

На правах рукописи



Мальцев Алексей Николаевич

**РАЗРАБОТКА СПОСОБА ЗАЩИТЫ ТЕРРИТОРИЙ ОТ
РАСПРОСТРАНЕНИЯ НИЗОВЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ПОЖАРОВ**

2.10.1. Пожарная безопасность

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Иваново – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий».

Научный руководитель: **Лазарев Александр Александрович**
кандидат технических наук,
кандидат педагогических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Смирнов Николай Васильевич**
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник научно-исследовательского центра нормативно-технических проблем пожарной безопасности федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Ширяев Евгений Викторович
кандидат технических наук,
доцент кафедры пожарной безопасности технологических процессов (в составе УНК пожарной безопасности объектов защиты) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уральский институт Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Защита состоится 04 декабря 2025 года в 10:00 на заседании диссертационного совета 04.2.005.02 на базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России по адресу: 153040, г. Иваново, пр. Строителей, д. 33, ауд. 1101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России: <https://www.edufire37.ru/>.

Автореферат разослан « ___ » _____ 2025 года

Ученый секретарь
диссертационного совета 04.2.005.02
кандидат технических наук, доцент

Колбашов Михаил Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

В основных направлениях «Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» на 2024-2030 годы, утвержденных Указом Президента Российской Федерации от 28.02.2024 № 145 предусматривается кардинальное повышение безопасности территориальной целостности и защиты территорий Российской Федерации с учетом складывающейся мировой обстановки от возможных угроз различного уровня, включающих в себя ландшафтные (природные) пожары. При этом акцентируется внимание на разработку, внедрение, применение и использование новых средств, способов и методов обеспечения пожарной безопасности целостности государства.

Актуальность защиты территорий от низовых ландшафтных пожаров является приоритетной задачей. Каждый год территория Российской Федерации подвергается выгоранию больших площадей, на которых бушуют ландшафтные пожары (Южная Сибирь, Забайкалье, Урал), уничтожающие или повреждающие большое количество жилых домов и хозяйственных построек. По имеющимся данным за 2019-2024 года произошло 324845 пожаров на открытых территориях в Сибири, суммарный ущерб от которых составил более 6,3 миллиардов рублей.

В соответствии с пунктом 70 Правил противопожарного режима в Российской Федерации, утвержденных постановлением Правительства РФ от 16.09.2020 № 1479 (ред. от 03.02.2025) предусматривается выполнение 1 из 3 вариантов реализации противопожарных мероприятий. К ним относятся:

- очистка прилегающей к лесу территории от сухой травянистой растительности, пожнивных остатков, валежника, порубочных остатков, мусора и других горючих материалов на полосе шириной не менее 10 метров от леса;
- отделение леса противопожарной минерализованной полосой шириной не менее 1,4 метра;
- создание иной противопожарной преграды (иного противопожарного барьера).

Однако на практике возникают случаи невозможности проведения первых двух противопожарных мероприятий из-за отсутствия подъездных путей для специальной техники. При этом третий вариант организационно-технического решения в нормативном документе не описан. Так, например, в водоохранной зоне озера Байкал, расположенного в Восточной Сибири, отсутствуют возможности проложить минерализованные полосы, не нарушая требования законодательства РФ. Указанные ограничения обусловлены запретом на проведение в полном объеме противопожарных мероприятий. Из-за подобной коллизии под угрозой попадают населенные пункты, находящиеся в непосредственной близости от лесных массивов. Отсутствие научных исследований в данной области способствуют комплексному подходу к решению данной проблемы путем разработки и создания универсальной противопожарной преграды. Таким образом, актуальность исследования заключается в разрешении противоречия между социальным заказом на выполнение мероприятий по защите от ландшафтных пожаров в труднодоступных для специальной техники местах и отсутствием соответствующих научно обоснованных и организационно - технических решений.

Степень разработанности темы исследования

Исследование связано с разработкой способа защиты территорий от распространения низовых ландшафтных пожаров посредством создания противопожарных преград на основе композиционных материалов. При этом под способом в рамках проводимого исследования понимается система действий по разработке, созданию, испытанию, применению технических средств (устройств), направленных на ограничение распространения низового ландшафтного пожара. В исследованиях Залесова С.В., Гомана П.Н., Арбузова В.В., Кректунова А.А., Fisher R., Lewis B., Price O. решалась проблема организации пожарной безопасности на открытых пространствах и в лесах при помощи создания разного рода инженерно-технических сооружений природного и естественного характера. Однако, предлагаемые авторами исследований решения, не затрагивали вопросы изучения труднодоступных территорий

(участков) местности. Также в настоящее время в научном поле отсутствует информация о патентных исследованиях, решающих вопросы обеспечения безопасности и защиты труднодоступных участков местности. Вопросами обеспечения пожарной безопасности нефтегазовой отрасли с помощью тепловых экранов «Согда» занимались Брушлинский Н.Н., Усманов М.Х., Шимко В.Ю. Аспекты в области защиты зданий с помощью противопожарных преград рассматривались Полежаевым Ю.В., Шимко В.Ю., Заикиным С.В., Копыловым Н.П., Ридигер П.Д., Friday O, Cramer S. и др. Методы тепловой защиты для объектов представлены в трудах Полежаева Ю.В., Михайлова В.В. Исследованиями в области тепломассопереноса занимались многие отечественные и зарубежные специалисты Лыков А.В., Федосов С.В., Козлачков В.И., Присадков В.И., Кошмаров Ю.А., Баканов М.О. и др. Проблемам моделирования теплопереноса в строительных конструкциях с огнезащитой и оценке их огнестойкости посвящены труды Ройтмана В.М., Жукова В.В., Страхова В.Л., Никифорова А.Л. и ряда других ученых. Поведение строительных материалов в условиях воздействия высоких температур изучались Смирновым Н.В., Ширяевым Е.В., Соколовой Ю.А., Наумовым А.Г.

Цель исследования – разработка способа защиты территорий от распространения ландшафтных пожаров на нижнем ярусе травянистой растительности в труднодоступных территориях посредством создания противопожарных преград с использованием огнестойких композиционных материалов на основе стеклоткани с кремнийорганическим соединением.

Для достижения цели исследования определены следующие **задачи**:

1. Провести анализ существующих подходов и способов обеспечения пожарной безопасности населенных пунктов при возникновении ландшафтных пожаров в условиях невозможности проезда специальной техники при создании минерализованной полосы.
2. Разработать методы стендовых и огневых испытаний устройств для предотвращения распространения ландшафтного пожара.
3. Разработать технические средства для предотвращения распространения ландшафтного пожара, использование которых составляет основу предложенного способа защиты.
4. Создать новый композиционный материал на основе стеклоткани с кремнийорганическим соединением.
5. Разработать математическую модель процесса теплопереноса при тепловом воздействии на устройство для предотвращения распространения ландшафтного пожара, учитывающую температуру распространения в слоях предложенного материала в условиях быстрого прогрева.
6. Провести оценку защитной способности разработанного устройства по сдерживанию огневого воздействия ландшафтного пожара.
7. Оценить эффективность затрат на установку устройства для предотвращения распространения ландшафтного пожара в сравнении с традиционными методами (выжигание сухой травы, очистка от валежника).

Научная новизна. В процессе выполнения диссертационного исследования получены следующие научные результаты:

- предложен новый композиционный материал на основе стеклоткани с нанесенным кремнийорганическим соединением;
- впервые разработаны устройства для предотвращения распространения ландшафтного пожара;
- разработаны методы стендовых и огневых испытаний устройств для предотвращения распространения ландшафтного пожара;
- предложена математическая модель процесса теплопереноса, позволяющая обосновать метод расчета и определить динамику распространения температуры в композиционном материале в условиях быстрого прогрева для создания устройств ограничения распространения ландшафтного пожара.

Теоретическая значимость работы заключается:

1. В разработке научно обоснованных методов испытаний устройств для

предотвращения распространения ландшафтного пожара, а также в выборе материала огнезащитного полотна с учетом разработанной математической модели теплопереноса, позволяющей определить динамику распространения температуры в композиционном материале.

2. В получении зависимости изменения температуры в образцах материалов от продолжительности времени нагрева и потери массы.

3. В создании базы данных по теплофизическим характеристикам для разработки устройств в целях предотвращения распространения ландшафтного пожара.

Практическая значимость работы заключается:

1. В разработке технических защитных устройств, их конструкций и способа применения, позволяющих эффективно ограничивать распространение пламени и обеспечивать пожарную безопасность объектов для защиты от воздействия опасных факторов пожара.

2. В создании устройств, обеспечивающих эффективную защиту населенных пунктов от ландшафтных пожаров при минимальных затратах, основанных на применении материалов низкой себестоимости, что снижает затраты на создание устройств без ущерба для их эффективности.

3. В обосновании выбора огнезащитного материала и конструкций быстровозводимых технических устройств в условиях проведения стендовых и огневых испытаний.

Результаты диссертационного исследования внедрены в деятельность Остаповского сельского поселения Шуйского муниципального района Ивановской области, ООО «Византия», а также в образовательный процесс Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Методология и методы исследования.

В работе описаны результаты обобщения, систематизации и анализа отечественной и зарубежной научно-технической литературы по теме исследования. Для проведения исследований применялись современные методы исследования:

- численно-аналитическое моделирование;
- регрессионный анализ (для исследования взаимосвязей между показателями);
- метод «микропроцессов» (для описания процессов, связанных с передачей тепла в материале в условиях воздействия ландшафтного пожара);
- метод экспертных оценок (для ранжирования величин по критерию их важности).

На защиту выносятся следующие положения:

1. Конструкции устройств для предотвращения распространения ландшафтного пожара, использование которых составляет основу предложенного способа защиты территорий, с оптимальной длиной модуля до 3 м при скорости ветра до 17 м/с.

2. Методы стендовых и огневых испытаний устройств для предотвращения распространения ландшафтного пожара, а также результаты их применения.

3. Математическая модель, позволяющая определить динамику распространения температуры в композиционном материале технических средств для предотвращения распространения низового ландшафтного пожара.

Степень достоверности и обоснованность научных результатов исследования.

Исследование проведено с применением современных физических методов анализа, а также математической обработки данных. Достоверность и обоснованность полученных результатов обусловлены использованием методик по ГОСТам и соответствием полученных экспериментальных данных физико-химическим представлениям о процессах теплопереноса и результатам экспериментальной работы других авторов, а также апробацией материала на конференциях международного и всероссийского уровней. Во время проведения исследований было проведено 50 стендовых и 12 полевых экспериментов.

Апробация результатов исследования. Результаты работы докладывались и обсуждались на: XVII, XIX Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» (Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2022, 2024 гг.); III Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии и материалы»

(Севастополь, ФГАОУ ВО Севастопольский государственный университет, 2022 г.); Научно – практической конференции с международным участием «Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: Сборник материалов Дней науки» (Екатеринбург, Уральский институт ГПС МЧС России, 2022 г.); IX Межрегиональном семинаре «Экологические аспекты современных городов» (Иваново, ИВГПУ, 2022, 2023 гг.); VIII Международной научно – практической конференции «Современные энергосберегающие процессы и массообменные технологии (сушка, тепловые и массообменные процессы) СЭТМТ – 2023» (Москва, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023 г.), VI Международной научно-практической конференции «Современные пожаробезопасные материалы и технологии (Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2023 г.), IV Международном Косыгинском форуме «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета» (EESTE – 2024)», (Москва, 20 – 22 февраля, 2024 г.), II Международной научно – практической конференции «Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование» (Иваново, ИВГПУ, 2024 г.).

Личный вклад автора. Автором сформулированы цели и задачи диссертационной работы, разработан комплекс теоретических и экспериментальных исследований; предложены и научно обоснованы подходы к проведению расчета, позволяющего определить динамику распространения температур в слоях огнезащитного материала; разработаны конструкции устройств для предотвращения распространения ландшафтного пожара; проведена статистическая обработка данных. Автор принял личное участие в проведении теоретических исследований и постановке экспериментов.

Публикации. Основные теоретические и практические результаты диссертации опубликованы в 14 статьях, среди которых 3 статьи в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных действующим перечнем ВАК (в том числе в международной базе данных Scopus – 1 статья). Получено свидетельство о государственной регистрации базы данных. Техническая новизна работы защищена 2 патентами РФ на полезную модель.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения и приложений. Общий объём работы составляет 185 страниц машинописного текста. Работа иллюстрирована 42 рисунками, содержит 56 таблиц и 10 приложений. Список литературы включает в себя 202 наименования.

Работа выполнена в соответствии п. 3 в части, касающейся разработки моделей и методов исследования пожароопасных свойств материалов; п. 5, а также п. 16 в части, касающейся разработки технических средств, направленных на обеспечение безопасности людей и ограничение распространения опасных факторов пожара и их сопутствующих проявлений паспорта специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, выносимых на защиту.

В первой главе проанализированы работы зарубежных и отечественных авторов, посвященные современным представлениям о противопожарном обустройстве населенных пунктов, способам их защиты посредством применения противопожарных преград, противопожарных разрывов, противопожарных стен, перегородок, методы испытания противопожарных преград, а также математические методы определения теплофизических характеристик. На основании проведенного анализа поставлены задачи исследования. Зачастую в качестве защиты населенного пункта или лесного массива служит минерализованная полоса, создаваемая специальной техникой. Недостаточная эффективность применяемого способа вызывает необходимость создания новых способов для ограничения распространения ландшафтного пожара путем создания противопожарной преграды из негорючих материалов. Стоит отметить, что при создании конструкции противопожарной преграды имеют место быть вопросы, требующие дополнительного изучения и проработки. Исходя из этого требуется решить задачу выбора огнезащитного материала с целью разработки противопожарной

преграды для защиты от ландшафтных пожаров в рамках проведения расчета динамики распространения температур в слоях на основе теории теплопереноса.

Во второй главе представлена информация о материалах и изделиях, применяемых для проведения экспериментальных исследований воздействия температуры на огнезащитное полотно. Представлены методы получения экспериментальных данных, подготовки образцов для исследования. Определены горючие вещества для создания тестового очага пожара. Испытаниям подвергались образцы трудногорючего рулонного стеклопластика марки РСТ – 250 и композиционного материала, выполненного из стеклоткани с нанесенным на ее поверхность кремнийорганическим соединением «Цельсит – 900» в различных условиях, в том числе при проведении огневых испытаний с разными тестовыми очагами, а также при воздействии ветровой нагрузки.

Для определения температуры на тыльной стороне испытываемых образцов в результате воздействия на экспонируемую поверхность плотности теплового потока на испытательной установке, была проведена серия стендовых испытаний при разной плотности теплового потока в течение 10 минут по ГОСТ 30402 – 96. Для проведения огневых испытаний (условия 1–3) использовался тестовый очаг пожара (далее – ТОП – 1) по ГОСТ Р 53325 – 2012, а в условиях 4–8 тестовый очаг пожара (далее – ТОП – 2) в виде распространяющегося фронта пламени со средней величиной тепловыделения 8 кВт/м^2 .

Цель данных исследований заключалась в определении способности огнезащитного полотна трудногорючего стеклопластика и композиционного материала в течение 8 минут противостоять открытому пламенному горению сухой травянистой растительности ландшафтного пожара, а также в определении максимальной температуры на тыльной стороне полотна, создаваемой открытым пламенным горением и плотностью теплового потока.

В третьей главе рассмотрена конструкция быстровозводимой противопожарной преграды, принцип ее установки и работы. При разработке комплексной методологии расчета и определении динамики распространения температуры применялся метод «микропроцессов», предложенный академиком РААСН С.В. Федосовым.

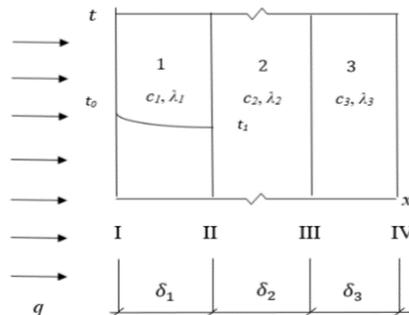


Рисунок 1 – Процесс воздействия теплового

потока на стеклопластик в слоях: q – плотность теплового потока (от очага), кВт/м^2 ;

1,2,3 – слои материала; I, II, III, IV – границы слоев, $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – толщина слоя $0,06 \text{ мм}$; c, λ – теплоемкость, $\text{Дж/(кг}\cdot\text{°C)}$, теплопроводность, $\text{Вт/(м}\cdot\text{K)}$

Сущность данного метода заключалась в распределении процесса теплопереноса на несколько элементарных микропроцессов, позволяющих свести нелинейную задачу к нескольким линейным, но связанными между собой задачам. Общая картина процесса воздействия ландшафтного пожара на материал представлена на рис. 1.

Общая задача теплопереноса делилась на три автономные, но связанные между собой задачи, где (1 и 3 слои – кремнийорганическое соединение, 2 слой – стеклоткань). Первая задача предусматривает теплоперенос в первом слое (покрытие) с граничными условиями третьего рода, которые в свою очередь учитывали конвективный обмен на границе I, и первого рода, которые характеризовались постоянством температуры на границе II первого и второго слоев.

Дифференциальное уравнение теплопроводности может быть записано следующим образом:

$$\frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2}; \quad (0 \leq x \leq \delta_1); \quad (1)$$

Для решения первой задачи применяется уравнение:

$$T(\bar{x}, Fo) = T_\delta \left(\frac{Bi\bar{x} + 1}{Bi + 1} \right) - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Bi \sin \mu_n (\bar{x} - 1)}{Bi + \cos^2 \mu_n} \exp(-\mu_n^2 Fo) \times \\ \times \left[\frac{T_0}{\mu_n} [\sin^2 \mu_n - \cos^2 \mu_n + \cos \mu_n] - \frac{T_\delta}{\mu_n} \right] \quad (2)$$

где Fo – число Фурье, $Fo = \frac{a\tau}{\delta^2}$; Bi – число Био, $Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}$; \bar{x} – заданная координата, $\bar{x} = \frac{x}{\delta}$; $\alpha_{эф.}$ – эффективный коэффициент теплоотдачи за счет излучения и конвекции, Вт/(м²·К), $t_{пож.}$ – температура излучающего агента пожара, К, μ_n, ξ – дополнительные переменные, a – коэффициент температуропроводности, м²/с; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К), δ – толщина слоя, м; T_0, T_δ – безразмерные температуры на внешней поверхности и по толщине слоя, τ – время, с.

Значение числа Fo выбиралось методом последовательных приближений (итерации).

В рамках проведения исследования по решению первой задачи было получено выражение:

$$T(x) = 0,030x^2 - 0,045x + 0,017 \quad (3)$$

Результат расчета по уравнению (3) сведен в табл. 1 и иллюстрируется на рис. 2. Температурный профиль достигает 2 – го слоя (стеклоткани), что позволило определить тепловой поток за счет разницы температур. Тепловой поток, направленный во 2 – й слой (стеклоткань) составляет $q_S = 1,17$ Вт/м² при $Fo = 0,2$.

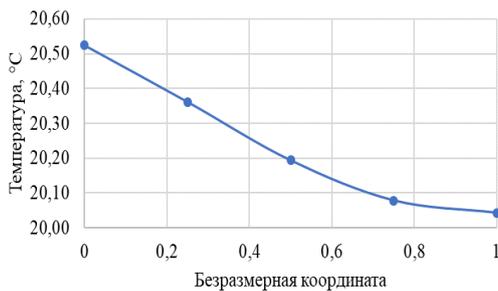


Рисунок 2 – Распределение температуры в 1-м слое по безразмерной координате при $Fo = 0,2$

Таблица 1 – Результаты расчета безразмерной и размерной температуры при числе Фурье $Fo = 0,2$

\bar{x}	$T_\delta(\bar{x}, Fo)$	T, °C	Уравнение аппроксимации $T(x) =$
0	0,0013	20,52	0,030x ² - 0,045x + 0,017
0,25	0,0009	20,36	
0,5	0,0005	20,19	
0,75	0,0002	20,08	
1	0,0001	20,04	

Вторая задача процесса теплопереноса сводилась к определению распространения температуры в слое стеклоткани. Процесс воздействия ландшафтного пожара на материал представлен на рис. 3.

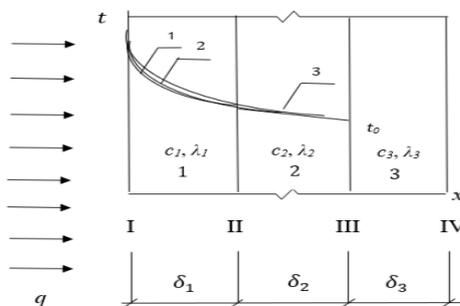


Рисунок 3 – Процесс изменения распространения температур: q – ПЛОТНОСТЬ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА (от очага), кВт/м²; 1,2,3 – слои материала; I, II, III, IV – границы слоев, $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ – толщина слоя 0,06 мм; c – теплоемкость, Дж/(кг·°C), λ – теплопроводность, Вт/(м·К) Рассматриваемый второй слой (стеклоткань) и третий слой (кремнийорганическое покрытие) имеют температуру t_0 . В момент времени τ_1^* (кривая 1) тепловая волна достигает

границы второго и третьего слоев, и в этом месте стыка данных появляется граничное условие четвертого рода.

$$\text{grad} \cdot t(\delta_1, \tau_1^*) = -\lambda \frac{\partial t_1(\delta_1, \tau_1^*)}{\partial x} \quad (4)$$

Далее происходит распространение температуры в материал, как показывают кривые 2 и 3. Температура третьего слоя остается при температуре t_0 до момента времени τ_2^* , как тепловая волна дойдет до места, где стыкуются второй и третий слой.

Начальное распределение температур для слоя стеклоткани представлено формулой:

$$T(\bar{x}, Fo) = K_i \left[(1 - \bar{x}) - \sum_{n=1}^3 \frac{8 \cos(\mu_n \bar{x})}{\pi^2 n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \right] \quad (5)$$

где: K_i – критерий Кирпичева $= \frac{q_S \delta_2}{\lambda_2 t}$; Fo – число Фурье $= \frac{\alpha_2 \tau}{\delta_2^2}$

В рамках проведения исследования по решению второй задачи было получено выражение:

$$T(x) = 0,002x^2 - 0,003x + 0,001 \quad (6)$$

По результатам расчета уравнения (6) для 2 слоя (стеклоткани), получено распределение температур, представленное на рис. 4. В табл.2 приведены данные по результатам расчета безразмерной и размерной температуры во 2-м слое.

Температурный профиль достигает 3 – го слоя (покрытие), что позволяет определить тепловой поток за счет разницы температур. Тепловой поток, направленный в 3 – й слой (покрытие) составляет $q_S = 1,17 \text{ Вт/м}^2$ при $Fo = 1$.

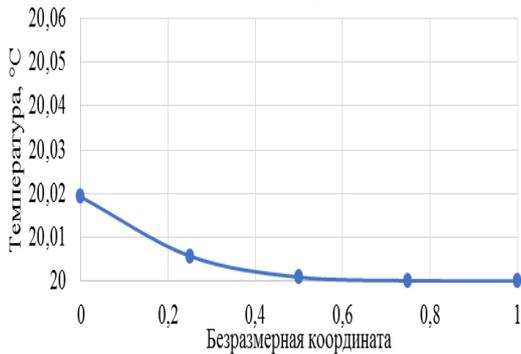


Рисунок 4 – Распределение температуры во 2-м слое по безразмерной координате при $Fo = 1$

Таблица 2 – Результаты расчета безразмерной и размерной температуры во 2-м слое при числе Фурье $Fo = 0,1$

\bar{x}	$T_\delta(\bar{x}, Fo)$	T , °C	Уравнение аппроксимации $T(x) =$
0	0,0022	20,88	$0,002x^2 - 0,003x + 0,001$
0,25	0,0012	20,49	
0,5	0,0005	20,21	
0,75	0,0002	20,07	
1	0,0001	20,04	

Третья задача характеризуется теплообменом между поверхностью слоя 3 (покрытие) на границе IV с окружающей средой. Для решения данной задачи используется выражение:

$$T(\bar{x}, Fo) = -K_i \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 Bi \cos(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} - \exp(-\mu_n^2 Fo) + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 Bi \cos(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi, \quad (7)$$

где: Bi_1 – критерий Био, равный $0,078$; Fo – число Фурье, равное $41,6 \cdot \tau$; K_i – критерий Кирпичева, равный $1,76 \cdot 10^{-5}$.

Для определения величины температурного градиента проинтегрировали выражение (7) по \bar{x} :

$$\frac{\partial T(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}} = +K_i \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 Bi \mu_n \sin(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} - \exp(-\mu_n^2 Fo) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2 Bi \sin(\mu_n \bar{x})}{\mu_n^2 (Bi + \sin^2 \mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi, \quad (9)$$

где: $K_i = \frac{q_S \delta_3}{\lambda_3 t}$; $Fo = \frac{\alpha_3 \tau}{\delta_3^2}$.

По результатам расчета третьего слоя (покрытие) получено уравнение (10):

$$T(x) = 0,001x^2 - 0,002x + 0,006 \quad (10)$$

При значении $Fo = 1$ распределение температуры иллюстрировано на рис.5. Результаты расчета сведены в табл. 3.

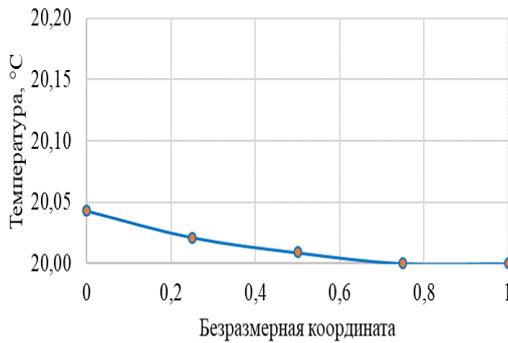


Таблица 3 – Результаты расчета безразмерной и размерной температуры в 3-м слое при числе Фурье $Fo = 1$

\bar{x}	$T_{\delta}(\bar{x}, Fo)$	$T, ^\circ C$	Уравнение аппроксимации $T(x) =$
0	0,0001	20,04	$0,001x^2 - 0,002x + 0,006$
0,25	0,0001	20,02	
0,5	0,0000	20,01	
0,75	0,0000	20,00	
1	0,0000	20,00	

Рисунок 5 – Распределение температуры в 3-м слое по безразмерной координате при $Fo = 1$

Полное распределение температуры в трех слоях отображено на рис. 6.

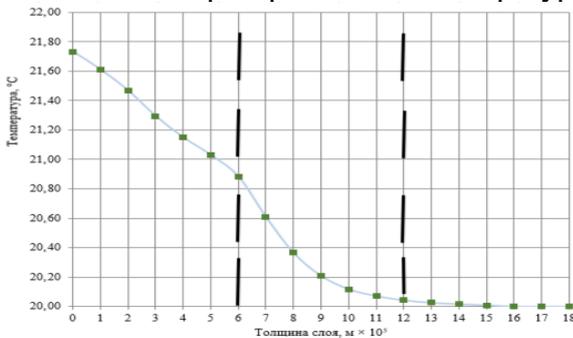


Рисунок 6 – Распределение температуры в 1-м, 2-м и 3-м слоях по толщине при $Fo=1$

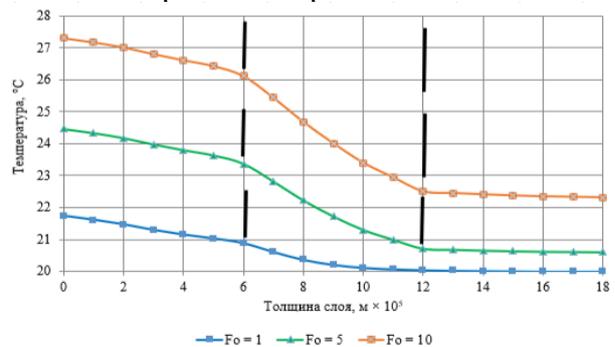


Рисунок 7 – Распределение температуры в слоях при $Fo=1, Fo=5, Fo=10$

Аналогично проводился расчет для последующих значений Фурье до достижения стационарного режима. Распределения температур при различных значениях Фурье представлено на рис. 7-8.

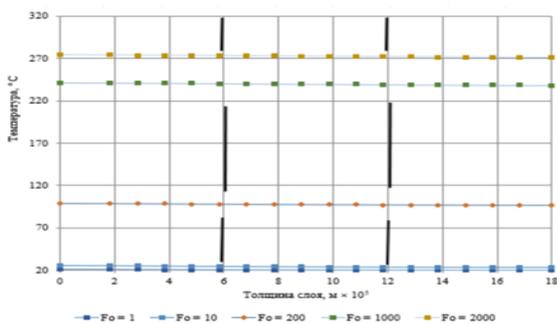


Рисунок 8 – Распределение температуры в слоях при значении Fo от 1 до 2000

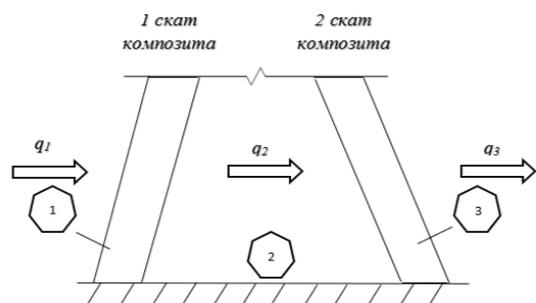


Рисунок 9 – Принципиальная схема ослабления лучистого теплового потока противопожарной преградой: 1,2,3 – участки рассматриваемой системы; q_1, q_2, q_3 – тепловой поток, кВт/м²; 1 скат, 2 скат – огнезащитный материал

Помимо решения задачи теплопереноса в слоях данного материала, рассматривалась задача замкнутой системы участка (2) в границах скатов огнезащитного полотна (1) и (2) на основе одностороннего термического воздействия теплового потока на огнезащитные полотна из композита в течение сравнительно небольшого времени. На рис. 9 представлена

принципиальная схема ослабления теплового потока противопожарной преградой, проходящего между скатами (1) и (2) огнезащитного полотна.

Тепловой поток в системе «полотно (1) – полотно (2)» можно рассчитать по формуле:

$$q = c_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \varphi_{1-2} \quad (11)$$

где: q – плотность теплового потока, Вт/м²; T_1, T_2 – абсолютные температуры факела и воспринимающей поверхности материала, К; c_{1-2} – приведенный коэффициент излучения в системе «полотно (1) – полотно (2)», равный 5,7 Вт/(м²·К⁴); φ_{1-2} – угловой коэффициент излучения.

Для уравнения (12) два граничных условия: третьего и первого рода. Начальная температура постоянна и равна t_0 . На поверхность изделия воздействует высокая температура пожара $t_{\text{пож}}$. Между высокотемпературной газовой средой и внешним слоем первого ската огнезащитного полотна происходит сложный теплообмен в результате конвекции и излучения:

$$q\Sigma = q_{\text{и}} + q_{\text{к}} = \alpha_{\text{эф}} [t_{\text{пож}} - t_{\text{пов}}] \quad (12)$$

где: $q\Sigma$ – суммарная плотность теплового потока (идет для нагрева внутрь) при пожаре излучением $q_{\text{и}}$ и конвекцией $q_{\text{к}}$, Вт/м²; $\alpha_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент теплоотдачи за счет излучения и конвекции, Вт/(м²·К); $t_{\text{пож}}$ – температура излучающего агента пожара, К; $t_{\text{пов}}$ – температура воспринимающей тепло поверхности изделия, К.

Необходимо уточнить, что при температуре пламени свыше 400°С в 95% происходит доминирование лучистого теплообмена над конвективным, а это именно тот случай, поскольку температура факела пламени при огневых испытаниях составляла порядка 500-560°С.

В четвертой главе для исследования воздействия теплового потока на рассматриваемые материалы и определения оптимального варианта их выбора, и защиты были проведены серии стендовых испытаний. С этой целью были изготовлены группы образцов трудногорючего стеклопластика и композиционного материала на основе стеклоткани с кремнийорганическим соединением по ГОСТ 30402 – 96, имеющих форму квадрата со стороной 165 мм и отклонением ± 5 мм. Толщина образцов составляла не более 0,18 мм.

Для исследования воздействия теплового потока на испытуемые образцы использовалась различная плотность испытательной установки в течение 10 минут в зависимости от условий, соответствующих плотностей теплового потока: для условий 1, 4, 7, 10, 13 соответствовал тепловой поток 13 кВт/м²; для условий 2, 5, 8, 11, 14 – 36 кВт/м²; условиям 3, 6, 9, 12, 15 – 39 кВт/м². В условиях 1-3 испытанию подвергались исходные образцы трудногорючего стеклопластика. При условиях 4-6 восстановление поврежденных участков образцов стеклопластика происходило посредством нанесения на внешнюю поверхность слоя огнеупорной пены «Penosil Premium», а при условиях 7-9 огнеупорная пена наносилась на внешнюю и внутреннюю поверхности поврежденных образцов. Также с целью восстановления поврежденных участков применялась алюминиевая фольга (условия 10-12) с толщиной слоя в 0,2 мм. В условиях 13-15 испытанию подлежали образцы композита, выполненные из стеклоткани и нанесенной на ее поверхность кремнийорганического соединения. Исходные данные для эксперимента приведены в табл. 4.

Таблица 4 – Исходные данные (условия) для проведения эксперимента

Вид условия	Значение плотности теплового потока, кВт/м ²	Вид покрытия	Тип материала
Условие 1	13	-	PCT-250
Условие 2	36	-	PCT-250
Условие 3	39	-	PCT-250
Условие 4	13	1 слой огнеупорной пены	PCT-250
Условие 5	36	1 слой огнеупорной пены	PCT-250
Условие 6	39	1 слой огнеупорной пены	PCT-250
Условие 7	13	2 слоя огнеупорной пены	PCT-250
Условие 8	36	2 слоя огнеупорной пены	PCT-250

Условие 9	39	2 слоя огнеупорной пены	PCT-250
Условие 10	13	Алюминиевая фольга	PCT-250
Условие 11	36	Алюминиевая фольга	PCT-250
Условие 12	39	Алюминиевая фольга	PCT-250
Условие 13	13	Кремнийорганическое соединение	Стеклоткань Т - 23
Условие 14	36	Кремнийорганическое соединение	Стеклоткань Т - 23
Условие 15	39	Кремнийорганическое соединение	Стеклоткань Т - 23

В соответствии с ГОСТом 30402 – 96 для каждого исследования величины плотности теплового потока применялись группы из трех образцов. Измерение температуры на тыльной стороне образцов осуществлялось измерителем – регулятором 2 ТРМ-1 (далее – ИР) через технологическое отверстие испытательной установки для определения воспламеняемости строительных материалов. На рис. 10 и 11 показаны зависимости температуры на тыльной стороне модифицированных (восстановленных) образцов стеклопластика и композиционного материала, а также потери массы образцами от продолжительности времени нагрева.

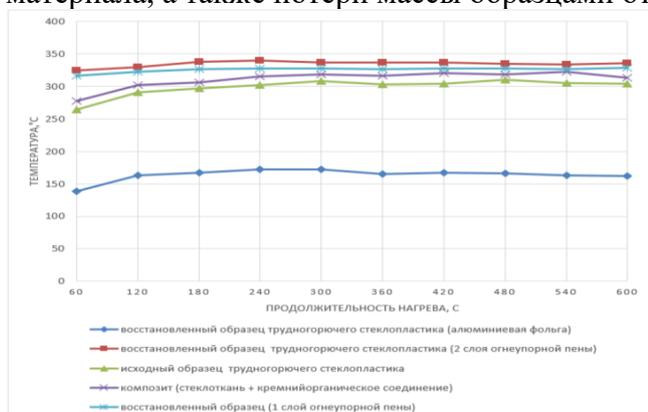


Рисунок 10 – Зависимости температуры на тыльной стороне образцов трудногорючего стеклопластика и композиционного материала от продолжительности времени нагрева в зависимости от способа модификации

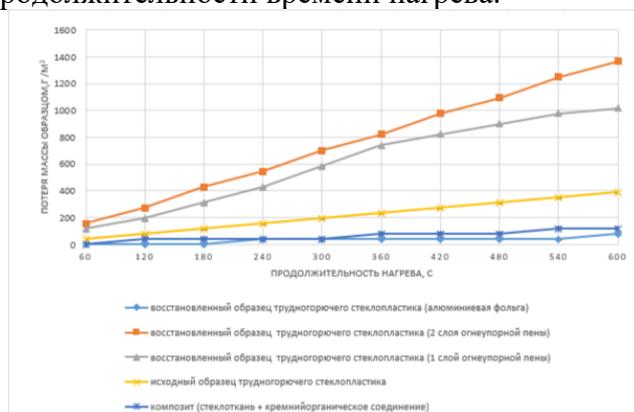


Рисунок 11 – Зависимости потери массы образцов трудногорючего стеклопластика и композиционного материала от продолжительности времени нагрева в зависимости от способа модификации

Проведенный эксперимент по исследованию исходных образцов трудногорючего стеклопластика (условия 1-3) и восстановленных посредством нанесения огнеупорной пены в 1 и 2 слоя (условия 4-6 и 7-9) от теплового воздействия при плотности, создаваемой испытательной установкой 39 кВт/м^2 показал неэффективность данных полотен. На контрольных временных интервалах происходило самовоспламенение образцов и выгорание огнеупорной пены, что способствовало потере массы каждого из образцов. Затем был предложен способ восстановления поврежденных участков при помощи алюминиевой фольги. Стоит отметить, что температура на тыльной стороны образцов снижалась более чем в три раза по отношению к образцам, подлежащим модификации посредством нанесения на их поверхности огнеупорной пены и составляла $73,7^\circ\text{C}$ (с нанесением одного слоя пены – $206,3^\circ\text{C}$; с нанесением двух слоев пены – $213,9^\circ\text{C}$) и в 2,5 раза в случае если образцы не подвергались восстановлению (исходные образцы) при 13 кВт/м^2 . В свою очередь при плотности теплового потока в 39 кВт/м^2 температура на тыльной стороне восстановленных образцов алюминиевой фольгой по отношению к образцам, подлежащим модификации посредством нанесения огнеупорной пены на одну и на обе стороны снижалась в два раза и составляла $173,2^\circ\text{C}$; при обработке пеной поверхности образцов в 1 слой – $337,1^\circ\text{C}$ и $355,4^\circ\text{C}$ при нанесении на обе стороны образцов. Таким образом, по имеющимся экспериментальным данным можно сделать вывод об эффективности алюминиевой фольги для модификации образца трудногорючего стеклопластика в целях сопротивления тепловому потоку. Однако применять защиту

трудногорючего стеклопластика на практике при помощи алюминиевой фольги является нецелесообразным, поскольку процесс соединения фольги и основы сложен технологически, а полученное покрытие не устойчиво к внешним механическим повреждениям. Трудногорючий стеклопластик как в исходном своем состоянии, так и после модификации в ходе проведения стендовых испытаний показал, что его применение в качестве полотна для защиты от низовых ландшафтных пожаров является ненадежным и способствует дальнейшему переходу огня за противопожарную преграду с последующим возгоранием сухой травянистой растительности. В связи с чем было дополнительно проведено исследование, где в качестве огнезащитного материала было предложено использовать композиционный материал из стеклоткани с кремнийорганическим соединением. В условиях 13-15 испытаниям подвергались образцы композиционного материала на основе кремнийорганического соединения при ранее описанных значениях теплового потока. На протяжении всего времени проведения эксперимента при каждом значении плотности теплового потока самовоспламенение образцов не зафиксировано. Максимальная потеря массы была отмечена у образца стеклопластика № 1, что составило 0,29 грамм.

Проведены исследования поведения противопожарной преграды в условиях огневых испытаний с разными исполнениями тестовых очагов, в которых применялась различная пожарная нагрузка для создания наихудших сценариев возможного развития низовых ландшафтных пожаров. Исходные данные (условия) для проведения эксперимента приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Исходные данные (условия) для проведения эксперимента

Вид условия	Вид тестового очага	Вид горючей нагрузки	Тип материала / покрытие
Условие 1	ТОП-1	Сухая травянистая растительность	РСТ-250
Условие 2	ТОП-1	Сухая солома	РСТ-250
Условие 3	ТОП-1	Комбинация (небольшие кустарники, шишки, опавшие ветки деревьев, иголки елок)	РСТ-250
Условие 4	ТОП-2	Сухая травянистая растительность	РСТ-250
Условие 5	ТОП-2	Сухая солома	РСТ-250
Условие 6	ТОП-2	Комбинация (небольшие кустарники, шишки, опавшие ветки деревьев, иголки елок)	РСТ-250
Условие 7	ТОП-2	Комбинация (сухая травянистая растительность, сухая солома, небольшие кустарники, шишки, опавшие ветки деревьев, иголки елок)	Стеклоткань Т – 23 / кремнийорганическое соединение
Условие 8	ТОП-2	Комбинация (сухая травянистая растительность, сухая солома, небольшие кустарники, шишки, опавшие ветки деревьев, иголки елок)	Стеклоткань Т – 23 / кремнийорганическое соединение

Целью данного исследования являлось определение способности огнезащитного полотна трудногорючего стеклопластика и композиционного материала в течение 8 минут противостоять открытому пламенному горению сухой травянистой растительности, а также в определении максимальной температуры на тыльной стороне огнезащитного полотна, создаваемой открытым пламенным горением и плотностью теплового потока. Полученное эмпирическим путем значение температуры тыльной стороны полотна стеклопластика сравнивалось с температурой возгорания сухой травы. Тем самым проверялась возможность использования устройства для защиты от ландшафтных пожаров. Если температура ниже критического значения 333°C, то испытываемое устройство применять возможно. Если же данное значение выше, то устройство требует доработки.

Результаты измерения, полученные в ходе проведения огневых испытаний, подтверждают возможность применения трудногорючего стеклопластика в качестве огнезащитного полотна противопожарной преграды. Однако стоит заметить, что в условиях 1-3 применялся ТОП – 1, что существенно снижало воздействие открытого пламенного горения на

экспонируемую поверхность полотна за счет конструктивного исполнения тестового очага. Применение данного очага пожара в виде предложенной конструкции не дает в полной мере понимания воздействия пламени на полотно, чем вызывает сомнение в адекватности выбора материала для его использования в виде ограждающей конструкции, поскольку такой очаг пожара имеет низкое тепловыделение. Используемое огнезащитное полотно из трудногорючего стеклопластика в условиях 4-6 также не является эффективным, поскольку при подходе открытого пламени к поверхности материала последнее частично воспламенялось и поддерживало непродолжительное горение, что способствует переходу огня на 2 скат огнезащитного полотна с возможным последующим возгоранием сухой травянистой растительности. Модификация огнезащитного полотна посредством нанесения на поверхность материала стеклоткани кремнийорганического соединения показала себя достаточно надежной, поскольку при температуре факела пламени порядка 500-560°C самовоспламенение стеклопластика не происходило, что свидетельствует о возможности его применения для локализации ландшафтного пожара. В условии 7 на 4 минуте проведения эксперимента была зафиксирована наибольшая температура на тыльной стороне односкатного огнезащитного полотна – 299,4°C, что ниже критического значения возгорания сухой травы – 333°C, однако данная температура является пограничной по отношению к критической, в связи с чем ставит под сомнение применение односкатного полотна противопожарной преграды при определенных условиях. Исходя из этого был проведен дополнительный эксперимент (условие 8) с двухскатным полотном из композита, по результатам которого максимальная температура на тыльной стороне составила 122°C, что ниже критического значения практически в 3 раза. Относительная погрешность измерений, проведенных экспериментов составила не более 5 % при доверительной вероятности 0,95.

Результаты статистической обработки данных.

Была проведена проверка адекватности разработанной математической модели по критерию Фишера. Сопоставление результатов расчета среднего значения температуры, полученной экспериментальным путем и значения температуры, определенные расчетным, представлены в табл. 6.

Таблица 6 – Экспериментальные и расчетные данные для проверки адекватности математической модели

Время, с	Температура на тыльной стороне огнезащитного полотна из композиционного материала, °C	
	Эксперимент	Расчет
0	20,0±2	20
30	45,0±2	20
60	49,1±2	20
90	51,9±2	20
120	54,4±2	20
150	60,1±2	20
180	130,0±3	260
210	285,0±6	274
240	299,4±7	275
270	174,0±4	171,9
300	137,0±3	109,7
330	97,5±2	79,2
360	92,2±2	64,3
390	90,8±2	57,0
420	85,4±2	53,4
450	75,2±2	51,6
480	58,9±2	50,8

На рис. 12 графически показаны значения температуры на тыльной стороне образца огнезащитного полотна из композиционного материала, полученных экспериментальным и расчетным путем.

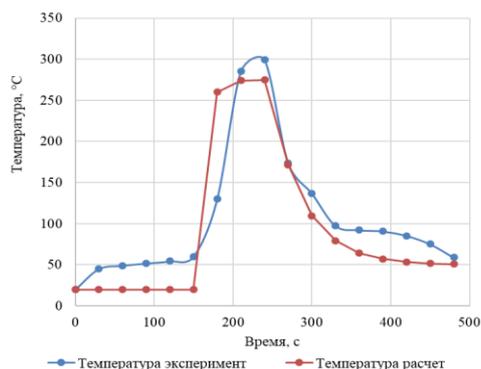


Рисунок 12 – Значения температуры на тыльной стороне огнезащитного полотна из композиционного материала

Из рис. 12 видно, что значения близки, что подтверждает адекватность работы. Проверка адекватности математической модели проводилась по критерию Фишера.

Значение критерия Фишера составляло $F = 1,37$, в свою очередь табличное значение (критическое) критерия Фишера составляло $F = 2,33$, при доверительной вероятности 0,95 и уровне значимости 0,05. Гипотеза адекватности отклоняется в том случае, если не выполняется условие $F < F_{кр}$.

Полученное значение критерия Фишера удовлетворяет условию $F < F_{кр}$, что свидетельствует об адекватности предложенной модели.

В пятой главе проведена оценка эффективности затрат на обеспечение пожарной безопасности зданий населенного пункта от ландшафтного пожара при использовании противопожарной преграды. Данная оценка проводилась с учетом статистических данных для малого сельского поселения деревни Остапово Ивановской области. Расчет произведен с учетом класса функциональной пожарной опасности зданий. Установлено, что затраты на применение ПП является экономически эффективными и экономически целесообразными для зданий рассматриваемого малого сельского поселения Ивановской области.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предложен новый композиционный материал на основе стеклоткани с нанесенным кремнийорганическим соединением. Данный композиционный материал отличается от выпускаемых в промышленности последовательностью нанесения слоев. Наружные слои материала выполняются из кремнийорганического соединения. Внутренний слой выполнен из стекловолокна.

2. По результатам исследования высокотемпературного воздействия на элементы противопожарных преград из композиционного материала разработаны конструкции технических средств и способ защиты территорий от распространения низового ландшафтного пожара.

3. Разработаны методы стендовых и огневых испытаний устройств для предотвращения распространения ландшафтного пожара, позволяющие провести сравнительную оценку защитных свойств материала в различном конструктивном исполнении. В процессе проведения огневых испытаний определено, что применение огнезащитного полотна из композиционного материала является наиболее эффективным в диапазоне температур 500-560 °C.

4. С использованием численно-аналитического моделирования разработана математическая модель теплопереноса в трехслойном материале, позволяющая определить динамику распространения температуры в слоях материала в зависимости от продолжительности времени огневого воздействия.

5. Показано, что наибольшее среднее значение температуры на тыльной стороне устройства при огневом воздействии в течение восьми минут с плотностью теплового потока

244,6 Вт/м², ниже критического значения возгорания сухой травы на 25-35%, при применении двухскатного огнезащитного полотна.

6. Проведена оценка эффективности экономических предполагаемых затрат на обеспечение пожарной безопасности зданий малого сельского поселения деревни Остапово Ивановской области при использовании противопожарной преграды из композиционного материала. Установлено, что применение противопожарной преграды для объектов защиты сельских поселений от ландшафтных пожаров экономически эффективно и целесообразно.

7. Огневые испытания показали объективную возможность использования тестового очага пожара в виде распространяющегося фронта пламени со средней величиной тепловыделения 8 кВт/м².

8. По результатам сравнительного анализа традиционных способов борьбы с низовыми ландшафтными пожарами определено, что стоимость организации встречного пала на 60% превышает стоимость противопожарной преграды, при этом по технико-эксплуатационным характеристикам противопожарная преграда показывает себя лучше, что позволяет рассматривать ее как оптимальный вариант. При сравнении очистки территории от валежника и противопожарной преграды стоит заметить, что применение противопожарной преграды на 25% дороже, при этом по технико-эксплуатационным характеристикам противопожарная преграда в 4 раза эффективнее.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК

1. Лазарев, А. А. О проблеме создания противопожарных преград для защиты от ландшафтных пожаров / А. А. Лазарев, **А. Н. Мальцев** // Современные проблемы гражданской защиты. – 2022. – №. 4 (45). – С. 78-85.

2. Федосов, С. В. О проблеме цветовой дифференциации термоиндикаторов по результатам высокотемпературного воздействия пожара / С. В. Федосов, В. Г. Маличенко, М. В. Торопова, **А. Н. Мальцев** // Техносферная безопасность. – 2023. – №. 3 (40). – С. 28-37.

3. **Мальцев, А. Н.** Методика огневых испытаний устройств для ограничения распространения ландшафтных пожаров / А. Н. Мальцев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2024. – №. 2 (51). – С. 56-64.

Научные публикации в изданиях, входящих в международные системы цитирования

4. Fedosov, S. V. Fiberglass thermal barrier for building safety / S. V. Fedosov, A. A. Lazarev, **A. N. Maltsev**, M. V. Toropova, I. A. Bogdanov // Materials Physics and Mechanics. 2024;52(4): 152-162.

Патенты и свидетельства

5. Пат. 219622 U1 (RU), Российская Федерация, МПК А62С 2/06, А62С 3/02. Устройство для предотвращения распространения ландшафтного пожара / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, **А. Н. Мальцев**, А. А. Лазарев, Д. Б. Самойлов; опубл. 28.07.2023, бюл. № 22.

6. Пат. 221505 U1 (RU), Российская Федерация, МПК А62С 2/06, А62С 3/02. Устройство для предотвращения распространения ландшафтного пожара / И. А. Малый, И. Ю. Шарабанова, **А. Н. Мальцев**, А. А. Лазарев, В. Е. Иванов; опубл. 09.11.2023, бюл. № 31.

7. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025620979 от 03.03.2025 Российская Федерация. База данных по теплофизическим характеристикам для разработки устройств в целях предотвращения распространения ландшафтного пожара / **А. Н. Мальцев**, А. А. Лазарев, Е. А. Шварев, О. Е. Сторонкина, В. А. Титов; Правообладатели: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России (RU).-заявка № 2025620518 от 24.02.2025.

Публикации в иных научных изданиях

8. **Мальцев, А. Н.** Технологии создания противопожарных преград / А. Н. Мальцев, А. А. Лазарев // Перспективные технологии и материалы: Материалы Международной научно-практической конференции, г. Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2022. – С. - 406-410.

9. **Мальцев, А. Н.** Вероятностный подход к созданию модели распространения ландшафтного пожара» / А. Н. Мальцев, А. А. Лазарев // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: Сборник материалов Дней науки с международным участием, г. Екатеринбург, 2022 г. – С. 121-125.

10. **Мальцев, А. Н.** Обзор основных способов для защиты от ландшафтных пожаров / А. Н. Мальцев, А. А. Лазарев // В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90- й годовщине образования гражданской обороны. Иваново, 2022. С. 111-114.

11. Лазарев А. А. О проблеме пресечения правонарушений, способствующих возникновению экологонеблагоприятных ландшафтных пожаров / А. А. Лазарев, **А. Н. Мальцев**, М. В. Торопова // Экологические аспекты современных городов: сборник материалов IX межрегионального семинара. – Иваново: ИВГПУ, 2023 – С. 48-51.

12. Лазарев, А. А. О механизме теплопереноса во внешнем слое пластика изделия из стеклопластика РСТ – 250 в условиях ландшафтного пожара / А. А. Лазарев, С. В. Федосов, **А. Н. Мальцев** // VIII Международная научно – практическая конференция «Современные энергосберегающие тепловые и массообменные технологии СЭТМТ – 2023», Москва, ФГБОУ ВО Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023 г., С. 247-251.

13. Романова, О. С. О пожарной безопасности населенных пунктов, подверженных угрозе ландшафтных (природных) пожаров / О. С. Романова, А. А. Лазарев, В. Ю. Емелин, А. М. Мочалов, А.А. Липинская, **А.Н. Мальцев**, П.В. Мочалин // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов VI Международной научно – практической конференции, Иваново, 2023 г., С. 337-342.

14. **Мальцев, А. Н.** Теплоперенос в стеклопластике, используемом для создания устройства в целях предотвращения распространения ландшафтного пожара / А. Н. Мальцев, А. А. Лазарев, М. В. Торопова // IV Международный Косыгинский форум «Проблемы инженерных наук: формирование технологического суверенитета», (ISTS EESTE – 2024)», Москва, 2024 г., С. 137-141.

15. Лазарев, А. А. Ветровые нагрузки на устройства для ограничения распространения ландшафтных пожаров на сельско – хозяйственных землях / А. А. Лазарев, **А. Н. Мальцев**, М. В. Торопова // Актуальные экологические проблемы современных городов: сборник материалов I Национальной научно-практической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2024. – С. 71-75.

16. **Мальцев, А. Н.** Оценка эффективности затрат по обеспечению пожарной безопасности малого сельского поселения при защите от ландшафтного пожара / А. Н. Мальцев, А. А. Лазарев, М. В. Торопова // Качество жизни: архитектура, строительство, транспорт, образование: сборник материалов Международной научно-практической конференции. – Иваново: ИВГПУ, 2024. – С. 153-156.

17. **Мальцев, А. Н.** Определение коэффициента эффективности защиты от воздействия лучистого теплового потока при использовании огнезащитного полотна из стеклопластика / А. Н. Мальцев, Е. А. Шварев, А. М. Мочалов // В сборнике: Пожарная и аварийная безопасность. Сборник материалов XIX Международной научно – практической конференции, Иваново, 2024. С. 687-692.

Автор выражает благодарность Лауреату премии Правительства РФ в области науки и техники, заслуженному деятелю науки РФ, академику РААСН, профессору, доктору технических наук Федосову Сергею Викторовичу, глубокую признательность научному руководителю, кандидату технических наук, кандидату педагогических наук, доценту Лазареву Александру Александровичу, а также кандидату технических наук, доценту Тороповой Марии Владиевне за ценные замечания при проведении исследований и обсуждении результатов работы и всем соавторам исследований, представленных в данной работе.