оптимизация.
5. Сравнение результатов.
6. Проверка гипотез
7. Улучшение качества данных

Математические методы позволяют обнаружить закономерности в данных, которые могут быть незаметны при простом визуальном анализе. Это помогает лучше понять исследуемое явление. Также с помощью математических методов можно определить, являются ли полученные результаты статистически значимыми,

что позволяет сделать выводы о том, насколько вероятно, что результаты эксперимента обусловлены случайными факторами. Математический анализ прогнозирует поведение системы или процесса на основе полученных данных, что является положительным моментом в данном научном исследовании, где необходимо прогнозировать будущие события или тенденции. Математическая обработка позволяет сравнивать результаты разных экспериментов и выявлять различия между ними. Это важно для определения эффективности различных подходов и методов исследования. Математические модели могут использоваться для оптимизации процессов и систем. Например, они могут помочь найти оптимальные условия для проведения эксперимента или выбрать наиболее эффективные методы исследования. Методы математического анализа используются для проверки гипотез, сформулированных на основе предварительных наблюдений или теорий. Данный подход позволяет оценить вероятность того, что гипотеза верна, на основе собранных данных. Проводимые с помощью аналитических формул математические процедуры могут помочь выявить и исправить ошибки в данных, а также улучшить их качество, что повышает точность и надежность результатов эксперимента.

Процесс построения любой математической модели можно представить последовательностью этапов.

1. Обследование объекта моделирования и формулировка технического задания на разработку модели (содержательная постановка задачи).
2. Концептуальная и математическая постановка задачи.
3. Качественный анализ и проверка корректности модели.
4. Выбор и обоснование выбора методов решения задачи.
5. Поиск решения.

6. Разработка алгоритма решения и исследование его свойств, реализация алгоритма в виде программ.

7. Проверка адекватности модели.

8. Практическое использование построенной модели.

На этапе обследования объекта моделирования определено, что модель должна удовлетворять следующим требованиям/принципам/концепциям: иметь практическую значимость, отражать свойства образца материала, верно интерпретировать динамику изменения показателей (характеристик).

В данном случае математическая модель позволяет прогнозировать поведение термически устойчивого материала к воздействию повышенных температур.

После исследования объекта выполнялось математическое моделирование результатов эксперимента влияния теплового потока на теплоизоляционный материал фасадной системы. В качестве теплоизоляционного материала был использован пенополистирол с толщиной

защитного штукатурного слоя 3, 6, 9 мм на расстояниях 0,5, 0,75, 1 м от источника теплового излучения.

Исследование парной корреляции температуры и времени показывает следующие результаты. Модель принята адекватной, коэффициент корреляции при этом:

На рис. 5 отображена динамика увеличения температуры от времени по зависимости:

$$T = \exp(3,35821 + 0,00208741 \times \text{tau}).$$

Что же касается парной корреляции температур и расстояния, то картина неоднозначна. Коэффициент корреляции составляет

Средняя положительная корреляция модели свидетельствует о нецелесообразности дальнейшего моделирования. Сама модель (рис. 6) при этом адекватна и в полной мере отражает зависимость влияния расстояния на температуру:

$$T = 210,902 - 155,452 \times L.$$

Plot of Fitted Model

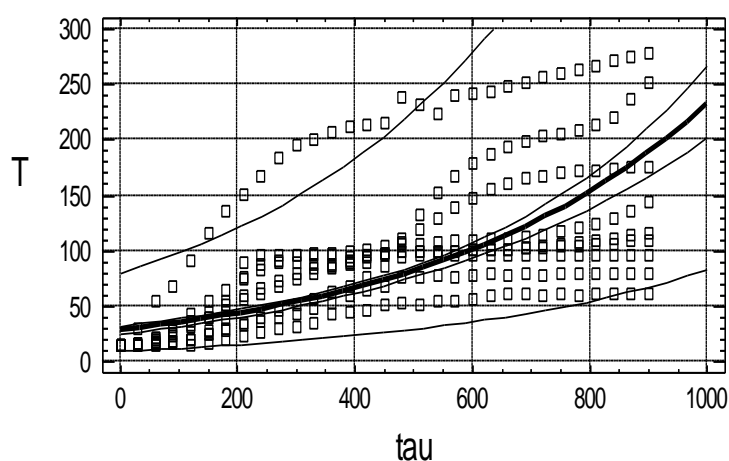
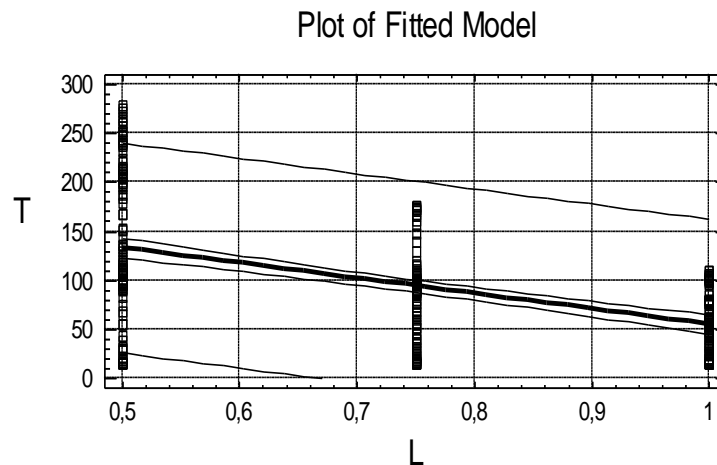


Рис. 5. Парная корреляция температуры и времени эксперимента

Fig. 5. Paired correlation of temperature and experiment time



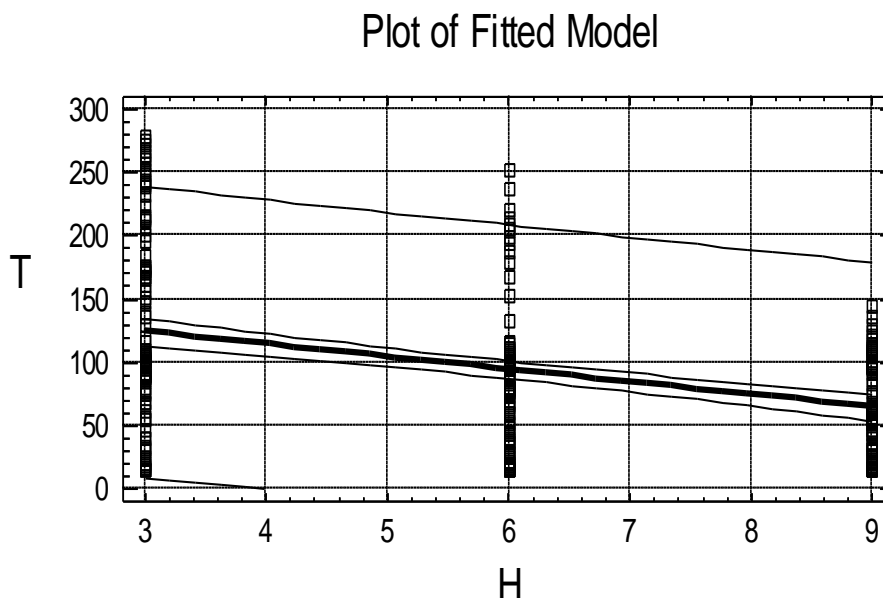


**Рис. 6.** Парная корреляция температуры и расстояния до источника теплового излучения  
**Fig. 6.** Paired correlation of temperature and distance to the source of thermal radiation

При исследовании парной корреляции толщины теплозащитного строительного материала и температуры были получены следующие результаты. Полученная математическая модель адекватна, однако коэффициент корреляции низкий. График зависимости, приведенной ниже, изображен на рис. 7.

$$T = 153,631 - 9,8862 \times H.$$

При исследовании множественной регрессии наиболее известных моделей были получены следующие результаты (табл. 2).



**Рис. 7.** Парная корреляция толщины пенополистирола и температуры  
**Fig. 7.** Paired correlation of polystyrene foam thickness and temperature

Таблица 2

Математические модели, полученные при исследовании множественной регрессии влияния толщины слоя теплозащитного материала на температуру образца

Table 2

Mathematical models obtained in the study of multiple regression of the effect of the thickness of the layer of heat-protective material on the temperature of the sample

Модель Model	R-квадрат R-square	Адекватность Adequacy
<p>Линейная модель Linear model</p> $T = 204,658 - 9,8862 \times H - 155,452 \times L + 0,145681 \times \tau$	R-squared = 79,7553 percent	Адекватная Adequate
<p>Экспоненциальная модель Exponential model</p> $T = \exp(5,0702 - 0,0966066 \times H - 1,5098 \times L + 0,00208741 \times \tau)$	R-squared = 80,334 percent	Адекватная Adequate
<p>Степенная модель The power model</p> $T = \exp(2,42505) \times H^{-0,528345} \times L^{-1,08523} \times \tau^{0,423479}$	R-squared = 80,9595 percent	Адекватная Adequate
<p>Обратная модель The reverse model</p> $\frac{1}{T} = 0,0150168 + 0,00141608 \times H + 0,0206623 \times L - 0,0000452218 \times \tau$	R-squared = 62,2626 percent	Адекватная Adequate
<p>Сумма обратных The sum of the reverses</p> $T = -67,6676 + 259,82 \times \frac{1}{H} + 77,6982 \times \frac{1}{L} - 86,8793 \times \frac{1}{\tau}$	R-squared = 48,0251 percent	Адекватная Adequate
<p>Полином 2-й степени A polynomial of the 2nd degree</p> $T = 263,21 - 17,6664 \times H - 422,073 \times L + 0,344341 \times \tau + 1,07736 \times H^2 + 205,204 \times L^2 - 0,000144432 \times \tau^2 - 0,0152527 \times H \times L \times \tau$	R-squared = 85,9175 percent	Адекватная Adequate
<p>Полином 3-й степени A polynomial of the 3rd degree</p> $T = 174,685 - 2,32802 \times H^2 - 390,982 \times L^2 + 0,000676789 \times \tau^2 + 0,189188 \times H^3 + 264,972 \times L^3 - 5,60564E - 7 \times \tau^3 - 0,0121025 \times H \times L \times \tau$	R-squared = 83,1396 percent	Адекватная Adequate

Качественный анализ полученных моделей показал, что наиболее привлека-

тельно выглядит степенная модель. Зависимость параметров выглядит следующим образом:

$$T = \exp(2,42505) \times (H^{-0,528345}) \times (L^{-1,08523}) \times (\tau^{0,423479}).$$

Стоит отметить, что все рассматриваемые модели оказались адекватны.

Промежуточный вывод: краткий анализ подходящих математических моделей показал, что целесообразно принять степенную модель с зависимостью:

$$T = \exp(2,42505) \times H^{-0,528345} \times L^{-1,08523} \times \tau^{0,423479}.$$

Наиболее высокий коэффициент корреляции при исследовании парной корреляции (Correlation Coefficient = 0,736392) показан в отношении температуры образца от времени эксперимента, что подтверждается адекватностью выбранной математической модели. В результате целесообразно дальнейшее исследование выбранной модели для повышения достоверности результатов эксперимента.

### Влияние исследуемых факторов на динамику температуры образца

На следующем этапе было проведено исследование поверхностей отклика для степенной модели.

Степенная модель:

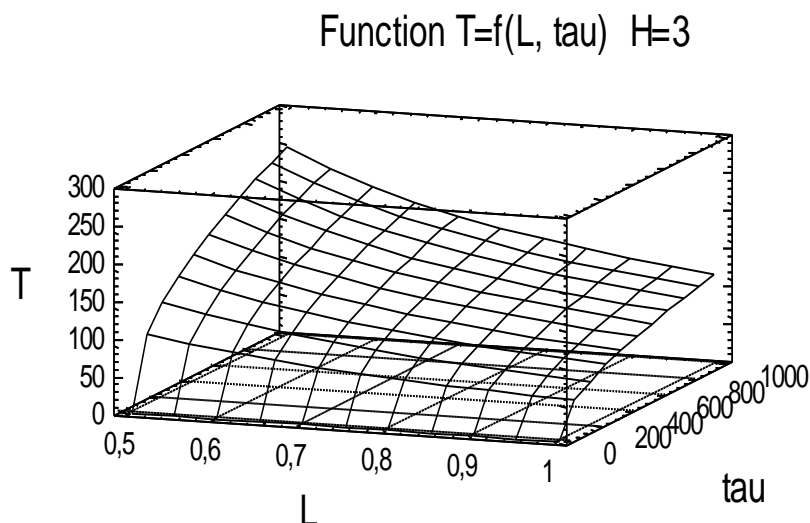
$$T = \exp(2,42505) \times H^{-0,528345} \times L^{-1,08523} \times \tau^{0,423479}.$$

Анализ моделирования влияния расстояния от источника теплового излучения на динамику температуры показал следующие результаты. Моделирование проводилось для трех различных толщин теплоизоляционного материала.

При толщине теплозащитного материала  $H = 3$  мм зависимость представлена на рис. 8.

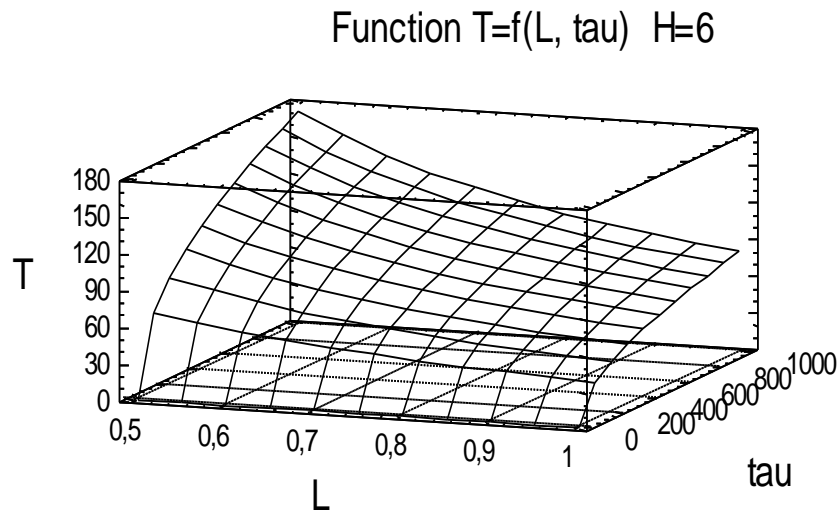
При толщине теплозащитного материала  $H = 6$  мм зависимость представлена на рис. 9.

При толщине теплозащитного материала  $H = 9$  мм зависимость представлена на рис. 10.



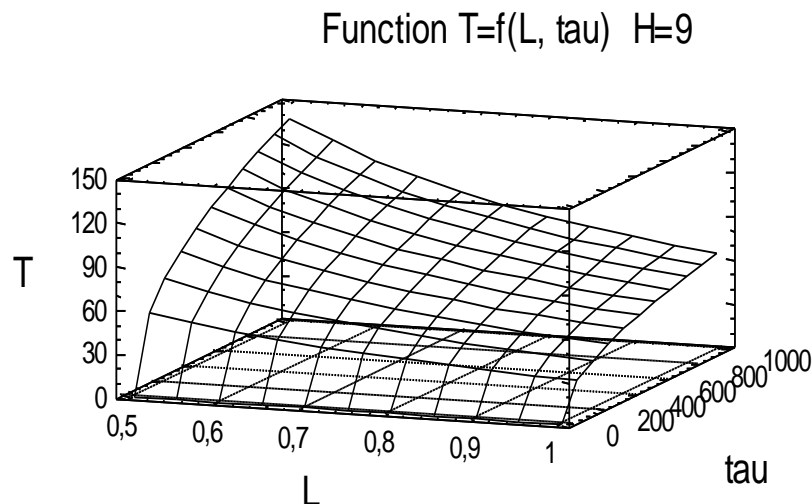
**Рис. 8.** Влияние расстояния от источника теплового излучения на динамику температуры от времени

**Fig. 8.** The effect of the distance from the source of thermal radiation on the dynamics of temperature over time



**Рис. 9.** Влияние расстояния от источника теплового излучения на динамику температуры от времени

**Fig. 9.** The effect of the distance from the source of thermal radiation on the dynamics of temperature over time



**Рис. 10.** Влияние расстояния от источника теплового излучения на динамику температуры от времени

**Fig. 10.** The effect of the distance from the source of thermal radiation on the dynamics of temperature over time

Вывод: анализ поверхностей отклика степенной модели позволяет сделать закономерный вывод, что с увеличением времени воздействия температура образца возрастает нелинейно; при увеличении расстояния от источника теплового излучения температура образца снижается.

Следующим шагом был проведен анализ поверхностей отклика степенной модели на предмет зависимости температуры образца от расстояния между образцом и источником тепла и времени экспе-

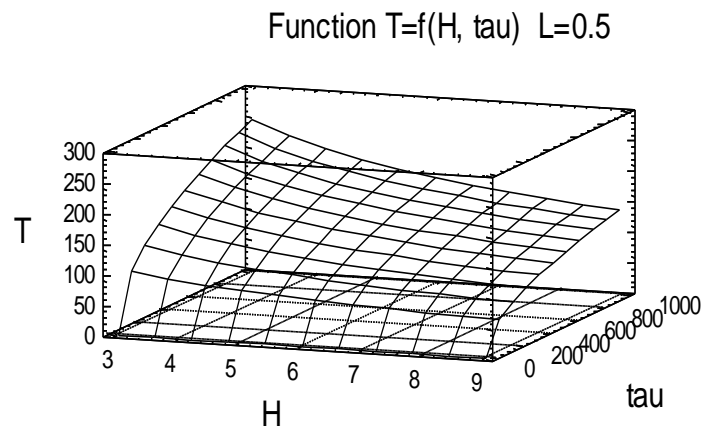
римента. Моделирование проводилось на трех расстояниях от источника теплового излучения, имитирующего расстояния 21, 30, 40 между зданиями 1-й степени огнестойкости. Анализ моделирования влияния толщины пенополистирола и времени эксперимента на динамику температуры образца показал следующие результаты.

На расстоянии 0,5 м от источника теплового излучения, что соответствует 21 м. между объектами, график зависимости

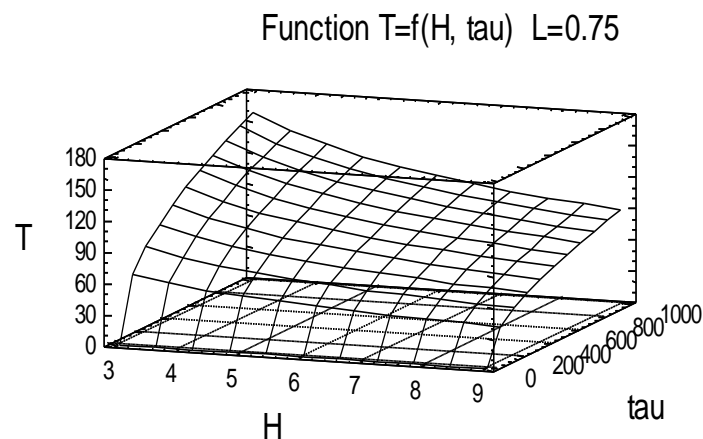
температуры образца от времени представлен на рис. 11.

График исследования функции температуры в зависимости от толщины теплоизоляционного материала с течением времени проведения эксперимента на расстоянии 0,75 м от источника теплового излучения, что соответствует 30 м между сооружениями, представлен на рис. 12.

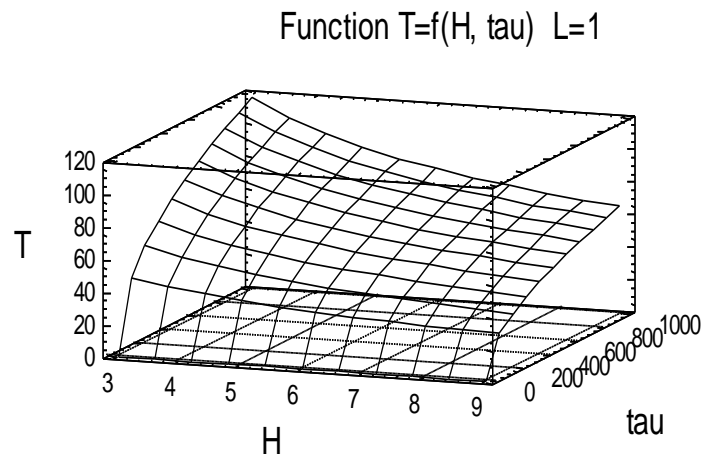
Анализ степенной модели зависимости температуры образца от толщины защитного слоя пенополистирола и времени на расстоянии 1 м от источника теплового излучения, что соответствует 40 м между зданиями, позволил определить следующую зависимость, представленную на рис. 13.



**Рис. 11.** Зависимость температуры образца от толщины теплозащитного штукатурного слоя и времени эксперимента на расстоянии 0,5 м между образцом и источником тепла  
**Fig. 11.** The dependence of the sample temperature on the thickness of the heat-protective plaster layer and the time of the experiment at a distance of 0.5 m between the sample and the heat source



**Рис. 12.** Зависимость температуры образца от толщины теплозащитного штукатурного слоя и времени эксперимента на расстоянии 0,75 м между образцом и источником тепла  
**Fig. 12.** The dependence of the sample temperature on the thickness of the heat-protective plaster layer and the time of the experiment at a distance of 0.75 m between the sample and the heat source



**Рис. 13.** Зависимость температуры образца от толщины теплозащитного штукатурного слоя и времени эксперимента на расстоянии 1 м между образцом и источником тепла  
**Fig. 13.** The dependence of the sample temperature on the thickness of the heat-protective plaster layer and the time of the experiment at a distance of 1 m between the sample and the heat source

Промежуточный вывод: на основе проведенного анализа поверхностей отклика степенной адекватной модели можно говорить о следующих подтвержденных закономерностях. С течением времени эксперимента температура образца возрастает перманентно, что свидетельствует о поглощении энергии испытуемым материалом. При увеличении толщины защитного слоя теплоизоляционного материала происходит снижение скорости нарастания температуры образца. При каждом увеличении расстояния от источника теплового излучения происходит снижение максимальной достигнутой температуры в 1,58 раз. Также при увеличении толщины теплозащитного слоя от 3 до 9 мм наблюдается снижение температуры образца примерно в 2 раза. Важно отметить, что влияние более низкой толщины защитного слоя ( $H = 3$  мм) имеет большее влияние на динамику темпера-

туры при меньшем расстоянии от источника теплового излучения (0,5 м).

#### Вывод

С точки зрения математического анализа серия экспериментов демонстрирует адекватность и согласованность данных. Это подтверждается статистической значимостью результатов и отсутствием противоречий в полученных измерениях.

Для дальнейшего развития исследования и подтверждения результатов целесообразно применить методы компьютерного полевого моделирования. Компьютерное моделирование позволит расширить понимание исследуемого явления, уточнить и проверить гипотезы, а также выявить новые закономерности. Такой подход обеспечит более глубокое и всестороннее изучение объекта исследования, повысит точность и надежность выводов, а также откроет новые перспективы для будущих исследований.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Леменков М. Д., Шархун С. В. Анализ существующих методов контроля строительных материалов, применяемых в фасадных системах [Текст] // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 4. С. 92–97.
2. Леменков М. Д., Шархун С. В., Пономарев А. В. Формирование скрытого ущерба посредством влияния теплового потока очага пожара на фасадные системы с наружным штукатурным слоем // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы Междунар. XXXIV научн.-практ. конф., посвященной 85-летию образования ФГБУ ВНИИПО МЧС России, Балашиха, 23–24 августа 2022 года. Москва: Все-

российский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны МЧС, 2022. С. 336–342.

3. Михайлов Б. В., Николаева А. Г., Иванов А. В. Анализ колебания несущих элементов фасадной системы от динамической нагрузки // Вестник науки. 2022. № 6. С. 198–207.

4. Методы испытания воспламеняемости материалов / Р. Ш. Еналеев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 13. С. 73–77.

5. Перова А. И., Капранов А. В., Аносова Е. Б. Исследование токсической и пожарной опасности синтетических строительных материалов // Успехи в химии и химической технологии. 2016. № 8. С. 34–36.

6. Трушкин Д. В. Проблемы экспериментального определения горючести пенополистирола // Пожаровзрывобезопасность. 2005. № 4. С. 12–16.

7. NFPA 285. Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components. Quincy, MA: National Fire Protection Association. 2021.

8. Lepir II, Personal communication from Dr. Eric Guillaume, Efectis, France. 2019.

9. DIN 4102 Part 20. Fire Behaviour of Building Materials and Building Components – Part 20, Complementary Verification for the Assessment of the Fire Behaviour of Exterior Wall Claddings. Berlin, Germany: DIN— German Institute for Standardization. 2017.

10. SP Fire 105. External wall assemblies and facade claddings—Reaction to fire. Borås, Sweden: SP Technical Research Institute of Sweden. November, 2013.

11. BS 8414-1. Fire Performance of External Cladding Systems – Part 1: Test Method for Non-loadbearing External Cladding Systems Applied to the Face of the Building. London, UK: British Standards Institution. 2002.

12. EN 13823. Reaction to Fire Tests for Building Products—Building Products Excluding Floorings Exposed to the Thermal Attack by a Single Burning Item. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization. 2020.

13. ISO 13785-2. Reaction-to-Fire Tests for Façades—Part 2: Large-Scale Test. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2002

14. ISO 13874-1. Reaction-to-Fire Tests for Sandwich Panel building Systems—Part 1: Test Method for Small Rooms. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2014.

15. ISO 13874-2. Reaction-to-Fire Tests for Sandwich Panel Building systems—Part 2: Test Method for Large Rooms. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2020.

16. Леменков М. Д., Шархун С. В. Метод контроля и оценки степени влияния теплового потока на теплоизоляционные строительные материалы // Южно-Сибирский научный вестник. 2024. № 5 (57). С. 115–122. DOI: 10.25699/SSSB.2024.57.5.018.

17. Сулейманов И. Р. Обзор пожарной опасности промышленных теплоизоляционных материалов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2017. № 8. С. 91–94.

18. Мамонтов С. А. Киселева О. А. Тепловое старение пенопластов, применяемых в ограждающих конструкциях // Construction materials. 2011. № 8. С. 60–61.

19. ГОСТ Р 56025–2014. Материалы строительные. Метод определения теплоты сгорания : нац. стандарт Российской Федерации : утвержден и введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26 мая 2014 г. № 445-ст : введен впервые : дата введения 2014-09-01 // Кодекс : электрон. фонд правовой и норматив.-техн. информ. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200110770> (дата обращения: 23.12.2024).

20. BS 8414-1. Fire Performance of External Cladding Systems – Part 1: Test Method for Non-loadbearing External Cladding Systems Applied to the Face of the Building. London, UK: British Standards Institution. 2002.

21. Сечин А. И. Кырмакова О. С. Пожаровзрывозащита : учебное пособие. Томск : изд-во Томского политехнического университета, 2015. 248 с.

#### REFERENCES

1. Lemenkov M.D., Sharkhun S.V. Analysis of existing methods of control of building materials used in facade systems // South Siberian Scientific Bulletin. 2024; 4: 92–97. (rus).

2. Lemenkov M. D., Sharkhun S. V., Ponomarev A.V. Formation of hidden damage through the influence of the heat flow of the fire source on facade systems with an external plaster layer // Actual problems of fire safety: materials of the XXIV International Scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the formation of the Federal State Budgetary Institution VNIPO of the Ministry of Emergency Situations of

Russia, Balashikha, August 23-24, 2022. Moscow: All-Russian Order of the Badge of Honor Scientific Research Institute of Fire Protection of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Disaster Response, 2022; 336–342. (rus).

3. Mikhailov B.V., Nikolaeva A.G., Ivanov A.V. Analysis of vibrations of the bearing elements of the facade system from dynamic load // Bulletin of Science. 2022; 6: 198–207. (rus).

4. Methods of testing the flammability of materials / R.S. Enaleev [et al.] // Bulletin of the Kazan Technological University. 2013; 13: 73–77. (rus).

5. Perova A.I., Kapranov A.V., Anosova E.B. Investigation of toxic and fire hazards of synthetic building materials // Successes in chemistry and chemical technology. 2016; 8: 34–36. (rus).

6. Trushkin D. V. Problems of experimental determination of the flammability of expanded polystyrene // Fire and explosion safety. 2005; 4: 12–16. (rus).

7. NFPA 285. A standard fire resistance test method for evaluating the characteristics of fire propagation in external load-bearing wall structures containing combustible components. Quincy, Massachusetts: National Fire Protection Association. 2021.

8. Lepir II, personal message from Dr. Eric Guillaume, Efectis, France. 2019.

9. DIN 4102, part 20. Fire resistance of building materials and building components – Part 20, An additional test to assess the fire resistance of exterior wall cladding. Berlin, Germany: DIN – German Institute for Standardization. 2017.

10. SP Fire 105. Installation of exterior walls and facade cladding – reaction to fire. Boros, Sweden: SP Technical Research Institute in Sweden. November, 2013.

11. BS 8414-1. Fire Performance of External Cladding Systems – Part 1: Test Method for Non-loadbearing External Cladding Systems Applied to the Face of the Building. London, UK: British Standards Institution. 2002.

12. EN 13823. Reaction to Fire Tests for Building Products—Building Products Excluding Floorings Exposed to the Thermal Attack by a Single Burning Item. Brussels, Belgium: CEN, European Committee for Standardization. 2020.

13. ISO 13785-2. Reaction-to-Fire Tests for Façades—Part 2: Large-Scale Test. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2002

14. ISO 13874-1. Reaction-to-Fire Tests for Sandwich Panel building Systems—Part 1: Test Method for Small Rooms. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2014.

15. ISO 13874-2. Reaction-to-Fire Tests for Sandwich Panel Building systems—Part 2: Test Method for Large Rooms. Geneva, Switzerland: ISO, International Organization for Standardization. 2020.

16. Lemenkov M. D., Sharkhun S. V. Method of control and assessment of the degree of influence of heat flow on thermal insulation building materials // South Siberian scientific Bulletin. 2024; № 5(57): 115–122. DOI 10.25699/SSSB.2024.57.5.018. (rus).

17. Suleymanov I.R. Review of fire hazard of industrial thermal insulation materials // Fire safety: problems and prospects. 2017; 8: 91–94. (rus).

18. Mamontov S.A., Kiseleva O.A. Thermal aging of foams used in enclosing structures. // Construction materials. 2011; 8: 60–61. (rus).

19. GOST R 56025-2014. Construction materials. Method for determining the heat of combustion. Moscow, Standartinform; 2019: 14. (rus).

20. BS 8414-1. Fire Performance of External Cladding Systems – Part 1: Test Method for Non-loadbearing External Cladding Systems Applied to the Face of the Building. London, UK: British Standards Institution. 2002.

21. Sechin A.I., Kyrmakova O.S. Fire and explosion protection. Tomsk, Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2015; 248. (rus).

### Информация об авторах

**Леманков Михаил Дмитриевич**, преподаватель кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 1131113; SPIN-код:

### Information about the authors

**Mikhail D. Lemenkov**, Leading Researcher, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 1131113; SPIN-code: 5035-5595; e-mail: [lemenkov@internet.ru](mailto:lemenkov@internet.ru)



5035-5595;

e-mail: [lemenkov@internet.ru](mailto:lemenkov@internet.ru)

**Шархун Сергей Владимирович**, кандидат технических наук, доцент, заместитель начальника кафедры пожарной безопасности в строительстве, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 795609; SPIN-код: 6300-8576;

e-mail: [s\\_sharkhun@mail.ru](mailto:s_sharkhun@mail.ru)

**Штерензон Вера Анатольевна**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры математики и информатики, Уральский институт ГПС МЧС России, Россия, 620062, Свердловская область, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 22; Author ID: 660374; SPIN-код: 6778-0890;

e-mail: [V.A.Shterenzon@urfu.ru](mailto:V.A.Shterenzon@urfu.ru)

**Sergey V. Sharkhun**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, deputy head of the Department of Fire Safety in Construction, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 795609; SPIN-code: 6300-8576

e-mail: [s\\_sharkhun@mail.ru](mailto:s_sharkhun@mail.ru)

**Vera A. Shterenzon**, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mathematics and Computer Science, Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; Author ID: 660374; SPIN code: 6778-0890;

e-mail: [V.A.Shterenzon@urfu.ru](mailto:V.A.Shterenzon@urfu.ru)