

Информационное и математическое моделирование в строительстве при разработке строительных изделий для обнаружения пожара в соседнем здании

Александр Александрович Лазарев¹, Сергей Викторович Федосов^{2,3},
Виталий Геннадьевич Котлов³, Дмитрий Евгеньевич Цветков¹,
Андрей Юрьевич Комлёв¹

¹ Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы
Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий (ИПСА ГПС МЧС России); г. Иваново, Россия;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный
университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия;

³ Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ); г. Йошкар-Ола, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Проведенный анализ научной литературы и патентной документации показал наличие значительного количества алгоритмов и решений по моделированию отдельных элементов, конструкций, перегородок, перекрытий и стен для обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений. Основные подходы к решению этих проблем связаны с теорией теплопереноса. При этом практически отсутствуют разработки алгоритмов применения строительных изделий для обнаружения пожара в соседнем здании.

Материалы и методы. Использованы информационные технологии для решения практических задач алгоритмизации при строительстве.

Результаты. Разработанный алгоритм применения строительных изделий предполагает проверку двух определенных условий. Это делается для избегания ложного срабатывания пожарного извещателя из-за попадания солнечных лучей и установления факта исправности изделия после пожара. Практическая значимость проведенного исследования заключается также в полученных результатах численного эксперимента. С учетом основ теории и математического моделирования механических и тепловых процессов рассмотрен случай равномерного начального распределения температуры в стальном диске строительного изделия для обнаружения пожара в соседнем здании.

Выводы. Полученные уравнения дают возможность определить температурные поля в стальном диске термочувствительного элемента строительного изделия для обнаружения пожара в соседнем здании в процессе теплоотдачи среде различных газов. Проведенное исследование позволило также выполнить сравнительный анализ динамики изменения полей температур в зависимости от числа Фурье рассматриваемого термочувствительного элемента строительного изделия для разных сред по отдельности: аргона, криптона, ксенона, углекислого газа, а также в вакууме 10^{-5} мм рт. ст.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: алгоритм, датчик, моделирование, температурные поля, пожарный извещатель, пожарная безопасность

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лазарев А.А., Федосов С.В., Котлов В.Г., Цветков Д.Е., Комлёв А.Ю. Информационное и математическое моделирование в строительстве при разработке строительных изделий для обнаружения пожара в соседнем здании // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 11. С. 1770–1778. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.11.1770-1778

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Евгеньевич Цветков, cvetkov-dmitrii@mail.ru.

Information and mathematical modelling in construction in the development of building products for fire detection in a neighboring building

Alexander A. Lazarev¹, Sergei V. Fedosov^{2,3}, Vitalii G. Kotlov³, Dmitry E. Tsvetkov¹,
Andrey Yu. Komlev¹

¹ Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil
Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters; Ivanovo, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation;

³ Volga State Technological University; Yoshkar-Ola, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The analysis of scientific literature and patent documentation has shown the presence of a significant number of algorithms and solutions for modelling individual elements, structures, partitions, floors and walls to ensure fire safety of buildings and structures. The main approaches to solving these problems are related to the theory of heat transfer. At the same time, there is practically no development of algorithms for the use of building products to detect a fire in a neighboring building.

Materials and methods. Information technologies are used to solve practical problems of algorithmization in construction. **Results.** The algorithm developed by the authors for the application of building products involves checking two specific conditions. This is done to avoid false triggering of the fire detector due to sunlight and to establish the fact that the product is serviceable after a fire. The practical significance of the conducted research also lies in the results of the numerical experiment. Taking into account the basics of theory and mathematical modelling of mechanical and thermal processes, the case of uniform initial temperature distribution in a steel disc of a building product for fire detection in an adjacent building was considered.

Conclusions. The obtained equations make it possible to determine the temperature fields in the steel disk of a thermosensitive element of a building product for fire detection in a neighboring building in the process of heat transfer to the medium of various gases. The conducted research also made it possible to perform a comparative analysis of the dynamics of changes in temperature fields depending on the Fourier number of the thermosensitive element of the construction product under consideration for different media separately: argon, krypton, xenon, carbon dioxide, as well as in a vacuum of 10^{-5} mm Hg.

KEYWORDS: algorithm, sensor, simulation, temperature fields, fire detector, fire safety

FOR CITATION: Lazarev A.A., Fedosov S.V., Kotlov V.G., Tsvetkov D.E., Komlev A.Yu. Information and mathematical modeling in construction in the development of building products for fire detection in a neighboring building. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(11):1770-1778. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.11.1770-1778 (rus.).

Corresponding author: Dmitry E. Tsvetkov, cvetkov-dmitrii@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

С целью защиты зданий от пожаров применяются различные полезные модели и изобретения [1–17]. В основном эти решения связаны с обеспечением пассивной защиты от пожара. В основе их разработки лежит теория теплопереноса. Так, например, предложенная Р.А. Ибрагимовым и Ю.В. Евстигнеевой перегородка [1] может использоваться при строительстве зданий с установленными требованиями к степени их огнестойкости, а также к теплоизоляции и звукоизоляции помещений в данных зданиях. При создании перегородки применяются стеклодоломитовые листы для обшивки наружной ее части. Для заполнения пространства между листами используется теплоизоляционный материал на основе минеральной ваты, дополнительный слой шумоизоляции выполняется на базе алюмосиликатного волокна. Скрепление стеклодоломитовых листов между собой осуществляется при помощи Z-образного оцинкованного профиля. Комплексный подход к обеспечению пожарной безопасности и шумоизоляции реализуется также при изготовлении и других подобных строительных материалов [2–4].

Для обеспечения водостойкости, огнестойкости, теплоизоляции и качества отделки Ю. Чжан, Ч. Чжан, С. Хуан предложили пеностекольную плиту [5]. В плите ее связующий слой находится на внутренней стороне, а покрывающий слой располагается на внешней поверхности. Закрепление пеностекольной плиты на стеновой поверхности выполняется при помощи связующего слоя, который создается при применении анкерного болта и быстроотверждаемого органического адгезива. Сырьевой основой для данной плиты

служат остатки промышленных или строительных отходов.

Следующие решения направлены на ограничение распространения пожара по фасаду здания. М.Р. Петриченко, Д.В. Немовой, В.Я. Ольшевским, Е.В. Котовым предложена полезная модель [6], предназначенная для замедления распространения огня при пожаре в зданиях и сооружениях по навесным вентилируемым фасадам. Модель предусматривает беспрепятственное протекание воздушных потоков в штатном режиме эксплуатации и значительное уменьшение подачи кислорода воздуха при помощи расчески на пружинах при пожаре.

Современная градостроительная практика часто характеризуется увеличением удельной площади фасадного остекления многоэтажных зданий. В отдельных случаях красота и величественность их внешнего вида достигается сплошным остеклением. В этих условиях представляет значительный интерес решение, представленное А.А. Дайловым, В. Дайче, Ш. Линд для ограничения междуэтажного распространения пламени [7]. С этой целью вблизи оконных проемов здания оборудуются устройства с вертикальным разворачиванием шибера ограждения, которое включает в себя удлиненные, последовательно соединенные металлические пластины. Указанные пластины выдвигаются или раскрываются гармошкой.

Следующие решения в области пожарной безопасности зданий предполагают создание огнезащитной стальной балки с гофрированной стенкой [8]; огнестойкой бетонной конструкции, армированной композитной арматурой, с выполнением комбинированного защитного слоя [9]; огнезащитной двутавровой колонны здания [10]; покрытие строи-

тельных конструкций противопожарной облицовкой, состоящей из скрепленных между собой плиточных противопожарных элементов, укрепленных на листе гибкого материала, находящегося на строительной конструкции [11].

Изобретателями также предлагалось создавать огнестойкую перегородку, содержащую профилированный каркас [12]; конструкцию огнезащитного перекрытия здания [13], которая включает в себя засыпку песком по слою кровельного картона, укладываемого на поверхности деревянного наката внутри полости перекрытия на стальные балки; выполнение штукатурки по дроби, нанесенной на нижнюю сторону деревянного перекрытия (или выполнением огнезащитной облицовки, на которую укладываются теплоизоляционные маты из негорючего волокна). При этом стенки и полки стальных балок внутри воздушной полости перекрытия защищаются от воздействия высокой температуры возможного пожара огнепреградительными поясами, прикрепляемыми к боковым граням стенок и внутренним сторонам полок стальных балок в заданной последовательности [13].

В определенных случаях для защиты от пожара рассматривалось возведение специальных стен. Так, например, предложенная А.Б. Акопяном и А.А. Шухардиным противопожарная стена [14] состоит из несущей конструкции с закреплением на ней не менее одного трехслойного элемента. При этом несущая конструкция размещается внутри указанного трехслойного элемента. Она содержит вертикально устанавливаемые фермы, для изготовления которых использован стальной гнутый холодногнутый профиль С-образного сечения. Панели из листового материала использованы для создания трехслойных элементов. Застывшей пенобетонной смесью заполняется пространство между панелями. П.В. Шарупичем, В.П. Шарупичем, С.Ю. Королевым, С.В. Шарупичем, Т.С. Шарупич представлен грин-брандмауэр [15]. Это изобретение представляет собой защитную зону для ограничения распространения пожара и его быстрой ликвидации, выращивание растений в жилых и производственных зданиях. Оно включает в себя ограждение, устройство для выращивания растений, систему вентиляции, которая связана с жилыми или производственными этажами. Это ограждение выполняется в виде перекрытий и стен здания [15].

Для создания препятствий в распространении пожара через щели и отверстия изобретателями также рекомендовались различные решения. К ним можно отнести применение подушки противопожарной уплотнительной для заполнения пустот, например кабельных проходов, внутри строительных конструкций зданий и сооружений в целях создания препятствий распространению пожара. Эта подушка изготавливается в виде мешочка из стеклоткани, заполняется смесью вспученного вермикулита и грану-

лированного базальтового волокна в заданных пропорциях.

Ю. Татани, М. Секи, Т. Хебииси, Е. Курода, В. Охути, Т. Ямасита, К. Ямаката продемонстрировали решение для создания конструкции с огнестойким покрытием для проходной части. Оно заключалось в укладке стопкой значительного количества гипсокартонных деталей в направлении по толщине проходной части. Указанные детали соединялись между собой [16].

С целью противопожарной защиты строительных тросов Н. Фабри и Р. Гишето представлено устройство, включающее напряженные металлические элементы усиления [17]. Это устройство имеет два участка. Между ними находится соединительная зона муфты. При этом предусмотрено защитное покрытие вокруг строительного троса на первом и втором участках, которое прерывается в соединительной зоне. Также имеется теплоизолирующее кольцо, которое является более жестким, чем защитное покрытие, располагаемое между элементами усиления и муфтой в соединительной зоне.

Однако описанные выше решения по обеспечению пожарной безопасности [1–17] не предполагают обнаружения пожара в соседнем здании. Указанное обстоятельство обуславливает необходимость информационного и математического моделирования в строительстве при разработке соответствующих строительных изделий.

Объект исследования — алгоритм работы строительных изделий для обнаружения пожара в соседнем здании.

Предмет исследования — установление динамики изменения зависимости безразмерной температуры от толщины стального диска термочувствительного элемента строительного изделия для обнаружения пожара в соседнем здании в процессе теплообмена с окружающей средой.

Задачи исследования:

1. В рамках информационного моделирования разработать алгоритм применения строительных изделий для обнаружения пожара в соседнем здании.
2. В рамках математического моделирования получить уравнение для расчета полей температур в стальном диске, создаваемом в целях модификации пожарного извещателя в строительных изделиях для обнаружения пожара в соседнем здании.
3. Произвести численный эксперимент для обоснования заполнения инертным газом пространства вокруг стального диска со стороны размещения пожарного извещателя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использование информационных технологий для решения практических задач алгоритмизации при строительстве известно довольно давно. В.Т. Ерофеевым, В.В. Афониним, Н.В. Черушовой, М.М. Зоткиной, Е.А. Митиной, В.Б. Зоткиным,

И.В. Ерофеевой для оценивания качества поверхности строительных изделий и конструкций предложены соответствующие методы и алгоритмы [18]. П.Б. Каган и Р.Г. Поляков применяли для решения задач технологической комплектации в строительстве генетические алгоритмы [19]. Алгоритмы контроля свободных фенолов в строительных полимерах изучались Е.А. Хорохординой, Х.Д. Чаном, О.Б. Рудаковым [20]. На основе определения плотности древесины М.Ф. Лавровым и Д.К. Чаховым представлен алгоритм прогнозирования ее физико-механических показателей [21]. Д.А. Корольченко, А.А. Комаровым, С.Г. Цариченко проводились расчеты для анализа динамики пожара [22, 23]. С учетом изложенного опыта проведения аналогичных исследований [24] разрабатывается алгоритм применения строительных изделий для обнаружения

пожара в соседнем здании, а также на основании теории теплопереноса выводится выражение, характеризующее равномерное начальное распределение температуры в стальном диске данного строительного изделия.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 1 приведен алгоритм применения строительных изделий для обнаружения пожара в соседнем здании.

Описанный на рис. 1 алгоритм предполагает проверку условий в двух случаях. В первом случае падение солнечных лучей на термочувствительный элемент. Конструкция изделия предполагает исключение такого попадания $\angle \alpha \neq 0$. Благодаря установленной выпуклой линзе солнечные лучи попадут на побочный фокус и не нагреют термочувстви-

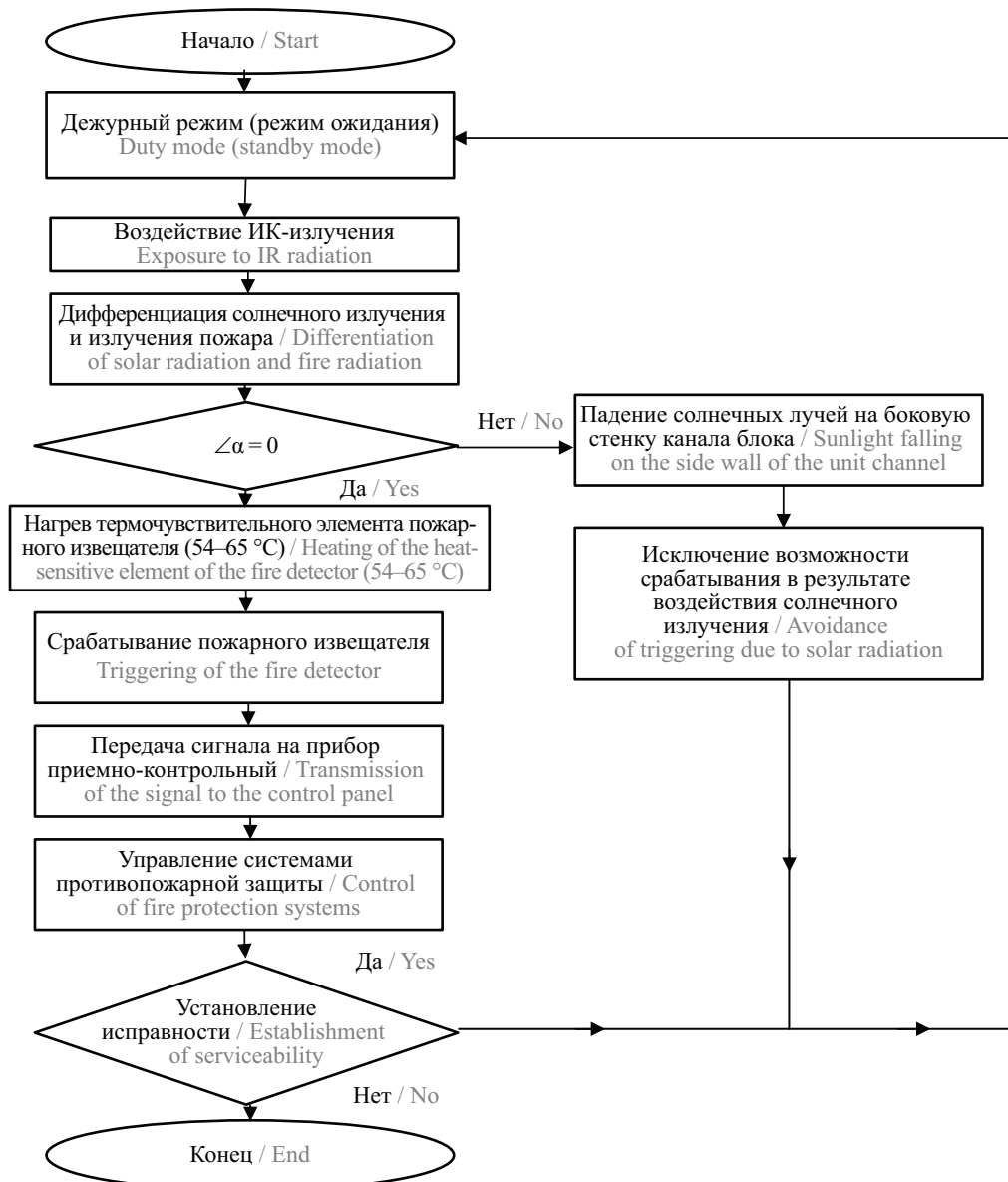


Рис. 1. Алгоритм применения строительных изделий для обнаружения пожара в соседнем здании

Fig. 1. Algorithm for using building products to detect a fire in a neighboring building

тельный элемент. При воздействии пожара $\angle\alpha = 0$. В этом случае инфракрасное излучение будет нагревать термочувствительный элемент. Во втором случае проверяется условие: исправность изделия. Если изделие исправно, оно приводится в дежурный режим. Если изделие неисправно, то производится его ремонт или замена. Программное обеспечение для контроллеров изделия предполагается создать на языке программирования Python.

Выполнение данного алгоритма позволяет формировать сигнал «Пожар» на прибор приемно-контрольный. При этом соблюдаются следующие параметры:

- 1) отсутствует ложное срабатывание пожарного извещателя в результате воздействия солнечных лучей;
- 2) обеспечивается срабатывание пожарного извещателя при достижении заданного температурного значения стального диска.

При этом важно учесть основы теории и математического моделирования механических и тепловых процессов в производстве строительных изделий [25]. Для этого рассматривался частный случай равномерного начального распределения температуры в стальном диске строительного изделия для обнаружения пожара в соседнем здании. С учетом результатов исследования [26] он представлен выражением:

$$T(\bar{x}, Fo) = Ki \left[(1 - \bar{x}) - \sum_{n=1}^3 \frac{8 \cos(\pi n \bar{x})}{\pi^2 n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \right], \tag{1}$$

где

$$Ki = \frac{q \delta_d}{\lambda_d \Delta t_\delta} \text{ — критерий Кирпичева}; \tag{2}$$

$$Fo = \frac{\alpha \tau}{\delta_d^2} \text{ — число Фурье}; \tag{3}$$

$\bar{x}$ — заданная координата; n — количество членов ряда; q — тепловой поток на диск термочувствительного элемента строительного изделия для обнаружения пожара в соседнем здании, Вт/м², опре-

деляется в зависимости от излучения в системе «факел – изделие»; δ_d — толщина диска, м; λ_d — коэффициент теплопроводности диска Вт/(м·К); α — коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К), определяется в зависимости от движения среды у поверхности диска; τ — время воздействия инфракрасного излучения на диск термочувствительного элемента, с.

Уравнение (1) описывает зависимость безразмерной температуры от толщины стального диска термочувствительного элемента строительного изделия для обнаружения пожара в соседнем здании в процессе теплоотдачи среде в течение 600 с. Для данного диска проведен расчет динамики изменения числа Фурье по координате для разных сред: в вакууме 10⁻⁵ мм рт. ст., а также по отдельности в среде аргона, криптона, ксенона, углекислого газа. Результаты указанного расчета представлены на рис. 2.

Результаты расчета по уравнению (1) показывают, что создание вакуума в пространстве вокруг стального диска (за исключением поверхности, на которую воздействует тепло) или заполнение этого пространства специальными газами замедляет процесс теплоотдачи газовой среде при нагреве стального диска термочувствительного элемента строительного изделия для обнаружения пожара в соседнем здании [24, 26]. Наименьшее значение теплопотерь достигнуто в случае создания вакуума 10⁻⁵ мм рт. ст.

На основе сравнительного анализа полученных в рамках численного эксперимента результатов и расчетных значений, полученных А.С. Шибeko [27] при исследовании вертикальных стеклопакетов с различными газовыми прослойками, можно сделать вывод об адекватности расчетных данных по термочувствительному элементу строительного изделия для обнаружения пожара в соседнем здании. Следовательно, уравнение (1) может быть использовано для моделирования таких строительных изделий специального назначения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках информационного и математического моделирования в строительстве при разработке строительных изделий для обнаружения пожара в со-

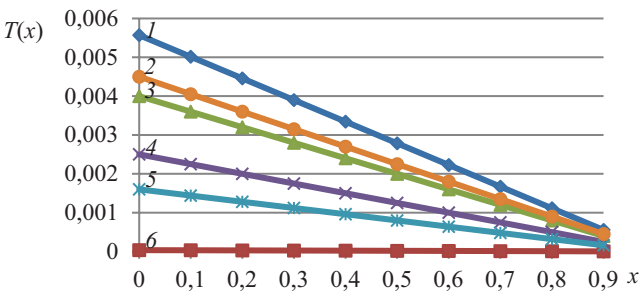


Рис. 2. Распределение безразмерных температур по толщине стального диска в зависимости от характеристик среды (Fo = 120): 1 — воздух; 2 — углекислый газ; 3 — аргон; 4 — криптон; 5 — ксенон; 6 — вакуум

Fig. 2. Distribution of dimensionless temperatures over the thickness of the steel disc depending on the characteristics of the medium (Fo = 120): 1 — air; 2 — carbon dioxide; 3 — argon; 4 — krypton; 5 — xenon; 6 — vacuum

седнем здании проведен анализ существующих решений, направленных на обеспечение пожарной безопасности и ограничение распространения пожара. Получен результат, который позволяет сделать следующие выводы:

- алгоритм применения строительных изделий для обнаружения пожара в соседнем здании представляет совокупность последовательных действий, направленных на получение информации о возникновении пожара без возникновения ложных срабатываний из-за воздействия солнечных лучей;
- указанный алгоритм предполагает проверку двух условий. В первом случае падение солнечных лучей на термочувствительный элемент. Конструкция изделия предполагает исключение такого попадания ($\angle \alpha \neq 0$). Благодаря установленной выпуклой линзе солнечные лучи попадут на побочный фокус и не нагреют термочувствительный элемент. При воздействии пожара $\angle \alpha = 0$. В этом случае инфракрас-

ное излучение будет нагревать термочувствительный элемент. Проверяется условие: исправность изделия. При исправности изделия осуществляется его перевод в дежурный режим. Если изделие неисправно, то производится его ремонт или замена;

- полученное уравнение (1) описывает зависимость температуры стального диска термочувствительного элемента строительного изделия для обнаружения пожара от его толщины, что важно для вероятного обнаружения пожара;

- результаты расчета по уравнению (1) показывают, что создание вакуума в пространстве вокруг стального диска (за исключением поверхности, на которую воздействует тепло) или заполнение этого пространства специальными газами замедляет процесс теплоотдачи газовой среде при нагреве стального диска термочувствительного элемента строительного изделия для обнаружения пожара в соседнем здании.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Патент RU № 209365 U1, МПК E04B 1/88, E04B 1/94, E04C 2/24. Теплоизоляционная и звукоизоляционная перегородка / *Ибрагимов Р.А., Евстигнеева Ю.В.*; заявл. № 2021119756 от 05.07.2021; опубл. 15.03.2022. Бюл. № 8.

2. Патент RU № 196984 U1, МПК E04B 1/82, E04B 1/94, E04F 13/075, E04F 13/077, B32B 7/12. Звукоизоляционная противопожарная панель / *Меняшкин Д.Г.*; заявл. № 2019136854 от 15.11.2019; опубл. 23.03.2020. Бюл. № 9.

3. Патент RU № 171102 U1, МПК E04B 1/14, E04B 1/84, E04B 1/94, E04C 2/292, E04B 2/92. Звукоизолирующее ограждение пониженной пожарной опасности / *Бобылёв В.Н., Гребнев П.А., Монич Д.В., Тишков В.А., Печников А.В., Печников М.А.*; заявл. № 2016122737, 08.06.2016; опубл. 22.05.2017. Бюл. № 15.

4. Патент RU № 2698677 C2 МПК E04B 1/94, E04F 13/16, E04C 2/26, B32B 27/04. Огнестойкая и устойчивая к провисанию акустическая панель / *Вайкер Э.Л., Ванг М.Кс., Гирхарт Дж.Х. (US)*; заявл. № 2015132744 от 16.11.2009; опубл. 28.08.2019. Бюл. № 25.

5. Патент RU № 2655550 C2, МПК E04F 13/075, E04B 1/90, E04B 1/94. Интегрированная пеностекольная плита, эффективная для обеспечения водо- и огнестойкости, теплоизоляции и отделке / *Чжан Ю., Чжан Ч., Хуан С.*; заявл. № 2016118820 от 02.12.2014; опубл. 28.05.2018. Бюл. № 16.

6. Патент RU № 205396 U1, МПК E04B 1/94, A62C 2/10, A62C 2/24. Усовершенствованная конструкция противопожарной рассечки с термопарой в системах навесных вентилируемых фасадов / *Петриченко М.Р., Немова Д.В., Ольшевский В.Я., Ко-*

тов Е.В.; заявл. № 2020143850 от 29.12.2020; опубл. 13.07.2021. Бюл. № 20.

7. Патент RU № 203746 U1, МПК E04B 1/94. Устройство вертикального разворачивания шиберного ограждения отсеки пламени пожара / *Дайлов А.А., Дайче В., Линд Ш.*; заявл. № 2020116588 12.05.2020; опубл. 19.04.2021. Бюл. № 11.

8. Патент RU № 172541 U1, МПК E04B 1/94, E04C 3/02. Конструкция огнезащитной стальной балки / *Ильин Н.А., Панфилов Д.А., Ильдияров Е.В., Лукин А.О.*; заявл. № 2017109525 от 21.03.2017; опубл. 11.07.2017. Бюл. № 20.

9. Патент RU № 151580 U1, МПК E04B 1/94, E04B 1/16. Огнестойкая бетонная конструкция, армированная композитной арматурой, с комбинированным защитным слоем / *Лысов В.С.*; заявл. № 2014136422/03 от 09.09.2014; опубл. 10.04.2015. Бюл. № 10.

10. Патент RU № 128223 U1, МПК E04B 1/94. Огнезащитная двутавровая колонна здания / *Ильин Н.А., Славкин П.Н., Шепелев А.П.*; заявл. № 2012147103/03 от 06.11.2012; опубл. 20.05.2013. Бюл. № 14.

11. Патент RU № 127777 U1, МПК E04B 1/94. Противопожарная облицовка / *Зоткин И.И., Зоткина Н.Н.*; заявл. № 2013103662/03 от 28.01.2013; опубл. 10.05.2013. Бюл. № 13.

12. Патент RU № 14950 U1, МПК E04B 1/94. Огнестойкая перегородка / *Епешин В.В.*; заявл. № 2000110855/20 от 06.05.2000; опубл. 10.09.2000. Бюл. № 25.

13. Патент RU № 63820 U1, МПК E04B 1/94. Конструкция огнезащитного перекрытия здания / *Ильин Н.А., Беликов А.П., Шипко И.В.*; заявл.

№ 2006141369/22 от 22.11.2006; опубл. 16.06.2007. Бюл. № 16.

14. Патент RU № 112695 U1, МПК E04B 1/94. Противопожарная стена / *Акопян А.Б., Шухардин А.А.*; заявл. № 2011137650/03 от 14.09.2011; опубл. 20.01.2012. Бюл. № 2.

15. Патент RU № 2599678 C2, МПК E04B 1/94. Грин-брандмауэр / *Шарупич П.В., Шарупич В.П., Королев С.Ю., Шарупич С.В., Шарупич Т.С.*; заявл. № 2014116292/03 от 22.04.2014; опубл. 10.10.2016. Бюл. № 28.

16. Патент RU № 2762869 C1, МПК E04B 1/94. Конструкция с огнестойким покрытием для проходной части / *Татани Ю., Секи М., Хебииси Т., Курода Е., Охути В., Ямасита Т., Ямаката К.*; заявл. № 2020121399 от 20.12.2018; опубл. 23.12.2021. Бюл. № 36.

17. Патент RU № 2751322 C2, МПК E04B 1/94, E01D 19/16, D07B 1/06. Устройство противопожарной защиты строительных тросов / *Фабри Н., Гишето Р.*; заявл. № 2017144197 от 18.12.2017; опубл. 13.07.2021. Бюл. № 20.

18. *Ерофеев В.Т., Афонин В.В., Черушова Н.В., Зоткина М.М., Митина Е.А., Зоткин В.Б. и др.* Методы и алгоритмы оценки качества поверхности строительных изделий и конструкций // *Фундаментальные исследования*. 2016. № 4–1. С. 33–40. EDN VVYINH.

19. *Каган П.Б., Поляков Р.Г.* Применение генетических алгоритмов для решения задач технологической комплектации в строительстве // *Научное обозрение*. 2017. № 10. С. 15–19. EDN ZHETOP.

20. *Хорохордина Е.А., Чан Х.Д., Рудаков О.Б.* Сравнительная характеристика методик контроля свободных фенолов в строительных полимерах // *Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета*. Строи-

тельство и архитектура. 2015. № 1 (37). С. 124–130. EDN TJYMPZ.

21. *Лавров М.Ф., Чахов Д.К.* Зависимость механических характеристик древесины от ее плотности и макроструктуры // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 8. С. 34–37. EDN UBLYQV.

22. *Власов К.С., Цариченко С.Г.* Математическая модель применения робототехнических средств на пожаре // *Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXVII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию МЧС России в 3 частях*. 2015. С. 329–335. EDN TYHFNL.

23. *Комаров А.А., Корольченко Д.А., Громов Н.В.* Особенности гидродинамических расчетов при проведении технической экспертизы аварийного взрыва // *Пожаровзрывобезопасность/Fire and Explosion Safety*. 2017. Т. 26. № 10. С. 36–42. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.36-42. EDN ZUFYAZ.

24. Патент RU № 198053 U1, МПК E04C 1/39, E04B 1/94. Совмещенный с пожарным извещателем бетонный блок / *Федосов С.В., Лазарев А.А., Торопова М.В., Маличенко В.Г.*; заявл. № 2020101506 от 11.02.2020; опубл. 16.06.2020. Бюл. № 17.

25. *Федосов С.В., Мизонов В.Е.* Основы теории и математического моделирования механических и тепловых процессов в производстве строительных материалов. Saarbrücken : Palmarium Academic Publishing, 2020. 256 с. EDN LGOFPP.

26. *Лазарев А.А.* Наружные стеновые изделия для дистанционной диагностики пожарной безопасности малоэтажных зданий : дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 2021. 181 с. EDN CPWNMA.

27. *Шибeko А.С.* Некоторые способы экономии тепловой энергии при производстве вертикальных стеклопакетов // *Наука и техника*. 2018. Т. 17. № 2. С. 157–164. EDN VLYJNT.

Поступила в редакцию 14 мая 2024 г.

Принята в доработанном виде 30 сентября 2024 г.

Одобрена для публикации 30 сентября 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Александр Александрович Лазарев — кандидат педагогических наук, кандидат технических наук, доцент, начальник кафедры правового обеспечения надзорной деятельности; **Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ИПСА ГПС МЧС России)**; 153040, г. Иваново, пр-т Строителей, д. 33; РИНЦ ID: 823026; kpond@edufire37.ru;

Сергей Викторович Федосов — доктор технических наук, профессор, академик РААСН; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; профессор; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3; РИНЦ ID: 105900; fedosov-academic53@mail.ru;

Виталий Геннадьевич Котлов — доктор технических наук, доцент, проректор по воспитательной работе; **Поволжский государственный технологический университет (ПГТУ)**; 424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3; РИНЦ ID: 604094; kotlov.vitaliy@mail.ru;

Дмитрий Евгеньевич Цветков — соискатель ученой степени кандидата технических наук; **Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской**

Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ИПСА ГПС МЧС России); 153040, г. Иваново, пр-т Строителей, д. 33; РИНЦ ID: 1254655; cvetkov-dmitrii@mail.ru;

Андрей Юрьевич Комлёв — соискатель ученой степени кандидата технических наук; Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (ИПСА ГПС МЧС России); 153040, г. Иваново, пр-т Строителей, д. 33; mchs04@mail.ru.

Вклад авторов:

Лазарев А.А. — идея, сбор материала.

Федосов С.В. — научное руководство.

Котлов В.Г. — научное редактирование текста.

Цветков Д.Е. — обработка материала, написание исходного текста.

Комлёв А.Ю. — доработка текста, итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Patent RU No. 209365 U1, IPC E04B 1/88, E04B 1/94, E04C 2/24. *Heat-insulating and sound-insulating partition* / Ibragimov R.A., Evstigneeva Yu.V.; appl. No. 2021119756 05.07.2021; publ. 15.03.2022. Bull. No. 8.
2. Patent RU No. 196984 U1, IPC E04B 1/82, E04B 1/94, E04F 13/075, E04F 13/077, B32B 7/12. *Soundproof fireproof panel* / Menyashkin D.G.; appl. No. 2019136854 15.11.2019; publ. 23.03.2020. Bull. No. 9.
3. Patent RU No. 171102 U1, IPC E04B 1/14, E04B 1/84, E04B 1/94, E04C 2/292, E04B 2/92. *Soundproof fencing with reduced fire hazard* / Bobylev V.N., Grebnev P.A., Monich D.V., Tishkov V.A., Pechnikov A.V., Pechnikov M.A.; appl. No. 2016122737 08.06.2016; publ. 22.05.2017. Bull. No. 15.
4. Patent RU No. 2698677 C2 IPC E04B 1/94, E04F 13/16, E04C 2/26, B32B 27/04. *Fire-resistant and sag-resistant acoustic panel* / Weiker E.L., Wang M.X., Gearhart J.H. (US); appl. No. 2015132744 16.11.2009; publ. 28.08.2019. Bull. No. 25.
5. Patent RU No. 2655550 C2, IPC E04F 13/075, E04B 1/90, E04B 1/94. *Integrated foam glass board, effective for water and fire resistance, thermal insulation and decoration* / Zhang Yu., Zhang Z., Huang S.; appl. No. 2016118820 02.12.2014; publ. 28.05.2018. Bull. No. 16.
6. Patent RU No. 205396 U1, IPC E04B 1/94, A62C 2/10, A62C 2/24. *Improved design of a fireproof cut with a thermocouple in systems of suspended ventilated facades* / Petrichenko M.R., Nemova D.V., Olshevsky V.Ya., Kotov E.V.; appl. No. 2020143850 29.12.2020; publ. 13.07.2021. Bull. No. 20.
7. Patent RU No. 203746 U1, IPC E04B 1/94. *Device for vertical deployment of a slide gate to cut off fire flames* / Dailov A.A., Daiche V., Lind Sh.; appl. No. 2020116588 12.05.2020; publ. 19.04.2021. Bull. No. 11.
8. Patent RU No. 172541 U1, IPC E04B 1/94, E04C 3/02. *Design of a fireproof steel beam* / Ilyin N.A., Panfilov D.A., Ildiyarov E.V., Lukin A.O.; appl. No. 2017109525 21.03.2017; publ. 11.07.2017. Bull. No. 20.
9. Patent RU No. 151580 U1, IPC E04B 1/94, E04B 1/16. *Fire-resistant concrete structure, reinforced with composite reinforcement, with a combined protective layer* / Lysov V.S.; appl. No. 2014136422/03 09.09.2014; publ. 10.04.2015. Bull. No. 10.
10. Patent RU No. 128223 U1, IPC E04B 1/94. *Fireproof I-beam column of a building* / Ilyin N.A., Slavkin P.N., Shepelev A.P.; appl. No. 2012147103/03 06.11.2012; publ. 20.05.2013. Bull. No. 14.
11. Patent RU No. 127777 U1, IPC E04B 1/94. *Fireproof cladding* / Zotkin I.I., Zotkina N.N.; appl. No. 2013103662/03 28.01.2013; publ. 10.05.2013. Bull. No. 13.
12. Patent RU No. 14950 U1, IPC E04B 1/94. *Fire-resistant partition* / Epeshin V.V.; appl. No. 2000110855/20 06.05.2000; publ. 10.09.2000. Bull. No. 25.
13. Patent RU No. 63820 U1, IPC E04B 1/94. *Design of the fireproof ceiling of a building* / Ilyin N.A., Belikov A.P., Shipko I.V.; appl. No. 2006141369/22 22.11.2006; publ. 16.06.2007. Bull. No. 16.
14. Patent RU No. 112695 U1, IPC E04B 1/94. *Fire wall* / Akopyan A.B., Shukhardin A.A.; appl. No. 2011137650/03 14.09.2011; publ. 20.01.2012. Bull. No. 2.
15. Patent RU No. 2599678 C2, IPC E04B 1/94. *Green firewall* / Sharupich P.V., Sharupich V.P., Korolev S.Yu., Sharupich S.V., Sharupich T.S.; appl. No. 2014116292/03 22.04.2014; publ. 10.10.2016. Bull. No. 28.
16. Patent RU No. 2762869 C1, IPC E04B 1/94. *Fire-retardant coating design for passage part* / Tatani Yu., Seki M., Hebiishi T., Kuroda E., Ohuti V., Yamashita T., Yamakata K.; appl. No. 2020121399 20.12.2018; publ. 23.12.2021. Bull. No.
17. Patent RU No. 2751322 C2, IPC E04B 1/94, E01D 19/16, D07B 1/06. *Fire protection device for construction cables* / Fabry N., Guicheteau R.; appl. No. 2017144197 18.12.2017; publ. 13.07.2021. Bull. No. 20.
18. Erofeev V.T., Afonin V.V., Cherushova N.V., Zotkina M.M., Mitina E.A., Zotkin V.B. et al. Methods

and algorithms of assessing the quality of the surface of building products and constructions. *Fundamental Research*. 2016; 4-1:33-40. EDN VVYINH. (rus.).

19. Kagan P.B., Polyakov R.G. Using genetic algorithms for solving the problems of technological provision in construction. *Science Review*. 2017; 10:15-19. EDN ZHETOP. (rus.).

20. Horohordina E.A., Chan X.D., Rudakov O.B. Comparison of methods for control of free phenol in the construction polymers. *Scientific Herald of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and Architecture*. 2015; 1(37):124-130. EDN TJYMPZ. (rus.).

21. Lavrov M.F., Chakhov D.K. Dependence of mechanical characteristics of wood on its density and macrostructure. *Industrial and Civil Engineering*. 2016; 8:34-37. EDN UBLYQV. (rus.).

22. Vlasov K.S., Tsarichenko S.G. A mathematical model of the use of robotic tools in a fire. *Actual problems of fire safety : materials of the XXVII International scientific and practical conference dedicated to the 25th anniversary of the Ministry of Emergency Situations of Russia in 3 parts*. 2015; 329-335. EDN TYHFNL. (rus.).

23. Komarov A.A., Korolchenko D.A., Gromov N.V. Features of the hydrodynamic calculations for technical expertise of accidental explosion. *Fire and Explosion Safety*. 2017; 26(10):36-42. DOI: 10.18322/PVB.2017.26.10.36-42. EDN ZUFYAZ. (rus.).

24. Patent RU No. 198053 U1, IPC E04C 1/39, E04B 1/94. *Concrete block combined with a fire detector* / Fedosov S.V., Lazarev A.A., Toropova M.V., Malichenko V.G.; appl. No. 2020101506 11.02.2020; publ. 16.06.2020. Bull. No. 17.

25. Fedosov S.V., Mizonov V.E. *Fundamentals of theory and mathematical modeling of mechanical and thermal processes in the production of building materials*. Saarbrücken, Palmarium Academic Publishing, 2020; 256. EDN LGOFPP. (rus.).

26. Lazarev A.A. *External wall products for remote diagnostics of fire safety of low-rise buildings : dis. ... cand. of technical sciences*. Ivanovo, 2021; 181. EDN CPWNMA. (rus.).

27. Shibeko A.S. Some methods for saving heat energy while manufacturing vertical insulating glass units. *Science and Technique*. 2018; 17(2):157-164. EDN VLYJNT. (rus.).

Received May 14, 2024.

Adopted in revised form on September 30, 2024.

Approved for publication on September 30, 2024.

B I O N O T E S : **Alexander A. Lazarev** — Candidate of Pedagogical Sciences, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Legal Support for Supervisory Activities; **Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters**; 33 Stroiteley ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation; ID RSCI: 823026; kpond@edufire37.ru;

Sergei V. Fedosov — Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; Professor; **Volga State Technological University**; 3 Lenin square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation; ID RSCI: 105900; fedosov-academic53@mail.ru;

Vitalii G. Kotlov — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Educational Work; **Volga State Technological University**; 3 Lenin square, Yoshkar-Ola, 424000, Russian Federation; ID RSCI: 604094; kotlov.vitaliy@mail.ru;

Dmitry E. Tsvetkov — candidate for the degree of candidate of technical sciences; **Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters**; 33 Stroiteley ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation; ID RSCI: 1254655; cvetkov-dmitrii@mail.ru;

Andrey Yu. Komlev — candidate for the degree of candidate of technical sciences; **Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters**; 33 Stroiteley ave., Ivanovo, 153040, Russian Federation; mchs04@mail.ru.

Contribution of the authors:

Alexander A. Lazarev — idea, collection of material.

Sergei V. Fedosov — scientific guidance.

Vitalii G. Kotlov — scientific text editing.

Dmitry E. Tsvetkov — processing of the material, writing the source text.

Andrey Yu. Komlev — revision of the text, final conclusions.

The authors declare that there is no conflict of interest.