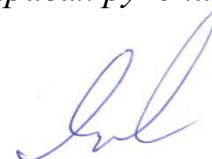


Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный политехнический университет»

На правах рукописи

Лазарев Александр Александрович



НАРУЖНЫЕ СТЕНОВЫЕ ИЗДЕЛИЯ ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ
ДИАГНОСТИКИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность
(строительство)

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

Заслуженный деятель науки РФ,
лауреат премии правительства
РФ в области науки и техники,
академик РААСН,
доктор технических наук,
профессор
Федосов Сергей Викторович

Иваново 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ	
Введение.....	5
Глава 1. Состояние вопроса.....	12
1.1. Противопожарное состояние малоэтажных зданий	12
1.2. Способы защиты малоэтажных зданий от пожаров.....	16
1.3. Строительные материалы для малоэтажных зданий	19
1.3.1. Виды строительных материалов, применяемых для малоэтажного строительства, их классификация и пожарная опасность.....	20
1.3.2. Обзор существующих строительных изделий специального назначения	29
1.3.3. Способы изменения качественных характеристик бетонных изделий.....	32
1.4. Обзор существующих методов испытания пожарных извещателей....	38
1.5. Обзор математических методов определения теплофизических характеристик.....	42
1.6. Постановка задач исследования	46
Глава 2. Материалы, оборудование и методы экспериментальных исследований	49
2.1. Используемые материалы и изделия.....	49
2.2. Краткое описание применяемых экспериментальных методик.....	59
2.2.1. Определение влажности воздуха внутри бетонного блока.....	60
2.2.2. Стендовые испытания совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.....	61
2.2.3. Методика огневых испытаний совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.....	62

2.2.4. Методика определения устойчивости работы совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока при различных условиях эксплуатации.....	63
2.2.5. Определение электрической прочности и сопротивления изоляции совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.....	65
2.2.6. Определение электромагнитной совместимости совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.....	66
2.3. Выводы по главе 2.....	67
Глава 3. Математическое моделирование процесса теплопереноса при интенсивном тепловом воздействии на строительные конструкции малоэтажных зданий	69
3.1. Разработка и обоснование конструктивной схемы совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.....	69
3.2. Математическая модель обнаружения интенсивного теплового воздействия термочувствительным элементом совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.....	74
3.3. Разработка модели конвекционно-радиационного теплообмена.....	87
3.4. Выводы по главе 3.....	97
Глава 4. Исследование свойств и эксплуатационных характеристик совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.....	99
4.1. Результаты экспериментальных исследований эксплуатационных и конструктивных характеристик совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.....	99
4.2. Определение поведения совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока в условиях огневых испытаний.....	110
4.3. Результаты измерения влажности воздуха внутри совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.....	112
4.4 Выводы по главе 4.....	126

5. Оценка эффективности затрат на обеспечение пожарной безопасности малоэтажного дома.....	128
5.1 Определение математического ожидания экономических потерь от пожара.....	129
5.2 Расчет экономических потерь от пожара.....	132
5.3 Определение эффективности затрат на обеспечение пожарной безопасности объекта.....	134
5.4 Выводы по главе 5.....	136
Заключение.....	137
Список литературы.....	141
Приложения.....	172

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность избранной темы. Исторический процесс развития строительства жилья неразрывно связан с необходимостью его защиты от пожаров. При этом повышению уровня защищенности малоэтажных зданий от пожара, в том числе жилья, во многом способствовало совершенствование противопожарных свойств строительных материалов. Одной из главных задач строителей в этих условиях являлось предотвращение пожара, а в случае его возникновения – диагностирование на ранней стадии.

Эта задача остается актуальной и в условиях нарастания субурбанизационных тенденций, характеризующихся развитием малоэтажного строительства [1-5]. В настоящее время малоэтажное строительство успешно применяется для обеспечения комфортности проживания людей. Комфорт во многом обусловлен меньшей по сравнению с многоэтажной плотностью застройки и, как следствие, проживание в районах малоэтажной застройки представляется более экологически безопасным, с меньшей нагрузкой на транспортную и социальную инфраструктуру. Современные строительные технологии в сочетании с невысокой себестоимостью жилья стимулируют спрос на малоэтажные жилые дома. Однако статистика пожаров показывает, что пожары в малоэтажных жилых домах возникают чаще, чем в многоэтажных, они здесь также чаще приводят к гибели и травмированию людей [6, 7].

В процессе роста количества населения и его концентрации сокращается расстояние между малоэтажными зданиями, а также хозяйственными постройками. Высокая плотность застройки повышает риск перехода огня при пожаре с одного объекта на другой. Отсутствие технических средств обнаружения пожара и оповещения о нем способствуют

Научный консультант: кандидат технических наук, доцент
Торопова Мария Владиевна

несвоевременному реагированию на возникший пожар, включая поздний вызов пожарно-спасательного подразделения. Это обстоятельство указывает на необходимость разработки строительных материалов для диагностики данных пожаров в малоэтажных зданиях.

Цель диссертационного исследования: разработать и исследовать наружные стеновые изделия для дистанционной диагностики пожарной безопасности малоэтажных зданий в условиях интенсивного теплового воздействия, соответствующего стандартному температурному режиму пожара.

Исходя из данной цели, к основным **задачам** диссертационной работы относятся:

1. Исследовать высокотемпературное воздействие при пожаре на строительные материалы и изделия для разработки конструкции совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока.

2. Разработать комплексную методологию расчета, позволяющую определить динамику полей температур в составных элементах изделия, учитывающую взаимоотношение граничных условий; методику расчета температуры и времени срабатывания исследуемого средства обнаружения пожара.

3. Установить влияние расстояния между малоэтажными зданиями, места установки, мощности инфракрасного излучения, размера термочувствительного элемента на время срабатывания наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики пожарной безопасности этих зданий в условиях интенсивного теплового воздействия.

4. Исследовать изменение влажности воздуха внутри разработанных наружных стеновых изделий в условиях различных режимов капельного орошения, в том числе и при использовании герметичных материалов, с учетом влияния указанных процессов на характеристику данных изделий.

5. Исследовать поведение совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока в условиях огневых испытаний.

6. Оценить эффективность затрат на установку совмещенных с пожарным извещателем бетонных блоков для обеспечения пожарной безопасности малоэтажного здания.

Научная новизна:

- на основе анализа текущего состояния вопроса эффективности использования наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики пожарной безопасности малоэтажных зданий, выдвинута гипотеза о возможности разработки метода раннего обнаружения пожара с помощью технического средства защиты людей от пожаров, позволяющего осуществлять оценку стойкости строительных материалов в условиях развития пожара, а также осуществлять контроль качества этого обеспечивающего предупреждение пожара изделия;

- на основании методов теории теплопроводности с комбинированными граничными условиями получена комплексная методология расчета, позволяющая определить динамику полей температур в составных элементах изделия, учитывающая взаимоотношение граничных условий; получена методика расчета температуры и времени срабатывания пожарного извещателя, размещенного в бетонном блоке, что позволило научно обосновать целесообразность применения данного изделия для обеспечения пожарной безопасности на объектах строительства.

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные представления о поведении в условиях интенсивного теплового воздействия и об эксплуатационных характеристиках совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока, с учетом закономерностей процессов теплопереноса, позволяют определять порядок использования данных наружных стеновых изделий и применяются в ООО «Эксперт безопасности», ООО «Артель-Строй». Разработанные предложения по их герметизации способствуют обеспечению требуемых для данных наружных стеновых изделий эксплуатационных условий.

Разработанный совмещенный с пожарным извещателем бетонный блок позволяет осуществлять дистанционную диагностику для обеспечения пожарной безопасности малоэтажных зданий в условиях интенсивного теплового воздействия и находит применение в деятельности СРО Ассоциации «ОСЮСКО».

Методология и методы иссертационного исследования. В работе описаны результаты обобщения, систематизации и анализа отечественной и зарубежной научно-технической литературы по теме исследования. С учетом этого формулировались задачи, определены пути их решения и осуществлена проверка достоверности полученных результатов. При этом использовались теоретические и эмпирические методы исследований.

Положения, выносимые на защиту:

- комплексная методология расчета, позволяющая определить динамику полей температур в составных элементах изделия, учитывающая взаимоотношение граничных условий; методика расчета температуры и времени срабатывания совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока;
- результаты исследования изменения влажности воздуха внутри разработанных наружных стеновых изделий в условиях различных режимов капельного орошения, в том числе и при использовании герметичных материалов;
- конструкция совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока;
- результаты исследований влияния расстояния между малоэтажными зданиями, места установки, мощности инфракрасного излучения, размера термочувствительного элемента на время срабатывания наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики пожарной безопасности этих домов в условиях интенсивного теплового воздействия.

Достоверность полученных результатов. Степень достоверности результатов исследования обеспечена применением современных

физических и физико-химических методов анализа, а также математической обработкой полученных данных. Достоверность и обоснованность полученных результатов также обусловлены использованием методик по ГОСТам и соответствием полученных экспериментальных данных физико-химическим представлениям о процессах тепло-массопереноса и результатам экспериментальной работы других авторов.

Апробация результатов работы и публикации. Основные положения диссертации опубликованы в сборнике, входящем в международную базу цитирования Scopus: «Proceedings of EECЕ 2019. EECЕ 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 70. Springer, Cham», в журнале, входящем в международную базу цитирования WoS: «Russian Journal of Building Construction and Architecture. 2020. № 4 (48)», в журналах, рецензируемых ВАК Министерства образования и науки РФ: «Техносферная безопасность» № 1 (18), 4 (21) 2018; «Современные проблемы гражданской защиты» («Вестник Воронежского института ГПС МЧС России») № 1 (30), № 4 (33) 2019, № 3 (36) 2020; «Приволжский научный журнал» № 2 (54) 2020; «Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии» 4 (16) 2020, Научный журнал строительства и архитектуры № 4 (48), 2020, Строительные материалы № 3, 2021.

Результаты исследований доложены на Международной научно-методической конференции «Актуальные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса», г. Иваново, 2009; IX научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность», г. Иваново, 2014; XXVII международной научно - практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности», г. Балашиха, 2015; VI-VII всероссийских научно-практических конференциях «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов», г. Иваново, 2019-2020; всероссийских (с международным участием) научно-технических конференциях аспирантов и студентов

(ПОИСК – 2019, ПОИСК-2020), г. Иваново, 2019-2020; XX международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и архитектуры», г. Тула, 2019; VI Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей «Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности», г. Волгоград, 2019.

Внедрение результатов исследований. Разработанные на основании проведенных исследований практические рекомендации внедрены ООО «Эксперт безопасности», ООО «Артель-Строй», СРО Ассоциации «ОСЮСКО».

Практические рекомендации по эксплуатации совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока были использованы при осуществлении экспертной деятельности на объектах нового строительства ООО «Эксперт безопасности». Установлено, что применение совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока позволяет обнаруживать интенсивное тепловое излучение при пожаре.

Теоретические положения диссертационной работы и результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс кафедры естественных наук и техносферной безопасности ФГБОУ ВО ИВГПУ при проведении лекций и лабораторных занятий для обучения бакалавров 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность технологических процессов и производств» по дисциплинам «Продвижение инновационных идей в техносферной безопасности», «Профилактика пожаров», а также для обучения специалистов 20.05.01 «Пожарная безопасность» по профилю «Риск-менеджмент в сфере пожарной безопасности» по дисциплинам «Пожарная безопасность в строительстве», «Производственная и пожарная автоматика», «Информационные технологии в управлении чрезвычайными ситуациями» и «Организация защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций», (акт о внедрении от 01.09.2021 г., ИВГПУ, г. Иваново).

Личный вклад автора. Автором сформулированы цели и задачи исследования, выбраны объекты, методология и методы исследований, разработан комплекс теоретических и экспериментальных изысканий; предложена комплексная методология расчета, позволяющая определить динамику полей температур в составных элементах изделия, учитывающая взаимоотношение граничных условий; методика расчета температуры и времени срабатывания бетонного блока совмещенного с пожарным извещателем, лично осуществлялась постановка и осуществление исследований по установлению режимов влажности воздуха внутри совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока при капельном орошении в условиях применения различных вариантов его герметизации и без таковой; проводил разработку совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока; обработал и провел анализ основных результатов исследования, а также непосредственно участвовал при их практической реализации. Автор осуществлял личное участие в проведении теоретических исследований и постановке экспериментов, обсуждал их с научным руководителем.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности, по которой она рекомендуется к защите. Научная новизна указывает на то, что диссертация соответствует паспортам специальности 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия» и 05.26.03 «Пожарная и промышленная безопасность».

По пунктам специальности 05.23.05:

4. Разработка методов прогнозирования и оценки стойкости строительных материалов и изделий в заданных условиях эксплуатации.
8. Развитие системы контроля и оценки качества строительных материалов и изделий.

По пунктам специальности 05.26.03:

3. Научное обоснование принципов и способов обеспечения промышленной и пожарной безопасности на предприятиях промышленности, строительства и на транспорте.

6. Исследование и разработка средств и методов, обеспечивающих снижение пожарной и промышленной опасности технологических процессов, предупреждения пожаров и аварий, тушения пожаров.

7. Разработка технических средств защиты людей от пожаров и производственного травматизма.

Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, 9 приложений; изложена на 181 странице машинописного текста, содержит 36 рисунков, 37 таблиц и список литературы из 240 наименований.

Глава 1. Состояние вопроса

1.1. Противопожарное состояние малоэтажных зданий

Развитие малоэтажного строительства предусмотрено законодательством России [1-5]. Однако по-прежнему сложной проблемой остается обеспечение пожарной безопасности (далее – ПБ) данных объектов, так как свыше 80% пожаров происходит в жилье. Ежегодно происходят пожары и в России (Сибирь, Дальний Восток) и за рубежом, которые уничтожают или повреждают большое количество малоэтажных жилых домов (далее – МЖД). В таблице 1.1 приведены данные Российской Федерации о переходе пожаров в 2019 году с одного объекта на другой.

Таблица 1.1 - Статистические данные по пожарам в группе зданий на территории Российской Федерации в 2019 году [6]

Степень огнестойкости	Количество пожаров	Погибло людей	Травмировано людей	Максимальное количество поврежденных объектов	Максимальное количество поврежденных объектов	Процент одноэтажных домов	Максимальное расстояние до ПСЧ, км	Уничтожено поэтажной площади, тыс. м ²	Повреждено поэтажной площади, тыс. м ²
I	23	2	2	3	7	95,7	12	0,35	1,20
II	269	14	21	7	96	81,0	30	16,07	34,85
III	1274	48	76	30	42	88,7	64	178,19	125,07
IV	812	31	39	25	50	91,1	52	67,15	169,70
V	10994	600	533	112	92	95,0	180	5788,59	1138,29
Всего	13372	695	671	112	96	-	180	6050,36	1469,12

За последние 5 лет наибольшее количество уничтоженных пожаром объектов было зарегистрировано в 2015 году, когда в городе Абакан было уничтожено 980 объектов. Абсолютное большинство объектов пожара

являются одноэтажные здания, в том числе жилые дома [7]. При этом многое в сфере пожарной безопасности при строительстве малоэтажных домов не нормируется [8, 9]. Плановые проверки МЖД не проводятся органами государственного пожарного надзора [10-12]. Поэтому сведения о типичных нарушениях требований ПБ можно получить при анализе техногенных причин пожаров на данных объектах. На рисунке 1.1 приведены данные Российской Федерации о переходе пожаров в 2015-2019 годах с одного здания на другое. Рассмотрим наиболее характерные причины этих пожаров.

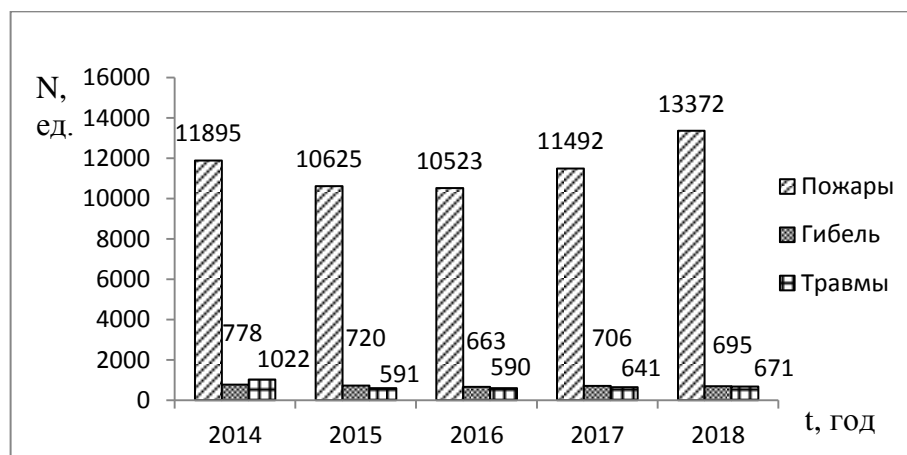


Рисунок 1.1 - данные Российской Федерации о переходе пожаров в 2015-2019 годах с одного здания на другое

Нарушение правил эксплуатации обогревательных приборов является весьма распространенной причиной пожаров. Жители МЖД часто используют печи и камины по (финансовой или технической) причине невозможности оборудовать газовое отопление или как атрибут достатка и украшения интерьера. Очень часто при монтаже печи или камина не учитываются отступки и разделки. Особенно остро эта проблема стоит при строительстве бань, саун, помывочных и т.п. Печь или камин без предтопочного листа или с трещинами и прогарами также могут привести к пожару.

Статистика пожаров показывает, что до 30% пожаров происходит по электро-технической причине. Оставление электроприбора без присмотра не смотря на указания завода-изготовителя, неисправность оборудования и

аппаратов защиты соединение вместе медного и алюминиевого проводов, неплотное соединение контактов, использование электрооборудования с видимыми повреждениями, отсутствие молниезащиты – всё это также может стать причиной пожара.

Историческая застройка населенных пунктов показывает, что подходы к этой проблеме менялись со временем. Противопожарные разрывы как в пределах одного участка, так и для сблокированных строений, домов и хозяйственных построек в пределах заданной площади застройки не нормировались. Сейчас подходы изменились. Требования к противопожарным разрывам изложены в своде правил СП 4.13130.2013 [9]. Но, не смотря на добровольность применения этого свода правил, альтернативой его применения пока является только разработка специальных технических условий [8].

Конструктивные особенности малоэтажных домов таковы, что они способствуют распространению пожара. Даже у дома с кирпичными стенами очень часто деревянные перекрытия. Здесь много и другой горючей нагрузки. Примеры пожаров представлены на рисунке 1.2.



а)



б)

Рисунок 1.2 Пожары в МЖД
а) г.Кинешма, б) м. Сосны Ивановской области

В этих условиях значительную роль играют средства пожарной автоматики. Например, автономный пожарный извещатель, срабатывающий при задымлении способен ночью разбудить при пожаре.

Согласно действующему с 1 марта 2021 года СП 486.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Перечень зданий сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности» жилые многоквартирные здания должны оборудоваться автономными дымовыми пожарными извещателями [13]. Ранее автономные оптико-электронные дымовые пожарные извещатели следовало устанавливать в помещениях квартир и комнат общежитий только специализированных жилых домов для престарелых и инвалидов. Наряду с этим такие же извещатели предписывается устанавливать в помещениях квартир жилых зданий высотой 3 этажа и более для жилых зданий высотой более 28 м [14]. Однако СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные» предполагает оборудование автономными дымовыми пожарными извещателями жилых помещений квартир и общежитий (за исключением санитарных узлов, постирочных, душевых, ванных комнат, саун). Нормирование применения строительных изделий, извещающих о пожаре, вообще не предусмотрено [15]. На основании анализа вышеуказанных правил можно констатировать противоречие между социальным заказом на противопожарную защиту населения средствами автономной пожарной автоматики и отсутствием обязательных требований по их повсеместной установке в жилых зданиях.

Не смотря на это, по инициативе МЧС России в целях снижения последствий пожаров автономными пожарными извещателями оборудовано свыше 357 тысяч мест проживания многодетных семей. Значительное количество указанных извещателей установлено в Красноярском крае, Республике Башкортостан, Московской, Курганской, Тюменской, Челябинской, Иркутской, Кемеровской областях. Указанная мера в 2018-2020 годах уже позволила спасти жизни 912 человек, в том числе 455 несовершеннолетних [16].

Близко расположенные здания можно также контролировать средствами пожарной автоматики. Для тушения пожара на ранней стадии на каждом участке должна быть емкость с водой или исправный огнетушитель.

Проблематика обеспечения ПБ на селитебной территории неоднократно рассматривалась исследователями. основополагающие вопросы теплопереноса, теплового излучения рассмотрены С.В. Федосовым, В.И. Головановым, Ю.А. Кошмаровым, В.И. Козлачковым, В.И. Присадковым, И.В. Костериным, В.А. Горевым, Т.Ю. Ереминой и др. [17–28]. Аспекты управления ПБ в жилом секторе были отражены в работах А.А. Комарова, Ю.А. Андреева, В.А. Сулименко, К.Т. Нго, А.А. Казакова и др. [29–33]. Организационно-методические вопросы ПБ жилого фонда исследовались также и другими авторами [34–38]. Сейсмическая устойчивость и ПБ жилых домов [39–40]. Мониторинг технического состояния жилых домов [41–42]. Обеспечение ПБ деревянных конструкций жилых домов [43–44]. Конструктивная противопожарная защита жилых домов [45–48].

Таким образом, строительные материалы, применяемые при возведении МЖД во многом обуславливают их пожарную опасность. Модели, методы, алгоритмы обеспечения ПБ МЖД имеют ряд отличий от объектов иного назначения и исследовались специалистами как в России, так и за рубежом. В связи с развитием малоэтажного строительства наблюдается повышение интереса к применению новых подходов к обеспечению ПБ при строительстве МЖД. В следующем разделе рассмотрим понятие МЖД и используемые для его строительства строительные материалы.

1.2 Способы защиты малоэтажных зданий от пожаров

Известно, что способы защиты малоэтажных зданий и людей в них от пожаров определены статьей 52 технического регламента [8]. Следует отметить, что для ограничения распространения пожара за пределы очага в

МЖД в соответствии со статьей 59 технического регламента [8] могут быть использованы противопожарные преграды, разделение здания на пожарные отсеки или секции, установки пожаротушения.

Опыт зарубежных исследователей во многом сопоставим со способами защиты людей и имущества в МЖД от воздействия опасных факторов пожара. Так, например, Дж.А. Перкисс [49-51] говорит о том, что для обеспечения безопасности жизни посредством эвакуации, необходимо наличие средств для обнаружения пожара и управления эвакуацией [49]. Дж.А. Перкиссом системы обнаружения пожара разделяются на ручные, автоматические или их комбинацию [51].

По мнению Х.П. Моргана и Дж.П. Гарднера во время эвакуации любое накопление дыма должно происходить с учетом необходимости обеспечения видимости для эвакуируемых [52].

В свою очередь противопожарные преграды в соответствии со статьей 37 технического регламента [8] разделены на 7 типов. МЖД могут быть отделены друг от друга противопожарными стенами, противопожарными занавесами, шторами, экранами, противопожарными водяными завесами, противопожарными минерализованными полосами, противопожарными разрывами. Также могут быть использованы противопожарные перегородки и перекрытия.

Выбор типов противопожарных преград не регламентирован техническим регламентом [8]. Требования добровольного применения из СП 4.13130.2013 [9] не всегда приемлемы для определения противопожарного разрыва. В связи с чем, воздействие на МЖД теплового излучения от фронта пламени определяются расчетным путем.

1.3. Строительные материалы для малоэтажных зданий

В целях устойчивого развития строительной отрасли, в том числе и производства строительных материалов, обеспечения населения доступным и

комфортным жильем в настоящее время в России придается большое значение строительству МЖД.

Это также обусловлено рядом следующих преимуществ [53]:

менее продолжительный в сравнении с многоэтажным зданием срок возведения (возрастает скорость оборачиваемости капитала, происходит снижение финансовых рисков); относительно низкая стоимость объектов; эстетическая значимость; осуществление освоения территории, что особенно важно в условиях глобализации; эффективный способ принятия антикризисных мер для строительной отрасли.

С.Г. Шеина, М.В. Смогрунова, С.И. Шека и другие относят к малоэтажному строительству возведение жилых объектов «небольшой этажности, как правило, до трех этажей (таунхаусов, коттеджей)» [53]. К таунхаусам они относят блокированные жилые комплексы, состоящие из нескольких строений, соединенных общими боковыми стенами и единой архитектурной идеей, имеющие отдельные подъездные пути и гараж [53]. К коттеджам они относят небольшие жилые площади, предназначенные для проживания одной семьи с обязательным приусадебным участком. По мнению исследователей, коттеджи могут быть двух типов: простой (одноэтажный) и полуторазэтажный, в котором предусмотрен мансардный этаж (со скатными потолками) [53].

Вместе с тем СП 42.13330.2016 Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89* [54] определяет этажность до четырех этажей, включая мансардный, для отнесения к зоне застройки малоэтажными многоквартирными жилыми домами.

Рассмотрим виды строительных материалов, применяемых для малоэтажного строительства, их классификацию, а также связанную с этим пожарную опасность.

1.3.1. Виды строительных материалов, применяемых для малоэтажного строительства, их классификация и пожарная опасность

Для строительства малоэтажных зданий применяют различные строительные материалы с разной степенью пожарной опасности. С учетом исследований Ю.М. Баженова [55], С.В. Федосова [56], М.В. Акуловой [57], Б.В. Грушевского [58], В.П. Селяева, В.А. Неверова, А.К. Осипова, Л.И. Куприяшкиной, П.В. Селяева, А.А. Седовой, Н.Е. Фомина, К.Н. Нищева, О.Г. Маштаева, В.В. Сидорова, Кечуткиной Е.Л. [59] и других строительные материалы для малоэтажных зданий можно классифицировать по происхождению и по назначению.



Рисунок 1.3 Градация строительных материалов по назначению [58].

Для строительства малоэтажных зданий широко применяют природные каменные материалы, которые получают из горных пород в результате применения только механической обработки (раскалывания, дробления, распиливания, шлифования и др.). Эти материалы используются для строительства стен, обустройства полов, лестниц и фундаментов здания, облицовки фасадов и т.д. Горные породы используются также и в производстве искусственных каменных материалов (стекла, теплоизоляционных и композитных материалов, керамики и др.), а также в качестве сырья для производства вяжущих веществ (цементов, гипса, извести). Строительные материалы по происхождению разделяют на

искусственные и естественные [58]. По назначению строительные материалы разделяются на 5 групп. Указанные категории описаны на рисунке 1.3 [58].

В каменных материалах МЖД под воздействием высоких температур, не смотря на их негорючесть, происходят различные процессы, которые приводят к снижению прочности и разрушению. Свойства пожарной опасности строительных материалов определяются их горючестью, воспламеняемостью, способностью распространения пламени по поверхности, дымообразующей способностью, токсичностью продуктов горения [8].

Так, например, известняк на начальной стадии температурного воздействия можно охарактеризовать равномерным и незначительным температурным расширением. Он благодаря этому сохраняет свою прочность. Однако при дальнейшем повышении температуры происходит его разложение.

Минеральные вяжущие разделяют на воздушные и гидравлические.

Первые затвердевают, сохраняют и повышают свою прочность только на воздухе (воздушная известь, гипсовые и магнезиальные вяжущие, жидкое стекло и др.).

Вторые способны твердеть и длительное время сохранять и повышать свою прочность не только на воздухе, но и в воде (гидравлическая известь, глиноземистый цемент, роман-, портландцемент и его разновидности, специальные виды цементов).

Технический регламент [8] делит строительные материалы на горючие и негорючие. Такие параметры горючести как прирост температуры (не должно превышать 50°C), потеря массы образца (не должно превышать 50%), продолжительность устойчивого пламенного горения (не должно превышать 10 с) определяются экспериментальным путем и позволяют отнести строительные материалы к негорючим.

Примером негорючих строительных материалов могут быть

керамические изделия, которые получают, как правило, из глины. По назначению эти материалы и изделия для МЖД можно разделить на следующие виды [56-59]: стеновые изделия (кирпич, пустотелые камни, стеновые панели); кровельные изделия (черепица); изделия для облицовки фасадов (малогабаритные плитки, лицевой кирпич, наборные панно, архитектурно-художественные детали); изделия для внутренней облицовки стен (глазурованные плитки и фасонные изделия к ним); заполнители для легких бетонов (керамзит, аглопорит); теплоизоляционные изделия (перлитокерамика, ячеистая керамика и др.); санитарно-технические изделия (умывальники, ванны, унитаза); плитка для пола; огнеупоры; изделия для подземных коммуникаций.

При пожаре пористые строительные материалы могут поддаваться воздействию умеренно высоких температур. Как следствие возможна усадка соответствующих конструкций МЖД [58].

Воздействие температуры пожара на плотные керамические изделия является несущественной, так как не превышает температуры их обжига.

Применение силикатного кирпича такое же, как и у керамического. Однако при воздействии сточных и грунтовых вод он может разрушаться. В связи с чем, не желательно использовать силикатный кирпич для закладки фундаментов и возведения стен МЖД, эксплуатация которых предусматривается при высокой влажности. Кроме того, не допускается использование силикатного кирпича для возведения печей, дымоходов, то есть там, где при эксплуатации предусматривается высокотемпературное воздействие.

При пожаре, когда температура поднимается выше 500°C наблюдается процесс дегидратации некоторых соединений. К ним относятся гидросиликаты кальция, а также гидраты оксида кальция. Это приводит к структурным изменениям в камне и понижает прочность. Достижение температуры в 575°C обуславливается модификационным превращением кварца. Это связано со скачкообразным увеличением

объема, что также значительным образом понижает прочность. Особенностью силикатобетона является то, что в условиях высокотемпературного воздействия он в большей степени имеет склонность к взрывообразному разрушению, в сравнении с цементным тяжелым бетоном [58, 59].

Железобетон представляет собой строительный материал, в котором соединены в единое целое затвердевший бетон и стальная арматура, совместно работающие в конструкции. В железобетоне арматуру располагают так, чтобы она воспринимала растягивающие усилия, а сжимающие передавались на бетон. Совместная работа бетона и арматуры обусловлена большими силами сцепления между ними при равных величинах температурных деформаций. При этом арматура в бетоне хорошо защищена от коррозии. Исследованиями вопросов поведения железобетона на пожаре занимаются В.И. Голованов [23], С.В. Федосов [17], Н.П. Копылов [60], В.И. Присадков [26], И.В. Костерин [26] и другие.

В строительстве МЖД также находят широкое применение металлы. Их используют для возведения каркасов в виде стальных прокатных профилей. Значительное количество стали идет на создание арматуры для изготовления железобетона. В МЖД применяются трубы из стали и чугуна, а также кровельная сталь. Легкие строительные конструкции из алюминиевых сплавов в последние годы стали более широко применяться для строительства МЖД.

Поведение конструкций из металлов на пожаре изучалось Н.П. Копыловым [60], И.Р. Хасановым [60], М. Холмсом [61], Р.Д. Анкхором [61], Р.Н. Крук [61], В.А. Горевым [27], Т.Ю. Ереминой [28] и другими. Данные исследования показывают, что в условиях пожара ухудшается поведение арматурной стали, которые получали дополнительное упрочнение методами холодной протяжки (наклепа) или термической обработки. Причиной этому явлению служит утрата прибавки прочности. Это обусловлено тем, что в результате искажения кристаллической решетки

придается дополнительная прочность для данной стали, а при нагревании происходит возвращение кристаллической решетки в равновесное состояние.

Различные виды проката изготавливаются из алюминиевых сплавов: двутавры, уголки, трубы, швеллеры, плоские и волнистые листы и т. д. Высокий температурный коэффициент температурного расширения (в 2-3 раза больше, чем у стали) является существенным недостатком изделий из алюминиевых сплавов. Это приводит к увеличению количества температурных швов. В результате нагревания резко снижаются физико-механические показатели таких изделий. При температуре 235-325 °С предел текучести и предел прочности алюминиевых сплавов, которые применяются в строительстве МЖД, снижаются примерно в 2 раза [58].

Другими строительными материалами и изделиями, широко применяемыми при строительстве МЖД, изготавливаются на основе минеральных расплавов. К ним можно отнести стеклянные материалы, изделия из шлаков и каменного литья, ситаллы и шлакоситаллы.

Материалы и изделия из минеральных расплавов, как правило, являются негорючими и не способствуют развитию пожара. За исключением материалов, содержащих некоторое количество органического связующего. К таким материалам можно отнести теплоизоляционную минеральную плиту, кремнеземную плиту, плиту и рулонный мат из базальтового волокна. Количество введенного связующего значительным образом влияет на горючесть этих материалов [55, 58].

Оконное стекло, являющееся одним из самых распространенных материалов, при пожаре не выдерживает длительные тепловые нагрузки. Температура стекла, подвергающегося лучистому и конвективному нагреву, но без прямого воздействия пламени, увеличивается медленно. В этих условиях стекло может выдержать нагрев и довольно долго не разрушаться. После начала воздействия пламени на поверхность стекла, почти сразу происходит его разрушение в световых проемах [18, 58].

Аналогичным является поведение армированного и обычного стекла:

разрушение происходит при прошествии незначительного периода времени после начала пожара. Вместе с тем металлическая сетка продолжает удерживать отдельные куски стекла после его растрескивания, что позволяет обеспечить довольно результативное воспрепятствование притоку свежего воздуха в очаг пожара и выпуску продуктов горения [58].

Значительно большую огнестойкость по сравнению с листовым стеклом имеют конструкции из блоков, камней, плиток, которые были получены на основе минеральных расплавов. Это обусловлено тем, что даже при их растрескивании, ими продолжается несение нагрузки. Они остаются достаточно дымо непроницаемыми. Пористые материалы из минеральных расплавов в течение длительного периода времени исполняют теплозащитную функцию, так как их структура сохраняется почти до температуры плавления. Эти материалы обладают незначительным коэффициентом теплопроводности. Более глубокие слои данного материала могут выполнять теплозащитную функцию даже в момент оплавления стороны, обращенной к огню.

Изучению теплофизических характеристик строительных материалов на основе минеральных расплавов посвящены работы Е.А. Яценко [62], П.П. Польского [63], Д.Р. Маиляна [63], А.Н. Давидюк [64] и других.

Рассмотрим другой материал, который является одним из самых распространенных, но горючих строительных материалов для возведения МЖД. Этим материалом является древесина. Она обладает такими качествами, как сравнительно высокая прочность, небольшая плотность, достаточная упругость, малая теплопроводность, легкость механической обработки, долговечность. Конструкции из древесины в условиях нормальной эксплуатации могут сохраняться длительный период времени [58]. Древесину используют для изготовления несущих конструкций зданий: ферм, арок, балок, прогонов, стропил, каркасов, а также ограждающих элементов: стеновых панелей, перегородок. Древесина также используется для изготовления столярных изделий для МЖД: окон, дверей, полов,

плинтусов, наличников. В строительстве древесину применяют в виде круглых лесоматериалов или пиломатериалов. Древесно-волоконистые, древесно-стружечные плиты, фибролит, арболит содержат в своем составе отходы древесины. Также широкое распространение получили клееные конструкции и детали из древесины [58, 65].

Характеристики строительных изделий и конструкций из древесины изучались С.В. Федосовым [66], В.Н. Волынским [65], Е.Н. Покровской [29], В.Н. Глухих [67], Н.П. Копыловым [60], В.Г. Котловым [66], Ж.К. Макишевым [43] и другими.

Одним из направлений понижения пожарной опасности древесины является проведение огнезащитной обработки. Существующие способы огнезащиты древесины различаются по механизму огнезащитного эффекта. К ним можно отнести использование термоизолирующей одежды, нанесение огнезащитных красок и обмазок, проведение огнезащитной пропитки [68].

Связующим для огнезащитных красок и обмазок могут служить: жидкое стекло, цемент, сульфитный щелок, известь, гипс, глина и др. Пигментами являются литопон, цинковые белила, мумия, оксид хрома, охра, железный сурик и др. В качестве наполнителей применяются асбест, мел, вермикулит, тальк, зола-унос ТЭЦ и другие [58].

В отечественной практике группы горючести материалов варьируются от слабогорючих (Г1) до сильногорючих (Г4) в зависимости от температуры дымовых газов, степени повреждения по длине и массе, продолжительности самостоятельного горения [8]. Рассматривая классификацию Европейского союза (по EN 13823 (SBI)), отметим различие в подходах к параметрам классификации и проведению соответствующих испытаний [69-71].

Как известно, под воздействием маломощного источника огня покрытые огнезащитными составами деревянные конструкции не могут воспламениться. В этом заключается механизм огнезащитного эффекта красок и обмазок.

В условиях развившегося в помещении пожара огнезащитное покрытие

конструкций непродолжительный период времени осуществляет сдерживание прогрева конструкции, а также осуществляется препятствие появлению горючих веществ, возникающих в результате термического разложения древесины, поверхность конструкции защищается от распространения огня. При разложении некоторых покрытий (например, фосфатных) происходит выделение газообразных веществ, которые являются ингибиторами процесса горения. Это приводит к усилению огнезащитного эффекта за счет разбавления концентрации выделившихся из древесины горючих веществ и приданию смеси негорючих свойств [58, 68].

Рассмотрим следующую группу строительных материалов. Это полимерные строительные материалы (далее - ПСМ), которые обычно состоят из нескольких компонентов: полимера, наполнителей, пластификаторов, антипиренов, стабилизаторов, красителей и других компонентов. В редких случаях ПСМ состоят из одного полимера, например неокрашенные полиэтиленовые пленки [58]. Эти изделия, как правило, характеризуются высокой дымообразующей способностью. По воспламеняемости различают три вида строительных материалов (трудновоспламеняемые (В1), умеренновоспламеняемые (В2), легковоспламеняемые (В3)) в зависимости от критической поверхностной плотности теплового потока [7]. Указанная классификация отличается от европейской по EN 11925-2, так как оценка воспламеняемости осуществляется по условиям уже развившегося пожара [69, 70, 72].

Технический регламент [7] по дымообразующей способности делит строительные материалы также на три вида (Д1-Д3) в зависимости от коэффициента дымообразования. Европейские методы по EN 13823 (SBI) (не для напольных покрытий) EN ISO 9239-1(для напольных покрытий) позволяют определить дымообразующую способность [69- 71, 73].

Строительные материалы из полимеров классифицируют по различным признакам: типу полимера (поливинилхлоридные, полиэтиленовые, фенолоформальдегидные и др.); технологии производства (экструзионные,

литьевые, вальцово-каландровые и др.); по назначению в строительстве (конструкционные, отделочные, материалы для полов, теплозвукоизоляционные материалы, трубы, санитарно-технические и погонажные изделия, мастики и клеи). Классификация строительных материалов по распространению пламени осуществляется на основании соответствующего индекса. В связи с чем выделяют три группы [8]. При рассмотрении европейской системы по EN 13501-1–2001 и EN ISO 9239-1 (для напольных покрытий) можно установить существенное отличие в подходах. Это обусловлено отличием установок для проведения испытаний [69, 70, 73, 74].

Классификация строительных материалов по скорости распространения пламени по поверхности осуществляется на основе критической поверхностной плотности теплового потока. Выделяются четыре группы, от нераспространяющих (РП1) до сильнораспространяющих (РП4) [8].

Основными представителями пластмасс, применяемых для возведения несущих, ограждающих и других строительных конструкций, являются древесно-слоистые пластики и стеклопластики, полимерные бетоны.

Отделочные ПСМ выпускаются в виде листовых, плиточных и рулонных материалов. Строительные материалы по токсичности продуктов горения бывают малоопасными (Т1), умеренноопасными (Т2), высокоопасными (Т3), чрезвычайно опасными (Т4) [8]. В европейских странах этот параметр не определяется [69, 70].

При строительстве МЖД используются также горючие теплоизоляционные материалы. К ним можно отнести различного рода плиты, строительный войлок, пенополистирол, пенополивинилхлорид, пенополиуретан и мипора и другие.

Приведенные классификации строительных материалов позволяют определить степень их пожарной опасности. Однако в большинстве случаев для МЖД нет ограничений по применению менее пожароопасных

строительных материалов. Это обуславливает необходимость использования иных способов противопожарной защиты МЖД, в том числе и посредством использования строительных изделий специального назначения.

1.3.2 Обзор существующих строительных изделий специального назначения

В целях поиска информации о наружных стеновых изделиях для дистанционной диагностики пожарной безопасности малоэтажных зданий в условиях интенсивного теплового воздействия, установления действующих на территории Российской Федерации патентов на строительные изделия специального назначения, под действие которых подпадает исследуемый объект, проведены патентные исследования в соответствии с ГОСТ Р 15.011-96 [75]. Патентные исследования были проведены на патентную чистоту объекта техники по описаниям к свидетельствам, заявкам и патентам [76-104]. Поиск проводился на глубину не менее 20 лет.

Наиболее близким техническим решением к предлагаемому совмещенному с пожарным извещателем бетонному блоку (далее – СПИ ББ [105]) является бетонный блок [79], имеющий боковые стороны, и характеризующийся тем, что в него монолитно вмонтирован монтажный короб, в котором закреплены монтажные коробки, внутри каждой из которых закреплены электрические розетки, выходящие на боковую сторону бетонного блока и соединенные с электрическими кабелями, выходящими из монтажного короба бетонного блока наружу, при этом в бетонный блок монолитно вмонтированы закладные.

Недостатком данного блока является то, что он не предназначен для установки собирающей линзы и пожарного извещателя (далее – ПИ).

Технический результат, заключающийся в расширении функциональных возможностей бетонного блока, достигается благодаря взаимодействию собирающей линзы и ПИ, вследствие чего появляется

возможность ориентации этого блока в сторону потенциально угрожающего пожаром объекта (здания или сооружения), позволяющей вызывать срабатывание ПИ при пожаре и исключать вероятность самосрабатывания ПИ в результате нагрева или попадания солнечных лучей на него.

Исключение вероятности ложного срабатывания ПИ достигается за счет того, что падающие на линзу под некоторым углом к основной оси солнечные лучи собираются в одной точке (на побочном фокусе). Данный фокус расположен на стенке цилиндрического канала, имеющего форму продольного плиссе и (или) покрыта светопоглощающей краской. При этом благодаря высокой поглощательной способности цилиндрического канала падающие на линзу под некоторым углом лучи не будут попадать в рабочую зону ПИ.

Размещение ПИ внутри бетонного блока сокращает агрессивное воздействие на него окружающей среды. Использование ПИ вне блока в результате воздействия окружающей среды может привести к возникновению неисправностей, а также срабатыванию в результате нагрева солнечными лучами.

1.3.3 Способы изменения качественных характеристик бетонных изделий

Учитывая то, что создание наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики и обеспечения комплексной безопасности МЖД предполагает использование электрических сетей и приборов, рассмотрим подробнее способы снижения проницаемости бетона в целях исключения случаев попадания воды на электрооборудование данного изделия.

Условно способы изменения качественных характеристик бетонных изделий, влияющие на их проницаемость, можно разделить на пять групп: цементная (первая), наполнительная (вторая), соотносительная (третья), поверхностная (четвертая), комбинированная (пятая).

Первая группа способов предполагает подбор цемента, характеристики которого имеют большое значение для проницаемости бетонного изделия. Цемент можно охарактеризовать при помощи минералогического состава и дисперсности. При этом разные виды напрягающих и расширяющихся цементов обладают наименьшей проницаемостью. Для уменьшения проницаемости в рамках создания микрокапиллярной структуры цементного камня и существенного снижения объема макрокапилляров увеличивают тонкость помола цемента. Однако возрастает водопотребность такого цемента, снижается трещиностойкость получаемого бетона [106].

Реализация второй группы способов включает в себя выбор заполнителя для бетонной смеси, который можно охарактеризовать при помощи гранулометрического, минералогического состава, шероховатости поверхности, пористости, содержания агрессивных реагентов [106]. Для того чтобы снизить проницаемость бетона, как правило, в качестве заполнителей используют твердые породы (например, базальт, порфир, доломит, андезит) [106]. В исследовании А.А. Хасиева предложен модифицированный заполнитель на основе отходов камнедробления, который повышает степень адгезии в контактной зоне «цементный камень-заполнитель». В результате этого образуются низкоосновные силикаты кальция, снижается проницаемость бетона [107].

Определение состава бетонной смеси, учет водоцементного отношения, выбор соотношения цемента и заполнителей (в том числе мелкого и крупного заполнителей) входят в третью группу способов. Уменьшение водоцементного отношения до определенного значения позволяет снизить как пористость, так и проницаемость бетона. Однако при превышении этого оптимального значения эти показатели повышаются [106].

К резкому увеличению проницаемости бетона приводит также недостаточное уплотнение смеси. Однако расслоение смеси может быть вызвано излишним вибрированием, повышающим внутреннее водоотделение и проницаемость бетона. Непроницаемый бетон получают, как правило,

уплотняя бетонную смесь при минимальной подвижности, которая допускается способом уплотнения [106].

А.Э. Бегляровым предложена технология получения стеновых изделий объемным прессованием с заданными характеристиками, включая сопротивление паропрооницанию. Автором раскрыта физическая сущность уплотнения масс на полистироле под воздействием избыточного давления, а также фильтрации формовочной влаги [108].

Четвертая группа способов подразумевает использование защитных, в особенности полимерных покрытий, которые можно охарактеризовать такими показателями как: высокое сцепление с поверхностью бетона, высокая прочность, эластичность и трещиностойкость, низкая проницаемость для агрессивных сред, долговечность и экономичность. Как правило, это покрытия на полимерной основе: лакокрасочные, полимерцементные, мастичные, пленочно-плиточные, листовые. В мире для защиты бетонных изделий (конструкций) широкое распространение получили эпоксидные составы [106, 109].

Многие исследователи уделяли внимание изучению проблемы создания защитных покрытий для сельской местности. И.К. Язиков разработал для сельского строительства грунтоматериалы с полимерно-цементным защитным покрытием [110]. А.П. Пичугин предложил коррозионностойкие материалы для применения в сельскохозяйственных зданиях [111]. Т.А. Низина, В.П. Селяев, Д.Р. Низин, Д.А. Артамонов, Н.С. Канаева проводили фрактальный анализ кривых деформирования эпоксидных полимеров при растяжении [112]. Изучение характеристик гидроизоляции на основе полимерных композиций осуществляли Е.Н. Глебов, Л.Ш. Сибгаттуллина, И.А. Стоян и другие [109, 113-115].

К данной группе также можно отнести плазменную обработку поверхности бетонных изделий, описанную в статье [116]. В данном случае лицевою поверхность бетонных изделий перед нанесением покрытий на основе электрокорунда, жидкого стекла и боя керамики предлагается

подвергнуть тепло-влажностной обработке, а затем оплавливать плазменной струей.

Е.А. Безуглова предложила в качестве защитного покрытия использовать гидроизоляционный обмазочный материал на цементной основе «МИНСЛАШ-12» [117].

Пятая группа способов предполагает использование способов из предыдущих групп в различных комбинациях. К этим способам можно отнести повышение эксплуатационных характеристик бетона при помощи пропиточных солевых растворов, предложенное Н.Г. Бровкиной [118]. В данном случае для пропитки бетонов, растворов и цементного камня раствор соли наносился на поверхность образцов кистью. Также предлагалось увеличивать водонепроницаемость затвердевших бетонов при помощи солей проникающей гидроизоляции [118].

Учитывая механизм гидрофобного действия добавки органической фракции нефтеотходов, предложенной В.Д. Тухарели, способ получения модифицированного таким образом бетона также может быть отнесен к пятой группе. Получаемый при этом бетон характеризуется увеличением на 30-35% прочности при сжатии и при изгибе испытываемых образцов при введении добавки от 0,1 до 0,5 % от массы цементного вяжущего. При увеличении плотности бетона на 9-12% его водопоглощение уменьшалось в 2 раза [97]. Автор предлагает рассматривать данную добавку как дисперсную среду, которая повторяет сочетание соединений, входящих в состав нефти. При этом компоненты описанной системы являются растворителями друг друга. Этот модификатор оказывает комплексное гидрофобно-пластифицирующее действие [119].

Зарубежные исследователи также считают, что модифицированные эпоксидной смолой бетоны более подходят для постоянно влажных условий [106, 109].

Модификация строительных изделий при помощи полимеров возможна в результате нанесения последних на поверхность изделия, включением

полимеров в смесь (бетонную или растворную), пропитка готовых изделий [109].

Отдельно необходимо остановиться на рассмотрении герметиков. Данные строительные материалы, предназначены, как правило, для качественного обеспечения защиты от воздействия влаги и разрушения в результате механического воздействия на стыки строительных конструкций. Они должны быть способны к противостоянию воздействию внешних факторов. К этим факторам можно отнести колебание температур, воздействие ультрафиолетового излучения, водных сред, а также агрессивных сред, возникающих вследствие производственной деятельности человека [120-126].

Результат применения герметиков на швах и стыках строительных конструкций (изделий) очень часто зависит от стабильности температуры в помещении, отсутствия сквозняков, попадания влаги, освещенности места проведения работ, отсутствия воздействия в результате одновременного выполнения нескольких строительных операций [123]. Эти факторы напрямую не всегда зависят от состава материала и исполнителя работ.

В настоящее время на рынке строительных материалов довольно широко представлены импортные герметики. Однако в рамках импортозамещения появляются и отечественные разработки. По мнению многих исследователей [123, 126] полиуретановые герметики обладают достаточной эластичностью, способностью противостоять разрыву, истиранию и проколу.

У. Болтоном, В.В. Михеевым, И.Г. Овчинниковым и рядом других исследователей по технологическим и физическим свойствам, отверждению герметики подразделяют на полимеризующиеся и вулканизирующиеся, высыхающие и невысыхающие [123-125].

В промышленности для уплотнения фланцевых соединений наибольшее распространение получили полимеризующиеся и вулканизирующиеся герметики. К вулканизирующимся герметикам в

зависимости от типа каучука относят тиоколовые (полисульфидные), силиконовые, силоксановые, фторсилоксановые, фторкаучуковые и другие [120].

Очень часто для уплотнения фланцевых соединений используются анаэробные полимеризующиеся герметики. Основой для этих герметиков служат смолы мета-крилового и акрилового ряда, которые способны в течение длительного времени обеспечивать вязкотекучее состояние в присутствии кислорода воздуха и стремительно затвердевать в узких зазорах при нарушении контакта с ним [120, 123].

Наибольшее распространение в машиностроении получили силиконовые и анаэробные герметики [120]. Деформационно-прочностные свойства герметизатора, связанные с кинетикой отверждения анаэробных и силиконовых герметиков имеют существенное значение для обеспечения герметичности неподвижных фланцевых соединений.

В исследовании Л.Ю. Матвеевой, П.Б. Кукса, М.А. Ефремовой, А.В. Ястребинской определялось водопоглощение полиуретановых образцов и наполненного композиционного материала. В результате был получен материал, удовлетворяющий требованиям строительства, в том числе его физико-механические, адгезионные характеристики и водопоглощение соответствовали предъявляемым требованиям [122].

Специалистами ФГУП «ВНИПИИстромсырье» в рамках усовершенствования герметиков НГМ-У, Тегерон, ГНС, а также разработки Бутизола-МОК, Герметика-М-Бутилового, Липлента предприняты меры по исключению перехода из герметика в строительные материалы пластификатора. Совместно с Казанским заводом синтетического каучука предложен силиконовый герметик Паросил, уретановый герметик Гелур. Совместно с ФГУП «НИИСК им. Академика С.В. Лебедева» разработан герметик, основой которого является олигомерный уретановый каучук с концевыми алкоксильными группами [121].

Другая разработка ФГУП «НИИСК им. Академика С.В. Лебедева» является полиуритановым эластомером с химически привитыми изоцианатными функциональными группами. Они включают также различные добавки и наполнители. Благодаря различным вариациям композиций удалось создать целую серию материалов «Гидрофор». Данные материалы применимы в качестве защитных покрытий в целях гидроизоляции и противодействия коррозии. Комбинирование видов и количества компонентов позволяет находить приемлемые варианты по качеству, цене и сроку службы этого материала [121, 122].

С учетом изложенного выбор способа изменения качественных характеристик наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики и обеспечения пожарной безопасности малоэтажного здания должен осуществляться с учетом принципа разумной достаточности в целях исключения неоправданного удорожания данного изделия.

Учитывая описанную выше пожарную опасность строительных материалов для малоэтажных зданий, рассмотрим способы их защиты от пожаров.

1.4 Обзор существующих методов испытания пожарных извещателей

В приложении М [14] предлагается при проектировании систем противопожарной защиты выбирать типы пожарных извещателей (дымовой, тепловой, пламени) в зависимости от назначения защищаемого помещения и вида пожарной нагрузки. В пункте 4.3. [13] указано, что это решение принимается проектировщиком. Рекомендации по установке пожарных извещателей вне помещений отсутствуют. Это во многом обусловлено большим количеством факторов внешнего воздействия на извещатель, которые исключают возможность использования дымовых пожарных извещателей, а применение тепловых и пламени – требует дополнительного изучения.

Согласно пункту 4.5 [127] температура срабатывания извещателей пожарных тепловых точечных (далее – ИП) варьируется, как правило, от 54 до 160°С для классов А1-Г. Для класса Н температура срабатывания предусматривается выше 160°С. При этом допуск на температуру срабатывания должен быть не более 10 %.

До непосредственного проведения испытаний ИП осуществляют случайную выборку 6 извещателей. Затем проводят огневые испытания 4 ИП, фиксируют время срабатывания при различных положениях 1 ИП относительно направления воздушного потока, определяют температуру срабатывания 6 ИП, устанавливают время срабатывания 2 ИП при различных скоростях повышения температуры, фиксируют время срабатывания 5 ИП перед испытаниями на внешние воздействия, для 1 ИП определяют устойчивость при изменении напряжения питания, для 1 ИП определяют устойчивость в условиях сухого тепла, для 1 ИП определяют устойчивость в условиях холода, для 1 ИП определяют устойчивость в условиях влажного тепла, постоянного режима, затем электрическую прочность и сопротивление изоляции, для 1 ИП определяют устойчивость после прямого механического удара, для 1 ИП определяют устойчивость в условиях синусоидальной вибрации, для 1 ИП проверяют электромагнитную совместимость, а также ПБ 1 ИП.

Перечисленные испытания не в полной мере могут охарактеризовать наружные стеновые изделия для дистанционной диагностики и обеспечения комплексной безопасности МЖД в условиях интенсивного теплового воздействия. Указанное обстоятельство обусловлено тем, что огневые испытания ИП проводятся в замкнутом помещении. При этом ИП закреплены на потолке. Предлагаемые же стеновые изделия предполагается эксплуатировать вне помещений и устанавливать на стене. В качестве тестового очага предполагается [127] горение легковоспламеняющейся жидкости (ТП-6), хотя для пожаров в МЖД характерно открытое горение древесины (ТП-1).

Описанная в приложении Г [127] тепловая камера для измерения времени и температуры срабатывания ИП предполагает подачу нагретого воздуха на ИП, что не приведет к срабатыванию предлагаемых стеновых изделий из-за их герметичности. Аналогичный подход к проверке ИП отражен и в зарубежных стандартах [128-124].

Так как своды правил [13, 14] не предполагают применение ПИ в помещениях с мокрыми процессами, ГОСТ [127] не содержит в себе соответствующие методики проведения испытаний при воздействии влаги. Оценивая надежность СПИ ББ, необходимо установить значение влажности воздуха внутри данного строительного изделия, так как ПИ не может работать при значении выше 93%. Во многом аналогичные исследования предполагает ГОСТ 30971-2012 [132].

Данный стандарт [132] предусматривает методику оценки водопроницаемости для узлов крепления оконных блоков к проемам в стенах. Для этого используется специальное дождевальное устройство, подключаемое к источнику водоснабжения с давлением 200-240 кПа. Программа проведения испытаний определяет конкретные места подачи воды и их количество.

Проведение испытаний осуществляется в дневное время при температуре воздуха не ниже 5 °С. При этом температура подаваемой воды варьируется от 6 °С до 20 °С. Форсунку дождевального устройства размещают под углом $(90\pm 15)^\circ$ к поверхности испытуемого объекта. Сопло форсунки дождевального устройства располагается на расстоянии (300 ± 30) мм от поверхности участка, на который осуществляется воздействие. Воду подают в течение 5 мин, перемещая форсунку вдоль объекта. Подача воды осуществляется с начала на нижерасположенные участки, затем - на вышерасположенные участки. При этом осуществляется наблюдение за внутренней поверхностью шва на предмет выявления протеканий и их фотофиксацией.

При отсутствии обнаружения протечек в течение 5 мин подачи воды испытатели переходят на следующий участок. Замер влажности воздуха со стороны, противоположной месту подачи воды, не осуществляется.

Очевидно, что подходы к продолжительности испытаний и порядку его проведения в данном ГОСТе [132] отличаются от ГОСТ 12.1.005-88 [133], в соответствии с которым определяется влажность воздуха.

Вместе с тем процесс вытекания капель из цилиндрического канала, по мнению многих исследователей [134], представляется случайным. Изначально считалось, что интервалы между отрывом одной и другой капли подчинены нормальному распределению. Позднее в случайных процессах были выявлены детерминированные закономерности, описанные нелинейными уравнениями [134].

Исследования в данной области проводили Дрейер К., Хиккей Ф.Р., Нида З., Бако Б., Риз И. и другие [135, 136]. Благодаря использованию современных информационных технологий процессы падения капель стало возможным иллюстрировать совокупностью расположенных в определенном порядке на плоскости точек. Здесь по оси ординат откладываются периоды между выпадением двух капель, а по оси абсцисс следующие периоды [134].

В рамках исследования Белова В.К., Идрисова И.Н, Леднова А.Ю. данного процесса, охарактеризованного как «упорядоченный хаос», при помощи лабораторной установки были установлены сложные взаимосвязи. Данные взаимосвязи возникали в определенный момент и при изменении скорости истечения жидкости. В результате авторы пришли к выводу, что случайность имеет детерминированное основание, а полученные изображения говорят о множественной бифуркации процесса [134].

С учетом изложенного, а также на основании анализа имеющихся патентных источников, при испытании СПИ ББ необходимо учитывать следующие факторы разбрызгивания капель:

- обеспечение регулировки расхода воды при разных условиях, и в трубопроводах, и в местах выпуска воды;

- предотвращение возникновения засора камер и трубопроводов капельниц;
- обеспечение надежной работы элементов и узлов системы подачи капель, в том числе и посредством упрощения конструкции.

Описанные выше методы испытания ИП не могут быть применены для испытания наружных стеновых изделий, используемых для дистанционной диагностики и обеспечения комплексной безопасности МЖД в условиях интенсивного теплового воздействия. Необходима разработка нового метода испытания данных изделий.

1.5. Обзор математических методов определения теплофизических характеристик

Теоретические основы моделирования интенсивного теплового воздействия на изделие заключены в теории теплопереноса, которая учитывает взаимосвязанность характеристик изделия и высокотемпературного источника. Значительные достижения в данной области принадлежат А.В. Лыкову, Ю.А. Михайлову, С.В. Федосову, В.А. Зайцеву и другим [137-144].

Учитывая то, что основным тепловоспринимающими частями изделия являются стальной диск черного цвета и бетонный блок, представляющий собой серое тело, сложность происходящих процессов и многообразие определяющих факторов указывают на необходимость использования упрощенных моделей [143, 145].

В настоящее время теплофизические характеристики можно определить при помощи значительного количества методов. Условно эти методы можно разделить на две группы: стационарные и нестационарные [137-145]. Неизменность во времени температурных полей представляет собой основу стационарных методов. Следовательно, их можно отнести к более простым. Применительно к нашему исследованию следует отметить

зависимость интенсивности облучения горючего материала от воздействия теплового излучения от фронта пламени в известном стационарном методе, изложенном в приложении 3 ГОСТ 12.1.004-91 [146]. Получаемые в результате расчета значения интенсивности облучения позволяют определить выполнение условия безопасности при пожаре после сравнения с критическим значением для конкретного горючего материала.

В данном случае интенсивность облучения рассчитывается по формуле 1.1 [146]

$$g_p = 5,7 \varepsilon_{np} \left[\left(\frac{T_\phi}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{св}}{100} \right)^4 \right] \varphi_{1\phi}, \quad (1.1)$$

где 5,7 - коэффициент излучения абсолютно черного тела, Вт·м⁻²·К⁻⁴;

ε_{np} - приведенная степень черноты системы, определяемая расчетным путем по формуле (1.2) [146];

$$\varepsilon_{np} = \left(\frac{1}{\varepsilon_\phi} + \frac{1}{\varepsilon_в} - 1 \right), \quad (1.2)$$

ε_ϕ - степень черноты факела (при горении дерева равна 0,7);

$\varepsilon_в$ - степень черноты облучаемого вещества, принимается по справочной литературе [146];

T_ϕ - температура факела пламени, К; для древесины и изделий из неё среднее значение принимается 1300 К по [147],

$T_{св}$ - температура горючего вещества, К;

$\varphi_{1\phi}$ - коэффициент облученности между излучающей и облучаемой поверхностями.

Существуют также метод плоского слоя и метод продольного теплового потока. Эти методы могут применяться для исследования твёрдых тел. Однако, они имеют ряд недостатков. К ним относится отсутствие возможности одновременного определения коэффициентов теплопроводности, теплоемкости и температуропроводности. Необходимо также отметить высокую стоимость применения этих методов.

Один из таких методов описан в статье [148]. Здесь рассмотрена модель тела с бесконечно малым внутренним сопротивлением цилиндрической симметрии, которое находится в идеальном тепловом контакте с неограниченной внешней средой. При этом температура внешней среды на бесконечности постоянна, а энтальпия тела меняется периодически по произвольному закону. Определяется изменение температуры тела за произвольный промежуток времени и тепловые потери.

Следует отметить, что идея определения теплофизических характеристик в условиях изменения температуры во времени лежит в основе второй группы методов. Численным моделированием пожаров и их последствий занимались ученые Н.Н. Брушлинский, Ю.А. Кошмаров, Н.П. Копылов, А.Н. Баратов, В.Л. Страхов, С.В. Пузач, Б. Сполдинг, Б. Льюис, Г. Эльбе и другие [60, 149-165].

Методы разделения переменных (метод Фурье), метод функций источников (метод Грина), метод интегральных преобразований (методы Лапласа-Карсона, Лапласа, Ханкеля, Фурье) используются для решения линейных краевых задач тепломассопереноса [143, 145, 166].

Решение задач теплопереноса в твердом теле (стальной диск изделия) может быть осуществлено при помощи следующих методов:

- метода моментов, метода коллокаций, метода интегрального теплового баланса, метода Бубнова-Галеркина (проекционные);
- методов Ритца, Канторовича, Био, Лейбензона (вариационные);
- метода возмущений (малого параметра), методов алгебраических (интегральных) подстановок, метода последовательных приближений (линеаризации);
- сведения краевой задачи к уравнениям и задачам других типов.

У каждого из приведенных методов есть определенные достоинства и недостатки. Например, неравномерное начальное распределение температур и линейные граничные условия в телах можно описать при помощи метода Фурье. Решение представляет собой бесконечный ряд по собственным

функциям. Большие значения числа Фурье позволяют ограничиваться первым членом ряда. Уменьшение числа Фурье требует учета большего числа членов ряда для достижения заданной точности в расчетах. При малых значениях числа Фурье (менее 0,1) ухудшается сходимость ряда.

Описанные выше методы применимы для решения уравнений с постоянными коэффициентами. Вариационные или численные методы позволяют решать краевые задачи теплопроводности для тел с переменными теплофизическими свойствами с необходимой точностью. При этом сходимость ряда также ухудшается при уменьшении числа Фурье.

Рассматривая основные подходы к решению неоднородных уравнений теплопроводности, в случае изменения плотности распределения подвижного источника тепловой энергии по определяющей координате во времени А. Тамир, С.В. Федосов, В.Е. Мизонов, А.Б. Иванов и ряд других отмечают предпочтительность ячеечных моделей, которые базируются на теории цепей Маркова и связаны с ними матрицами переходных вероятностей [17, 21, 167].

Разделение процесса теплопереноса на n элементарных микропроцессов, в рамках которых теплофизические параметры фаз могут считаться постоянными, позволяют свести нелинейную задачу теплопереноса к совокупности n линейных задач. В этом заключается предложенный С.В. Федосовым метод «микропроцессов» [17, 22, 168]. Данный метод представляется наиболее приемлемым для описания динамики теплопереноса в предлагаемом изделии.

Исходя из этого, необходимо решить задачу расчета рабочих параметров наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики и обеспечения пожарной безопасности МЖД на основе теории протекающих при этом микропроцессов. При этом при моделировании температурных процессов в указанных изделиях необходимо учитывать систему дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных. Полученные аналитические решения ряда краевых задач теплопереноса

должны стать основой разработки инженерного метода расчета, удобного в применении.

1.6. Постановка задач исследования

В связи с развитием малоэтажного строительства наблюдается повышение интереса к совершенствованию обеспечения ПБ, в том числе и посредством применения новых строительных изделий и технических средств обнаружения пожаров. Существующие подходы к обеспечению ПБ, как правило, не предполагают установку в малоэтажных зданиях средств пожарной автоматики для обнаружения пожара в другом малоэтажном здании или хозяйственной постройке, а также требований к таковым средствам [169-184].

Это вызывает необходимость создания новых образцов наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики ПБ малоэтажных зданий. При этом при разработке комплекса их улучшенных показателей имеют место вопросы, требующие дополнительного изучения.

Исходя из этого, необходимо решить задачу расчета рабочих параметров наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики ПБ малоэтажных зданий на основе теории протекающих при этом микропроцессов. При этом при моделировании температурных процессов в указанных изделиях необходимо учитывать систему дифференциальных уравнений второго порядка в частных производных.

Сложность процессов, происходящих при создании и эксплуатации наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики ПБ малоэтажных зданий, обуславливает появление множества гипотез, с различной степенью достоверности и полнотой объяснения происходящих при этом явлений. Существующие методы испытания ИП не могут быть применены для испытания наружных стеновых изделий, используемых для дистанционной диагностики ПБ малоэтажных зданий в условиях

интенсивного теплового воздействия. Необходима разработка нового метода испытания данных изделий.

В настоящее время в научном сообществе отсутствует однозначное представление о наружных стеновых изделиях для дистанционной диагностики ПБ малоэтажных зданий, что указывает на необходимость проведения более глубокого, детального изучения теплового воздействия на указанные стеновые изделия.

Таким образом, эксплуатационные характеристики совмещенного с пожарным извещателем бетонных изделия в значительной степени с одной стороны определяются его водонепроницаемостью, а с другой – способностью к обнаружению пламенного горения. Следовательно, создание и изучение модифицированных строительных изделий, является основой получения новых технических средств обнаружения пожара вне помещений, обладающих достаточной стойкостью к воздействию окружающей среды.

С учетом изложенного, основными задачами диссертационной работы являются:

1. Исследовать высокотемпературное воздействие при пожаре для разработки конструкции совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока. Предлагаемая конструкция должна обеспечивать защиту ПИ от негативного воздействия окружающей среды и обеспечивать его срабатывание при интенсивном тепловом воздействии.

2. Создание модели, связывающей температуру и время срабатывания совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока на основе метода «микропроцессов». Проведение при помощи данной модели численного эксперимента.

3. Установление влияния расстояния между малоэтажными зданиями, места установки, мощности инфракрасного излучения, размера термочувствительного элемента на время срабатывания наружных стеновых изделий для дистанционной диагностики и обеспечения пожарной

безопасности этих домов в условиях интенсивного теплового воздействия. Описание соответствующих зависимостей.

4. Исследовать изменение влажности воздуха внутри разработанных наружных стеновых изделий в условиях различных режимов капельного орошения, в том числе и при использовании герметичных материалов, с учетом влияния указанных процессов на характеристику данных изделий. Выбор приемлемых режимов эксплуатации предложенных изделий в зависимости от их конструктивных особенностей.

5. Исследование поведения совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока в условиях огневых испытаний при помощи тестового очага пожара ТП-1, который характерен для горения древесины в малоэтажных зданиях.

6. Оценка эффективности затрат на установку совмещенных с пожарным извещателем бетонных блоков для обеспечения пожарной безопасности малоэтажных зданий. При этом определяется математическое ожидание экономических потерь от пожара, а также проводится расчет экономических потерь от пожара.

В соответствии с этими задачами, **во второй главе** диссертации описаны характеристики использованных материалов, оборудования, приведены сведения о методах исследования СПИ ББ. **В третьей главе** изложено физико-математическое описание процесса работы совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока. **В четвертой главе** приведены результаты по исследованию влажности воздуха внутри совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока, влияния теплообменных процессов, протекающих при использовании разработанных наружных стеновых изделий, на изменение их эксплуатационных и конструктивных характеристик. **В пятой главе** отражены результаты определения эффективности применения совмещенных с пожарным извещателем бетонных блоков в малоэтажных зданиях.

Глава 2. Материалы, оборудование и методы экспериментальных исследований

2.1. Используемые материалы и изделия

Портландцемент. Для изготовления бетонных блоков исследуемых образцов в качестве вяжущего применялся портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н производства АО «Липецкцемент» (Липецкая обл., г. Липецк). Показатели качества по ГОСТ 31108-85 [185] приведены в Приложении 5. Химический состав портландцемента приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Химический состав портландцемента ЦЕМ I 42,5Н, %

CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	R ₂ O
66,1±0,3	21,5±0,3	4,9±0,4	4,1±0,3	1,8±0,1	0,15±0,03	0,6±0,02

В таблице 2.2 указан минералогический состав портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н.

Таблица 2.2 – Содержание основных минералов в портландцементе марки
ЦЕМ I 42,5Н, %

C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
64,7±2,2	13,0±2,0	5,8±1,1	12,6±0,6

Физико-механические свойства портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н определены по ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема» [186] и ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» [187] и указаны в таблицах 2.3 и 2.4.

Портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н обладает следующими свойствами согласно Приложению 5: нормальная густота цементного теста – $25,8\pm 0,8$ %; начало схватывания – 180 ± 25 мин; конец схватывания – 235 ± 25 мин, выдержана равномерность изменения объема.

Таблица 2.3 – Физические свойства портландцемента

Марка портландце- мента	Тонкость помола, %	Ложное схватывание	Сроки схватывания, мин		Нормальная густота, %
			начало	конец	
ЦЕМ I 42,5Н	$4,0\pm 2,0$	отсутствует	180 ± 25	235 ± 25	$25,8\pm 0,8$

Таблица 2.4 – Пределы прочности, МПа

Марка портландцемента	При сжатии		Равномерность изменения объема, мм	Потеря массы при прокаливании, %
	в возрасте 2 суток	в возрасте 28 суток		
ЦЕМ I 42,5Н	$20,3\pm 2,6$	$53,4\pm 3,0$	$0,5\pm 0,5$	$2,4\pm 0,6$

Портландцемент марки ЦЕМ I 42,5Н, который применяется для изготовления образцов бетонных блоков, соответствует ГОСТу 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» [188] и ГОСТу 30515-2013 «Цементы. Общие технические условия» [189].

Вода. Для изготовления исследуемых образцов бетонных блоков использовалась вода, соответствующая ГОСТу 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия» [190]. В данной воде не содержались пленки из нефтепродуктов, масел или жиров.

Водородный показатель воды (рН) был равен 5,5. Информация о содержании в воде примесей в таблице 2.5.

Для изготовления исследуемых бетонных блоков использовалась вода, в которой отсутствовали примеси, количество бы которых нарушало бы временные показатели твердения и схватывания цементного камня, понижали бы показатели прочности и морозостойкости.

Таблица 2.5 – Максимальное количество примесей в используемой для изготовления бетона воде

Содержание примесей, мг/л		
Взвешенных частиц	Ионов SO_4^{2-}	Ионов Cl^-
300	2700	3500

Наполнитель. Для изготовления бетонных блоков в качестве наполнителя использовался средний песок 1 класса с модулем крупности 2,65, добываемый на Хромцовском карьере (Ивановская обл., Фурмановский район, д. Хромцово (Приложение 6)).

Листовая сталь. Для модификации термочувствительного элемента СПИ ББ использовалась углеродистая сталь Ст3 по ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки» [191]. Результаты химического анализа этой стали приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Анализ химического состава примесей в стали

Результаты химического анализа, [%]										
C	Mn	S	Cu	Cr	Ni	Mo	P	Ti	V	Al
0,163	0,104	0,008	0,163	0,011	0,097	0,019	0,005	0,003	след	1,58

Листовое стекло. В целях защиты термочувствительного элемента СПИ ББ от воздействия внешних факторов использовано листовое стекло М4

толщиной 4 мм, произведенное на стекольном заводе (Владимирская область, Гусь-Хрустальный район, п. Анопино). Коэффициент направленного пропускания света равен 0,91 при испытании 5 образцов листового стекла номинальной толщиной 4 мм и размером 200x200 мм. Данное изделие является соответствующим ГОСТу 111-2014 «Стекло листовое бесцветное. Технические условия» [192]. В таблице 2.7 приведены основные характеристики используемого листового стекла.

Таблица 2.7 - Физические характеристики листового стекла

Наименование характеристики	Значение
Плотность (при 18°C)	2500 кг/м ³
Число твердости по Кнупу НК0,1/20	6
Прочность на сжатие	700-900 МПа
Прочность на растяжение	30 МПа
Прочность на изгиб для проектирования	15 МПа
Модуль Юнга (модуль упругости)	$7 \cdot 10^{10}$ Па
Коэффициент Пуассона	0,2
Температура размягчения	600°C
Температурный коэффициент линейного расширения (в интервале температур от минус 40°C до 300°C)	$(7-9) \cdot 10^{-6}$ К ⁻¹
Термостойкость	40°C
Коэффициент теплопроводности	1 Вт/(м·К)
Удельная теплоемкость	720 Дж/(кг·К)
Коэффициент эмиссии	0,837
Показатель преломления	1,5
Коэффициент направленного отражения света	0,08

Линза. Для проведения испытаний использовалась линза с высоким разрешением L20D, произведенная на заводе медицинского оборудования

(г. Москва). Основные технические характеристики линзы представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Основные технические характеристики линзы

Оптическая сила, Дптр	Фокусное расстояние, мм	Световой диаметр, мм	Габаритные размеры, мм	Масса, г	Класс чистоты поверхности
20	50,08±0,3	50±0,3	Ø61x17,5	78	V

Силиконизированный герметик. При проведении исследования герметик VGT использовался для герметизации поверхности бетонного блока, так как по условиям эксплуатации она испытывает небольшую механическую нагрузку. Герметик произведен на предприятии, расположенном в Московской области, Пушкинский район, п. Лесной. В таблице 2.9 приведены основные характеристики используемого силиконизированного герметика.

Таблица 2.9 - Основные характеристики силиконизированного герметика

Наименование характеристики	Значение
Предел прочности при равномерном отрыве, кг/см ² , не менее	15 кг/см ²
Расход	Один картридж рассчитан для 16 м швов сечением 5 x 5 мм
Способ нанесения	Нанесение осуществляется сплошным слоем

Рекомендуемый температурный режим эксплуатации	от -40°С до +70°С
Время высыхания	1-1,5 часа при толщине слоя 1 мм
Достижение полной прочности	24 часа
Сухой остаток, не менее	70%
Плотность	1,5 г/см ³

Герметик VGT обладает хорошей адгезией к бетону, штукатурке, кирпичу, дереву, стеклу, черным металлам и др. Предназначен для надежной защиты от влаги. Обладает повышенной эластичностью (50%) и прочностью. Не применяется для мест постоянного воздействия воды. В состав герметика VGT входят: дисперсия полимера акриловая, добавки силиконизирующие, пигмент, наполнитель. Перед нанесением герметика поверхность должна быть подготовлена. Она должна быть чистой и сухой. Стекло и металл обезжириваются.

Кабель. Для соединения СПИ ББ с приемно-контрольным прибором использован кабель ВВГнг(А)-FRLS, произведенный на заводе в г. Саранск р. Мордовия. Конструкция кабеля ВВГнг(А)-FRLS включает в себя медную многопроволочную токопроводящую жилу круглой формы, 1 класса по ГОСТ 22483 [193]; термический барьер, включающий в себя обмотку из двух лент, содержащих слюду; поливинилхлоридную изоляцию с пониженной пожарной опасностью. Изолированные жилы многожильного кабеля имеют отличительную расцветку. Изоляция нулевых жил выполняется голубого цвета. Изоляция жил заземления изготавливается двухцветной (зелено-желтой расцветки). Изолированные жилы многожильных кабелей скручены. У кабелей все жилы выполнены одинакового сечения.

Кабели ВВГнг(А)-FRLS предназначены для передачи и распределения

электрической энергии и электрических сигналов в стационарных электротехнических установках с переменным напряжением до 1000В, постоянным напряжением 1000В и частотой до 100Гц. Данные кабели можно прокладывать в кабельных сооружениях и помещениях, включая взрывоопасные зоны всех классов, кроме взрывоопасной зоны класса В-1. Основные технические параметры кабеля ВВГнг(А)-FRLS представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Основные технические параметры кабеля ВВГнг(А)-FRLS

Наименование характеристики	Значение
Вид климатического исполнения	В
Категория размещения по ГОСТ 15150-69 [194]	5
Диапазон температур эксплуатации	-50°С до +50°С
Относительная влажность воздуха при температуре +35°С	до 98 %
Прокладка без предварительного подогрева, не ниже	-15°С
Минимальный радиус изгиба при прокладке, наружных диаметров	7,5
Допустимая температура нагрева жил при КЗ, не более	250°С
Продолжительность КЗ, не более	4с
Допустимая температура нагрева жил в режиме перегрузки, не более	90°С
Допустимая температура нагрева жил кабелей при эксплуатации, не более	70°С
Продолжительность работы в режиме перегрузки, не	8 ч в сутки и

более	1000ч за срок службы
Дымообразование при горении и тлении кабелей не приводит к снижению светопропускаемости в испытательной камере, более чем	50%
Огнестойкость кабелей, не менее	180 мин
Гарантийный срок эксплуатации кабеля	5 лет
Срок службы кабеля, не менее	30 лет

Клей. Для приклеивания частей СПИ ББ использовался однокомпонентный цианакрилатный клей заводского производства (г. Москва). Основные параметры клея приведены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 - Основные параметры клея

Наименование характеристики	Значение
Термостойкость шва	-40°C до +70°C
Плотность, г/см ³	1,05
Время схватывания, с	5-60
Время достижения окончательной прочности, ч	12-24
Температура склеиваемых элементов	+18°C до +25°C
Усилие разрыва склеенных элементов, кг/см ²	100-200

Оборудование. Для размещения внутри бетонного блока использовались извещатели пожарные тепловые максимальные точечные ИП 101-1А-А1, выпущенные научно-производственным объединением в

г. Новосибирск Новосибирской области. По температуре и времени срабатывания извещатели ИП 101-1А-А1 относятся к классу А1 по ГОСТ Р 53325 [127].

Эти извещатели рассчитаны на непрерывную круглосуточную работу совместно с приемно-контрольными охранно-пожарными приборами (ППКОП), имеющими шлейф пожарной сигнализации (ШПС) знакопостоянного или знакопеременного тока. Полярность подключения извещателя к ШПС может быть произвольной. Извещатель выдает сигнал «Пожар» в шлейф сигнализации путем увеличения потребляемого тока при превышении температуры окружающего воздуха установленного порогового значения. Извещатель имеет светодиодную индикацию дежурного режима и режима «Пожар».

В извещателе реализован микропроцессорный анализ сигнала температурного датчика, позволяющий достигнуть высокой точности и малой инерционности срабатывания во всем диапазоне скоростей нарастания температуры. Основные технические характеристики извещателя ИП 101-1А-А1 приведены в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Основные технические характеристики ИП 101-1А-А1

Параметр	Значение
Диапазон температур срабатывания	+ 54...+ 65 °С
Время срабатывания при повышении температуры со скоростью 3 °С/мин, при начальной температуре + 25 °С	580...820 сек
Время срабатывания при повышении температуры со скоростью 30 °С/мин, при начальной температуре + 25 °С	58...100 сек
Диапазон напряжений питания	10...25 В
Потребляемый ток в дежурном режиме	не более 60 мкА
Остаточное напряжение на извещателе в режиме	не более 5,5 В

«Пожар» при токе через извещатель менее или равным 20 мА	
Встроенный резистор между клеммами 2 и 3	1,5 кОм
Средняя наработка на отказ	не менее 60000 часов
Габаритные размеры: высота / диаметр, не более	34 мм / 62 мм
Масса, не более	20 г
Степень защиты оболочкой по ГОСТ 14254	IP30
Диапазон рабочих температур	от - 30 °С до + 76 °С
Относительная влажность воздуха при + 40 °С, не более	93 %
Средний срок службы	не менее 10 лет

ИК-излучатель. Для проведения стендовых испытаний СПИ ББ использовался ИК-излучатель СТ-6141, производства КНР. Основные характеристики приведены в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Основные технические ИК-излучателя

Параметр	Значение
Напряжение, В	220
Количество кварцевых ламп	4
Минимальная мощность, Вт	1000
Максимальная мощность, Вт	2000
Размер, мм	497×200×400

Пирометр. Для измерения температуры термочувствительного элемента СПИ ББ использовался пирометр DT-8833, произведенный в КНР. Основные характеристики пирометра приведены в таблице 2.14.

Таблица 2.14 – Основные характеристики ИК-излучателя

Параметр	Значение
Диапазон температуры	от - 50 °С до + 800 °С
Разрешение	0,1 °С
Погрешность, при 0 °С до + 70 °С	2,5 °С
Время отклика, не более	1 с
Спектральный диапазон	8-14 микрон
Диапазон регулирования коэффициента излучающей способности объектов	0,1-1,0
Температура эксплуатации	от 0 °С до + 50 °С
Уровень влажности	10-90%

Термогигрометр. Для измерения влажности воздуха внутри СПИ ББ использовался термогигрометр RGK TH-30, произведенный в КНР. Основные характеристики термогигрометра приведены в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Основные характеристики термогигрометра

Параметр	Значение
Диапазон температуры	от - 10 °С до + 60 °С
Диапазон влажности	10-95%
Разрешение измерения температуры	0,1 °С
Разрешение измерения влажности	0,1%
Точность измерения температуры при 0 °С до + 40 °С	0,5 °С
Точность измерения влажности	±3% (30-60%);

	±5% (в ост. диапазоне)
Скорость измерения	1 с

2.2. Краткое описание применяемых экспериментальных методик

С целью изучения свойств и характеристик СПИ ББ необходимо провести экспериментальные исследования физических свойств данного изделия при различных условиях, в том числе определение влажности воздуха внутри бетонного блока, измерение температуры ТЭ СПИ ББ на различных расстояниях от источника ИК-излучения, при различной мощности излучения, при различных диаметрах ТЭ СПИ ББ. Необходима также математическая обработка полученных данных.

2.2.1. Определение влажности воздуха внутри бетонного блока

Для изучения показателей влажности воздуха внутри СПИ ББ и проведения экспериментальных исследований необходимо собрать дрипустановку (рисунок 2.1).

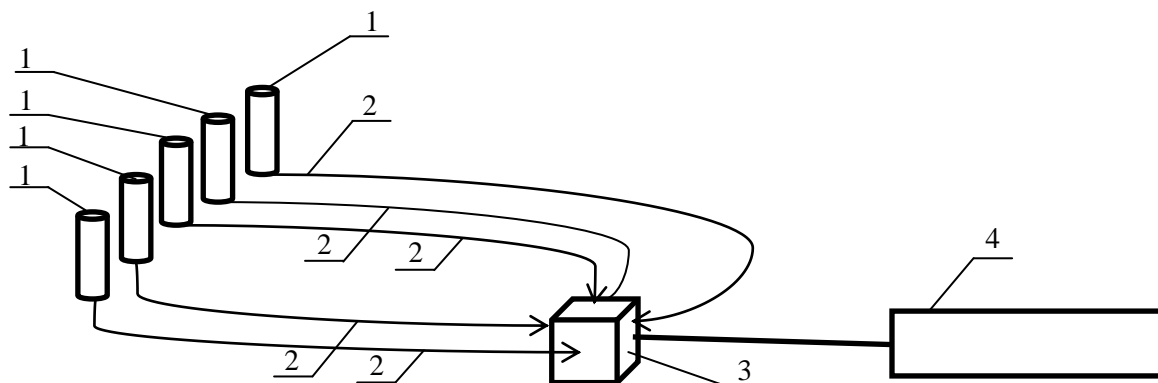


Рисунок 2.1. Дрипустанова для измерения влажности воздуха внутри СПИ ББ: 1 – емкость с водой; 2 – капельница; 3 – СПИ ББ; 4 – термогигрометр.

Дозированное поступление воды должно осуществляться от емкостей через капельницы в центр верхней грани блока, центр двух боковых граней блока, выполненных без отверстия, и центр верхней части, закрывающей отверстие пластины двух боковых граней блока, выполненных с отверстием. Подача воды должна осуществляться на грани блока в различных комбинациях. На рисунке 2.1 представлен вариант с максимальным количеством капельниц. Объем каждой емкости должен быть равен 1,2 л, что соответствует максимальному значению месячного количества осадков для Московского региона [195] в пересчете на площадь поверхности одной грани СПИ ББ. Подача этой воды на СПИИ ББ должна осуществляться каплями в течение 24 часов. При этом влажность воздуха должна измеряться по ГОСТ 12.1.005-88 [133] 4 раза в сутки через 8 часов от начала подачи капель воды. Замер должен производиться для 4 СПИ ББ в каждом случае. Уровень размещения датчика для определения влажности воздуха определяется по ГОСТ 12.1.005-88 [133], исходя из расстояния от уровня пола до датчика: 0,5 м, 1 м, 1,5 м. При подаче капель воды верхняя грань блока всегда должна находиться горизонтально, остальные – вертикально. Термогигрометр устанавливается с тыльной стороны бетонного блока через технологическое отверстие в резиновой пластине, закрывающей отверстие в СПИ ББ. При этом стержень выносного датчика RGK ТН-30 должен плотно прилегать к отверстию в резиновой пластине. Проведение испытаний должно осуществляться при температуре воздуха 20 °С. При этом температура подаваемой воды 20 °С. Аналогичным образом измеряется влажность воздуха внутри СПИ ББ при его размещении в камере, образованной полиэтиленовой пленкой по металлическому каркасу, и при повышении влажности воздуха до 100% в данной камере.

2.2.2. Стендовые испытания совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Для определения температуры термочувствительного элемента СПИ ББ в результате воздействия инфракрасного излучения необходимо собрать

стенд (рисунок 2.2.). Воздействие инфракрасного излучателя мощностью 2 кВт должно осуществляться в течение 10 минут. Указанный временной интервал принят по ГОСТ Р 53325-2012 [127]. При этом условия размещения СПИ ББ должны отличаться в зависимости от позиции испытаний. Измерение температуры термочувствительного элемента осуществляется пирометром DT-8833 с тыльной стороны бетонного блока через технологическое отверстие (рисунок 2.2.). Более подробно СПИ ББ описан в 3.1.

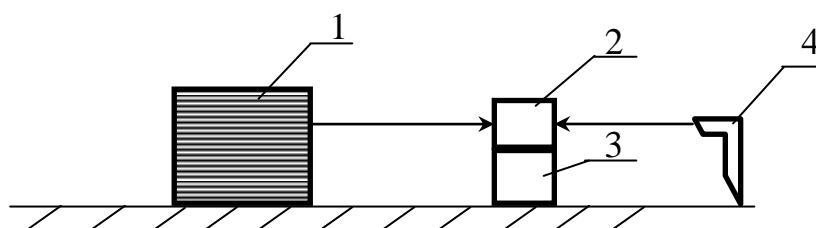


Рисунок 2.2. Схема измерения температуры ТЭ СПИ ББ: 1- ИК-излучатель; 2 – СПИ ББ; 3 – подставка; 4 – пирометр.

2.2.3. Методика огневых испытаний совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Для проведения испытаний используется тестовый очаг пожара ТП-1 по ГОСТ Р 53325-2012 [127]. Выбор данного очага основан на анализе пожаров в МЖД [6], для которых характерно горение различных веществ и материалов в сочетании с древесиной. Для его создания используется 70 деревянных брусков (бук) размерами $0,01 \times 0,02 \times 0,250$ м каждый. Эти бруски укладываются в 7 слоев на основании размерами $0,5 \times 0,5$ м. Их расположение для проведения испытаний выполняется в соответствии с рисунком А8 по ГОСТ Р 53325-2012 [127]. Перед проведением испытаний деревянные бруски высушиваются (до влажности 12 %).

В качестве источника воспламенения горючего материала служат 5 мл бензина, налитого в емкость с диаметром 0,05 м, которая устанавливается в центре основания ТП-1.

Цель данного исследования заключается в определении времени срабатывания СПИ ББ на определенных расстояниях. В рамках данного эксперимента изучается также кинетика изменения температуры ТЭ при воздействии открытого огня.

При помощи открытого пламени осуществляется поджигание данного очага. В этот момент начинается проведение испытания, включается секундомер. Проведение испытания завершается при достижении времени проведения испытаний 600 с или выдача всеми испытываемыми СПИ ББ сигнала «Пожар».

Огневые испытания СПИ ББ проводятся при воздействии теплового излучения на различных расстояниях от очага ТП-1 по ГОСТ Р 53325-2012 [127]. На каждом из указанных расстояний находятся по 2 СПИ ББ. Испытуемые СПИ ББ располагаются на подставках высотой 0,1 м и ориентированы термочувствительными элементами на очаг. Угол $\alpha = 0^\circ$. Для контроля температуры необходимо использовать вспомогательный бетонный блок с цилиндрическим отверстием диаметром 0,06 м, в котором по центру размещается ТЭ диаметром 0,05 м (далее - ВББ).

При проведении испытаний СПИ ББ закрепляются на подставках высотой $(0,1 \pm 0,01)$ м и располагаются на месте для проведения огневых испытаний таким образом, чтобы оптическая ось линзы СПИ ББ была направлена на ТП-1 и располагалась горизонтально относительно поверхности площадки, на которой размещен тестовый очаг.

Во время испытаний СПИ ББ контролируется температура ТЭ ВББ, °С и время срабатывания СПИ ББ, с. Скорость ветра до 2 м/с, температура воздуха выше 20 °С.

Испытуемые СПИ ББ подключаются к приемно-контрольному прибору, после чего выдерживаются во включенном состоянии не менее 15 мин при минимальном значении напряжения питания.

2.2.4. Методика определения устойчивости работы совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока при различных условиях эксплуатации

Устойчивость СПИ ББ к изменению напряжения питания определяется с учетом методики, которая изложена в 2.2.3. Время срабатывания СПИ ББ определяется при максимальном и минимальном значениях напряжения питания, которые индивидуально для каждого изделия. Если эти значения не указаны заводом-изготовителем, то испытания проводятся при напряжении питания 115% и 75% от номинального.

Для определения устойчивости СПИ ББ к повышенной температуре испытания проводятся в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60068-2-1 [196]. При испытании СПИ ББ должен находиться в дежурном режиме. Значение температуры для ПИ определяется заводом-изготовителем, но не выше $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Длительность воздействия должна быть не менее 2 ч. При испытании СПИ ББ не должен генерировать сообщения о неисправности или пожаре.

Для определения устойчивости СПИ ББ к повышенной влажности испытания проводятся в соответствии с ГОСТ Р МЭК 60068-2-78 [197]. При испытании СПИ ББ должен находиться в дежурном режиме. В соответствии с этим значение температуры для ПИ $40\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, относительная влажность воздуха 93%. Длительность воздействия должна быть не менее 48 ч. При испытании СПИ ББ не должен генерировать сообщения о неисправности или пожаре.

Перед определением устойчивости СПИ ББ к механическому удару, его составные части осматриваются на наличие повреждений механического характера. При испытании СПИ ББ должен находиться в дежурном режиме. Определяется 1 точка удара с энергией $1,9\pm 0,1\text{ Дж}$ при скорости движения молотка $1,5\pm 0,125\text{ м/с}$. При испытании СПИ ББ не должен генерировать сообщения о неисправности или пожаре.

Для определения устойчивости СПИ ББ к синусоидальной вибрации оборудование подбирается по ГОСТ 28203 [198]. Перед началом испытаний

составные части СПИ ББ осматриваются на наличие повреждений механического характера. При испытании СПИ ББ должен находиться в дежурном режиме. При испытании СПИ ББ подвергается воздействию вибрации по трем взаимно перпендикулярным осям, одна из которых перпендикулярна плоскости его крепления. Частотный диапазон должен варьироваться от 10 до 150 Гц. Амплитуда ускорения должна быть 0,5g; количество циклов на ось 1; частота вибрации должна увеличиваться в 2 раза за время не менее 60 с. При испытании СПИ ББ не должен генерировать сообщения о неисправности или пожаре.

СПИ ББ признают выдержавшими испытание, если время срабатывания находится в пределах между максимальным и минимальным значениями этого времени для соответствующих скоростей повышения температуры, а также отличие от первоначального значения, определенного по 2.2.3, не превышает 25%.

2.2.5. Определение электрической прочности и сопротивления изоляции совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Определение электрической прочности и сопротивления изоляции СПИ ББ должно осуществляться с учетом ГОСТ Р 52931 [199] в нормальных климатических условиях

Выведенные из СПИ ББ проводники, которые являются внешними должны быть соединены вместе. СПИ ББ не заземляется. К СПИ ББ подсоединяется общий провод генератора, а выход генератора подключается к соединяемым вместе внешним проводникам СПИ ББ.

Синусоидальное напряжение генератора, используемого для проведения испытания, должно быть с частотой от 40 до 60 Гц и перестраиваемой амплитудой от 0 до 1500 В.

При проведении испытаний для СПИ ББ с номинальным напряжением питания менее 60 В осуществляется плавное увеличение напряжения

генератора от 0 до 500 В с установкой на время 60 ± 5 с. Для СПИ ББ с номинальным напряжением питания более 60 В осуществляется плавное увеличение напряжения генератора от 0 до 1500 В с установкой на время 60 ± 5 с.

Для проведения измерения сопротивления изоляции используется мегаомметр. Замер проводится в нормальных климатических условиях непосредственно после проведения испытаний на прочность изоляции. Посредством прикладывания прикладываемым между СПИ ББ и соединяемыми вместе внешними проводниками СПИ ББ постоянным напряжением от 100 до 250 В осуществляется измерение сопротивления изоляции.

Замер осуществляется не позднее чем через 1 минуту после приложения напряжения.

СПИ ББ признается выдержавшими испытания, при условии отсутствия в рамках его проведения пробоя изоляции и возникновения поверхностного разряда, при значении сопротивления изоляции выше 20 МОм.

2.2.6. Определение электромагнитной совместимости совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Для проведения электромагнитной совместимости СПИ ББ используется один образец. При необходимости количество число образцов можно увеличить. Проведение испытаний осуществляется в нормальных климатических условиях:

- температура воздуха варьируется от 15°C до 35°C ,
- относительная влажность воздуха варьируется от 45% до 80%;
- атмосферное давление - от 84 до 106,7 кПа.

Уровень помех в месте проведения испытаний не должен влиять на их результаты.

Режим функционирования СПИ ББ определяется исходя из индивидуальных для каждого изделия особенностей, установленных заводом-изготовителем. Должен быть выбран режим функционирования таким образом, чтобы восприимчивость к воздействию помех была наибольшей.

Затем осуществляется подключение электропитания согласно инструкциям завода-изготовителя.

СПИ ББ должны быть установлены и подключены к цепям электропитания. Допускается минимизация количества оборудования по ГОСТ 30805.22 [200]. В условиях отсутствия источников сигналов, которые необходимы для функционирования СПИ ББ, возможна их замена имитаторами. После проверки помехоустойчивости проводится испытание по методике, которая изложена в 2.2.3.

Для определения устойчивости к воздействию микросекундных импульсных помех большой энергии проводятся испытания по ГОСТ Р 51317.4.5 [201]. Количество создаваемых импульсов двух полярностей для портов электропитания переменного тока не должно быть менее 2. Не менее 5 с должно проходить между моментами создания импульса.

Для определения устойчивости к воздействию наносекундных импульсных помех проводятся испытания по ГОСТ 30804.4.4 [202].

Определение устойчивости СПИ ББ к нелинейным искажениям в сети переменного тока проводится с учетом значений таблицы Б.2 ГОСТ Р 53325 [127]. Испытания проводятся посредством последовательного добавления к напряжению сети электропитания основной частоты синусоидального напряжения с табличным значением [Там же] в соответствии с и частотой, варьирующейся от 100 до 5000 Гц. Шаг изменений должен быть равен 100 Гц.

По ГОСТ 30804.4.11 [203] определяется устойчивость к воздействию динамических изменений напряжения электропитания. При интервале не менее 10 с должно быть осуществлено не менее трёх воздействий для каждого динамического изменения.

По ГОСТ 30804.4.2 [204] осуществляется определение устойчивости к электростатическим разрядам. С интервалом между разрядами в 1 с производится не менее 10 разрядов с положительной и отрицательной полярностью на каждую предназначенную для испытаний точку изделия.

По ГОСТ 30804.4.3 [205] осуществляется определение устойчивости к радиочастотному электромагнитному полю. Создаваемые СПИ ББ промышленные помехи измеряются по ГОСТ 30805.22 [200].

2.3. Выводы по главе 2

1. На основании поставленных задач были подобраны методики для осуществления экспериментальных исследований СПИ ББ, а также изучены физические и химические характеристики данного изделия и элементов, входящих в его состав.

2. Определены необходимое для проведения экспериментов оборудование и контрольно-измерительные приборы, описаны их характеристики.

3. Сформирован план проведения эксперимента, определены эксплуатационные параметры, подлежащие исследованию, установлены критические значения данных параметров.

Глава 3. Математическое моделирование процесса теплопереноса при интенсивном тепловом воздействии на термочувствительный элемент совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Представленный в предыдущих главах анализ сведений показывает, что размещение ПИ внутри бетонного блока показывает свою способность обнаруживать опасное повышение температуры при пожаре вне здания. При этом должно быть обеспечено дифференцирование температурного поля внутри бетонного блока таким образом, что нагреваться ТЭ должен в большей степени, чем бетонный блок.

Температурные режимы, при которых срабатывает ПИ, позволяют исключить опасность ложного срабатывания СПИ ББ под воздействием фонового тепла. Герметичность данного изделия и отсутствие необходимости конвективного теплообмена непосредственно с ПИ позволяют обеспечить необходимую защиту СПИ ББ от воздействия окружающей среды. Кроме этого, не вызывает большого затруднения автоматизировать работу ПИ. Конечно, руководствуясь принципом разумной достаточности, необходимо стремиться к максимальному упрощению конструкции СПИ ББ в целях снижения затрат.

3.1. Разработка и обоснование конструктивной схемы совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Использование пожарных извещателей для обнаружения пожара в помещении в настоящее время широко известно. Наиболее распространенными факторами пожара, которые фиксируются пожарными ивещателями, являются тепло, дым, пламя, газ [127].

С учетом данных факторов представляется возможным предположение о целесообразности использования подобной технологии для обнаружения

пожара вне помещения. Наиболее приемлемой для наружных стен является конструкция тепловых пожарных извещателей и извещателей пламени, так как они приводятся в действие в результате воздействия инфракрасного излучения. При этом реагирование на дым или газ затруднено непредсказуемостью изменения направления перемещения воздушных потоков и необходимостью обеспечения герметичности конструкции. Дымовые пожарные извещатели могут также приводиться в действие при попадании инородных предметов или насекомых, что может привести к необоснованному реагированию на ложное срабатывание.

СПИ ББ [105] закрепляется на стене МЖД по направлению к потенциально угрожающему пожаром МЖД или хозяйственной постройки. При этом ТЭ должен быть размещен параллельно по отношению к потенциально угрожающему пожаром объекту (рис. 3.1).

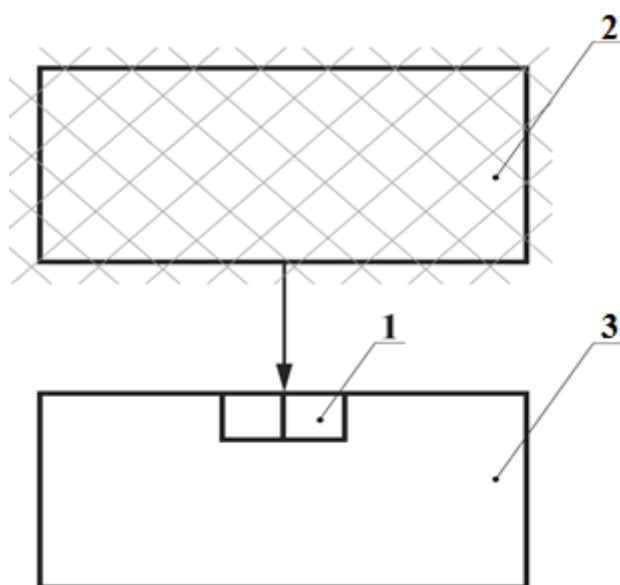


Рисунок 3.1. Ориентация СПИ ББ: 1 – СПИ ББ; 2 – потенциально угрожающий пожаром МЖД (или хозяйственная постройка); 3 – защищаемый МЖД [105].

Иные источники инфракрасного излучения, например, солнечные лучи, направлены на СПИ ББ под некоторым углом, что в итоге не приводит к срабатыванию ПИ (рис. 3.2).

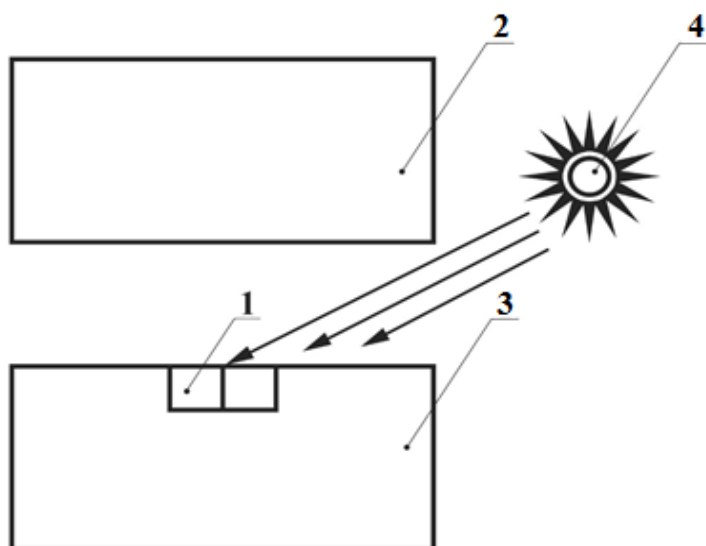


Рисунок 3.2. Ориентация СПИ ББ: 1 – СПИ ББ; 2 – потенциально угрожающий пожаром МЖД (или хозяйственная постройка); 3 – защищаемый МЖД, 4 – солнце [105].

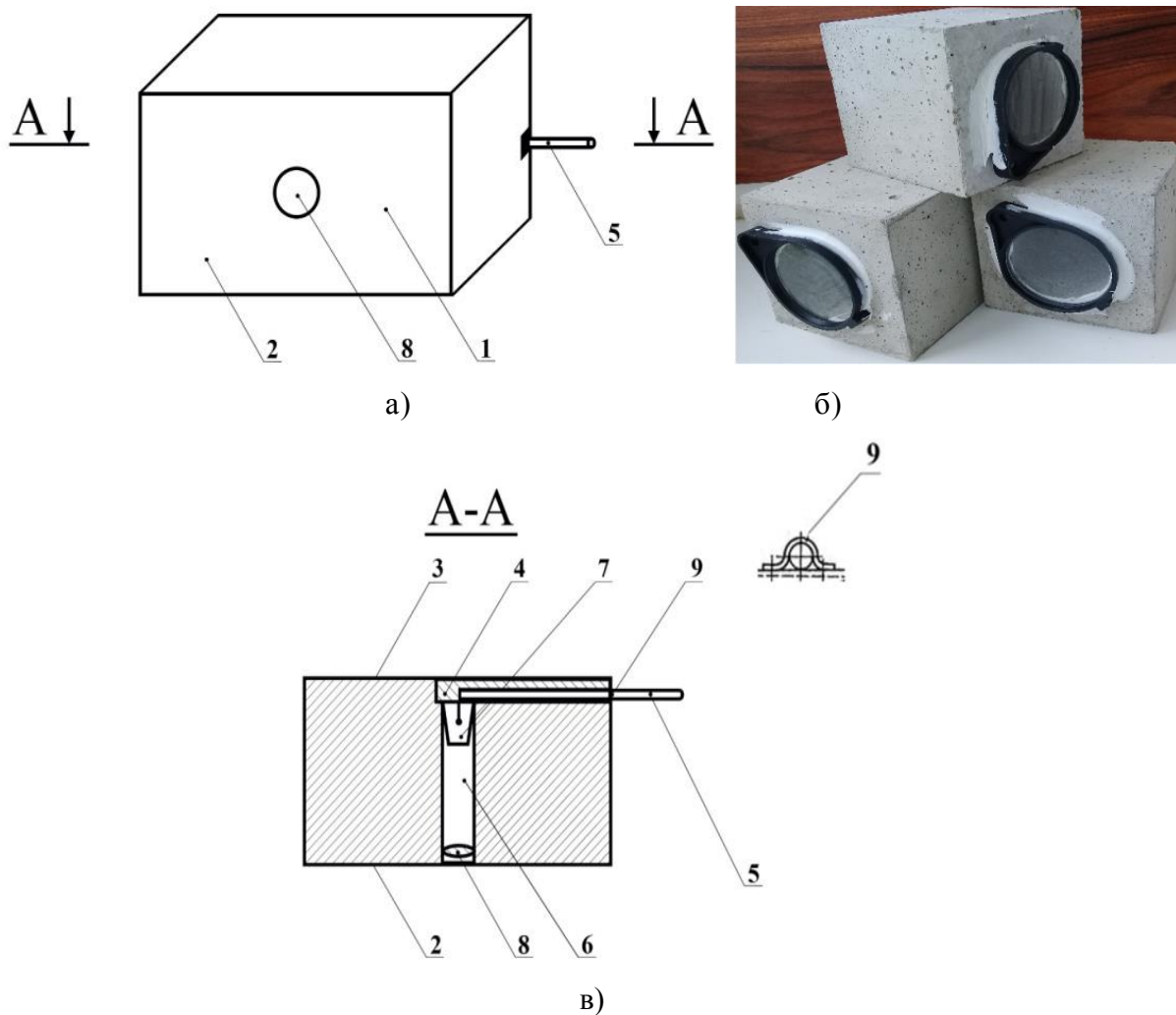


Рисунок 3.3. СПИ ББ: а) общий вид, б) фотография опытного образца, в) горизонтальный разрез. Обозначения: 1 – бетонный блок размером $0,01 \times 0,01 \times 0,01$ м, 2 – передняя сторона, 3 – тыльная сторона, 4 – монтажный короб, 5 – электрический кабель, 6 –

цилиндрический канал с диаметром 0,061 м, 7 - ПИ, 8 - собирающая линза диаметром 0,06 м со оптической силой в зависимости от расстояния до потенциально угрожающего пожаром объекта или стекло, 9 – скоба [105].

Предлагаемая конструкция предполагает подвод электричества к ПИ, что контролируется прибором приемно-контрольным. Сопротивление ТЭ ПИ при повышении температуры до заданного значения изменяется, благодаря чему на пульт приходит сигнал «Пожар». Электрический кабель монтируется на стену, в последующем каналы и отверстия могут быть заделаны штукатуркой.

На находящийся в дежурном режиме СПИ ББ в процессе эксплуатации падают солнечные лучи. Для защиты от нагрева ТЭ этими лучами могут применяться различные решения, в том числе исключение попадания прямых солнечных лучей из-за конструктивных особенностей потенциально угрожающему пожаром МЖД или хозяйственной постройки, защищаемого МЖД, либо в результате применения тонкой линзы. В последнем случае ориентация СПИ ББ в сторону потенциально угрожающего пожаром объекта осуществляется не под углом 0° к основной оси собирающей линзы ($\angle\alpha \neq 0^\circ$), т.е. при зенитном угле не равном 90° . В этом случае солнечные лучи собираются на побочном фокусе. При зенитном угле солнечных лучей равном 90° ($\angle\alpha = 0^\circ$) потенциально угрожающий пожаром объект будет заслонять собой солнечные лучи. Указанное обстоятельство в итоге приведет к падению лучей на линзу под некоторым углом. Они не будут попадать в рабочую зону ПИ, и он из-за чего не сработает.

Анализируя рис. 3.3, необходимо указать еще одну важную задачу, заключающуюся в определении расстояния x от передней стороны бетонного блока до ТЭ ПИ, и температуры t_x , при которой должен сработать ПИ на расстоянии x от передней стороны бетонного блока до ТЭ ПИ в целях исключения опасности отказа в срабатывании ПИ при отсутствии достижения заданной температуры срабатывания. Определение этих

параметров возможно в рамках исследования характеристик температурных полей в объеме СПИ ББ.

Алгоритм работы СПИ ББ (см. рисунок 3.4), который формирует сигнал «Пожар» на прибор приемно-контрольный, основывается на соблюдении следующих параметров:

1. Отсутствие ложного срабатывания в результате воздействия солнечных лучей;
2. Обеспечение срабатывания ПИ при достижении заданного температурного значения ТЭ.



Рисунок 3.4. Алгоритм работы СПИ ББ разрабатываемой конструкции

Выполнение данных задач способствует решению иных важных требований:

реагирование только на источники ИК-излучения, приводящие к значительному росту температуры объектов воздействия;

исключение вероятности попадания инородных предметов (насекомых, песка, грязи) внутрь ПИ;

предотвращение увлажнения элементов электроники ПИ и, как следствие, увеличение срока службы ПИ в условиях активного воздействия окружающей среды.

Предложенная конструкция СПИ ББ позволяет решить стоящие перед ней задачи: вносит незначительные изменения во внешний облик здания, не требует размещения по всей поверхности стены, простота конструкции ПИ имеет широкую известность, эти приборы применяются внутри помещений, размещение ПИ внутри бетонного блока сокращает агрессивное воздействие на него окружающей среды, особенности конструктивных решений исключают срабатывание в результате нагрева солнечными лучами, для исключения дополнительных трудозатрат на размещение ПИ внутри бетонного блока установка готового строительного изделия производится при проведении строительно-монтажных работ, не представляет угроз для здоровья человека и обеспечения его комфорта. Польза указанной конструкции для обнаружения значительного количества лучистого тепла пожара может быть оценена в условиях натуральных исследований при проведении эксперимента по сравнению температурных полей при воздействии инфракрасного излучения на ПИ и СПИ ББ.

3.2. Математическая модель обнаружения интенсивного теплового воздействия термочувствительным элементом совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Использование предложенного в разделе 3.1 варианта конструкции совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока требует тщательного исследования характеристик нестационарных температурных полей, которые возникают в конструкции при прилегании термочувствительного элемента (ТЭ), представляющий собой основной

элемент аналогового теплового пожарного извещателя, к стене. Для этого необходима разработка и применение достоверных математических моделей процесса теплопереноса в вышеуказанной конструкции. Для построения математической модели и определения характеристик температурного поля используем расчетные схемы, приведенные на рисунках 3.7, 3.9, 3.14 соответственно для каждого из трех вариантов. На данных рисунках также приведены цепочки блоков для пояснения последовательности передачи тепла от одного элемента к другому.

В рамках рассматриваемой задачи при сравнительно небольшом времени термического воздействия на тело с одной стороны сравниваются три варианта конструкции подвергаемого нагреву диска ТЭ. Первый вариант предусматривает нагревание стального диска (1) диаметром D_1 , толщиной δ_1 , теплопроводностью λ_1 , теплоемкостью c_1 и плотностью ρ_1 . Второй вариант предполагает нагревание двухслойного диска, где в стальной части (1) диаметр D_1 , толщина δ_1 , теплопроводность λ_1 , теплоемкость c_1 и плотность ρ_1 . В стеклянной части (6) диаметр D_2 , толщина δ_2 , теплопроводность λ_2 , теплоемкость c_2 и плотность ρ_2 . Третий вариант подразумевает размещение стальной части (1) диска (с диаметром D_1 , толщиной δ_1 , теплопроводностью λ_1 , теплоемкостью c_1 и плотностью ρ_1) на некотором удалении от стеклянной части (6) диска (с диаметром D_2 , толщиной δ_2 , теплопроводностью λ_2 , теплоемкостью c_2 и плотностью ρ_2). При этом воздушная прослойка имеет диаметр D_3 , толщину δ_3 , теплопроводность λ_3 , теплоемкость c_3 и плотность ρ_3 . Во втором и третьем варианте части изделия находятся в «идеальном» тепловом контакте. Во всех трех вариантах цилиндрическая поверхность (боковая) дисков теплоизолированная.

Задача для первого варианта заключается в определении значения температуры $t(x, \tau)$ в зависимости от времени (τ) по толщине диска (x). Теплоперенос в диске 1 на рисунке 3.7 с граничными условиями третьего рода, которые учитывают конвективный теплообмен с левой стороны и

первого рода, которые характеризуют значение температуры с правой стороны.

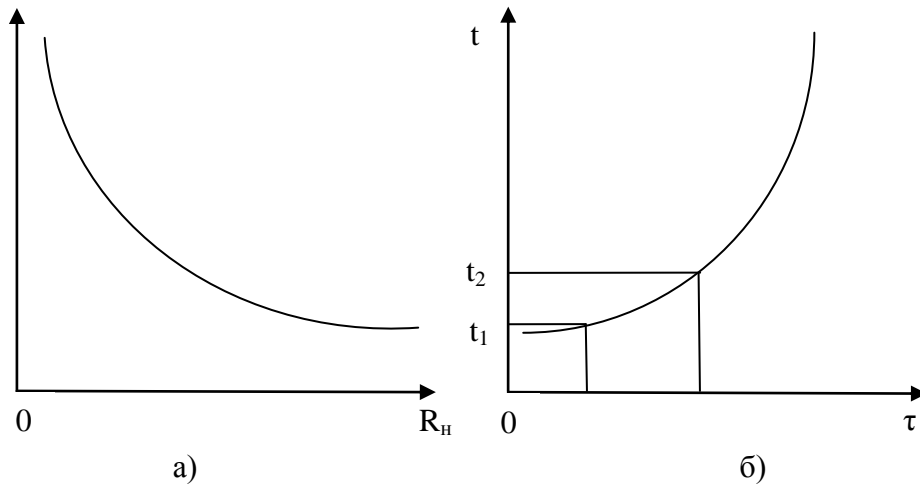


Рисунок 3.5. Кривые, описывающие динамику теплового воздействия на СПИ ББ: а) – зависимость теплового потока (Q) от расстояния до СПИ ББ (R_n); б) – зависимость температуры ТЭ СПИ ББ (t) от времени его нагрева (τ). Здесь t_1 и t_2 – нижнее и верхнее пороговое значение температуры. $^{\circ}\text{C}$.

На рисунке 3.5. (а) показано, что по мере удаления от источника излучения тепловой поток уменьшается. На рисунке 3.5. (б) описана рабочая зона СПИ ББ [t_1, t_2] с диапазоном температур $54\dots 65^{\circ}\text{C}$.

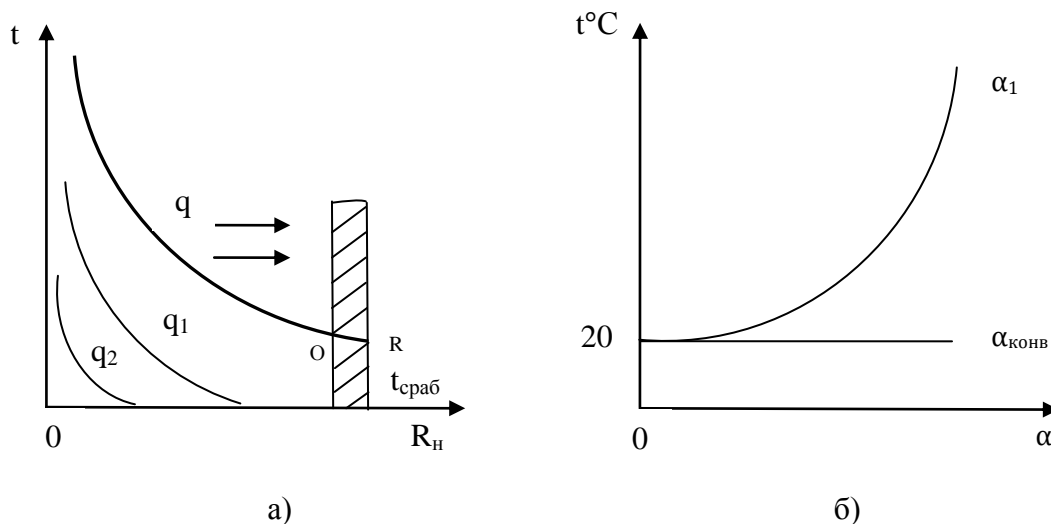


Рисунок 3.6. Кривые, описывающие динамику теплового воздействия на СПИ ББ: а) – зависимость температуры источника излучения и ТЭ СПИ ББ (t) от расстояния между ними (R_n) при различных тепловых потоках (q, q_1, q_2), участок OR описывает температурное поле внутри ТЭ СПИ ББ при нагреве до температуры срабатывания $t_{сраб}$; б) – зависимость температуры ТЭ СПИ ББ (t) от коэффициента теплоотдачи (α).

Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности:

$$\rho C \frac{\partial t(x, \tau)}{\partial \tau} = \lambda \frac{\partial^2 t(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (3.1.1)$$

Воздействие теплового потока на СПИ ББ, которое иллюстрируется на рисунке 3.6. (а), не всегда приводит к срабатыванию изделия. Например, при тепловых потоках q_1 и q_2 . Тепловой поток q позволяет нагреть ТЭ СПИ ББ до температуры срабатывания $t_{\text{сраб}}$. При этом измерение температуры ТЭ СПИ ББ осуществляется в точке R.

Тепловой поток излучения в системе «факел-СПИ ББ», составные части которой разделены лучепрозрачной средой можно рассчитать по формуле:

$$q_2 = c_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \varphi_{1-2} \quad (3.1.2)$$

где q_2 – тепловой поток на ТЭ СПИ ББ, Вт/м²; T_1, T_2 – абсолютные температуры факела и поверхности ТЭ СПИ ББ, К; c_{1-2} – приведенный коэффициент излучения в системе «факел-СПИ ББ»; φ_{1-2} – угловой коэффициент излучения.

К этому уравнению (3.1.2) два граничных условия: третьего и первого рода. Начальная температура стали постоянна и равна t_0 . На поверхность изделия воздействует высокая температура пожара $t_{\text{пож}}$.

Между высокотемпературной газовой средой и диском ТЭ СПИ ББ происходит сложный теплообмен в результате конвекции и излучения:

$$q_{\Sigma} = q_{\text{и}} + q_{\text{к}} = \alpha_{\text{эф.}} [t_{\text{пож.}} - t_{\text{пов.}}] \quad (3.1.3)$$

Здесь q_{Σ} – 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.

На рисунке 3.6. (б) показана динамика изменения коэффициента теплоотдачи (α) при нагреве ТЭ СПИ ББ. Начальная температура СПИ ББ

20°C. Коэффициент теплоотдачи в результате конвекции ($\alpha_{\text{конв}}$) практически не изменяется.

Для удобства выполнения математических выкладок будем использовать безразмерные функции и величины вида:

$$\bar{x} = \frac{x}{R}; \quad Fo = \frac{\alpha\tau}{R^2}; \quad Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}; \quad (3.1.4)$$

$$T(\bar{x}, Fo) = \frac{t_c - t(x, \tau)}{t_c - t_0}. \quad (3.1.5)$$

Для всех трёх вариантов процесс теплопереноса будет определяться краевой задачей теплопроводности, в основе которой лежит дифференциальное уравнение параболического типа нестационарной теплопроводности с соответствующими граничными условиями и начальными условиями, отражающими в общем случае неравномерное распределение температур по толщине соответствующего диска.

Дифференциальное уравнение нестационарной теплопроводности в одномерной постановке, как правило, записывается в следующей форме:

$$\rho_i C_i \frac{\partial t_i(x, \tau)}{\partial \tau} = \lambda_i \frac{\partial^2 t_i(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (3.1.6)$$

Здесь, $i=1$ -температура и теплофизические характеристики первого (стального) диска; $i=2$ - то же, но для стеклянного диска.

С определёнными допущениями можно полагать, что на внешней стороне стального диска происходит теплообмен между диском и внешней средой по принципу сложного теплообмена конвекцией и излучением. На внутренней поверхности диска можно предположить теплоотдачу по механизму естественной конвекции к газу, находящемуся в зоне ПИ.

Предполагая решение задачи методом «микропроцессов», запишем уравнение нестационарной теплопроводности с соответствующими краевыми условиями:

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (3.1.7)$$

$$t(x, \tau)|_{\tau=0} = t_{1.0}(x) \quad (3.1.8)$$

$$-\lambda_1 \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=0} = q_1(\tau) \quad (3.1.9)$$

$$-\lambda_2 \frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial x} \Big|_{x=\delta_{ст}} = q_2(\tau) \quad (3.1.10)$$

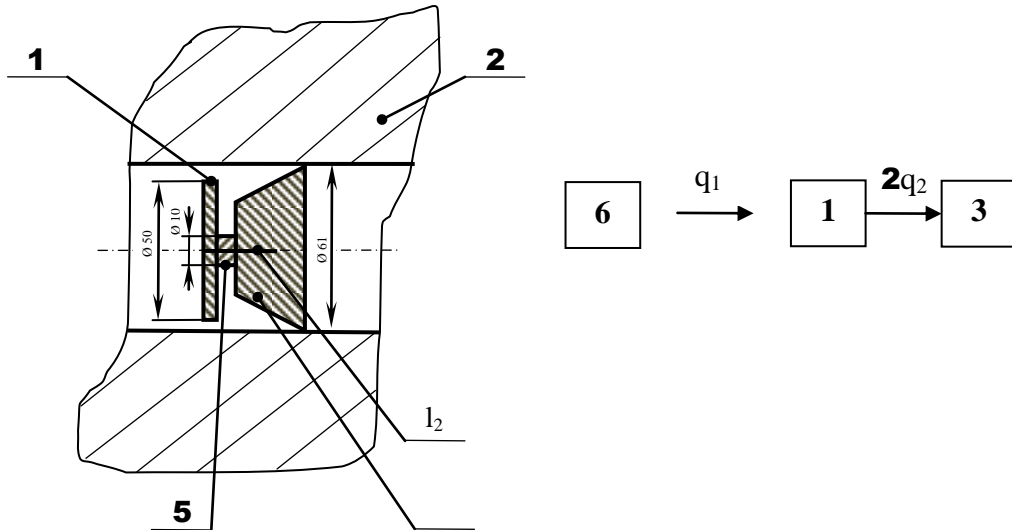


Рисунок 3.7. Эскизный чертеж совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока (первый вариант): 1 – стальной диск; 2 – бетонный блок; 3 – термочувствительный стержень пожарного извещателя; 4 – пожарный извещатель; 5 – крепление к пожарному извещателю; 6 – источник излучения.

В приведённой постановке краевая задача (3.1.6)-(3.1.10) идентична краевой задаче массопроводности, решение которой приведено в монографии [206]

$$t_1(x, \tau) = \frac{1}{\delta_{ст}} \int_0^{\delta_{ст}} t_{1.0}(x) dx + \frac{1}{\delta_{ст} \rho_1 C_1} [q_1 - q_2] \cdot \tau + \frac{2}{\delta_{ст}} \sum_{n=1}^{\infty} \cos\left(\frac{\pi n x}{\delta_{ст}}\right) \exp\left[\left(-\frac{\pi n \sqrt{a_1}}{\delta_{ст}}\right)^2 \tau\right] \int_0^{\delta_{ст}} t_{1.0}(x') \cos\left(\frac{\pi n x'}{\delta_{ст}}\right) dx' \quad (3.1.11)$$

Проведем оценочный расчет значения Био для стального диска СПИ ББ [20] по формуле (3.1.4). Для определения коэффициента теплоотдачи

воспользуемся формулой для определения критерия Нуссельта для вертикальной пластины [207, 208]:

$$Nu = 0,55(Ar \cdot Pr)^{0,25}, \quad (3.1.12)$$

где Ar , Pr – соответственно критерии Архимеда и Прандтля.

$$Ar = \frac{g l^3 \Delta \rho}{\rho_c \nu^2}. \quad (3.1.13)$$

где g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$, l – характерный размер, м, $\Delta \rho$ – разность плотности среды (ρ_c) и тела, кг/м^3 , ν – кинематическая вязкость среды, $\text{м}^2/\text{с}$.

$$Pr = \frac{\nu}{a}, \quad (3.1.14)$$

где ν – кинематическая вязкость среды, $\text{м}^2/\text{с}$, a – коэффициент температуропроводности, $\frac{\text{м}^2}{\text{с}}$; для воздуха: $Pr \approx 0,72$.

По формулам (3.1.13) и (3.1.14) рассчитаем критерии Архимеда и Нуссельта для стального диска с характерным размером l_1 :

$$Ar_1 = \frac{9,81 \cdot 0,001^3 (7700 - 0,946)}{0,946 (1,93 \cdot 10^{-5})^2} = 2 \cdot 10^5 \quad (3.1.15)$$

$$Nu_1 = 0,55(2 \cdot 10^5 \cdot 0,72)^{0,25} = 10,9 \quad (3.1.16)$$

Критерий Нуссельта также рассчитывается по формуле [20]:

$$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda_c} \quad (3.1.17)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, l – характерный размер, м, λ_c – коэффициент теплопроводности среды, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, определяем по справочным данным [145].

Отсюда получим:

$$\alpha = \frac{Nu \lambda_c}{l} \quad (3.1.18)$$

С учетом (3.1.16) рассчитываем α_1 для стального диска с характерным размером l_1 :

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \lambda_c}{l_1} = \frac{10,9 \cdot 0,024}{0,001} = 261,6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (3.1.19)$$

Теперь по формуле (3.1.4) рассчитаем значение Био для стального диска Bi_1 :

$$Bi_1 = \frac{261,6 \cdot 0,001}{47} = 0,006 \quad (3.1.20)$$

Решение для аналогичной задачи для неограниченной пластины получено в [20]:

$$T(\bar{x}, Fo) = \frac{t_c - t(\bar{x}, \tau)}{t_c - t_0} = 2Bi \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\cos(\mu_n \bar{x}) \exp(-\mu_n^2 Fo)}{\mu_n [\sin \mu_n (1 + Bi) + \mu_n \cos \mu_n]}, \quad (3.1.21)$$

где μ_n – переменная, получаемая при помощи характеристического уравнения [20]:

$$ctg \mu_n = \frac{\mu_n}{Bi} \quad (3.1.22)$$

Для значения числа Фурье свыше 0,1 определим число членов ряда на основании условия [20]:

$$\pi^2 n^2 Fo \geq 8 \Rightarrow n \geq \sqrt{\frac{8}{\pi^2 \cdot Fo}} \quad (3.1.23)$$

Из условия (3.1.23) получаем, что для числа Фурье в диапазоне 0,1 ... 7032 с момента начала нагрева СПИ ББ число членов ряда и для стали и для стекла $n \geq 3$.

С учетом этого получим выражение:

$$T(\bar{x}, Fo) = 2Bi \left[\frac{\cos(\mu_1 \bar{x}) \exp(-\mu_1^2 Fo)}{\mu_1 [\sin \mu_1 (1 + Bi) + \mu_1 \cos \mu_1]} + \frac{\cos(\mu_2 \bar{x}) \exp(-\mu_2^2 Fo)}{\mu_2 [\sin \mu_2 (1 + Bi) + \mu_2 \cos \mu_2]} + \frac{\cos(\mu_3 \bar{x}) \exp(-\mu_3^2 Fo)}{\mu_3 [\sin \mu_3 (1 + Bi) + \mu_3 \cos \mu_3]} \right], \quad (3.1.24)$$

После подстановки числа Био и значений μ_n , полученных из уравнения (3.1.22) для первых трех членов ряда, а также проведения расчета по уравнению (3.1.24) получим выражение для стального диска:

$$T_1(\bar{x}, Fo) = 1,01 \cos(0,077\bar{x}) \exp(-0,006Fo) - 0,001 \cos(3,14\bar{x}) \times \exp(-9,86Fo) + 0,003 \cos(6,28\bar{x}) \exp(-39,43Fo) \quad (3.1.25)$$

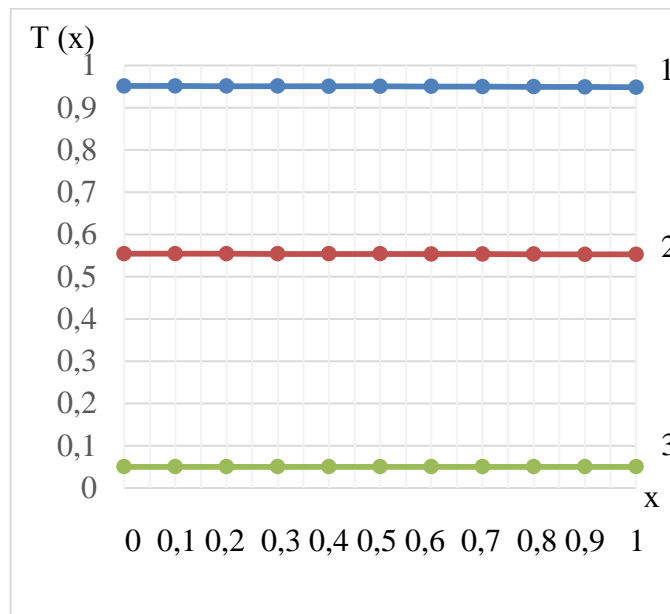


Рисунок 3.8. Распределение безразмерных температур по толщине стального диска в зависимости от числа Фурье ($Bi = 0,006$) Fo : 1) 10; 2) 100; 3) 500.

Уравнение (3.1.25) отражает зависимость безразмерной температуры от толщины стального диска при его размещении по первому варианту. Результаты расчета представлены на рисунке 3.8. При проведении расчета для стального диска ТЭ СПИ ББ толщиной 1 мм при нагреве в течение 600 с определяющее значение после первых 60 с имеет первый член ряда уравнения (3.1.25).

Результаты расчета по уравнению (3.1.25) показывают, что величина теплового потока изменяется не значительно, ей можно пренебречь.

Таким образом, при заданных условиях через 600 с нагрева температура в разных частях стального диска будет практически одинаковой,

так как $Bi \rightarrow 0$. Это означает, что формула (3.1.25) работает адекватно. Следовательно, она может быть рекомендована к использованию.

Для защиты ТЭ СПИ ББ от негативного воздействия окружающей среды предлагается использовать стекло. Второй вариант (рисунки 3.9 и 3.10) отличается от первого варианта тем, что здесь рассматривается задача с граничными условиями IV рода.

$$\rho_1 C_1 \frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = \lambda_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (3.1.26)$$

$$\rho_2 C_2 \frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau} = \lambda_2 \frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (3.1.27)$$

Решение дифференциальных уравнений (3.1.26) и (3.1.27) получить не просто, так как в месте контакта условия I рода при любом времени, плотности потоков равны.

$$t_1(x, \tau) = f_1(\tau) \quad (3.1.28)$$

$$t_2(x, \tau) = f_2(\tau) \quad (3.1.29)$$

Оба уравнения (3.1.28) и (3.1.29) можно использовать для проведения вычислений, подставив в одно из них $x_{\text{конт}}$. Чем больше эта координата контакта, тем точнее вычисления, так как при малых значениях накапливается ошибка.

Для второго варианта, при котором рассматривается система двух тел, общая задача теплопереноса будет представлена следующей системой дифференциальных уравнений с соответствующими краевыми условиями:

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (\tau > 0; 0 \leq x \leq \delta_1) \quad (3.1.30)$$

$$\frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 t_2(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (\tau > 0; \delta_2 \leq x \leq 0) \quad (3.1.31)$$

Начальное условие:

$$t_1(x, 0) = t_{1,0}(x) \quad (3.1.32)$$

$$t_2(x, 0) = t_{2,0}(x) \quad (3.1.33)$$

Граничные условия:

На левой границе:

$$q_n = -\lambda_2 \frac{\partial t_2(\delta_2, \tau)}{\partial x} \quad (3.1.34)$$

$$\lambda_1 \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial t_2(0, \tau)}{\partial x} \quad (3.1.35)$$

$$t_1(0, \tau) = t_2(0, \tau) \quad (3.1.36)$$

$$\frac{\partial t_1(\delta_1, \tau)}{\partial x} = 0 \quad (3.1.37)$$

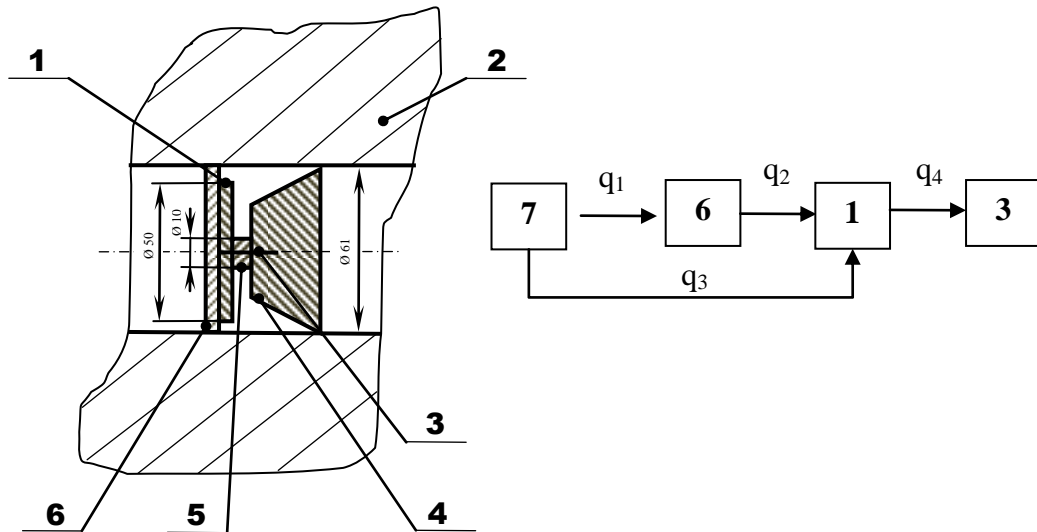


Рисунок 3.9. Эскизный чертеж совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока (второй вариант): 1 – стальной диск; 2 – бетонный блок; 3 – термочувствительный стержень пожарного извещателя; 4 – пожарный извещатель; 5 – крепление к пожарному извещателю, 6 – стеклянный диск, 7 – источник излучения.

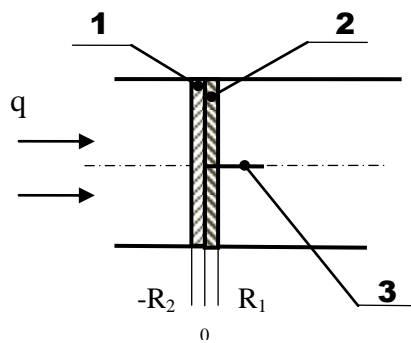


Рисунок 3.10. Расчетная схема для второго варианта: 1 – стеклянный диск; 2 – стальной диск; 3 – термочувствительный стержень пожарного извещателя.

Далее, следует привести задачу к безразмерному виду, обозначить безразмерные переменные, затем привести решения и значение безразмерных температур при $x = 0$. А затем привести формулу в размерном виде.

$$t_1(x, \tau)|_{x=0} = t_{\text{изл}} - (t_{\text{изл}} - t_0) \cdot T_1(\bar{x}, Fo) \Big|_{x=0} \quad (3.1.38)$$

В приведённой постановке краевая задача (3.1.30)-(3.1.37) идентична краевой задаче нестационарного теплопереноса, решение которой приведено в исследовании Н.К. Анисимовой [166].

Система уравнений (3.1.30)-(3.1.37) приводится к безразмерному виду:

$$\bar{x} = \frac{x}{\delta_1}; \quad K_a = \frac{a_2}{a_1}; \quad K_\lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}; \quad K_\delta = \frac{\delta_2}{\delta_1} \quad (3.1.39)$$

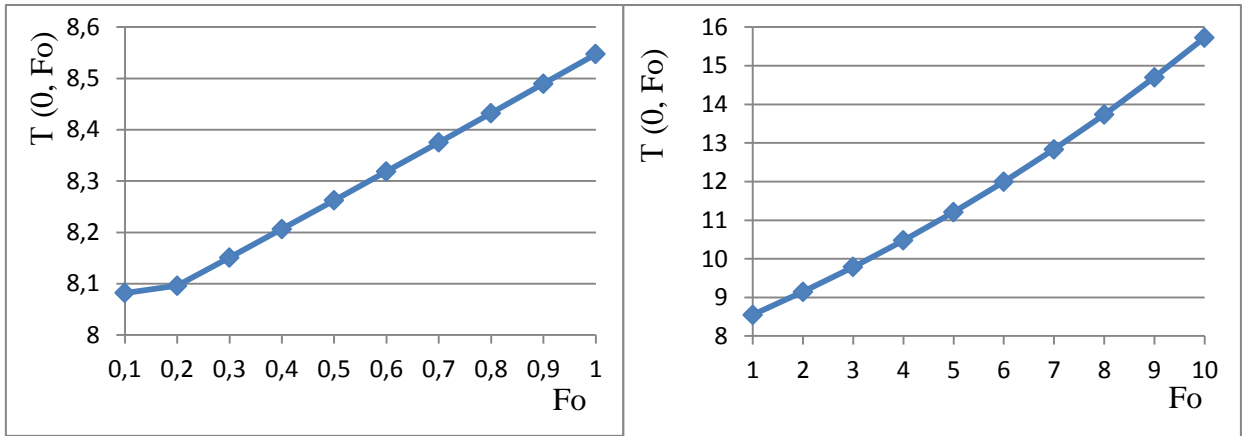
$$T_1(\bar{x}, Fo) = \frac{t_{\text{изл}} - t_1(\bar{x}, \tau)}{t_{\text{изл}} - t_0}; \quad T_2(\bar{x}, Fo) = \frac{t_{\text{изл}} - t_2(\bar{x}, \tau)}{t_{\text{изл}} - t_0} \quad (3.1.40)$$

$$Ki = \frac{q_n \delta_1}{\lambda_2 (t_{\text{изл}} - t_0)}; \quad Fo = \frac{a_1 \tau}{\delta_1^2} \quad (3.1.41)$$

$$\begin{aligned} T_1(0, Fo) = & \frac{1}{1 + K_a K_\lambda K_\delta} \left\{ 1 - K_\lambda K_\delta - Ki K_\lambda [Fo + 0,5 - \right. \\ & \left. - \frac{1 + K_a K_\delta (3K_\delta + 3K_\lambda + K_a K_\lambda K_\delta^2)}{6 (1 + K_a K_\lambda K_\delta)} \right\} + \\ & + 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{\mu_n^2 \cos \mu_n \cos(\mu_n \sqrt{K_a K_\delta}) (1 + K_a K_\lambda K_\delta) - \sin \mu_n \sin(\mu_n \sqrt{K_a K_\delta}) \sqrt{K_a} (K_\lambda + K_\delta)} \times \\ & \times \left\{ \mu_n \sin \mu_n \cos(\mu_n \sqrt{K_a K_\delta}) - \frac{K_\lambda}{\sqrt{K_a}} \cos \mu_n \right\} \exp(-\mu_n^2 Fo) \end{aligned} \quad (3.1.42)$$

Уравнение (3.1.42) отражает зависимость безразмерной температуры от числа Фурье в точке отсчета при размещении стального диска по второму варианту. Результаты расчета представлены на рисунке 3.11.

Таким образом, при заданных условиях происходит повышение безразмерной температуры при увеличении числа Фурье. Это означает, что формула (3.1.42) работает адекватно. Следовательно, она может быть рекомендована к использованию.

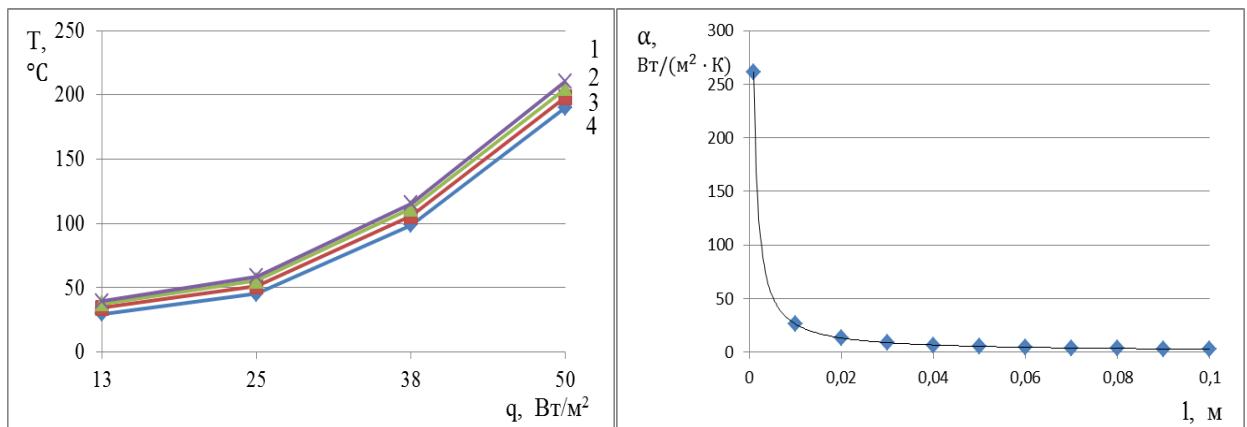


а)

б)

Рисунок 3.11. Изменение безразмерной температуры в зависимости от числа Фурье: а) – в диапазоне $0,1 \dots 1$; б) – в диапазоне $1 \dots 10$.

Для третьего варианта (рисунки 3.13 и 3.14) для защиты ТЭ СПИ ББ от негативного воздействия окружающей среды также предлагается использовать стекло. В отличие от второго варианта здесь стеклянный диск находится на некотором удалении от стального диска. Для решения этой задачи используется упрощенное решение, которое применялось для первого варианта: (3.1.24) и (3.1.25).



а)

б)

Рисунок 3.12. Зависимости: а) температуры ТЭ СПИ ББ от теплового потока: 1 – на 10 мин; 2 – на 7 мин; 3 – на 4 мин; 4 – на 1 мин; б) коэффициента теплоотдачи диска от его характерного размера.

Зависимость температуры ТЭ СПИ ББ от теплового потока при различной продолжительности нагрева представлена на рисунке 3.12 а). Для определения температуры газа в пространстве между стеклянным и стальным

диском используем формулу (3.1.18). На рисунке 3.12 б) представлена зависимость коэффициента теплоотдачи диска ТЭ от его характерного размера.

В рассматриваемом объеме газа, при его нахождении не при высоких температурах, представляется возможным рассмотреть теплопроводность. При значении температур до 65°C конвективные потоки отсутствуют.

$$q_1 = -\lambda_{\text{ст}} \frac{\partial t_1}{\partial x} \quad (3.1.43)$$

$$q_2 = \lambda_{\text{газа}} \frac{\partial t_2}{\partial x} \quad (3.1.44)$$

$$-\lambda_{\text{ст}} \frac{\partial t_1}{\partial x} = \lambda_{\text{газа}} \frac{\partial t_2}{\partial x} \quad (3.1.45)$$

Для третьего варианта запишем уравнение нестационарной теплопроводности с соответствующими краевыми условиями:

$$\frac{\partial t_1(x, \tau)}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 t_1(x, \tau)}{\partial x^2} \quad (3.1.46)$$

$$t(x, \tau)|_{\tau=0} = t_{1.0}(x) \quad (3.1.47)$$

$$-\lambda_1 \left. \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} \right|_{x=0} = q_1(\tau) \quad (3.1.48)$$

$$-\lambda_2 \left. \frac{\partial t_2(x, \tau)}{\partial x} \right|_{x=\delta_{\text{ст}}} = q_2(\tau) \quad (3.1.49)$$

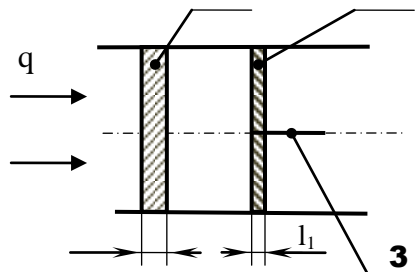


Рисунок 3.13. Расчетная схема для третьего варианта: 1 – стеклянный диск; 2 – стальной диск; 3 – термочувствительный стержень пожарного извещателя.

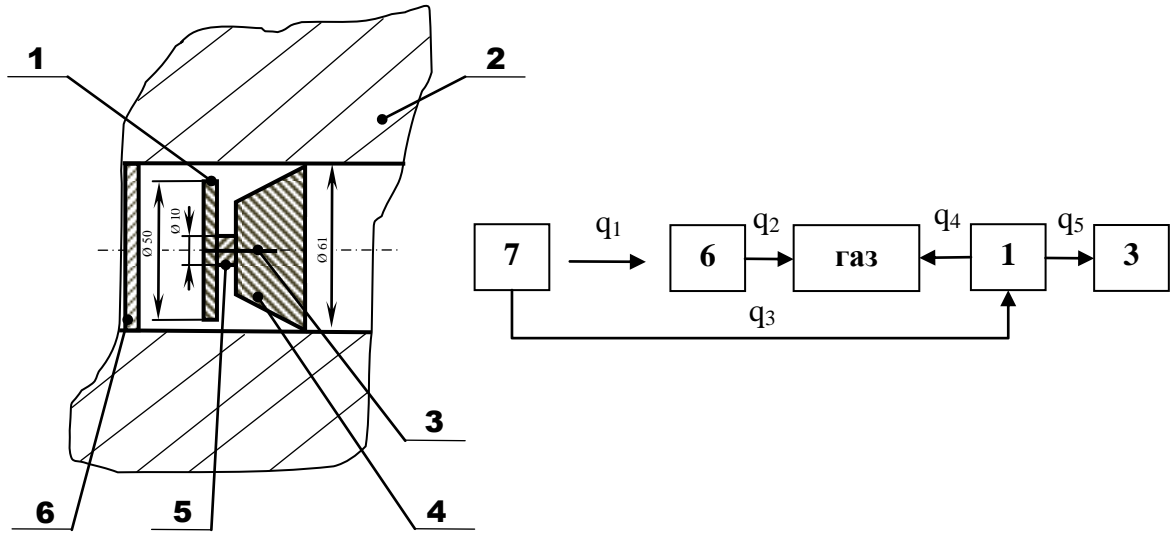


Рисунок 3.14. Эскизный чертеж совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока (третий вариант): 1 – стальной диск; 2 – бетонный блок; 3 – термочувствительный стержень пожарного извещателя; 4 – пожарный извещатель; 5 – крепление к пожарному извещателю, 6 – стеклянный диск, 7 - источник излучения.

Перепишем уравнения (3.1.2), (3.1.6) и (3.1.45) в общую систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_2 = c_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \varphi_{1-2}, \end{array} \right. \quad (3.1.50)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_i c_i \frac{\partial t_i(x, \tau)}{\partial \tau} = \lambda_i \frac{\partial^2 t_i(x, \tau)}{\partial x^2}, \end{array} \right. \quad (3.1.51)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\lambda_{ст} \frac{\partial t_1}{\partial x} = \lambda_{газа} \frac{\partial t_2}{\partial x}, \end{array} \right. \quad (3.1.52)$$

Для стеклянного диска преобразуем уравнение (3.1.24) аналогично получению уравнения (3.1.25):

$$T_2(\bar{x}, Fo) = 1,09 \cos(0,79\bar{x}) \exp(-0,62Fo) - 0,16 \cos(3,14\bar{x}) \times \\ \times \exp(-9,86Fo) + 0,04 \cos(6,28\bar{x}) \exp(-39,43Fo) \quad (3.1.53)$$

Уравнение (3.1.50) описывает зависимость безразмерной температуры от толщины стеклянного диска при его размещении по третьему варианту. Результаты расчета по этому уравнению иллюстрируются на рисунке 3.15.

Очевидно, что при проведении расчета для стеклянного диска ТЭ СПИ ББ толщиной 4 мм при нагреве в течение 600 с определяющее значение после первых 60 с имеет первый член ряда уравнения (3.1.53).

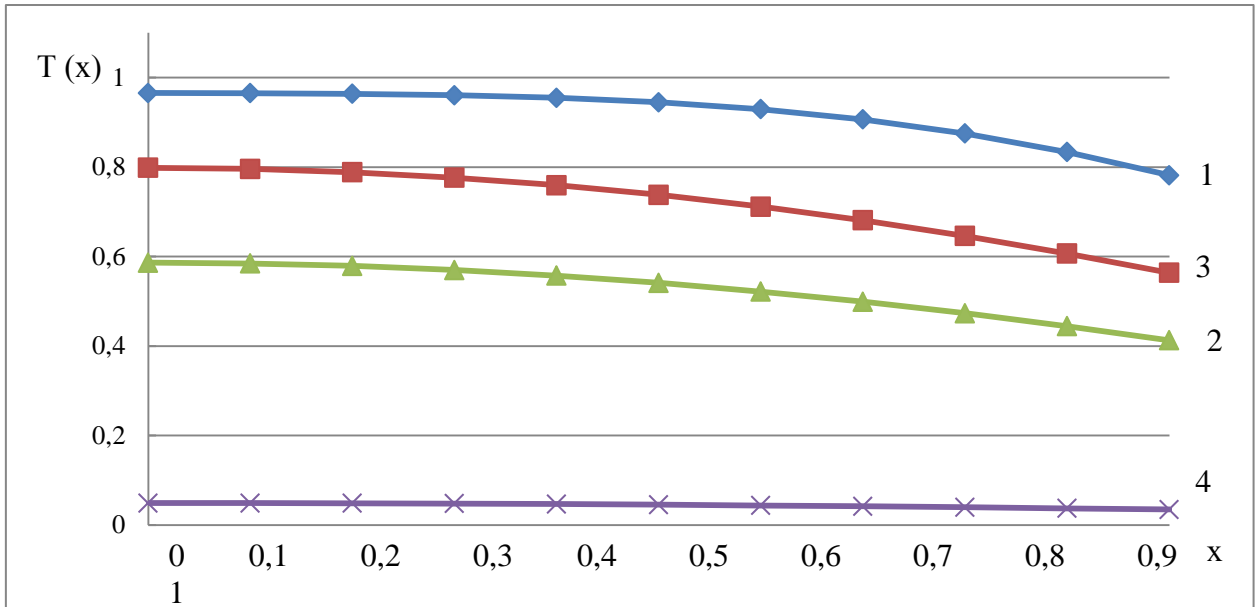


Рисунок 3.15. Распределение безразмерных температур по толщине стеклянного диска в зависимости от числа Фурье ($Bi = 0,79$) Fo : 1) 0,1; 2) 0,5; 3) 1; 4) 5.

Известно, что для решения краевой задачи теплопереноса в пластине при неравномерном начальном распределении температур используется выражение [22]:

$$T(\bar{x}, Fo) = Ki \left[(1 - \bar{x}) - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{8 \cos(\mu_n \bar{x})}{\pi^2 n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \right] + \sum_{n=1}^{\infty} 2 \cos(\mu_n \bar{x}) \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi, \quad (3.1.54)$$

где $Ki = \frac{q \delta_d}{\lambda_d \Delta t_\delta}$ – Критерий Кирпичева (3.1.55)

Рассчитаем интеграл для уравнения (3.1.55) для равномерного начального распределения температуры по стальному диску ТЭ СПИ ББ:

$$J = \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi \quad (3.1.56)$$

Определим начальное значение температуры:

$$T_0(\xi) = T_0 \quad (3.1.57)$$

Отсюда получим:

$$J = \int_0^1 T_0 \cos(\mu_n \xi) \frac{1}{\mu_n} d(\mu_n \xi) = \frac{T_0}{\mu_n} \int_0^1 \cos(\mu_n \xi) d(\mu_n \xi) =$$

$$= \frac{T_0}{\mu_n} [\sin(\mu_n \xi)] \Big|_0^1 = \frac{T_0}{\mu_n} \left[\sin(\mu_n \xi) \Big|_{\xi=1} - \sin(\mu_n \xi) \Big|_{\xi=0} \right] = 0 \quad (3.1.58)$$

С учетом уравнений (3.1.34), (3.1.54) и (3.1.58) частный случай равномерного начального распределения температуры для стального диска ТЭ СПИ ББ представлен выражением:

$$T(\bar{x}, Fo) = Ki \left[(1 - \bar{x}) - \sum_{n=1}^3 \frac{8 \cos(\mu_n \bar{x})}{\pi^2 n^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 n^2}{4} Fo\right) \right] \quad (3.1.59)$$

Для стального диска проведем расчет коэффициента теплоотдачи естественной конвекции в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. и в среде аргона, криптона, ксенона, углекислого газа с соответствующими коэффициентами теплопроводности среды $\lambda_b, \lambda_a, \lambda_{кр}, \lambda_{кс}, \lambda_y$, Вт/(м·К) [197, 198]:

$$\alpha_3 = \frac{Nu_1 \lambda_b}{l_1} = \frac{10,9 \cdot 0,00016}{0,001} = 1,74 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (3.1.60)$$

$$\alpha_4 = \frac{Nu_3 \lambda_a}{l_1} = \frac{11,7 \cdot 0,0164}{0,001} = 191,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (3.1.61)$$

$$\alpha_5 = \frac{Nu_4 \lambda_{кр}}{l_1} = \frac{13,5 \cdot 0,0087}{0,001} = 117,1 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (3.1.62)$$

$$\alpha_6 = \frac{Nu_5 \lambda_{кс}}{l_1} = \frac{15,0 \cdot 0,0051}{0,001} = 76,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (3.1.63)$$

$$\alpha_7 = \frac{Nu_6 \lambda_y}{l_1} = \frac{14,4 \cdot 0,0147}{0,001} = 211,3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}) \quad (3.1.64)$$

На основании результатов расчета (3.1.31), (3.1.60)-(3.1.64) определим тепловой поток с поверхности стального диска ТЭ СПИ ББ при естественной

конвекции в воздухе (q_1), в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. (q_2) и по отдельности в среде аргона (q_3), криптона (q_4), ксенона (q_5), углекислого газа (q_6) при нагреве от $20\text{ }^\circ\text{C}$ до $54\text{ }^\circ\text{C}$:

$$q_1 = \alpha_1 (T_1 - T_0) = 261,6 (54 - 20) = 8894,4 \text{ Вт/м}^2 \quad (3.1.65)$$

$$q_2 = \alpha_3 (T_1 - T_0) = 1,74 (54 - 20) = 59,3 \text{ Вт/м}^2 \quad (3.1.66)$$

$$q_3 = \alpha_4 (T_1 - T_0) = 191,9 (54 - 20) = 6523,5 \text{ Вт/м}^2 \quad (3.1.67)$$

$$q_4 = \alpha_5 (T_1 - T_0) = 117,1 (54 - 20) = 3980,9 \text{ Вт/м}^2 \quad (3.1.68)$$

$$q_5 = \alpha_6 (T_1 - T_0) = 76,7 (54 - 20) = 2608,6 \text{ Вт/м}^2 \quad (3.1.69)$$

$$q_6 = \alpha_7 (T_1 - T_0) = 211,3 (54 - 20) = 7185,7 \text{ Вт/м}^2 \quad (3.1.70)$$

По уравнению (3.1.55) рассчитаем Критерий Кирпичева для стального диска ТЭ СПИ ББ при естественной конвекции в воздухе (Ki_1), в вакууме 10^{-5} мм рт. ст. (Ki_2) и по отдельности в среде аргона (Ki_3), криптона (Ki_4), ксенона (Ki_5), углекислого газа (Ki_6) при нагреве от $20\text{ }^\circ\text{C}$ до $54\text{ }^\circ\text{C}$:

$$Ki_1 = \frac{8894,4 \cdot 0,001}{47 \cdot 34} = 5,57 \cdot 10^{-3} \quad (3.1.71)$$

$$Ki_2 = \frac{59,3 \cdot 0,001}{47 \cdot 34} = 3,71 \cdot 10^{-5} \quad (3.1.72)$$

$$Ki_3 = \frac{6523,5 \cdot 0,001}{47 \cdot 34} = 4,08 \cdot 10^{-3} \quad (3.1.73)$$

$$Ki_4 = \frac{3980,9 \cdot 0,001}{47 \cdot 34} = 2,49 \cdot 10^{-3} \quad (3.1.74)$$

$$Ki_5 = \frac{2608,6 \cdot 0,001}{47 \cdot 34} = 1,63 \cdot 10^{-3} \quad (3.1.75)$$

$$Ki_6 = \frac{7185,7 \cdot 0,001}{47 \cdot 34} = 4,5 \cdot 10^{-3} \quad (3.1.76)$$

Уравнение (3.1.55) описывает зависимость безразмерной температуры от толщины стального диска в процессе теплопередачи среде. Результаты расчета по этому уравнению представлены на рисунке 3.16.

Результаты расчета по уравнению (3.1.55) показывают, что создание вакуума в пространстве вокруг стального диска (за исключением поверхности, на которое воздействует тепло) или заполнение этого пространства специальными газами замедляет процесс теплопередачи среде в рамках нагрева стального диска ТЭ СПИ ББ. Наименьшее значение теплотерь достигнуто в случае создания вакуума 10^{-5} мм рт. ст.

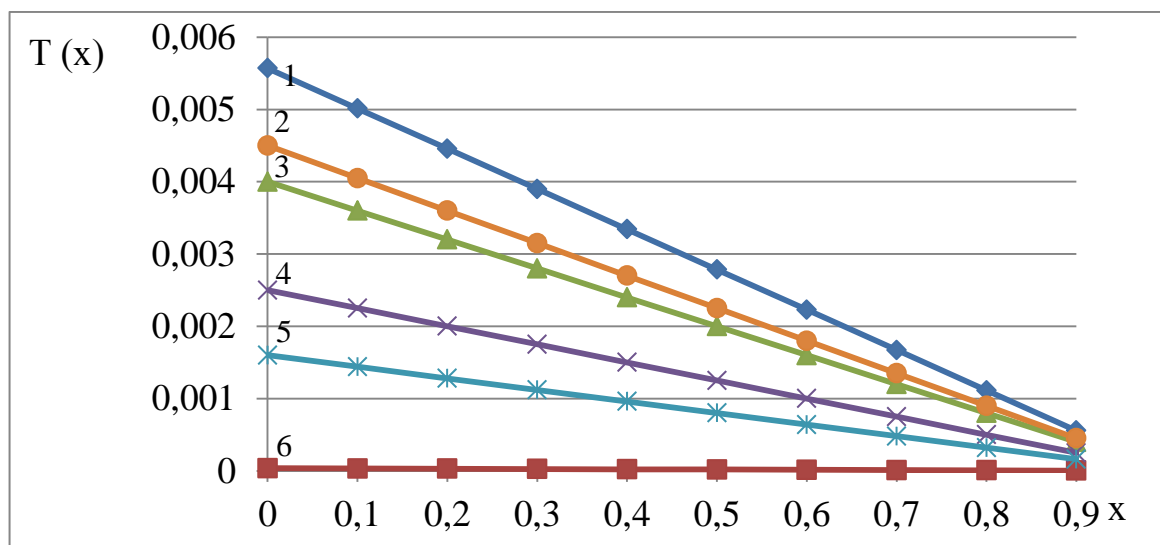


Рисунок 3.16. Распределение безразмерных температур по толщине стального диска в зависимости от характеристик среды ($F_0 = 7032$): 1) воздух; 2) углекислый газ; 3) аргон; 4) криптон; 5) ксенон; 6) вакуум.

С целью определения потери тепла на нагрев воздуха внутри СПИ ББ осуществлен замер температуры воздуха вблизи ТЭ черного цвета и диаметром 0,05 м, а также линзы и стекла. Расстояние от излучателя до линзы с оптической силой 20 Дптр (или стекла) составляет 0,20 м. Угол излучения к основной оси линзы равен 0° . Мощность воздействия инфракрасного излучателя равнялась 2 кВт, воздействие осуществлялось в течение 10 минут. Измерение температуры воздуха производилось термогигрометром с тыльной стороны бетонного блока через технологическое отверстие. Результаты измерения температуры воздуха и результаты расчета теплового потока при теплоотдаче представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Температура воздуха в непосредственной близости к ТЭ и тепловой поток при конвективной теплоотдаче в зависимости от времени воздействия излучения

Параметр, размерность	Значение параметра на определенной минуте нагрева									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Температура воздуха вблизи ТЭ при нагреве через линзу										
°С	21,1	22,9	23,6	23,9	24,4	24,6	24,7	24,9	25,5	25,9
Тепловой поток от ТЭ										
Вт	1,15	1,47	1,78	2,0	2,11	2,17	2,36	2,53	2,73	2,71
Температура воздуха вблизи линзы										
°С	21,5	22,5	23,5	24,4	25,2	25,7	26,6	27,1	27,4	28,2
Температура воздуха вблизи стекла										
°С	20,7	21,7	22,6	23,7	24,7	26,0	26,9	27,9	29,1	29,7

Таким образом, при нагреве диска ТЭ черного цвета происходит увеличение температуры воздуха вблизи него. Тепловой поток при отдаче тепла от одной (тыльной) стороны черного диска ТЭ СПИ ББ воздуху рассчитан по закону теплоотдачи Ньютона.

3.3. Разработка модели конвекционно-радиационного теплообмена

Использование приведенных в разделе 3.1 выражений при практических инженерных расчетах характеризуется высокой трудоемкостью. Примем ряд допущений. Термочувствительный элемент

СПИ ББ принимается значительно более тонким, чем характерный размер бетонного блока.

Разработаем модель нагрева тонкой неограниченной пластины. Температура факела при пожаре (а при проведении испытаний температура ИК-излучателя) является функцией времени. Для расчетов температуру факела принимают по справочной литературе [147]. При проведении испытаний температура ИК-излучателя представляет собой характеристику прибора. Температура пластины, являясь функцией времени, рассчитывается посредством решения задачи теплообмена.

Учитывая исследования С.В. Федосова [20], Н.К. Анисимовой [166], составим тепловой баланс системы взаимодействия ИК-излучателя и пластины. При этом полагаем, что пластина нагревается при сложном теплообмене в результате конвекции и излучения. В таких условиях представляется возможным допустить равномерный прогрев пластины по всей её толщине. Кинетика нагрева пластины можно определить при помощи балансового уравнения:

$$\alpha_{\text{эф}} [t_{\text{ф}}(\tau) - t_{\text{д}}(\tau)] - q_{\text{п}} = \frac{m_{\text{д}} C_{\text{д}}}{S_{\text{д}}} \cdot \frac{dt_{\text{д}}(\tau)}{d\tau}, \quad (3.2.1)$$

где: $\alpha_{\text{эф}}$ – эффективный коэффициент теплоотдачи, $m_{\text{д}}$, $C_{\text{д}}$, $S_{\text{д}}$ – масса, теплоемкость и площадь диска термочувствительного элемента СПИ ББ, соответственно: кг, Дж/(кг·К), м²; $q_{\text{п}}$ – плотность тепловых потерь, Вт/(м²), $t_{\text{ф}}$ и $t_{\text{д}}$ – температуры факела и диска термочувствительного элемента СПИ ББ соответственно.

Принимая линейным изменение температуры излучателя во времени, получим выражение:

$$t_{\text{ф}}(\tau) = \frac{t_{\text{ф}}^* - t_{\text{ф}}^0}{\tau^*} \cdot \tau + t_{\text{ф}}^0, \quad (3.2.2)$$

где: t_{ϕ}^* и t_{ϕ}^0 – максимальное и начальное значение температуры факела при пожаре (излучателя при испытаниях), К, τ^* - время достижения температуры факела от t_{ϕ}^0 до t_{ϕ}^* , с; τ – время воздействия факела (излучателя) на диск, с.

Для определения эффективного коэффициента теплоотдачи данной системы может быть использовано следующее выражение:

$$\alpha_{\text{эф}} = \alpha_{\text{к}} + \varepsilon_0 \varepsilon_{\text{пр}} \frac{\left\{ \left[\frac{T_{\phi}(\tau)}{100} \right]^4 - \left[\frac{T_{\text{д}}(\tau)}{100} \right]^4 \right\}}{t_{\phi}(\tau) - t_{\text{д}}(\tau)}, \quad (3.2.3)$$

где: $T_{\phi}(\tau)$ и $T_{\text{д}}(\tau)$ - температуры факела и диска термочувствительного элемента СПИ ББ, К; $\varepsilon_0, \varepsilon_{\text{пр}}$ – степень черноты абсолютно черного тела и приведенная степень черноты тел, которые взаимодействуют. Приведенная степень черноты определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{\phi}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{д}}} - 1 \right)}, \quad (3.2.4)$$

где: ε_{ϕ} – степень черноты факела (излучателя), $\varepsilon_{\text{д}}$ – степень черноты диска термочувствительного элемента СПИ ББ.

В описанных выше выражениях эффективный коэффициент теплоотдачи определяет суммарную интенсивность теплообмена при пожаре (при испытании) в результате конвекции газа к нагреваемому диску и передачи лучистого тепла при радиационном обмене между факелом (излучателем) и диском термочувствительного элемента СПИ ББ [209-214].

В связи с тем, что параметры, входящие в зависимости (3.2.1) - (3.2.3), изменяются во времени, данные выражения представляются нелинейными. При этом такие физические параметры диска, как масса, площадь, теплоемкость, можно отнести к мало зависящим от температуры. Свойства факела (излучателя) и диска термочувствительного элемента СПИ ББ

определяет степень черноты тел, которые взаимодействуют, а также приведенную степень черноты.

Параметр $q_{п}$ является характеристикой теплоотдачи в окружающую среду в результате сложного теплообмена и теплопроводности в результате контакта термочувствительного элемента СПИ ББ с твердым телом (бетонным блоком, конструктивными элементами ПИ).

Совместное решение уравнений (3.2.1) - (3.2.3) позволяет определить не только кинетику нагрева факела (излучателя), но и диска термочувствительного элемента СПИ ББ. При этом отслеживается изменение эффективного коэффициента теплоотдачи и теплового потока между телами, которые взаимодействуют в течение заданного интервала времени.

Возможность определения времени достижения диском термочувствительного элемента СПИ ББ температуры срабатывания определенного ПИ позволяет устанавливать класс и модель ПИ, что в свою очередь способствует направленному управлению техническими и экономическими показателями при создании СПИ ББ.

Следовательно, в условиях изменения всех параметров реального теплообмена во времени для разработки СПИ ББ может успешно применяться метод «микропроцессов», который положительно зарекомендовал себя в рамках решения значительного круга задач тепломассопереноса в строительстве [168].

В связи с чем, преобразуем уравнение (3.2.1) для i -го «микропроцесса»:

$$\alpha_{эф,i} [t_{ф,i}(\tau) - t_d(\tau)] - q_{п,i} = \frac{m_d C_d}{S_d} \cdot \frac{dt_d(\tau)}{d\tau}, \quad (3.2.5)$$

При этом полагаем постоянство коэффициента теплоотдачи в рамках «микропроцесса», изменение которого происходит только при переходе между «микропроцессами».

Рассматривая вслед за С.В. Федосовым [168], Н.К. Анисимовой [166], Лузиным Н.Н. [215] выражение (3.2.5) в качестве линейного дифференциального уравнения первого порядка, получим:

$$\frac{dt_d(\tau)}{d\tau} + A \cdot t_d(\tau) = B \cdot \tau + C, \quad (3.2.6)$$

$$\text{где: } A = \frac{\alpha_{\text{эф}} S_d}{m_d C_d}; B = \frac{\alpha_{\text{эф}} S_d}{m_d C_d} \cdot \frac{t_{\text{ф}}^* - t_{\text{ф}}^0}{\tau^*}; C = \frac{(\alpha_{\text{эф}} t_{\text{ф}}^0 - q_{\text{п}}) S_d}{m_d C_d}. \quad (3.2.7)$$

Осуществив подстановку

$$t_d(\tau) = u \cdot z, \quad (3.2.8)$$

уравнение (3.6.6) преобразуем в выражение:

$$u \frac{dz}{d\tau} + \left(\frac{du}{d\tau} + A \cdot u \right) \cdot z = B \cdot \tau + C. \quad (3.2.9)$$

Вначале получим частное решение уравнения:

$$\frac{du}{d\tau} + A \cdot u = 0. \quad (3.2.10)$$

После разделения переменных получим запись:

$$u = e^{-A\tau}. \quad (3.2.11)$$

При осуществлении подстановки полученного результата в уравнение (3.6.9) получим:

$$e^{-A\tau} \frac{dz}{d\tau} = B \cdot \tau + C. \quad (3.2.12)$$

Проведем разделение переменных и интегрирование выражения (3.6.12):

$$z = B \int \tau \cdot e^{-A\tau} d\tau + C \int \tau \cdot e^{-A\tau} d\tau + C_1, \quad (3.2.13)$$

где: C_1 – константа интегрирования

Выполнив интегрирование, для получения общего решения уравнения (3.6.6) подставим выражения (3.2.11) и (3.2.13) в уравнение (3.2.8):

$$t_{d1}(\tau_1) = B \left(\frac{\tau_1}{A} - \frac{1}{A^2} \right) + \frac{C}{A} + C_1 \cdot e^{-A\tau_1}. \quad (3.2.14)$$

Используем начальное условие для получения константы интегрирования C_1 :

$$t_d(\tau_1) \Big|_{\tau_1 = 0} = t_{d,1}^0. \quad (3.2.15)$$

Из выражения (3.6.15) получим:

$$C_1 = t_{d,1}^0 + \frac{B}{A^2} - \frac{C}{A}. \quad (3.2.16)$$

Запишем итоговое решение:

$$t_d(\tau) = \left(t_d^0 + \frac{B}{A^2} - \frac{C}{A} \right) \cdot e^{-A\tau} + B \left(\frac{\tau}{A} - \frac{1}{A^2} \right) + \frac{C}{A}. \quad (3.2.17)$$

Подставив выражения (3.6.7) в уравнение (3.6.17) получим:

$$t_d(\tau) = \left[t_d^0 + \frac{1}{\alpha_{эф}} \left(\frac{m_d C_d}{S_d} \cdot \frac{t_{\phi}^* - t_{\phi}^0}{\tau} - q_{п} \right) - t_{\phi}^0 \right] \exp \left(-\frac{\alpha_{эф} \tau S_d}{m_d C_d} \right) + \frac{t_{\phi}^* - t_{\phi}^0}{\tau^*} \left(\tau - \frac{m_d C_d}{\alpha_{эф} S_d} \right) + t_{\phi}^0 + \frac{q_{п}}{\alpha_{эф}} \quad (3.2.18)$$

где $\alpha_{эф}$ – эффективный коэффициент теплоотдачи, m_d, C_d, S_d – масса, теплоемкость и площадь диска термочувствительного элемента совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока, соответственно: кг, Дж/(кг·К), м²; $q_{п}$ – плотность тепловых потерь, Вт/(м²), t_{ϕ}^0 и t_d – температуры факела и диска термочувствительного элемента совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока соответственно, К; t_{ϕ}^* и t_{ϕ}^0 – максимальное и начальное значение температуры факела, К, τ^* – время достижения температуры факела от t_{ϕ}^0 до t_{ϕ}^* , с; τ – время воздействия факела на диск, с.

Теперь получим модель иным способом (не разделением, а заменой переменных). Необходимость данной модели обусловлена наличием различных исходных данных для проведения расчета. Разработка двух моделей позволит обеспечить многовариантность способов расчета, а также будет способствовать удобству пользователей.

Стальной диск имеет размеры: D_d – диаметр и δ – толщина, м, его характеристики ρ_d, C_d, λ_d – плотность, теплоемкость, теплопроводность, соответственно кг/м³, Дж/(кг·К), Вт/(м·К).

Тепловой поток от источника пожара:

$$q_{ист}(\tau) = \alpha_{эф}[t_{ист}(\tau) - t_{нов}(\tau)], \quad (3.2.19)$$

Этот тепловой поток идет на нагрев диска. С противоположной стороны снимается тепловой поток конвекцией:

$$q_{конв}(\tau) = \alpha_1[t_{ст}(\tau) - t_{газ}(\tau)], \quad (3.2.20)$$

Тепловой баланс для диска:

$$\begin{aligned} m_d C_d \frac{dt_d(\tau)}{d\tau} d\tau = \\ = \{ \alpha_{эф}[t_{ист}(\tau) - t_{нов}(\tau)] - \alpha_{конв}[t_{ст}(\tau) - t_{газ}(\tau)] \} F \cdot d\tau, \end{aligned} \quad (3.2.21)$$

Преобразуем (3.1.71):

$$\begin{aligned} \frac{\pi}{4} D_d^2 \delta\rho_d C_d \frac{dt_d}{d\tau} = \\ = \frac{\pi}{4} D_d^2 \{ \alpha_{эф} t_{ист}(\tau) - \alpha_{эф} t_{нов}(\tau) - \alpha_{конв} t_{ст}(\tau) + \alpha_{конв} t_{газ}(\tau) \} \end{aligned} \quad (3.2.22)$$

Отсюда после сокращений и группировки:

$$\delta\rho_d C_d \frac{dt_d}{d\tau} = \alpha_{эф} t_{ист}(\tau) + \alpha_{конв} t_{газ}(\tau) - (\alpha_{эф} + \alpha_{конв}) t_d(\tau), \quad (3.2.23)$$

Далее

$$\frac{dt_d}{d\tau} = \frac{\alpha_{эф} t_{ист}(\tau) + \alpha_{конв} t_{газ}(\tau)}{\delta\rho_d C_d} - \frac{(\alpha_{эф} + \alpha_{конв})}{\delta\rho_d C_d} t_d(\tau), \quad (3.2.24)$$

$$\frac{\alpha_{эф} t_{ист}(\tau) + \alpha_{конв} t_{газ}(\tau)}{\delta\rho_d C_d} = a \quad (3.2.25)$$

$$\frac{(\alpha_{эф} + \alpha_{конв})}{\delta\rho_d C_d} = b \quad (3.2.26)$$

$$\frac{dt_d}{d\tau} = a - b \cdot t_d, \quad (3.2.27)$$

Замена переменной

$$T = a - b \cdot t_d \Rightarrow (3.2.28)$$

$$dT = -b \cdot dt_d (3.2.29)$$

Подстановка (3.2.29) в (3.2.27):

$$-\frac{1}{b} \frac{dT}{d\tau} = T \Rightarrow \frac{dT}{T} = b \cdot d\tau \quad (3.2.30)$$

Интегрируем в пределах $[\tau_1 - \tau_2]$ и $[t_1 - t_2]$

$$\int_{t_1}^{t_2} \frac{dT}{T} = -b \int_{\tau_1}^{\tau_2} d\tau \quad (3.2.31)$$

$$\ln(a - b \cdot t_d) \Big|_{t_1}^{t_2} = -b(\tau_2 - \tau_1) \Rightarrow \quad (3.2.32)$$

$$\frac{(a - bt_{d,2})}{(a - bt_{d,1})} = \exp[-b(\tau_2 - \tau_1)] \quad (3.2.33)$$

$$t_{d,2} = \frac{a}{b} - \frac{1}{b}(a - bt_{d,1}) \exp[-b(\tau_2 - \tau_1)] \quad (3.2.34)$$

Итоговое уравнение имеет вид:

$$t_{d2}(\tau) = \frac{\alpha_{\text{эф}} t_{\text{ист}}(\tau) + \alpha_{\text{конв}} t_{\text{газ}}(\tau)}{(\alpha_{\text{эф}} + \alpha_{\text{конв}})} - \frac{\delta \rho_d C_d}{(\alpha_{\text{эф}} + \alpha_{\text{конв}})} \times$$

$$\times \left(\frac{\alpha_{\text{эф}} t_{\text{ист}}(\tau) + \alpha_{\text{конв}} t_{\text{газ}}(\tau)}{\delta \rho_d C_d} - \frac{(\alpha_{\text{эф}} + \alpha_{\text{конв}})}{\delta \rho_d C_d} t_{d1}(\tau) \right) \times$$

$$\times \exp \left[- \frac{(\alpha_{\text{эф}} + \alpha_{\text{конв}})}{\delta \rho_d C_d} \tau \right] \quad (3.2.35)$$

где: $t_{\text{ист}}(\tau)$ и $t_{\text{газ}}(\tau)$ – температура источника излучения и газа вблизи диска, К; $\alpha_{\text{конв}}$ и $\alpha_{\text{эф}}$ – конвективный и эффективный коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); t_{d1}, t_{d2}, δ – начальная и конечная температуры, толщина диска, К, м, ρ_d, C_d – плотность, теплоемкость диска, кг/м³, Дж/(кг·К).

Для удобства проведения расчетов по уравнениям (3.2.1)-(3.2.4), (3.2.18) и (3.2.35) была создана компьютерная программа [202], один из разделов которой позволяет проводить соответствующие вычисления. При помощи данной программы можно определить температуру факела (излучателя) и диска термочувствительного элемента СПИ ББ, коэффициенты теплоотдачи и плотность теплового потока при нагревании.

Полученная математическая модель позволила рассчитать продолжительность воздействия тепла на термочувствительный элемент СПИ ББ до момента его срабатывания.

Для оценки влияния теплофизических характеристик ТЭ СПИ ББ, а также зависимости интенсивности высокотемпературного воздействия пожара на ТЭ СПИ ББ на режим его функционирования, определения адекватности полученной модели, проведены численные эксперименты. Рассмотрено проведение двух видов испытаний: стендовые и огневые.

Для расчетов использовались следующие исходные данные: $m_d = 0,015$ кг; $C_d = 500$ Дж/(кг·К); $S_d = 0,002$ м²; $t_{\phi}^0 = 333$ К; $t_d^0 = 293$ К; $t_d^0 = 293$ К; $q_{\Pi} = 1632$ Вт/(м²). Стендовые испытания проводились на расстоянии между СПИ ББ и источником ИК-излучения 0,2 м, $t_{\phi}^* = 674$ К; $q = 25000$ Вт/(м²). Для огневых испытаний расстояние между СПИ ББ и тестовым очагом равно было 0,5 м, $t_{\phi}^* = 748 \div 773$ К; $q = 10000 \div 40000$ Вт/(м²).

При данных условиях начинается процесс повышения температуры ТЭ СПИ ББ до 54°С, что приводит к срабатыванию данного изделия и выдачи сигнала об опасности возникновения пожара. Полученные показатели позволяют определить время срабатывания СПИ ББ на определенном расстоянии при проведении испытаний исходя из пороговых значений температуры срабатывания конкретного ПИ.

Результаты расчетов по уравнению (3.2.18) представлены в виде графических зависимостей, которые характеризуют интенсивное высокотемпературное воздействие пожара на ТЭ СПИ ББ (рисунки 3.17 и 3.18).

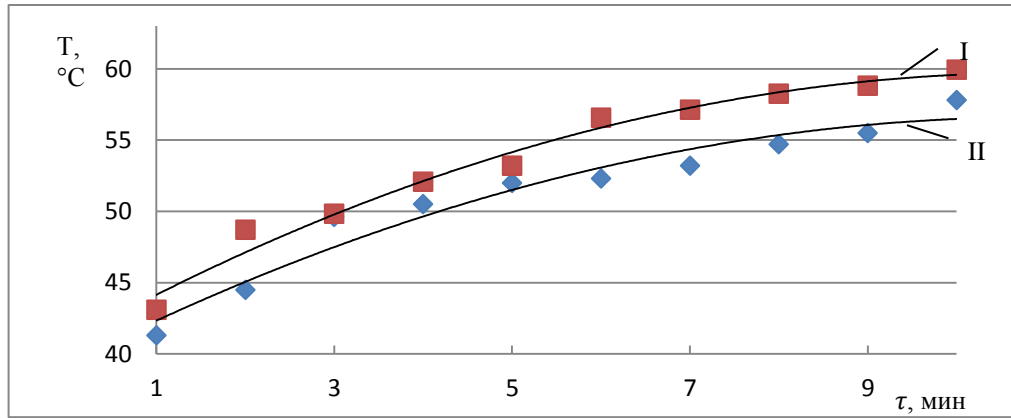


Рисунок 3.17. Тренды зависимости температуры от времени воздействия ИК-излучения при стендовых испытаниях: I – для расчетной зависимости с учетом эксперимента; II – для эмпирической зависимости.

На рисунке 3.17 представлены тренды зависимости температуры ($^{\circ}\text{C}$) от времени воздействия ИК-излучения (мин): I – полученная расчетным путем по полученной модели; II – полученная эмпирическим путем посредством измерения при стендовых испытаниях. Красным цветом обозначены рассчитанные значения. Синим цветом обозначались измеренные значения.

Полученные зависимости I и II указывают на достаточность имеющегося теплового воздействия, при заданных условиях стендовых испытаний, для достижения температуры срабатывания СПИ ББ. При этом коэффициент детерминации R^2 равен 0,93, что свидетельствует о достаточно хорошей сходимости модели и эмпирических данных.

На рисунке 3.18 представлены тренды зависимости температуры ($^{\circ}\text{C}$) от времени воздействия ИК-излучения (мин): I – полученная расчетным путем по полученной модели; II – полученная эмпирическим путем посредством измерения при огневых испытаниях. Красным цветом обозначены рассчитанные значения. Синим цветом обозначались измеренные значения.

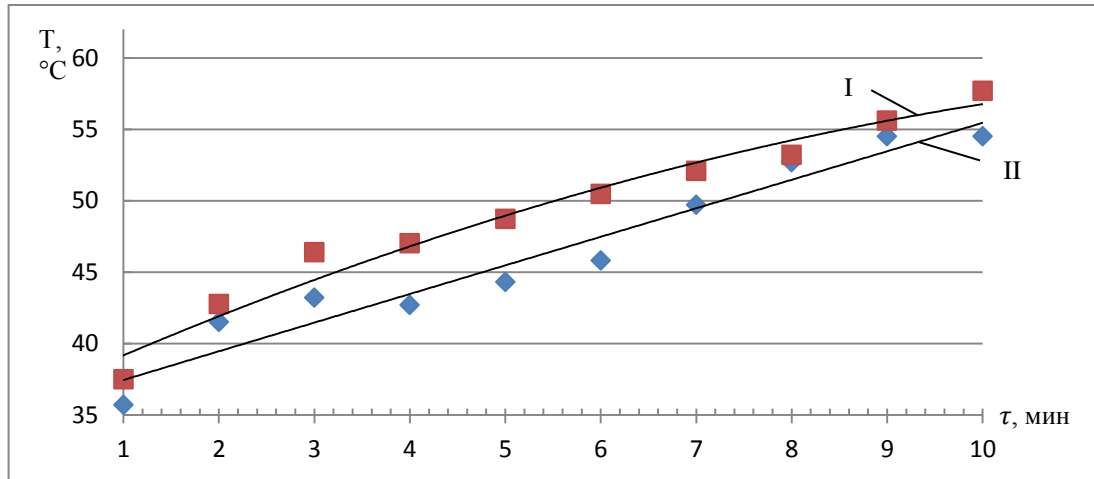


Рисунок 3.18. Тренды зависимости температуры от времени воздействия ИК-излучения при огневых испытаниях: I – для расчетной зависимости с учетом эксперимента; II – для эмпирической зависимости.

Полученные зависимости I и II указывают на достаточность имеющегося теплового воздействия, при заданных условиях огневых испытаний, для достижения температуры срабатывания СПИ ББ. Рассчитанный коэффициент детерминации R^2 равен 0,94. Данное значение указывает на достаточно хорошую сходимость модели и эмпирических данных.

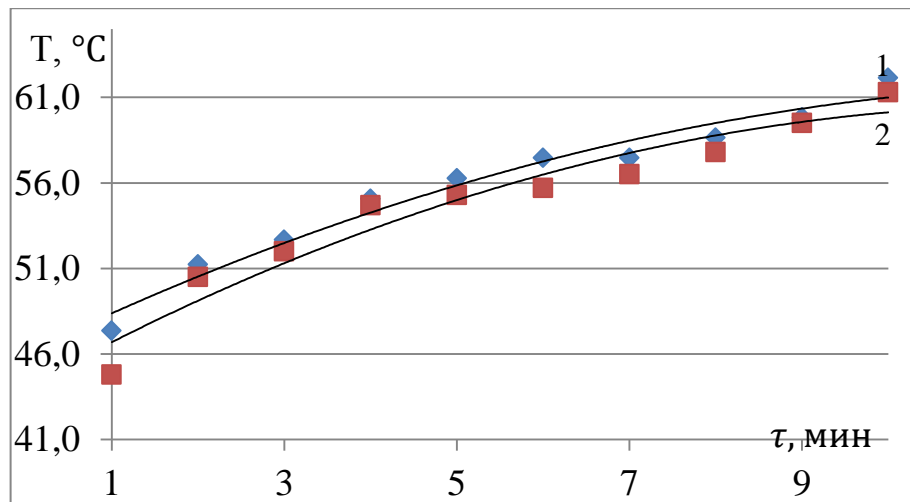


Рисунок 3.19. Тренды зависимости температуры от времени воздействия ИК-излучения при стендовых испытаниях: 1 – для расчетной зависимости с учетом эксперимента; 2 – для эмпирической зависимости.

Другой численный эксперимент проводился для первого варианта размещения ТЭ на расстоянии 0,2 м до ИК-излучателя (рисунок 3.7) с расчетом по уравнению (3.2.25). Получены зависимости температуры от

времени воздействия ИК-излучения при проведении стендовых испытаний (рисунок 3.19).

На рисунке 3.19 зависимости 1 и 2 иллюстрируют достижение требуемых значений температуры ТЭ СПИ ББ в заданных условиях стендовых испытаний. Обе эти зависимости имеют достаточно хорошую сходимость, так как коэффициент детерминации R^2 равен 0,98.

Таким образом, зависимость температуры ТЭ от времени нагрева при пожаре или испытании, предложенная для СПИ ББ, позволяет с достаточной точностью определить время срабатывания указанного строительного изделия при пожаре и при испытаниях. Данное утверждение подтверждается результатами собственных экспериментов и данными других исследователей.

Другой численный эксперимент заключался в определении температуры ТЭ СПИ ББ в том случае, когда нагревается только сегмент диска ТЭ. Как известно, площадь сегмента (1) рассчитывается в двух вариантах: путем сложения (а) или вычитания (в) площади сектора (3) и площади треугольника (2), прилегающего к нему (рисунок 3.20). Случай, в котором нагревается меньшая часть диска – сегмент (1) изображен на рисунке 3.20 а). Случай, в котором нагревается большая часть диска, изображен на рисунке 3.20 в). Здесь обозначен ненагреваемый сегмент диска (4).

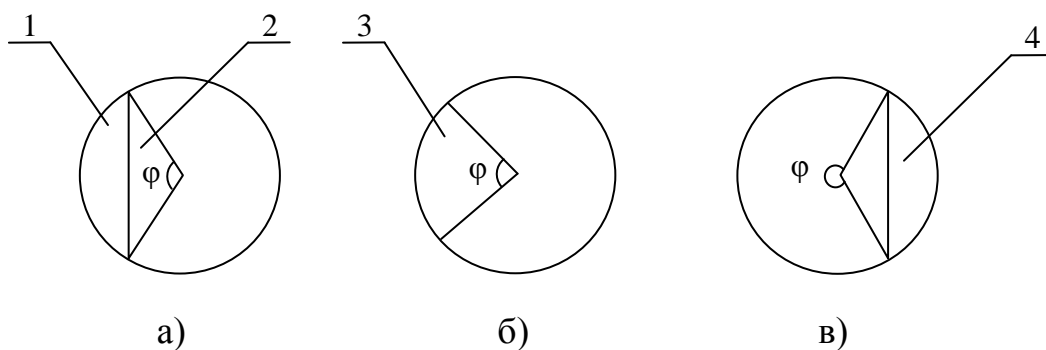


Рисунок 3.20. Схема для расчета нагреваемого сегмента диска: а) сегмент при $\varphi < 180^\circ$; б) сектор; в) сегмент при $\varphi > 180^\circ$.

Следовательно, расчет площади нагреваемого сегмента диска ТЭ СПИ ББ можно выполнить по формуле:

$$S(\varphi) = \begin{cases} R_d^2 \left(\pi \frac{\varphi}{360} - \frac{\sin \varphi}{2} \right), & \varphi < 180^\circ \\ R_d^2 \left(\pi \frac{\varphi}{360} + \frac{\sin(360 - \varphi)}{2} \right), & \varphi > 180^\circ \end{cases} \quad (3.2.36)$$

где: R_d – радиус диска ТЭ СПИ ББ, м, φ – центральный угол, $^\circ$.

На рисунке 3.21 показаны результаты расчета площади нагреваемого сегмента диска ТЭ СПИ ББ с радиусом 0,025 м в зависимости от центрального угла φ .

С целью определения зависимости температуры указанного ТЭ СПИ ББ ($T(\varphi), ^\circ\text{C}$) от центрального угла, определяющего площадь нагрева соответствующего сегмента ($S, \text{м}^2$) были получены эмпирические данные. Замер температуры нагреваемого сегмента ТЭ черного цвета осуществлен пирометром. Расстояние от излучателя до линзы с оптической силой 20 Дптр было равно 0,20 м. Мощность воздействия инфракрасного излучателя равнялась 2 кВт, воздействие осуществлялось в течение 10 минут.

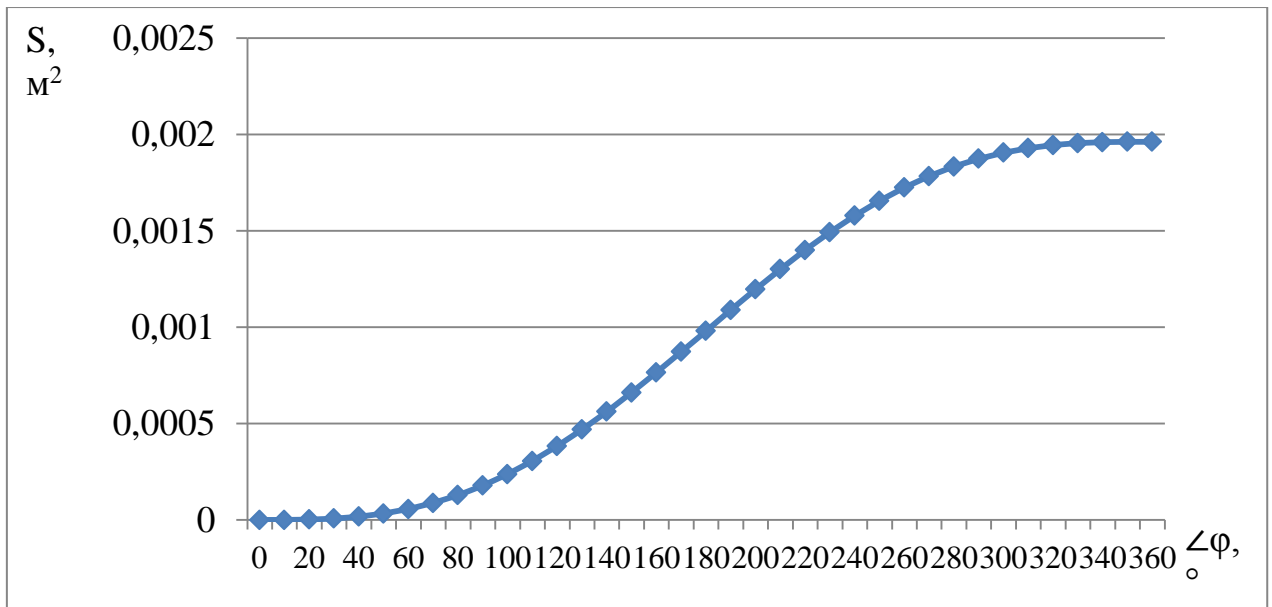


Рисунок 3.21. Зависимость площади нагреваемого сегмента диска ТЭ СПИ ББ с радиусом 0,025 м от величины центрального угла φ .

После аппроксимации данных получено уравнение:

$$T(\varphi) = 37,98 \varphi^{0,06} \quad (3.2.37)$$

Расчеты, проводимые по уравнениям (3.2.36) и (3.2.37), показали, что при значении центрального угла φ менее 280° срабатывание СПИ ББ не происходит.

Следующий численный эксперимент проводился для определения расстояния работоспособности СПИ ББ, то есть максимальное удаление от потенциально угрожающего пожаром объекта, позволяющего обеспечить срабатывание данного изделия в результате интенсивного теплового воздействия. Предварительно была получена совокупность эмпирических данных [183] Для определения расстояния работоспособности СПИ ББ при помощи программного пакета Statistica [217-221] была установлена зависимость кинетики изменения температуры ТЭ СПИ ББ от мощности источника излучения в течение 10 минут. Указанная зависимость справедлива для значений $1 \text{ мин} \leq \tau \leq 10 \text{ мин}$, $1 \text{ кВт} \leq W \leq 2 \text{ кВт}$ и имеет вид:

$$T(W) = 18,94 W^2 - 37,75W + 58,43 \quad (3.2.38)$$

где W – мощность источника инфракрасного излучения, кВт.

Более подробно указанная зависимость рассмотрена в 4.2.

С целью определения наименьшего значения мощности источника инфракрасного излучения необходимо решить уравнение:

$$18,94 W^2 - 37,75W + 58,43 \geq 54 \quad (3.2.39)$$

Так как второе значение менее 1 кВт, приемлемым решением этого неравенства является:

$$W \geq 1,86 \text{ кВт} \quad (3.2.40)$$

При этом тепловой поток должен быть больше или равен 23347 Вт/м^2 . Получив это значение, используем зависимости тепловых потоков от расстояния до пожара при различных видах горения, описанных специалистами ВНИИ ПО [60]. Приняв за базовый очаг пожара горение штабеля лесоматериалов $6 \times 6 \times 6 \text{ м}$, получим после аппроксимации формулу:

$$q(R) = 0,06R^2 - 2,05R + 30,52 \quad (3.2.41)$$

На рисунке 3.21 показаны результаты расчета времени температуры ТЭ СПИ ББ на 10 минуте нагрева при определении теплового потока по уравнению (3.2.41). При этом использовался метод двухмерной сплайн-интерполяции-экстраполяции.

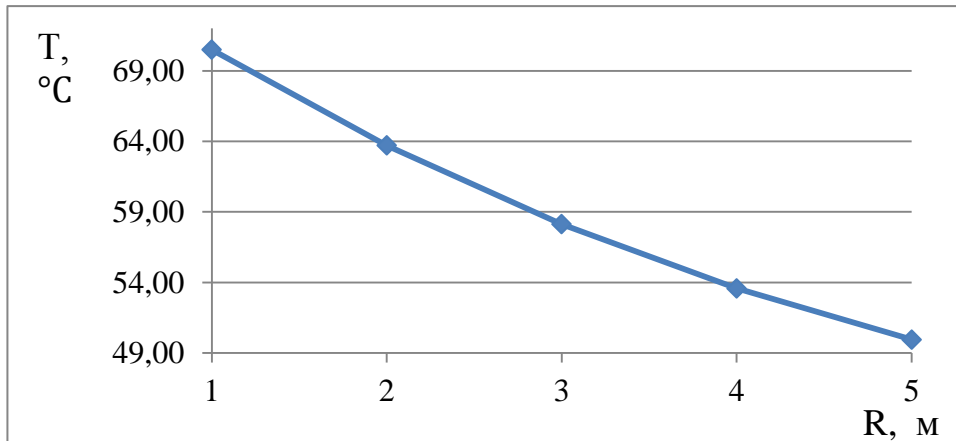


Рисунок 3.22. Зависимость температуры ТЭ СПИ ББ от расстояния до базового очага пожара.

Проведенный расчет позволил определить место установки СПИ ББ на максимальном удалении 4 м от базового очага пожара.

3.4. Выводы по главе 3

1. Разработана конструкция СПИ ББ, включающая в себя модифицированный установкой дополнительного термочувствительного элемента в виде стального диска черного цвета тепловой ПИ класса А1. Эта конструкция позволяет обеспечивать функционирование СПИ ББ в соответствии с разработанным алгоритмом, учитывающим необходимость дифференцирования интенсивного теплового воздействия пожара и нагрев из-за солнечных лучей.

2. В результате проведенных исследований предложены физическая и математическая модели интенсивного теплового воздействия на термочувствительный элемент СПИ ББ. Результаты расчета показывают, что тепловой поток изменяется не так интенсивно, что им можно пренебречь.

Также установлено, что создание вакуума в пространстве вокруг стального диска (за исключением поверхности, на которое воздействует тепло) или заполнение этого пространства специальными газами снижает передачу тепла среде в рамках процесса нагрева стального диска ТЭ СПИ ББ. При этом наименьшие потери тепла обеспечиваются в случае создания вакуума 10^{-5} мм рт. ст. в рассматриваемом пространстве.

3. Разработана математическая модель теплопереноса, позволяющая рассчитывать кинетику повышения температуры факела (излучателя) и диска термочувствительного элемента СПИ ББ, позволяющая также отслеживать эффективного коэффициента теплоотдачи и теплового потока между телами, которые взаимодействуют в течение определенного времени. Получены зависимости температуры и площади нагреваемого сегмента диска ТЭ СПИ ББ с радиусом 0,025 м от центрального угла ϕ . Определено минимальное значение теплового потока, при котором происходит срабатывание прототипа СПИ ББ (23347 Вт/м^2). С учетом этого значения на основании эмпирических данных определены расстояния максимального удаления от СПИ ББ до пожара при различных видах горения.

4. В соответствии с проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями подготовлена компьютерная программа, которая позволяет рассчитывать технические параметры процесса интенсивного теплового воздействия на СПИ ББ. Данная программа прошла соответствующую регистрацию [216].

Глава 4. Исследование свойств и эксплуатационных характеристик совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Изучение свойств и эксплуатационных характеристик СПИ ББ проводилась на основании методик, описанных во 2 главе, и осуществлялось по двум основным направлениям: определение влажности воздуха внутри СПИ ББ и исследование способности термочувствительного элемента СПИ ББ обнаруживать интенсивное тепловое воздействия при различных условиях. На основании документации завода-изготовителя для ПИ был установлено критическое значение относительной влажности воздуха 93%, а также температурный интервал 54-65 °С, при нагреве до размеров которого происходит срабатывание ПИ. Указанные значения были использованы для сопоставления с результатами измерений.

4.1. Результаты экспериментальных исследований эксплуатационных и конструктивных характеристик совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Для исследования воздействия инфракрасного излучения на термочувствительный элемент СПИ ББ была проведена серия стендовых испытаний. Воздействие инфракрасного излучателя мощностью 2 кВт осуществлялось в течение 10 минут. Указанный временной интервал принят по ГОСТ Р 53325-2012 [127]. При этом условия размещения СПИ ББ отличались в зависимости от позиции испытаний. Измерение температуры термочувствительного элемента (далее – ТЭ) осуществлялось пирометром DT-8833 с тыльной стороны бетонного блока через технологическое отверстие.

Результаты измерения температуры ТЭ изделия при условиях 1 представлены в таблице 4.1.1. Диаметр ТЭ равен 0,058 м. Измерение было

проведено на стенде на расстоянии 0,30 м от излучателя до линзы с оптической силой 20 Дптр [217]. Угол излучения к основной оси линзы был равен 0°.

Таблица 4.1.1 - Температура ТЭ в зависимости от времени воздействия излучения (условия 1)

Вид ТЭ	Температура ТЭ, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поверхность черного цвета	42,8	44,5	49,6	50,5	52,0	55,7	54,7	54,7	55,5	57,8
Металли- ческая поверхность	28,7	29,2	30,2	31,3	32,1	33,1	34,0	35,2	36,5	37,7

Полученный результат указывает на то, что нагрев ТЭ черного цвета осуществляется быстрее, чем с металлической поверхностью. Температура ТЭ черного цвета после 6 минуты достигла значений, при которых срабатывают определенные классы тепловых пожарных извещателей (А1, А2) по ГОСТ Р 53325-2012 [127]. Эти значения были достигнуты даже при достаточно невысокой мощности излучения.

Следующее измерение температуры ТЭ изделия в условиях 2 проводилось на стенде на расстоянии 0,40 м от излучателя до линзы с оптической силой 20 Дптр. Диаметр ТЭ равен 0,058 м. Угол излучения к основной оси линзы был равен 0°. Результаты представлены в таблице 4.1.2.

Таблица 4.1.2 - Температура ТЭ в зависимости от времени воздействия излучения (условия 2)

Вид ТЭ	Температура ТЭ, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поверхность черного цвета	37,5	38,0	40,1	40,7	40,5	42,6	43,0	42,5	42,8	43,5
Металли- ческая поверхность	33,1	33,3	33,5	33,7	34,0	34,5	35,0	34,5	35,2	34,7

В таблице 4.1.2 описан результат воздействия инфракрасного излучения на ТЭ. Здесь при нагреве обоих образцов не удалось достигнуть минимальных значений, при которых срабатывают тепловые пожарные извещатели.

Таблица 4.1.3 - Температура ТЭ в зависимости от времени воздействия излучения (условия 3)

Вид ТЭ	Температура ТЭ, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поверхность черного цвета	37,1	39,8	41,7	42,7	43,5	43,5	44,2	45,5	44,8	45,5
Металли- ческая поверхность	28,7	29,3	30,2	30,3	31,1	33,1	34,0	35,2	36,5	37,7

Условия 3 предполагали угол излучения к основной оси линзы 40° . Измерение проводилось на стенде на расстоянии 0,30 м от излучателя до линзы с оптической силой 20 Дптр. Диаметр ТЭ равен 0,058 м. Результаты представлены в таблице 4.1.3.

Сопоставляя результаты измерений, описанные в таблицах 4.1.1 и 4.1.3 можно сделать вывод о том, что нагрев ТЭ осуществлялся в обоих случаях. При этом нагрев при излучении под углом 40° значительно меньше, чем нагрев при излучении под углом 0° . Нагрев, результаты которого описаны в таблице 4.1.3, происходит за счет теплопередачи через стенки СПИ ББ и за счет аберрации линзы. Производился также замер температуры ТЭ при воздействии на изделие солнечных лучей в течение светового дня. Температура варьировалась от 36,5 до 44,3 $^\circ\text{C}$. В данный температурный интервал не входят минимальные значения, при которых срабатывают тепловые пожарные извещатели по ГОСТ Р 53325-2012 [127]. Температура воздуха днем во время этого наблюдения находилась в пределах от 22 до 27 $^\circ\text{C}$.

Таблица 4.1.4 - Температура ТЭ в зависимости от времени воздействия излучения (условия 4)

Вид ТЭ	Температура ТЭ, $^\circ\text{C}$									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Поверхность черного цвета	45,0	54,1	57,2	59,7	60,0	61,5	61,6	63,0	63,1	63,5
Металли- ческая поверхность	39,3	42,8	43,0	44,5	44,6	44,0	44,5	44,2	45,0	44,2

В условиях 4 измерение проводилось на стенде на расстоянии 0,30 м от излучателя до стекла толщиной 0,004 м. Диаметр ТЭ равен 0,058 м. Угол излучения к основной оси линзы был равен 0°. Результаты представлены в таблице 4.1.4.

Сопоставляя результаты измерений, описанные в таблицах 4.1.1 и 4.1.4 можно сделать вывод о том, что нагрев термочувствительного элемента через линзу с оптической силой 20 Дптр происходит медленнее, чем через стекло. Это можно объяснить аберрацией линзы. Температура ТЭ черного цвета после 5 минуты достигла значений, при которых срабатывают тепловые пожарные извещатели классов А1, А2, но на 10 минуте минимальное значение температуры срабатывания для класса А3 по ГОСТ Р 53325-2012 [127] достигнуто не было.

Для описания зависимости кинетики изменения температуры термочувствительного элемента в СПИ ББ от времени нагрева и расстояния от источника излучения до СПИ ББ в период нагрева проведена статистическая обработка. Данные экспериментального исследования обрабатывались при помощи программного пакета Statistica [218-221]. Указанная зависимость имеет вид:

$$T_I(\tau, R) = 3,88\tau - 0,13\tau^2 - 469R^2 + 244R - 4,05R\tau + 11,18 \quad (4.1.1)$$

где τ – время воздействия инфракрасного излучения на ТЭ СПИ ББ черного цвета, мин,

R – расстояние от источника инфракрасного излучения до СПИ ББ, м.

Зависимость (4.1.1) справедлива для значений $1 \text{ мин} \leq \tau \leq 10 \text{ мин}$ и $0,2 \text{ м} \leq R \leq 0,4 \text{ м}$. Погрешность аппроксимации 6%.

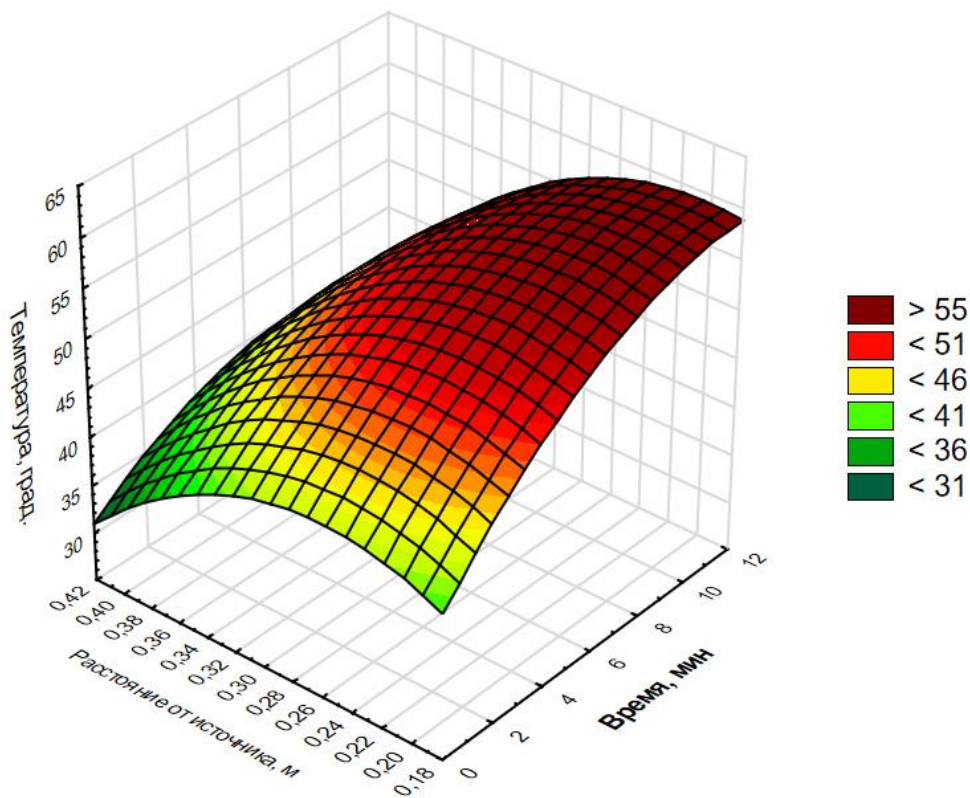


Рисунок 4.1 Кинетика изменения температуры ТЭ СПИ ББ в период воздействия инфракрасного излучения при некоторых расстояниях

Анализ результатов расчета, изображенных на рисунке 4.1, и выражения (4.1.1) показывает, что с сокращением расстояния между источником излучения и СПИ ББ скорость увеличения температуры термочувствительного элемента возрастает. Наиболее быстрое увеличение температуры термочувствительного элемента СПИ ББ происходит на расстоянии 0,2 м. При этом кривые нагрева на расстояниях 0,2 и 0,3 м в значительно меньшей степени отстоят друг от друга в сравнении с кривыми нагрева на расстоянии 0,3 м и 0,4 м. При увеличении расстояния до источника излучения температура и скорость нагрева исследуемого объекта понижается, что согласуется с данными, представленными в работах [24, 147, 222].

Далее на стенде исследовалась температура ТЭ черного цвета при различной мощности излучения. Условия 5 подразумевали расстояние

0,20 м от излучателя до линзы с оптической силой 20 Дптр. Диаметр ТЭ равен 0,058 м. Угол излучения к основной оси линзы был равен 0°. Результаты представлены в таблице 4.1.5.

Таблица 4.1.5 - Температура ТЭ в зависимости от времени воздействия излучения и мощности излучателя (условия 5)

Мощность излучения, кВт	Температура ТЭ, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	30,5	31,7	33,2	33,7	36,0	37,5	37,5	38,0	39,1	40,5
2	43,1	49,5	50,1	51,3	52,6	55,9	55,7	56,3	57,8	58,3

Из данных таблицы 4.1.5 видно, что мощности излучения в 1 кВт не достаточно для достижения температуры срабатывания теплового пожарного извещателя в течение 10 минут. Сопоставляя данные таблиц 4.1.1 и 4.1.5 можно сделать вывод об отсутствии существенного различия между воздействием излучения мощностью 2 кВт на расстоянии от излучателя до линзы 0,20 м и 0,30 м при оптической силе линзы 20 Дптр.

При помощи программного пакета Statistica [218-221] также установлена зависимость кинетики изменения температуры термочувствительного элемента в СПИ ББ от времени нагрева и мощности источника излучения. Указанная зависимость имеет вид:

$$T_I(\tau, W) = 18,94 W^2 - 0,08\tau^2 + 1,58\tau - 41,64W + 0,39W\tau + 50,63 \quad (4.1.2)$$

где τ – время воздействия инфракрасного излучения на ТЭ СПИ ББ черного цвета, мин,

W – мощность источника инфракрасного излучения, кВт.

Зависимость (4.1.2) справедлива для значений $1 \text{ мин} \leq \tau \leq 10 \text{ мин}$ и

$1 \text{ кВт} \leq W \leq 2 \text{ кВт}$. Погрешность аппроксимации 6%.

Анализ рисунка 4.2 и выражения (4.1.2) показывает, что кривые нагрева при мощности излучения 1 кВт и 1,5 кВт в значительно меньшей степени отстоят друг от друга в сравнении с кривыми нагрева при мощности излучения 1,5 кВт и 2 кВт. Наиболее быстрое увеличение температуры термочувствительного элемента СПИ ББ происходит при мощности излучения 2 кВт. При понижении мощности источника излучения температура и скорость нагрева исследуемого объекта понижается, что согласуется с данными, представленными в работах [24, 60, 147, 222].

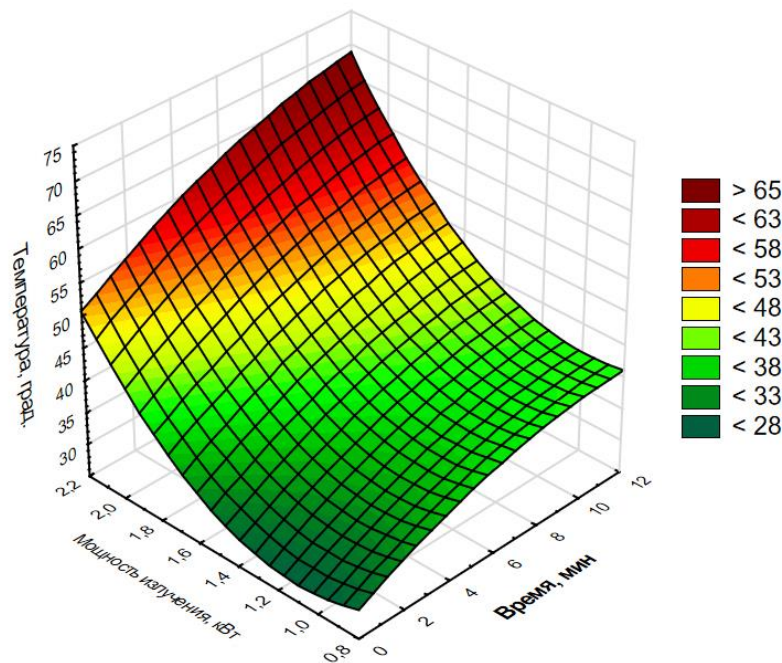


Рисунок 4.2 Кинетика изменения температуры ТЭ СПИ ББ в период воздействия инфракрасного излучения некоторой мощности

В условиях б на стенде исследовалась температура ТЭ черного цвета с диаметрами 0,01 м, 0,03 м, 0,05 м. На расстоянии 0,20 м от излучателя до линзы с оптической силой 20 Дптр. Расстояние от излучателя до ТЭ составляло 0,25 м. Угол излучения к основной оси линзы был равен 0° . Результаты представлены в таблице 4.1.6.

Таблица 4.1.6 - Температура ТЭ в зависимости от его размера и времени воздействия излучения (условия б)

Диаметр ТЭ, м	Температура термочувствительного элемента, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	33	35,7	36,5	39,1	42,2	43	45	48,3	49,2	51,2
0,03	33,2	36,3	40,6	41,3	43,6	44	46,7	49,7	50,8	51,7
0,05	33,3	38,5	42,5	45,1	46,8	47,6	49,7	51,8	54,5	54,7

В таблице 4.1.6 прослеживается закономерность, заключающаяся в том, что при уменьшении размера ТЭ время, необходимое для его нагрева увеличивается. При нагреве ТЭ диаметром 0,01 м и 0,03 м не были достигнуты минимальные значения, при которых срабатывают тепловые пожарные извещатели по ГОСТ Р 53325-2012 [127]. ТЭ диаметром 0,05 м нагрелся до минимальных значений температуры, при которых срабатывают тепловые пожарные извещатели, на 9 минуте.

Для установления зависимости кинетики изменения температуры термочувствительного элемента в СПИ ББ от его диаметра и времени нагрева также использовался программный пакет Statistica [218-221]. Указанная зависимость имеет вид:

$$T_I(\tau, d_{ТЭ}) = 0,15d_{ТЭ}^2 - 0,08\tau^2 + 2,87\tau - 0,011d_{ТЭ} + 0,05d_{ТЭ}\tau + 29,48 \quad (4.1.3)$$

где τ – время воздействия инфракрасного излучения на ТЭ СПИ ББ черного цвета, мин,

$d_{ТЭ}$ – диаметр ТЭ, см.

Зависимость (4.1.3) справедлива для значений $1 \text{ мин} \leq \tau \leq 10 \text{ мин}$ и $1 \text{ см} \leq d_{ТЭ} \leq 5 \text{ см}$. Погрешность аппроксимации 6%.

Анализ рисунка 4.3 и выражения (4.1.3) показывает, что при

уменьшении диаметра термочувствительного элемента понижается скорость его нагрева. При воздействии инфракрасного излучения мощностью 2 кВт на термочувствительные элементы черного цвета с диаметром 0,01 м и 0,03 м минимальная температура срабатывания пожарных извещателей класса А1 и А2 не была достигнута. Указанная тенденция согласуется с данными, представленными в работах [24, 60, 147, 222].

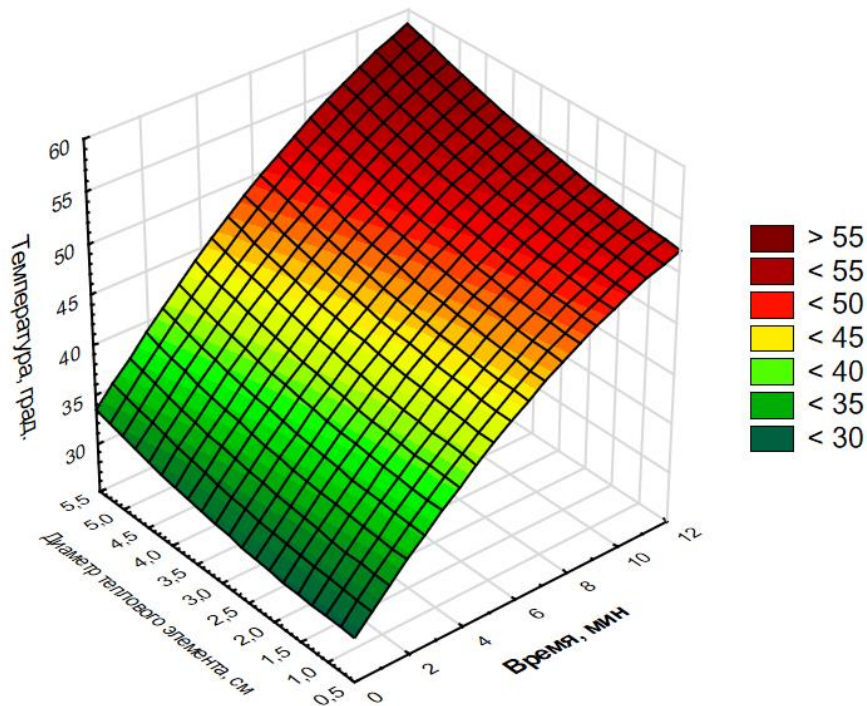


Рисунок 4.3. Кинетика изменения температуры ТЭ СПИ ББ в зависимости от его диаметра

В условиях 7 на стенде исследовалась температура ТЭ черного цвета с диаметрами 0,01 м, 0,03 м, 0,05 м. На расстоянии 0,25 м от излучателя до ТЭ. Линза и стекло при этом не использовались. ТЭ был размещен на поверхности бетонного блока. Угол излучения к основной оси линзы был равен 0° . Использование такого решения возможно при отсутствии воздействия прямых и отраженных солнечных лучей на ТЭ (под навесами, тентами и т.п.). Результаты представлены в таблице 4.1.7.

Представленные в таблице 4.1.7 данные показывают, что на первоначальном этапе воздействия инфракрасного излучения происходит

резкое увеличение температуры ТЭ. На втором этапе происходит постепенное увеличение температуры. На третьем этапе температура держится примерно на одном уровне. Минимальные значения, при которых срабатывают тепловые пожарные извещатели по ГОСТ Р 53325-2012 [127], для ТЭ диаметром 0,01 м были достигнуты на 7 минуте по классу А1 и А2, для ТЭ диаметром 0,03 м - на 3 минуте по классу А1 и А2, для ТЭ диаметром 0,05 м – на 2 минуте по классу А1, А2, А3 и В, на 4 минуте – по классу С.

Таблица 4.1.7 - Температура ТЭ в зависимости от его размера и времени воздействия излучения (условия 7)

Диаметр ТЭ, м	Температура термочувствительного элемента, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	40,8	44,5	49,2	50,1	51,6	53,1	56,2	57,7	56,7	56,0
0,03	40,7	51,0	54,5	55,1	55,5	57,5	58,5	60,0	61,5	61,5
0,05	41,8	69,5	79,6	85,6	89,7	90,1	91,7	91,3	89,5	91,7

Испытания на стенде ТЭ черного цвета в условиях 8 были аналогичными условиям 6, за исключением замены тонкой линзы стеклом. Результаты представлены в таблице 4.1.8.

В таблице 4.1.8 сохраняется закономерность таблицы 4.1.6, в соответствии с которой при уменьшении размера ТЭ время, необходимое для его нагрева увеличивается. При нагреве ТЭ диаметром 0,01 м и 0,03 м не были достигнуты минимальные значения, при которых срабатывают тепловые пожарные извещатели по ГОСТ Р 53325-2012 [127].

Таблица 4.1.8 - Температура ТЭ в зависимости от его размера и времени воздействия излучения (условия 8)

Диаметр ТЭ, м	Температура ТЭ, °С									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,01	30,1	34,7	37,2	40,3	43,4	43,8	45,6	49,3	49,8	52,2
0,03	34,2	36,1	41,6	42,3	44,8	45,3	47,7	50,7	51,7	52,5
0,05	34,1	36,0	42,0	46,1	47,8	48,6	50,3	52,5	54,7	55,2

Таким образом, для создания СПИ ББ и проведения огневых испытаний необходима модификация ТЭ ПИ в части увеличения диаметра до 0,05 м и окраски в черный цвет.

4.2. Определение поведения совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока в условиях огневых испытаний

Цель данного исследования заключалась в определении времени срабатывания СПИ ББ на определенных расстояниях. В рамках данного эксперимента планировалось также изучить кинетику изменения температуры ТЭ при воздействии открытого огня.

Для создания очага ТП-1 по ГОСТ Р 53325-2012 [127] использовались 70 деревянных брусков (бук) размерами 0,01×0,02×0,250 м каждый. Эти бруски были уложены в 7 слоев на основании размерами 0,5×0,5 м. Их расположение для проведения испытаний было выполнено в соответствии с рисунком А8 ГОСТ Р 53325-2012 [127]. Перед проведением испытаний деревянные бруски были высушены.

В качестве источника воспламенения горючего материала служили 5 мл бензина, налитого в емкость с диаметром 0,05 м, которая была установлена в центре основания ТП-1.

При помощи открытого пламени осуществлялось поджигание данного очага. В этот момент начиналось проведение испытания, включался секундомер. Проведение испытания завершалось при достижении времени проведения испытаний 600 с или выдача всеми испытываемыми СПИ ББ сигнала «Пожар».

Огневые испытания СПИ ББ проводились при воздействии теплового излучения на расстоянии 0,50 м, 1,00 м и 2,00 м от очага ТП-1 по ГОСТ Р 53325-2012 [127]. На каждом из указанных расстояний находилось по 2 СПИ ББ. Испытуемые СПИ ББ находились на подставках высотой 0,1 м и были ориентированы термочувствительными элементами на очаг. Угол $\alpha = 0^\circ$. Для контроля температуры использовался вспомогательный бетонный блок с цилиндрическим отверстием диаметром 0,06 м, в котором по центру размещался ТЭ диаметром 0,05 м (далее - ВББ). Указанный блок размещался на расстоянии 0,5 м. Размещение СПИ ББ (1) и ВББ (2) по отношению к очагу ТП-1 представлено на рис. 4.4.

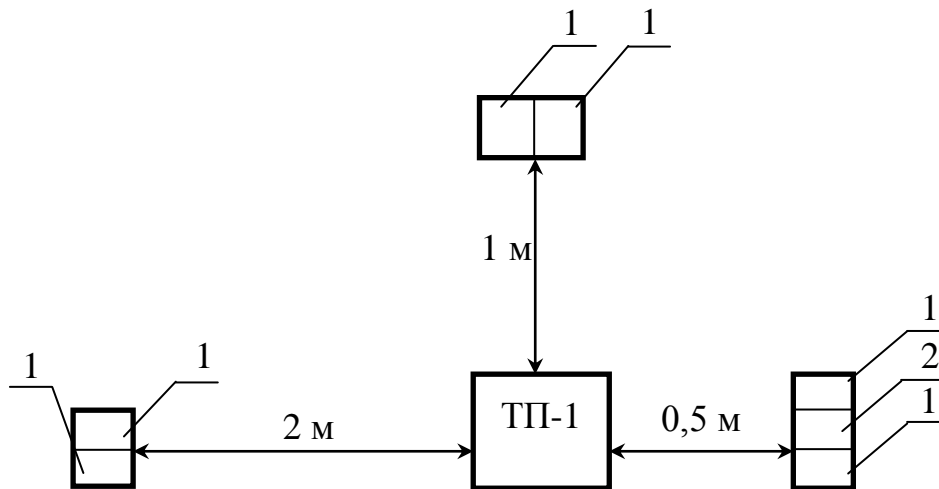


Рисунок 4.4 Схема размещения СПИ ББ и вспомогательных блоков по отношению к ТП-1.

Результаты испытания СПИ ББ приведены в таблице 4.2.1, кинетика изменения температуры ТЭ ВББ представлена в таблице 4.2.2.

Таблица 4.2.1 – Время срабатывания СПИ ББ в зависимости от расстояния до очага пожара ТП-1

Номер извещателя	Расстояние, м					
	0,50		1,00		2,00	
	1	2	3	4	5	6
Время, сек	576	559	-	-	-	-

Из данных таблицы 4.2.1 следует, что на расстоянии 0,5 м все СПИ ББ сработали. На расстоянии 1 м и 2 м теплового излучения очага пожара ТП-1 для срабатывания было недостаточно. Срабатывание СПИ ББ на расстоянии 0,5 м произошло до момента начала снижения температуры ТЭ ВББ в результате снижения интенсивности горения в очаге пожара ТП-1.

Таблица 4.2.2 - Температура ТЭ ВББ в зависимости от времени воздействия излучения в условиях огневых испытаний

Температура ТЭ, °С												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
35,7	41,5	43,2	42,7	44,3	45,8	49,7	52,7	54,5	54,5	54,7	60,1	61,2

Данные таблицы 4.2.2 также указывают на возможность испытания СПИ ББ с ПИ класса А1 на расстоянии 0,5 м от очага ТП-1.

4.3. Результаты измерения влажности воздуха внутри совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

Для определения влажности воздуха внутри СПИ ББ была проведена серия стендовых испытаний на дрипустановке, описанной во 2 главе. Дозированное поступление воды на СПИ ББ осуществлялось каплями в

течение 24 часов. При этом влажность воздуха измерялась по ГОСТ 12.1.005-88 [133] для 4 СПИ ББ в каждом случае на уровне (расстояние от уровня пола до датчика) 0,5 м, 1 м, 1,5 м термогигрометром RGK TH-30. Замер производился 4 раза в сутки через 8 часов от начала подачи капель воды. При подаче капель воды верхняя грань блока всегда находилась горизонтально, остальные – вертикально. Термогигрометр устанавливался с тыльной стороны бетонного блока через технологическое отверстие в резиновой пластине, закрывающей отверстие в СПИ ББ. При этом стержень выносного датчика RGK TH-30 плотно прилегал к отверстию в резиновой пластине. Масса СПИ ББ была равна 1,744 кг для 1 блока, 1,739 кг – для 2 блока, 1,751 кг для 3 блока, 1,753 кг – для 4 блока. Данные значения приведены с учетом массы прикрепленных дополнительных для проведения эксперимента элементов.

Поступление капель воды при условиях 1 осуществлялось в центр верхней грани блока. В условиях 2 - при подаче капель воды в центр боковой грани блока, выполненной без отверстия. В условиях 3 - при подаче капель воды в центр верхней части закрывающей отверстие пластины боковой грани блока, выполненной с отверстием. В условиях 4 - при подаче капель воды в центр верхней грани и центр верхней части закрывающей отверстие пластины боковой грани блока, выполненной с отверстием. В условиях 5 проводилось - при подаче капель воды в центр верхней грани и боковой грани блока, выполненной без отверстия. В условиях 6 проводилось - при подаче капель воды в центр верхней части закрывающей отверстие пластины боковой грани, выполненной с отверстием, и центр двух боковых граней блока, выполненных без отверстия. В условиях 12 проводилось - при подаче капель воды в центр двух боковых граней блока, выполненных без отверстия, в центр верхней части закрывающей отверстие пластины двух боковых граней блока, выполненных с отверстием. Полученный результат указывает на то, что критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% не достигается при подаче капель воды в течение 24 часов в условиях 1-6, а также 12. Данное обстоятельство свидетельствует о недостаточности объема

подаваемой воды и периода воздействия для достижения критического значения.

Измерение влажности воздуха внутри СПИ ББ в условиях 7 проводилось на дрипустановке при подаче капель воды в центр верхней грани, в центр боковой грани блока, выполненной без отверстия, и центр верхней части закрывающей отверстие пластины боковой грани блока, выполненной с отверстием. Результаты представлены в таблице 4.3.1.

Таблица 4.3.1 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 7), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	38,8	88,3	93,8	95,8	39,1	89,0	94,9	96,9	39,9	90,1	95,1	97,0
2	37,5	88,1	93,9	95,7	39,5	89,6	94,4	96,0	40,3	90,4	94,8	97,2
3	38,1	87,9	93,1	94,9	39,2	89,5	94,3	96,1	39,3	90,3	95,7	96,8
4	38,0	88,5	93,3	95,0	39,6	89,1	94,4	95,8	40,1	90,0	95,0	96,3

Полученный результат указывает на то, что критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% достигается после 16 часов капельного орошения при заданных условиях.

Следующее измерение влажности воздуха внутри СПИ ББ в условиях 8 проводилось на дрипустановке при подаче капель воды в центр верхней грани блока и центр верхней части закрывающей отверстие пластины двух боковых граней блока, выполненных с отверстием. Результаты представлены в таблице 4.3.2.

Таблица 4.3.2 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 8), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	39,8	87,4	93,4	96,8	40,1	88,0	95,9	97,9	40,9	89,1	96,1	97,9
2	37,3	87,2	93,6	96,7	40,5	87,8	95,5	97,0	41,3	89,4	96,6	98,2
3	39,1	86,6	93,2	96,9	40,2	88,5	95,6	97,1	40,3	89,3	96,7	97,8
4	39,0	87,5	93,8	96,0	40,5	88,1	95,4	97,8	41,1	89,0	96,1	98,3

Полученный результат указывает на то, что критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% достигается после 16 часов капельного орошения при заданных условиях.

Далее измерение влажности воздуха внутри СПИ ББ в условиях 9 проводилось на дрипустановке при подаче капель воды в центр верхней грани блока и центр двух боковых граней блока, выполненных без отверстия. Результаты представлены в таблице 4.3.3.

Таблица 4.3.3 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 9), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	35,8	85,3	93,1	95,3	36,1	86,0	93,9	97,9	38,9	87,1	95,2	96,9
2	35,5	85,1	93,2	95,4	36,5	86,6	94,4	97,0	38,3	87,4	94,7	98,2
3	35,1	85,9	93,3	94,8	36,2	86,4	94,3	96,3	38,3	87,3	95,8	97,8
4	35,0	85,6	93,0	95,1	36,7	86,1	95,1	95,9	38,1	88,0	95,1	97,3

Полученный результат указывает на то, что критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% достигается после 16 часов капельного орошения при заданных условиях. Режим эксплуатации ПИ при этом был нарушен.

Следующее измерение влажности воздуха внутри СПИ ББ в условиях 10 проводилось на дрипустановке при подаче капель воды в центр верхней грани, центр боковой грани, выполненной без отверстия, и центр верхней части закрывающей отверстие пластины двух боковых граней блока, выполненных с отверстием. Результаты представлены в таблице 4.3.4.

Таблица 4.3.4 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 10), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	39,8	85,1	93,2	95,2	40,1	86,1	93,8	97,8	39,9	87,2	95,3	96,8
2	37,3	85,2	93,1	95,3	40,5	86,5	94,5	97,1	40,1	87,3	94,6	98,1
3	39,1	85,8	93,4	94,6	40,2	86,6	94,1	96,4	39,5	87,4	95,4	97,5
4	39,0	85,7	93,1	95,7	40,5	86,2	95,3	95,7	40,3	88,1	95,2	97,2

Эти данные указывают на то, что критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% достигается после 16 часов капельного орошения при заданных условиях.

Следующее измерение влажности воздуха внутри СПИ ББ в условиях 11 проводилось на дрипустановке при подаче капель воды в центр верхней грани блока, центр верхней части закрывающей отверстие пластины боковой грани, выполненной с отверстием, и центр двух боковых граней блока, выполненных без отверстия. Результаты представлены в таблице 4.3.5.

Таблица 4.3.5 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 11), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	52,1	90,3	95,8	97,8	53,2	92,0	95,9	97,9	55,0	92,1	96,1	98,0
2	52,3	89,1	94,9	96,7	53,4	91,6	95,4	98,0	54,6	92,4	95,8	98,2
3	51,4	88,9	93,1	96,9	52,6	90,5	95,3	97,1	54,8	92,3	95,7	97,8
4	52,8	90,5	95,3	98,0	53,0	91,1	95,4	96,8	53,7	92,0	96,0	97,3

Полученный результат указывает на то, что критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% достигается после 16 часов капельного орошения при заданных условиях.

Таблица 4.3.6 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 13), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	39,6	88,2	95,8	98,1	40,1	89,1	96,6	99,1	41,3	88,6	96,8	100
2	40,1	86,3	93,2	98,3	43,2	88,5	95,8	100	42,6	87,9	95,9	100
3	40,3	87,2	96,4	97,6	41,6	89,3	96,1	100	44,8	88,1	96,6	98,8
4	39,8	89,1	95,1	100	42,3	85,9	94,7	98,6	42,9	89,3	95,4	100

Измерение влажности воздуха внутри СПИ ББ в условиях 13 проводилось на дрип-установке при подаче капель воды в центр верхней

границ блока, центр двух боковых граней блока, выполненных без отверстия, и центр верхней части закрывающей отверстие пластины двух боковых граней блока, выполненных с отверстием. Результаты представлены в таблице 4.3.6.

Эти данные указывают на то, что критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% достигается после 16 часов капельного орошения при заданных условиях.

Таблица 4.3.7 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 14), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	71,8	84,2	88,3	90,4	72,0	84,3	88,5	90,5	72,2	84,6	88,6	90,6
2	70,5	82,6	87,5	88,7	71,5	82,8	87,8	89,1	71,8	83,2	88,1	90,1
3	71,1	83,3	86,3	89,9	71,3	83,5	86,9	90,1	71,3	83,8	87,3	90,3
4	70,3	84,1	84,8	88,5	70,8	84,3	85,1	89,2	71,4	84,6	86,2	89,6

Следующее измерение влажности воздуха внутри СПИ ББ в условиях 14 проводилось при размещении данного блока внутри герметичной каперы с поддерживаемой влажностью воздуха 95-99%. За точку отсчета взято время достижения в камере влажности заданного значения. Результаты представлены в таблице 4.3.7.

Полученный результат указывает на то, что критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% не достигается. Среднее увеличение массы блока после нахождения в камере с повышенной влажностью составило 8 г.

Следующее измерение влажности воздуха внутри СПИ ББ в условиях 15 проводилось на дрипустановке при подаче капель воды в центр верхней грани блока, центр двух боковых граней блока, выполненных без отверстия, и центр верхней части закрывающей отверстие пластины двух боковых граней блока, выполненных с отверстием. При этом поверхность блока была покрыта силиконизированным герметиком VGT. Результаты представлены в таблице 4.3.8.

Таблица 4.3.8 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 15), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	40,9	57,1	65,1	71,5	41,1	58,3	64,9	72,1	42,3	59,1	65,5	73,5
2	41,3	55,6	65,4	70,9	41,3	57,9	66,1	71,7	42,5	58,2	67,0	72,9
3	39,9	54,9	64,3	72,1	40,8	56,7	65,8	72,3	41,9	56,9	66,3	73,8
4	40,4	55,3	65,2	73,8	41,6	58,1	65,4	74,0	42,4	58,5	66,1	74,9

Полученный результат указывает на то, что при заданных условиях орошения критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% за 24 часа не достигается. При этом масса блока увеличивается в среднем на 3,3 г.

Кроме того, было произведено измерение влажности воздуха внутри СПИ ББ в условиях 16 на дрипустановке при подаче капель воды в центр верхней грани блока, центр двух боковых граней блока, выполненных без отверстия, и центр верхней части закрывающей отверстие пластины двух боковых граней блока, выполненных с отверстием. При этом силиконизированным герметиком VGT была покрыта не только поверхность

блока, но и поверхность канала внутренней полости. Результаты представлены в таблице 4.3.9.

Таблица 4.3.9 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 16), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	62,6	67,7	69,5	73,2	63,2	67,9	69,6	73,5	65,6	68,1	70,1	73,9
2	62,5	67,1	69,1	73,5	63,1	68,1	69,9	73,3	65,3	68,3	70,3	74,1
3	62,1	67,2	69,4	73,1	63,5	68,0	70,1	73,8	66,1	68,1	70,2	73,7
4	62,7	67,3	69,3	73,3	63,4	68,2	69,8	73,6	64,9	68,2	69,9	74,2

Очевидно, что при заданных условиях орошения критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% за 24 часа не достигается. Режим эксплуатации ПИ нарушен не был. При этом масса блока увеличивается в среднем на 3,3 г.

В условиях 17 осуществлялось измерение влажности воздуха внутри полиэтиленовой капсулы, размещенной во внутренней полости СПИ ББ. На дрипустановке осуществлялась подача капель воды в центр верхней грани блока, центр двух боковых граней блока, выполненных без отверстия, и центр верхней части закрывающей отверстие пластины двух боковых граней блока, выполненных с отверстием. Результаты представлены в таблице 4.3.10.

Таблица 4.3.10 - Влажность воздуха внутри СПИ ББ (условия 17), %

№ СПИ ББ	Уровень измерения, м											
	0,5				1				1,5			
	Время, ч											
	0	8	16	24	0	8	16	24	0	8	16	24
1	39,3	54,6	58,8	62,3	39,5	54,8	59,1	62,4	39,9	55,2	59,9	62,6
2	39,5	53,8	57,2	62,1	39,6	55,1	58,6	63,1	39,8	55,6	59,3	63,3
3	39,1	54,2	58,6	61,8	39,4	54,9	58,3	62,5	40,1	55,3	59,7	62,8
4	40,1	54,1	58,1	62,6	40,3	55,2	58,6	62,8	40,5	55,8	59,1	63,3

В таблице 4.3.10 данные указывают на то, что при заданных условиях орошения критическое значение влажности воздуха внутри СПИ ББ в 93% за 24 часа не достигается. Режим эксплуатации ПИ не был нарушен.

4.4. Выводы по главе 4

1. Проводимые на дрипустановке исследования показали, что при попадании капель на СПИ ББ влажность воздуха внутри блока повышается. При длительном и (или) интенсивном попадании капель воды возможно достижение критического значения влажности воздуха в 93%. Для решения этой проблемы необходима реализация комплекса мер по герметизации СПИ ББ. Нанесение на поверхность бетонного блока силиконизированного герметика VGT или создание внутри него полиэтиленовой герметичной капсулы позволяют избегать достижения критического значения влажности воздуха в 93%.

2. Для оценки работоспособности СПИ ББ проведена серия испытаний по нагреву ТЭ инфракрасным излучением при различных условиях.

Очевидно, что при создании СПИ ББ необходимо использовать ТЭ черного цвета.

3. Предложенный стенд с мощностью излучения 2 кВт может быть использован для проверки работоспособности СПИ ББ со встроенными ПИ класса А1 и А2 на расстоянии 0,02-0,03 м при диаметре ТЭ черного цвета более 0,05 м. Срабатывание СПИ ББ с выдачей сигнала «Пожар» происходит во временном интервале до 10 минут.

4. В результате аппроксимации кривых получены уравнения $T_I(\tau, R)$, $T_I(\tau, W)$, $T_I(\tau, d_{ТЭ})$, описывающие кинетику изменения температуры ТЭ СПИ ББ при заданных условиях.

5. Конструктивные решения СПИ ББ могут предусматривать использование стекла, плоской линзы или без таковых. Воздействия солнечных лучей не приводит к срабатыванию СПИ ББ при использовании теплового ПИ.

6. Огневые испытания СПИ ББ показали возможность использования очага пожара ТП-1 на расстоянии 0,5 м для проверки их работоспособности.

7. Использование СПИ ББ позволяет обнаруживать инфракрасное излучение пожара, исключая при этом срабатывание в результате воздействия солнечного излучения, а также понижает воздействие окружающей среды на ПИ.

Глава 5. Оценка эффективности затрат на обеспечение пожарной безопасности малоэтажного здания

Аспекты оценки эффективности системы пожарной безопасности рассматривались многими исследователями: С.Г. Цариченко, А.К. Микеев, Ф.В. Демехин, А.Ю. Иванов, Е.Н. Покровская, Ю.Х. Поландов, И.Г. Малыгин, А.С. Поляков, В.Я. Пророк, Э.В. Пьядичев, В.П. Сугак, Д.Ю. Минкин, С.Н. Терёхин и другие [223-234]. В основном эти исследования были предназначены для промышленных предприятий. Так, например, Т.А. Буцынской и М.В. Землянухиным предложен метод оценки эффективности системы пожарной безопасности для промышленного предприятия [235]. А.В. Смирновым оценивалась эффективность многоагентной системы распределения ресурсов в целях управления пожарной безопасностью химических предприятий [236]. С.В. Федосовым и другими оценивались показатели экономической эффективности электротепловой обработки на предприятиях сборного железобетона [237]. Различные решения по рассматриваемому вопросу также предлагались в исследованиях [238-240]. С учетом вышеописанных методик на основании приложения 4 к ГОСТ 12.1.004-91 [146] производился расчет эффективности затрат на обеспечение пожарной безопасности малоэтажных зданий в Ивановской области, основное количество которых относится к МЖД.

5.1. Определение математического ожидания экономических потерь от пожара

В соответствии с методом [146] определение площади пожара при свободном горении твердых горючих и трудногорючих материалов осуществляется расчетным путем.

На основе определения параметров развития пожара в малоэтажных зданиях, а также данных об эффективности элементов и систем обеспечения

пожарной безопасности в соответствии с методом [146] был составлен прогноз экономических потерь от возможного пожара. Результаты расчета представлены на рисунке 5.1.

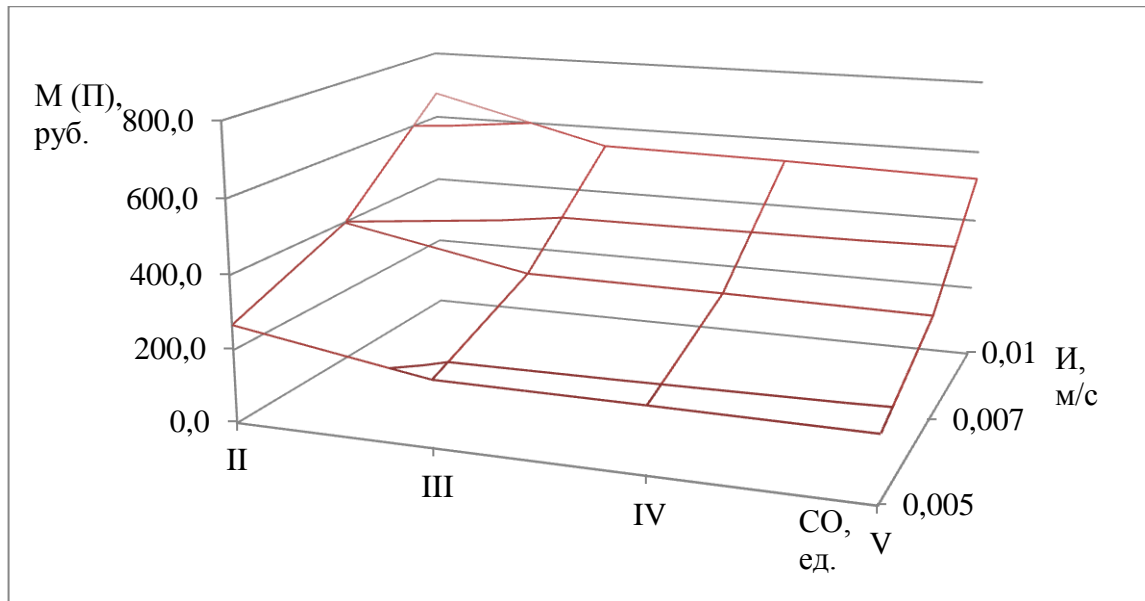


Рисунок 5.1 – Математическое ожидание экономических потерь от пожара при различных линейных скоростях на 13 минуте пожара

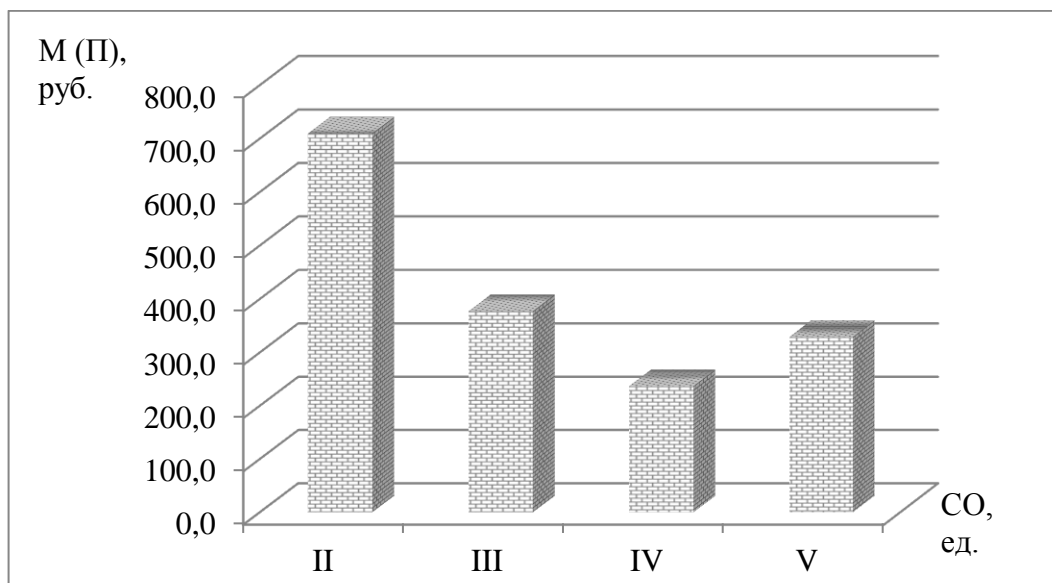


Рисунок 5.2 – Математическое ожидание экономических потерь от пожара в МЖД в Ивановской области на основе статистических данных о площадях пожаров

На рисунке 5.2 представлено математического ожидания экономических потерь от пожара в малоэтажных зданиях в Ивановской области на основе статистических данных о площадях пожаров. При

определении значения данного показателя учитываются величины математического ожидания потерь: части национального богатства, при отвлечении ресурсов на компенсирование последствий пожара, от вынужденного простоя объекта, который возник из-за пожара. Последнее значение рассчитывается для МЖД в том случае, если проживающее в этих домах население является самозанятым.

Математическое ожидание экономических потерь от пожара в малоэтажных зданиях в Ивановской области повышается с повышением степени огнестойкости на данных объектах.

5.2. Расчет экономических потерь от пожара

Экономические потери от пожара на объекте за год определяются с учетом статистических данных о пожарах расчетным путем [146]. Результаты расчетов экономических и предотвращенных потерь от пожара в малоэтажных зданиях Ивановской области в зависимости от степени огнестойкости с учетом самозанятости проживающего населения и без таковой представлены на рисунках 5.3 и 5.4 соответственно.

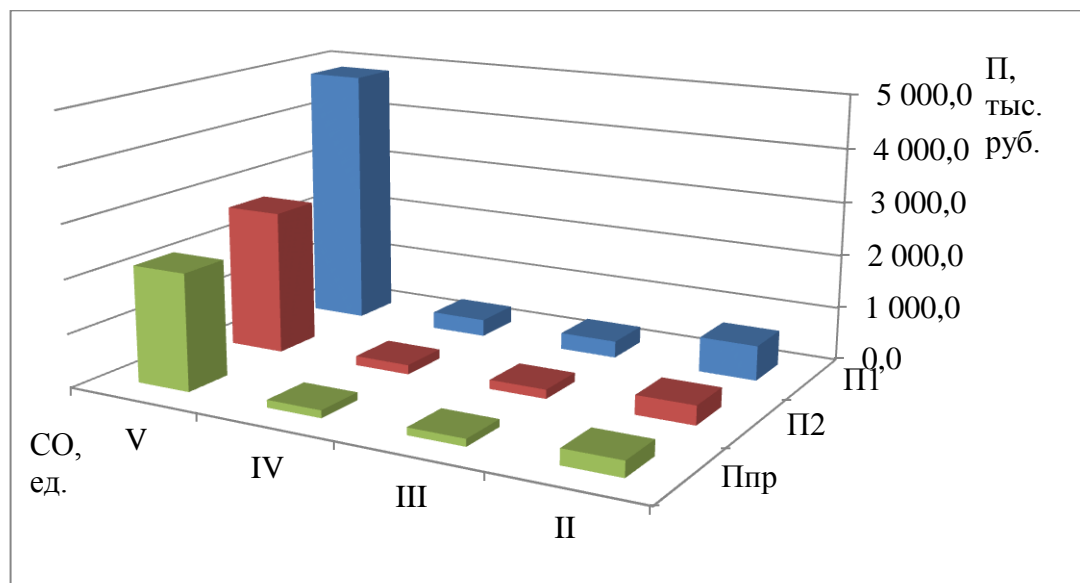


Рисунок 5.3 – Экономические и предотвращенные потери от пожара в малоэтажных зданиях в зависимости от степени огнестойкости с учетом самозанятости проживающего населения

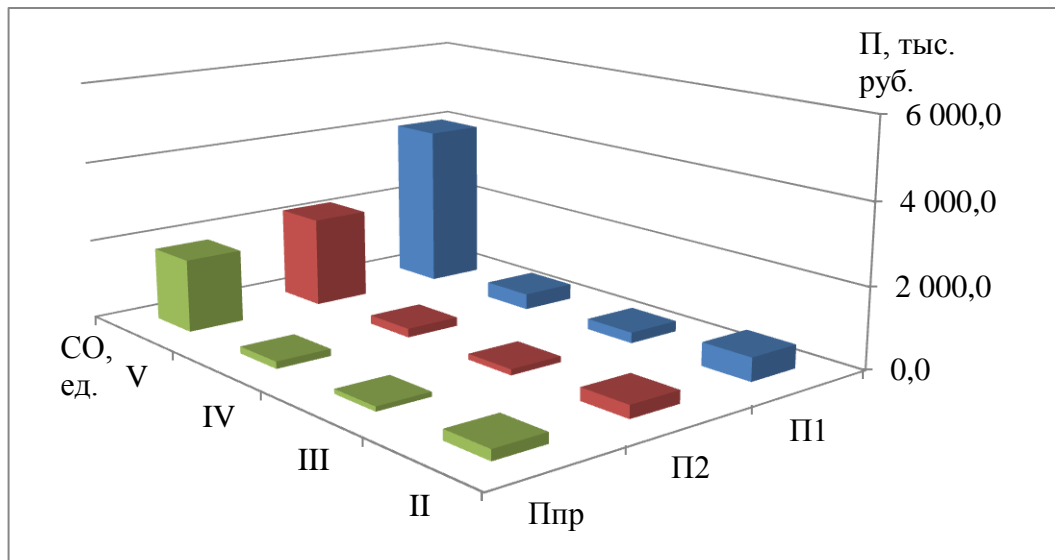


Рисунок 5.4 – Экономические и предотвращенные потери от пожара в малоэтажных зданиях в зависимости от степени огнестойкости без учета самозанятости проживающего населения

Представленный на рисунках 5.3 и 5.4 результат расчетов указывает на снижение потерь от пожаров в малоэтажных зданиях Ивановской области при использовании СПИ ББ. При проведении данного расчета учитываются потери, возникшие в результате уничтожения (повреждения) основных (неосновных) фондов, ценностей и товаров, имущества проживающих людей, уничтожения природных ресурсов. Потери самозанятых жильцов будут значительно выше остальных жителей.

5.3. Определение эффективности затрат на обеспечение пожарной безопасности объекта

По результатам эксплуатации объекта за расчетный период был определен экономический эффект затрат на обеспечение пожарной безопасности независимо от направленности мероприятия по обеспечению пожарной безопасности (разработка, производство и использование новых, совершенствование существующих элементов систем и мероприятий по обеспечению пожарной безопасности) [146].

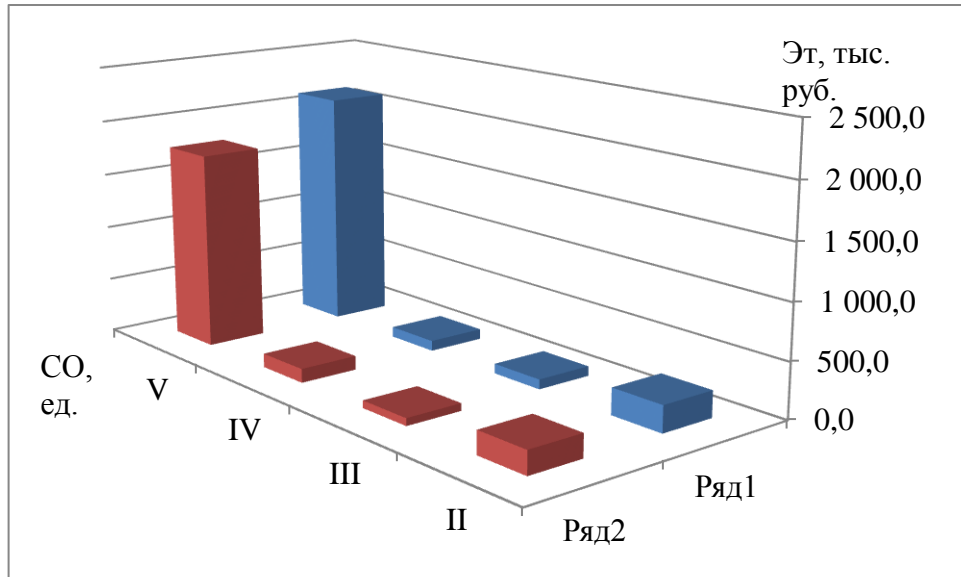


Рисунок 5.5 – Эффективность затрат на обеспечение пожарной безопасности малоэтажных зданий

На рисунке 5.5 описана зависимость эффективности затрат на обеспечение пожарной безопасности малоэтажных зданий Ивановской области от степени огнестойкости этих объектов с учетом самозанятости проживающего населения (ряд 1) и без таковой (ряд 2). Данное значение рассчитывается исходя из предотвращенных потерь и затрат на установку СПИ ББ.

Из рисунка 5.5 следует, что наибольшая эффективность предлагаемых затрат на обеспечение пожарной безопасности малоэтажных зданий Ивановской области соответствует объектам V степени огнестойкости. Это обусловлено тем, что пожары на объектах данной степени огнестойкости, характеризуются высокими суммами ущерба, так как пожар достигает больших площадей и приводит, как правило, к полному уничтожению зданий. Данная тенденция характерна и при учете самозанятости проживающего населения и без учета таковой. При этом для зданий, где проживают самозанятые люди эффективность предлагаемых затрат выше, чем для зданий, где проживают остальные лица.

5.4. Выводы по главе 5

1. На основе гостовской методики [146] установлено, что математическое ожидание экономических потерь от пожара в малоэтажных зданиях в Ивановской области нарастает от V ко II степени огнестойкости.

2. Определены значения экономических потерь от пожаров в малоэтажных зданиях в Ивановской области в зависимости от степени огнестойкости с учетом самозанятости проживающего населения и без таковой. При этом самозанятость проживающего в МЖД населения обуславливает более высокие экономические потери.

3. С учетом статистических данных и расчетов на основе гостовской методики [139] исследована эффективность предлагаемых затрат на обеспечение пожарной безопасности малоэтажных зданий Ивановской области при использовании совмещенных с пожарным извещателем бетонных изделий. Расчет проведен для II-V степеней огнестойкости с учетом и без самозанятости проживающего населения. Установлено, что затраты на использование совмещенных с пожарным извещателем бетонных изделий являются экономически эффективными для малоэтажных зданий Ивановской области II-V степеней огнестойкости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования:

1. Проведенный анализ литературных источников показывает наличие в строительном материаловедении значительного количества материала, посвященного теплопереносу. Множество работ содержат сведения об изучении технических средств обнаружения пожара в помещении. Вместе с тем практически отсутствуют исследования вопросов создания строительных изделий для мониторинга пожарной безопасности малоэтажных зданий, которые позволяли бы обнаруживать интенсивное тепловое воздействие, возникающее при пожаре в соседнем здании (сооружении).

2. Разработана конструкция совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока. Данная конструкция включает в себя модифицированный установкой дополнительного термочувствительного элемента в виде стального диска черного цвета тепловой пожарный извещатель класса А1. Эта конструкция позволяет обеспечивать функционирование данного строительного изделия в соответствии с разработанным алгоритмом, учитывающим необходимость дифференцирования воздействия различной интенсивности: от пожара и от солнечных лучей.

3. Расчеты, проведенные по предложенным физической и математической моделям интенсивного теплового воздействия на термочувствительный элемент разработанного строительного изделия, показывают, что тепловой поток изменяется не так интенсивно, что им можно пренебречь.

4. Предложена комплексная методология расчета, позволяющая определить динамику полей температур в составных элементах изделия, учитывающая взаимоотношение граничных условий; методика расчета температуры и времени срабатывания бетонного блока совмещенного с пожарным извещателем.

4. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили подготовить компьютерную программу. Данная программа разработана для проведения расчета технических параметров процесса интенсивного теплового воздействия на разработанное строительное изделие и прошла соответствующую регистрацию [216].

5. На основании проведенных экспериментальных исследований установлено, что влажность воздуха внутри бетонного блока из портландцемента марки ЦЕМ I 42,5Н при подаче капель из дрип-установки повышается. При длительном и (или) интенсивном попадании капель воды возможно достижение критического значения влажности воздуха в 93%. Для решения этой проблемы необходима реализация комплекса мер по герметизации разработанного строительного изделия. Нанесение на поверхность бетонного блока силиконизированного герметика VGT или создание внутри него полиэтиленовой герметичной капсулы позволяют избегать достижения критического значения влажности воздуха в 93%.

6. На основании анализа проведенных стендовых испытаний диска термочувствительного элемента разработанного строительного изделия установлена связь между его диаметром, расстоянием до ИК-излучателя, мощностью данного излучателя. Указанный анализ также подтвердил необходимость использования черного диска термочувствительного элемента при создании разработанного строительного изделия.

7. Анализ огневых испытаний разработанного строительного изделия подтвердил возможность их срабатывания в течение времени, не превышающего 600 секунд, в результате воздействия тестового очага пожара ТП-1 на расстоянии 0,5 м.

8. Определена эффективность предлагаемых затрат на обеспечение пожарной безопасности малоэтажных зданий Ивановской области при использовании совмещенных с пожарным извещателем бетонных изделий. Установлено, что затраты на использование совмещенных с пожарным

извещателем бетонных изделий являются экономически эффективными для рассматриваемых зданий II-V степеней огнестойкости.

9. Выполненные исследования позволили разработать практические рекомендации, которые внедрены компаниями ООО «Эксперт безопасности» (акт о внедрении № 22-н4 от 14.04.2021 г., г. Иваново), ООО «Артель-Строй» (акт о внедрении № 21 от 15.04.2021 г., г. Липецк), СРО Ассоциации «ОСЮСКО» (акт о внедрении № 123 от 05.02.2021 г., г. Ростов-на-Дону) при строительстве малоэтажных зданий (Приложения 1-3).

Практические рекомендации по эксплуатации совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока были использованы при осуществлении экспертной деятельности на объектах нового строительства ООО «Эксперт безопасности». Установлено, что применение совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока позволяет обнаруживать интенсивное тепловое излучение при пожаре.

Теоретические положения диссертационной работы и результаты проведенных исследований внедрены в учебный процесс кафедры естественных наук и техносферной безопасности ФГБОУ ВО ИВГПУ при проведении лекций и лабораторных занятий для обучения бакалавров 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность технологических процессов и производств» по дисциплинам «Продвижение инновационных идей в техносферной безопасности», «Профилактика пожаров», а также для обучения специалистов 20.05.01 «Пожарная безопасность» по профилю «Риск-менеджмент в сфере пожарной безопасности» по дисциплинам «Пожарная безопасность в строительстве», «Производственная и пожарная автоматика», «Информационные технологии в управлении чрезвычайными ситуациями» и «Организация защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций», (акт о внедрении от 01.09.2021 г., ИВГПУ, г. Иваново (Приложение 4)).

Перспективы дальнейшей разработки тематики: разработанный алгоритм действия совмещенного с пожарным извещателем бетонного блока

может быть использован для создания наружных стеновых изделий, способных не только обнаруживать интенсивное тепловое воздействие, но и включать средства пожарной автоматики для оповещения жильцов, вызова пожарно-спасательного подразделения, подачи огнетушащих средств на защиту определенного объекта. Полученные представления о процессах тепломассопереноса, протекающих в совмещенном с пожарным извещателем бетонном блоке, позволят исследовать различные вариации сплавов для изготовления термочувствительных элементов и способов герметизации бетонных блоков, в том числе для использования в средах различной степени агрессивности.

Список литературы

1. Федеральный закон от 21 июля 2007 г. № 185-ФЗ «О Фонде содействия реформированию жилищно-коммунального хозяйства» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/12154776/>.

2. Распоряжение Правительства РФ от 6 сентября 2011 г. № 1540-р «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Центрального ФО на период до 2020 года» (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_119764/.

3. Распоряжение Правительства РФ от 28 декабря 2009 г. № 2094-р «О Стратегии социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_96571/.

4. Распоряжение Правительства РФ от 6 октября 2011 г. № 1757-р «О Стратегии социально-экономического развития Уральского федерального округа на период до 2020 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_120672/.

5. Распоряжение Правительства РФ от 5 сентября 2011 г. № 1538-р «О Стратегии социально-экономического развития Южного федерального округа на период до 2020 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_119398/.

6. Статистика пожаров [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sites.google.com/site/statistikapozaro/>.

7. Салихова, А. Х. Опыт прогнозирования обстановки с пожарами на территории субъекта Российской Федерации на примере Ивановской области / А. Х. Салихова, Д. Б. Самойлов, Е.А. Шварев, В. Н. Михалин, А.А. Лазарев, О.С. Заварихина // Техносферная безопасность. – 2018. – № 1 (18). – С.9-16.

8. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/.

9. СП 4.13130.2013 «Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объемно-планировочным и конструктивным решениям» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593>.

10. Лазарев, А.А. Рискогенные факторы планирования проверок в области пожарной безопасности / А.А. Лазарев, В.В. Булгаков // Техносферная безопасность. – 2018. – № 4 (21). – С.138-145.

11. Торопова, М. В. Особенности осуществления пожарного надзора в сфере производства текстильной продукции / М.В. Торопова, А.А. Лазарев, А.М. Мочалов // Современные проблемы гражданской защиты (Вестник Воронежского института ГПС МЧС России). – 2019. – № 1 (30). – С. 88-95.

12. Лазарев, А.А. Направления совершенствования проверок работоспособности локальных систем оповещения / А.А. Лазарев, А.К. Кокурин, В.Ю. Емелин, Л.А. Бросалова // Современные проблемы гражданской защиты (Вестник Воронежского института ГПС МЧС России). – 2019. – № 4 (33). – С. 52-60.

13. СП 486.1311500.2020 «Системы противопожарной защиты. Перечень зданий сооружений, помещений и оборудования, подлежащих защите автоматическими установками пожаротушения и системами пожарной сигнализации. Требования пожарной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/566348486>.

14. СП 5.13130.2009 «Системы противопожарной защиты. Установки пожарной сигнализации и пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/195658/>.

15. СП 54.13330.2016 «Здания жилые многоквартирные» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054198/>.

16. Сайт МЧС России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mchs.gov.ru/>.

17. Федосов, С.В. Моделирование прогрева тонкого слоя материала перемещающимся источником теплоты / С.В. Федосов, В.Е. Мизонов, А.Б. Иванов, О.В. Тихонов // Строительные материалы. – 2007. – № 3. – С. 103-105.

18. Федосов, С.В. Нестационарный тепло- и массоперенос в многослойных ограждающих конструкциях / С.В. Федосов, А.М. Ибрагимов // Строительные материалы. – 2006. – № 4. – С. 86-87.

19. Федосов, С.В. Процесс теплопереноса в монолитном нестационарный железобетонном перекрытии при использовании термоактивной опалубки. Часть I / С.В. Федосов, А.М. Ибрагимов, А.В. Гущин // Строительные материалы. – 2006. – № 2. – С. 56-57.

20. Федосов, С.В. Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии: монография / С.В. Федосов. – Иваново: ИПК «ПресСто», 2010. – 364 с.

21. Федосов, С.В. Моделирование тепловых процессов в регенеративных утилизаторах теплоты уходящих газов промышленных печей / С.В. Федосов, В.Е. Мизонов, Н.Н. Елин, С.В. Хавер // Строительные материалы. – 2007. – № 9. – С. 14-17.

22. Федосов, С.В. Промерзание влажных грунтов, оснований и фундаментов / С.В. Федосов, Р.М. Алоян, А.М. Ибрагимов, Л.Ю. Гнедина, Л.Н. Аксаковская. – М.: Издательство АСВ, 2005 – 501 с.

23. Голованов, В.И. Экспериментальные исследования огнестойкости блоков отделки тоннельных коллекторов / В.И. Голованов, В.В. Павлов // Пожарная безопасность. – 2011. – № 4. – С. 81-89.

24. Кошмаров, Ю.А. Теплотехника / Ю.А. Кошмаров. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006 – 501 с.
25. Козлачков, В.И. Проблема оценки пожарных рисков при применении требований пожарной безопасности по ограничению распространения пожара / В.И. Козлачков, И.А. Лобаев, А.А. Волошенко // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 2 (66).– С. 79-81
26. Присадков, В.И. Инженерный метод выбора рационального варианта противопожарной защиты объектов с экономической ответственностью / В.И. Присадков, С.В. Мусликова, И.В. Костерин, В.Е. Фадеев, А.М. Шамаев // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. – Т. 25. № 8. – С. 49-57.
27. Горев, В.А. Особенности поведения трехслойных сэндвич-панелей при пожаре / В.А. Горев, Е.Ю. Салымова // Научное обозрение. – 2016. – № 21. – С. 22-25.
28. Еремина, Т.Ю. К оценке возможности внедрения экранных стен на объектах с массовым пребыванием людей / Т.Ю. Еремина, В.Е. Фадеев // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. № 2-3. – С. 57-66.
29. Комаров, А.А. Разрушения зданий при аварийных взрывах бытового газа / А.А. Комаров // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. – Т. 13. № 5. – С. 15-23.
30. Андреев, Ю.А. Влияние антропогенных и природных факторов на возникновение пожаров в лесах и населенных пунктах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.26.03 / Андреев Юрий Александрович. – М., 2003. – 45 с.
31. Сулименко, В.А. Экологические последствия пожаров в жилой застройке городов: На примере г. Калининграда: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03, 03.00.16 / Сулименко Владимир Анатольевич. – М., 2004. – 24 с.
32. Нго, К.Т. Модель и алгоритмы системы поддержки управления ресурсами оперативных подразделений пожарной охраны крупных городов

Вьетнама: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Нго Куанг Тоан. – М., 2016. – 23 с.

33. Казаков, А.А. Методы и модели интерактивного проектирования инженерных систем жилых зданий в среде INTERNET: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.12 / Казаков Александр Александрович. – М., 2004. – 21 с.

34. Бородин, А.С. Разработка методов и рекомендаций по совершенствованию организации пожарно-профилактической работы в жилом секторе сельской местности: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01 / Бородин Александр Семенович. – М., 1993. – 24 с.

35. Олейников, С.Н. Модели и алгоритмы управления пожарной безопасностью жилого сектора: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Олейников Сергей Николаевич. – М., 2013. – 22 с.

36. Некрасов, Д.П. Модели и алгоритмы управления пожарными рисками в жилом секторе крупных городов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Некрасов Денис Павлович. – Воронеж, 2011. – 22 с.

37. Козленко, Н.С. Совершенствование организационно-методических основ управления системой обеспечения пожарной безопасности крупного города: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 05.13.10 / Козленко Николай Сергеевич. – Санкт-Петербург, 1992. – 18 с.

38. Могильникова, А.В. Математическое и информационное обеспечение принятия решений в сфере безопасности жилищного фонда: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.18 / Могильникова Анастасия Васильевна. – Братск, 2009. – 22 с.

39. Черепинский, Ю.Д. Экспериментальные исследования, расчетно-теоретический анализ и внедрение в строительстве сейсмоизолирующих конструктивных систем КФ: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01 / Черепинский Юрий Давыдович. – Новосибирск, 1998. – 46 с.

40. Арутюнян, Р.Г. Определение рационального усиления железобетонных конструкций, работающих в условиях сейсмических

воздействий, методом поисковой оптимизации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01 / Арутюнян Рубен Гургенович. – М., 2000. – 19 с.

41. Шахраманьян, А.М. Модели и алгоритмы проектирования и функционирования систем дистанционного мониторинга технического состояния зданий и сооружений: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / Шахраманьян Андрей Михайлович. – М., 2005. – 22 с.

42. Ярыгин Ю.Н. Методы и модели управления промышленной безопасностью региональных систем газораспределения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Ярыгин Юрий Николаевич. – М., 2005. – 25 с.

43. Макишев, Ж.К. Огнестойкость деревянных конструкций длительного срока эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Макишев Жандос Куандыкович. – М., 2016. – 23 с.

44. Анохин, Е.А. Повышение класса пожарной опасности деревянных конструкций длительного срока эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Анохин Евгений Анатольевич. – М., 2017. – 24 с.

45. Ми, З.Т. Ограничение распространения пожара по жилым зданиям конструктивными методами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.03 / Ми Зуи Тхань. – М., 2005. – 23 с.

46. Никольский, М.С. Совершенствование технологических решений возведения индивидуальных жилых домов из индустриальных сэндвич-панелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.08 / Никольский Михаил Сергеевич. – Санкт-Петербург, 2011. – 22 с.

47. Веснин, Б.Г. Научные и практические основы повышения надежности предварительно напряженных железобетонных элементов и конструктивных систем зданий и сооружений, с обеспечением безопасности при проектировании, изготовлении в заводских и возведении в построечных условиях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.00.00 / Веснин Борис Георгиевич. – М., 2005. – 40 с.

48. Тихонов, Ю.М. Аэрированные легкие и тепло-огнезащитные бетоны и растворы с применением вспученного вермикулита и перлита и

изделия на их основе: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Тихонов Юрий Михайлович. – Санкт-Петербург, 2005. – 40 с.

49. Purkiss, J.A. A systems approach to fire safety engineering, in *Structural Safety Evaluation Based on System Identification Approaches* (eds H.G. Natke and J.T.P. Yao), F. Vieweg und Sohn Verlag mbH, Braunschweig, 1988. – pp. 394–413.

50. Purkiss, J.A. High-strength concrete and fire / J.A. Purkiss // *Concrete*. – 2000. – № 34 (3), pp. 49–50.

51. Purkiss, J.A. *Fire Safety Engineering Design of Structures* / J.A. Purkiss. – Great Britain: Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier, 2007. – 389 p.

52. Morgan, H.P. and Gardner, J.P. *Design Principles for Smoke Ventilation in Enclosed Shopping Centres*, Report BR 186, BRE, Garston, England. – 1991.

53. Шеина, С.Г. Проблемы, перспективы и динамика развития малоэтажного строительства в России, Ростовской области / С.Г. Шеина, Е.Н. Миненко, М.В. Смогрунова, С.И. Шека // *Новые технологии*. – 2012. – № 4. – С. 152-158.

54. СП 42.13330.2016 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89*» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71692326/>.

55. Баженов, Ю.М. Основные направления применения полимеров для улучшения свойств наноструктурных строительных композитов / Ю.М. Баженов, Д.К.С. Батаев, Д.Т. Ознийев, З.З. Аларханова // *Вестник Академии наук Чеченской Республики*. – 2009. – № 2 (11). – С. 59-64.

56. Федосов, С.В., Мизонов В.Е., Огурцов В.А. Моделирование классификации полидисперсных материалов на виброгрохотах / С.В. Федосов, В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов // *Строительные материалы*. – 2007. – № 11. – С. 26-29.

57. Акулова, М.В. Металлургические шлаки: основные направления их применения в строительной индустрии / Е.А. Степанова, М.В. Акулова // Информационная среда вуза. – 2017. – № 1 (24). – С. 52-55.
58. Грушевский, Б.В. Пожарная профилактика в строительстве / Б.В. Грушевский, А.И. Яковлев, И.Н. Кривошеев, Е.Т. Шурин, Н.Г. Климущин. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1985. – 454 с.
59. Селяев, В.П. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперсных порошков микрокремнезема и диатомита: монография/В.П. Селяев и другие. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – 220 с.
60. Копылов, Н.П. Эффективность применения теплозащитных экранов для защиты от тепловых потоков при пожарах / Н.П. Копылов, И.Р. Хасанов // Безопасность Труда в Промышленности. – 2016. – № 11. – С. 38-43.
61. Holmes, M., Anchor, R.D., Cooke, G.M.E., and Crook, R.N. The effects of elevated temperatures on the strength properties of reinforcing and prestressing steels / M. Holmes, R.D. Anchor, G.M.E. Cooke, R.N. Crook // Structural Engineer, – 1982. – № 60B. – pp. 7–13.
62. Яценко, Е.А. Исследование возможности применения органических веществ как порообразователя при синтезе пеностекла / Е.А. Яценко, Б.М. Гольцман, В.А. Смолий, Н.С. Гольцман, Л.А. Яценко // Физика и химия стекла. – 2019. – Т. 45. № 2. – С. 189-195.
63. Маилян, Д.Р. О расчете ширины нормальных трещин балок, усиленных стекло- и углепластиком / Д.Р. Маилян, П.П. Польской // Научное обозрение. – 2014. – № 12-2. – С. 490-492.
64. Давидюк, А.Н. Легкие бетоны на стеклогранулятах / А.Н. Давидюк // Строительные материалы. – 2007. – № 7. – С. 6-7.
65. Волынский, В.Н. Первичная обработка пиломатериалов на лесопильных предприятиях / В.Н.Волынский, С.Н.Пластинин. - М.: ООО «Риэл-Пресс», 2005. – 255 с.

66. Fedosov, S. Dynamics of heat and moisture transfer in wooden structures tied with metallic fasteners / S. Fedosov, V. Kotlov // *Drying Technology*. – 2020. – Т. 38. № 1-2. – С. 19-26.

67. Глухих, В.Н. Определение изгибающего момента и прогиба в сечениях пиломатериалов лиственницы даурской от действия начальных напряжений / В.Н. Глухих, А.Ю. Охлопкова // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. – 2018. – № 1 (361). – С. 89-98.

68. Бельцова, Т.Г. Средства огнезащиты древесины (обзор патентной литературы) / Т.Г. Бельцова, О.Н. Корольченко // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2006. – Т. 15. № S12. – С. 23-35.

69. Трушкин, Д.В. Проблемы классификации строительных материалов по пожарной опасности. Часть 2. Сравнительный анализ экспериментальных методов по оценке пожарной опасности строительных материалов, принятых в России и странах Евросоюза. Определение горючести строительных материалов / Д.В. Трушкин // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2014. – Т. 23. № 4. – С. 24-32.

70. Гравит, М.В. Пожарно-технические характеристики строительных материалов в европейских и российских нормативных документах. Проблемы гармонизации методов исследования и классификации / М.В. Гравит, О.В. Недрышкин, А.А. Вайтицкий, А.М. Шпакова, Д.Г. Нигматуллина // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2016. – Т. 25. № 10. – С. 16-29.

71. European Standard EN (SBI) 13823. Tests of building materials on fire. Building products, except for flooring materials, are exposed to thermal heat from a gas burner [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sp.se/en/index/services/firetest/building/firetest/bu%C3%ADlding/en/13823/sbi/Sidor/default.aspx>.

72. EN 11925-2:2002. Испытания на определение реакции на огонь. Воспламеняемость строительных изделий, подвергаемых прямому отражению пламени. Часть 2. Испытание с применением одного источника

пламени [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/461960945>.

73. ГОСТ Р ИСО 9239-1-2014. Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод определения пожарной опасности напольных покрытий путем воздействия теплового потока радиационной панели [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200109880>.

74. European Standard EN 13501-1-2001. Classification of building products and materials for fire safety [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.peroni.com/lang/UK//download/EN/Reaction/to/Fire/Classification.pdf>

75. ГОСТ Р 15.011-96 «Система разработки и постановки продукции на производство. Патентные исследования. Содержание и порядок проведения» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200264>.

76. Пат. 2123158 Российская Федерация, МПК F 24 J 2/08. Концентратор солнечного излучения / заявитель, автор и патентообладатель И.Ф. Писаревский. – № 94029283/06; заявл. 03.08.1994; опубл. 10.12.1998, Бюл. № – 5 с.

77. Пат. 2417729 Российская Федерация, МПК А 47 J 41/00, F 24 J 2/00. Солнцелучевой коллектор-термос-аккумулятор / авторы и патентообладатели: Б.П. Рыбаков, В.Б. Рыбаков, А.Б. Рыбаков. – № 2009115026/12; заявл. 20.04.2009; опубл. 27.10.2010, Бюл. № 30 – 8 с.

78. Пат. 2413904 Российская Федерация, МПК F 24 J 2/42, F 03 G 6/06. F 02 C 1/05. Солнечно-воздушная воздуходурбинная электростанция / автор и патентообладатель С.П. Морозов. – № 2009138452/06; заявл. 12.10.2009; опубл. 10.03.2011, Бюл. № 7 – 10 с.

79. Пат. 2035558 Российская Федерация, МПК E 04 B 1/76, E 04 C 2/26. Стеновая панель / Н.С. Саранцев, В.М. Бальев; опубл. 1995.05.20, Бюл. № 24. – 6 с.

80. Пат. 2130107 Российская Федерация, МПК E04C 2/26. Многослойная панель / Ю.А. Калядин, Ю.Ф. Бирулин, А.А. Горовой, А.Э. Янко, А.Б. Соколов, И.А. Румянцева, Ф.С. Белавин, В.Г. Бортников.;опубл. 1999.05.10. – 4 с.

81. Пат. 170492 Российская Федерация, МПК E04C 1/39. Бетонный блок / А.Ю. Дроздов, С.И. Лахман; опубл. 2017.04.26, Бюл. №12. – 9 с.

82. Пат. 147521 U1 Российская Федерация, МПК G08B 17/00, G08B 17/10. Устройство пожарное дымовое автономное / В.П. Минайлов, А.А. Лазарев, С.И. Мочкаев; опубл. 10.11.2014, Бюл. №31. – 4 с.

83. Пат. 2702431 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, F24D 3/14, C04B 35/536. Углеродная теплораспределяющая плита для изготовления потолочных и настенных систем нагрева и кондиционирования / А.В. Иванов, Н.В. Максимова, О.Н. Шорникова, С.В. Филимонов, А.П. Малахо, В.В. Авдеев; опубл. 08.10.2019, Бюл. №28. – 9 с.

84. Пат. 2695213 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, F41H 5/24, E04H 9/10. Блочный элемент быстровозводимого защитного сооружения Блочный элемент быстровозводимого защитного сооружения / А.В. Мирошниченко; опубл. 22.07.2019, Бюл. №21. – 15 с.

85. Пат. 2683457 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, E04B 2/46, E04B 2/54. Строительный блок и фасадная стена, выполненная с использованием таких блоков / К. Мори, Ё. Нисикава, А. Ватанабе, М. Кикути, Ю. Минагава, А. Хирокава; опубл. 28.03.2019, Бюл. №10. – 32 с.

86. Пат. 2655132 Российская Федерация, МПК E04H 9/10, E04C 1/39. Сборно-разборное защитное сооружение и его блок / Е.В. Петров; опубл. 23.05.2018, Бюл. №15. – 9 с.

87. Пат. 2651858 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, E04C 2/52. Строительный элемент (Варианты) / А.К. Королев; опубл. 24.04.2018, Бюл. №12. – 18 с.

88. Пат. 2645315 Российская Федерация, МПК E04F 17/08, E04C 1/39, E03C 1/00. Инженерный модуль и способ его монтажа / Д.В. Ершов; опубл. 20.02.2018, Бюл. №5. – 13 с.

89. Пат. 2643387 Российская Федерация, МПК E04B 2/06, E04F 17/04. Модуль многократного использования, предназначенный для изготовления, по меньшей мере, одной части стены сооружения, поддающейся неоднократной разборке / Ф. Ланезе; опубл. 01.02.2018, Бюл. №4. – 31 с.

90. Пат. 2590231 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, E04F 17/04. Вентиляционный блок и способ его монтажа / В.В. Дриго; опубл. 10.07.2016, Бюл. №19. – 17 с.

91. Пат. 2200808 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, F24D 3/14. Способ отопления помещения / В.В. Маслов; опубл. 20.03.2003, Бюл. №8. – 9 с.

92. Пат. 2182201 Российская Федерация, МПК E03C 1/00, E03C 1/122, E03F 1/00, E03F 3/04, E04C 1/39. Шахт-пакет / В.А. Устюгов; опубл. 10.05.2002, Бюл. №13. – 9 с.

93. Пат. 2160340 Российская Федерация, МПК E02D 29/05, E03B 7/00, E04C 1/39, F24D 1/00. Способ прокладки подземных коммуникаций / Н.И. Герцен; опубл. 10.12.2000, Бюл. №34. – 6 с.

94. Пат. 2153049 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, E04B 2/10. Строительный элемент для возведения стен / В.А. Рахманов, В.И. Мелихов, С.К. Казарин, Ю.И. Конов; опубл. 20.07.2000, Бюл. №20. – 7 с.

95. Пат. 2119993 Российская Федерация, МПК E02D 29/02, B28B 7/18, E04C 1/39. Подпорное сооружение в виде стены, композитный блок для каменной кладки и формовочный узел для производства композитных блоков для каменной кладки / Д.Дж. Сиверт, М.Э. Вулфорд; опубл. 10.10.1998, Бюл. №-. – 32 с.

96. Пат. 1604956 Российская Федерация, МПК E04C 2/04, E04C 1/39. Строительный камень / Н.Ф. Мельников; опубл. 07.11.1990, Бюл. №-. – 5 с.
97. Пат. 1507936 Российская Федерация, МПК E04C 1/39. Подмости / О.В. Сухаренко, А.Л. Асланов; опубл. 15.09.1989, Бюл. №-. – 5 с.
98. Пат. 1455800 Российская Федерация, МПК E04C 1/39. Вентиляционный блок / Н.А. Сивчук, В.В. Капитанов; опубл. 10.06.1986, Бюл. №-. – 5с.
99. Пат. 188528 Российская Федерация, МПК E06B 1/70, E04C 1/39. Сборный отлив подоконный / А.Д. Дарюхин, Н.И. Фомин; опубл. 16.04.2019, Бюл. №11. – 7 с.
100. Пат. 154256 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, E04B 1/76. Устройство нанотеплоизоляции тепло - и нефтетрубопроводов / И.К. Киямов, Р.Х. Мингазов, А.Ф. Музафаров, Р.А. Ибрагимов, Л.И. Киямова; опубл. 20.08.2015, Бюл. № 23. – 2 с.
101. Пат. 89326 Российская Федерация, МПК A01G 9/02, E04C 1/39. Фитостена с полихроматическими стимуляторами роста растений / И.А. Кирюхина, Д.В. Чистов, А.А. Красильникова; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 34. – 3 с.
102. Пат. 60566 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, B28B 7/24. Блок бетонный, утяжелитель трубопровода и форма для изготовления бетонных блоков / Е.В. Еленевский, В.Э. Карташян; опубл. 27.01.2007, Бюл. № 3. – 2 с.
103. Пат. 44338 Российская Федерация, МПК E04C 1/39. Электроблок для жилых и общественных зданий / А.П. Горносько, В.И. Гришин, А.Н. Киндеев, А.В. Кузилин, Е.Е. Никитин; опубл. 10.03.2005, Бюл. № 7. – 2 с.

104. Пат. 6815 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, E04B 2/70. Деревянный стеновой элемент / В.М. Казачковский, В.В. Яхричев; опубл. 16.06.1998, Бюл. № -. – 3 с.
105. Пат. 198053 U1 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, E04B 1/94. Совмещенный с пожарным извещателем бетонный блок / С.В. Федосов, А.А. Лазарев, М.В. Торопова, В.Г. Маличенко; опубл. 16.06.2020, Бюл. № 17 – 9 с.
106. Чикин, А.В. Технология повышения долговечности бетона с современными добавками / А.В. Чикин // Экология и строительство. – 2015. – № 3. – С. 8-13.
107. Хасиев, А.А. Цементобетонные покрытия на основе отходов камнедробления: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Хасиев Ахмет Абдуллаевич. – Махачкала, 2013. – 24 с.
108. Бегляров, А.Э. Эффективные стеновые монолитно-слоистые изделия объемного прессования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Бегляров Андрей Эдуардович. – Москва, 2011. – 22 с.
109. Голованова, А.С. Оценка эффективности многокомпонентной композиции на основе полимерных отходов в условиях воздействия агрессивных сред / А.С. Голованова, Т.К. Акчурин, О.Ю. Пушкарская // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2016. – № 43 (62). – С. 57-65.
110. Язиков, И.К. Грунтотматериалы с полимерно-цементным защитным покрытием для сельского строительства: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Язиков Игорь Константинович. – Новосибирск, 1999. – 18 с.
111. Пичугин, А.П. Коррозионностойкие материалы для полов и ограждающих конструкций сельскохозяйственных зданий: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Пичугин Анатолий Петрович. – Новосибирск, 2000. – 52 с.

112. Низина, Т.А. Фрактальный анализ кривых деформирования эпоксидных полимеров при растяжении / Т.А. Низина, В.П. Селяев, Д.Р. Низин, Д.А. Артамонов, Н.С. Канаева // Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. – 2019. – № 1 (7). – С. 48-57.

113. Глебов, Е.Н. Эластомерные композиции на основе отходов производств синтетического каучука и шин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.06 / Глебов Евгений Николаевич. – Воронеж, 1998. – 21 с.

114. Сибгатуллина, Л.Ш. Битумные и битум-полимерные эмульсии на смесевом эмульгаторе для гидроизоляционных и кровельных материалов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Сибгатуллина Лейсан Шамилевна. – Казань, 2005. – 22 с.

115. Стоян, И.А. Исследование и разработка изоляционных материалов на основе нефтеполимерных композиций: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Стоян Игорь Алексеевич. – Ставрополь, 2003. – 23 с.

116. Волошко, Н.И. Повышение коррозионной стойкости бетонных изделий методом плазменной обработки / Н.И. Волошко, Н.А. Ковальченко, Н.М. Здоренко, Э.И. Купавцев // Международный журнал экспериментального образования. – 2017. – № 1. – С. 114.

117. Безуглова, Е.А. Эффективный гидроизоляционный обмазочный материал для защиты подземных сооружений с механоактивированной силикат-глыбой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Безуглова Екатерина Александровна. – Москва, 2013. – 18 с.

118. Бровкина, Н.Г. Повышение водонепроницаемости и морозостойкости цементных бетонов пропиточными солевыми растворами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Бровкина Наталья Геннадьевна. – Новосибирск, 2012. – 18 с.

119. Тухарели, В.Д. Эффективные бетоны, модифицированные многофункциональной органической добавкой техногенной природы:

автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Тухарели Владислав Димитриевич. – Волгоград, 2013. – 22 с.

120. Кононенко А.С. Оценка времени отверждения анаэробных и силиконовых герметиков по деформационным свойствам / А.С. Кононенко // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". – 2010. – № 2 (41). – С. 112-114.

121. Хайруллин, И.К. Герметизирующие материалы в современном строительстве / И.К. Хайруллин // Строительные материалы. – 2014. – № 5. – С. 95-98.

122. Матвеева, Л.Ю. Демпферные гидроизолирующие материалы серии «гидрофор» на основе полиизоцианатуретана / Л.Ю. Матвеева, А.Г. Синайский, Е.Е. Андреева, А.В. Румянцева, П.Б. Кукса // Строительные материалы. – 2016. – № 7. – С. 63-66.

123. Болтон, У. Конструкционные материалы: металлы, сплавы, полимеры, керамика, композиты: карманный справочник / У. Болтон. – М.: Издательский дом «Додэка- XXI», 2004, – 315 с.

124. Михеев, В.В. Неизоцианатные полиуретаны / В.В. Михеев. – Казань: КНТУ (КГТУ), 2011. – 292 с.

125. Овчинников, И.Г. Антикоррозионная защита мостовых сооружений. И.Г. Овчинников, В.Н. Макаров, С.В. Овсянников. – Саратов: Центр «Наука», 2007. – 192 с.

126. Bock, M. Globalisierung der Fahrzeugindustrie – eine Herausforderung bei der Lackrohstoffentwicklung / M. Bock et al. // Farbe und Lack. – 1996. – Vol. 102 (9). – pp. 132–140.

127. ГОСТ Р 53325-2012 Техника пожарная. Технические средства пожарной автоматики. Общие технические требования. Методы испытаний. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102066>.

128. BS 5839-1:2017. Fire detection and fire alarm systems for buildings. Code of practice for design, installation, commissioning and maintenance of systems in non-domestic premises [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030373864>.
129. NFPA 72: 2002 National Fire Alarm Code [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gost-snip.su/document/nfpa_72_2002_national_fire_alarm_code
130. APSAD R7 Détection automatique d'incendie. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyrus-industrie.com/reglementations/apsad-r7/>.
131. DIN 14675: 2003-11 Fire detection and fire alarm systems – Part 1: Design and operation. – Affirmed 01.04.2018. – German: Benth Verlag GmbH, 2018. – 80 с.
132. ГОСТ 30971-2012 «Швы монтажные узлов примыкания оконных блоков к стеновым проемам. Общие технические условия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102010>.
133. ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003608>.
134. Белов, В.К. Лабораторная установка и программное обеспечение для исследования упорядоченного хаоса в процессах капельного вытекания жидкости / В.К. Белов, А.Ю. Леднов, И.Н. Идрисов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2013. – Т. 2. № 71. – С. 93-96.
135. Dreyer, K. The Route to Chaos in a Dripping Water Faucet / K. Dreyer, F.R. Hickey // American Journal of Physics. – 1991. – pp. 59-619.
136. Neda Z., Vako B., Rees E. The dripping faucet revisited / Z. Neda, B. Vako, E. Rees // CHAOS. – 1996. – pp. 59–62.
137. Лыков, А.В. Теория переноса энергии и вещества / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – Минск: Изд. АН БССР, 1959. – 330 с.
138. Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики / А.В. Лыков. – Минск: АН БССР, 1961. – 519 с.

139. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Л., 1950. – 416с.
140. Лыков, А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.
141. Лыков, А.В. Явления переноса в капиллярно-пористых телах / А.В. Лыков. – М.: Гос. изд. техн.-теор. лит., 1954. – 314 с.
142. Лыков, А.В. Теория тепло- и массопереноса / А.В. Лыков, Ю.А. Михайлов. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 536 с.
143. Методы определения теплопроводности и температуропроводности. Под ред. А.В. Лыкова. – М.: Энергия, 1973. – 336 с.
144. Зайцев, В.А. Термическая обработка дисперсных и листовых материалов: дис...д-ра техн. наук / Зайцев Виктор Александрович. – Иваново, 1996. – 335 с.
145. Карташов, Э.М. Аналитические методы теории теплопроводности и её приложений. Изд. 4-е, перераб. и суц. доп. / Э.М. Карташов, В.А. Кудинов – М.: ЛЕНАНД, 2018. – 1072 с.
146. ГОСТ 12.1.004-91* «ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9051953>
147. Кошмаров, Ю.А. Термодинамика и теплопередача в пожарном деле / Ю.А. Кошмаров, М.П. Башкирцев. – М., 1987. – 444 с.
148. Утемесов, М.А. Теплообмен с неограниченной изотропной средой тела с малым внутренним сопротивлением и внешними источниками / М.А. Утемесов // Известия Алтайского государственного университета. – 1998. – № 4 (8). – С. 76-79.
149. Алехин, Е.М. Проблемно-ориентированные имитационные системы для автоматизированного проектирования и стратегического управления экстренными и аварийно-спасательными службами городов / Е.М. Алехин, Н.Н. Брушлинский, П. Вагнер, Ю.И. Коломиец, С.В. Соколов // Вестник РАЕН. – 2012. – Т. 12. № 3. – С. 27-34.

150. Копылов, С.Н. Нанотехнологии и пожарная безопасность / С.Н. Копылов, А.Н. Баратов, А.В. Казаков, Д.В. Бухтояров, И.А. Щур // Пожарная безопасность. – 2011. – № 3. – С. 71-74.

151. Страхов, В.Л. Математическое моделирование высокотемпературного тепломассопереноса в бетонных конструкциях / В.Л. Страхов, А.С. Мельников, В.О. Каледин // Пожар взрывобезопасность. – 2009. – Т. 18. № 6. – С. 29-36.

152. Пузач, С.В. Новый теоретико-экспериментальный подход к расчету распространения токсичных газов при пожаре в помещении / С.В. Пузач, Е.В. Сулейкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. Т. 25. – № 2. – С. 13-20.

153. Abrams, M.S. Compressive strength of concrete up to 1600°F (871°C) / M.S. Abrams // Temperature and Concrete. – 1968. – Special Publication SP-25, American Concrete Institute, Detroit. – pp. 33-58.

154. Ahmed, G.N. An analytical approach for investigating the cases of spalling of high-strength concrete at elevated temperatures / G.N. Ahmed, J.P. Hurst // International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete, NIST Gaithersburg, MD, Feb. 13–14. – 1997. – paper B.6. – pp. 95–108

155. Ahmed, A.E. Residual compressive and bond strengths of limestone aggregate concrete subjected to elevated temperatures / A.E. Ahmed, A.H. Al-Shaikh, T.I. Arafat // Magazine of Concrete Research. – 1992. – № 44. – pp.117.

156. Aldea, C.-M. Fire test on normal and high strength reinforced concrete columns / C.-M. Aldea, J.-M. Franssen, J.-C. Dotreppe // International Workshop on Fire Performance of High-Strength Concrete (eds L.T. Phan, N.J. Carino, D. Duthinh and E. Garboczi), Gaithersburg (Feb. 13–14), NIST. – 1997. – pp. 109–124.

157. Ali, F.A. Explosive spalling of high-strength concrete columns in fire / F.A. Ali, D. O'Connor, A. Abu-Tair // Magazine of Concrete Research. – 2001. – 53 (3). – pp.197–204.

158. Ali, H.M. Lateral displacement and collapse of single-storey steel frames in uncontrolled fires / H.M. Ali, P.E. Senseny, R.L. Alpert // *Engineering Structures*. – 2004. – № 26. – pp. 593–607.
159. Allen, B. Intumescent fire protection of tall buildings / B. Allen *New Steel Construction*. – 2006. – № 14 (1) – pp. 24.
160. Anderberg, Y. Analytical fire engineering design of reinforced concrete structures based on real fire characteristics / Y. Anderberg // *Proceedings of the Eighth Congress of the Federation Internationale de la Precontrainte*, London. Concrete Society, London. – 1978. – pp. 112.
161. Babrauskas, V. The historical basis of fire resistance testing-I / V. Babrauskas, R.B. Williamson // *Fire Technology*. – 1978a. – № 14. – pp.184-205.
162. Bailey, C.G. Holistic behaviour of concrete buildings in fire / C.G. Bailey // *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Buildings and Structures*. – 2002. – № 152 (3). – pp. 199-212.
163. Bailey, C.G. The structural behaviour of steel frames with composite floorslabs subject to fire: Part 1: Theory / C.G. Bailey, D.B. Moore // *The Structural Engineer*. – 2000a. – № 78 (11). – pp. 19-27.
164. Bailey, C.G. The structural behaviour of steel frames with composite floorslabs subject to fire: Part 1: Design / C.G. Bailey, D.B. Moore // *The Structural Engineer*. 2000b. – № 78 (11). – pp. 28–33.
165. Witteveen, J. Trends in design methods for structural fire safety / Witteveen, J. // *Three Decades of Structural Fire Safety* (Boreham Wood, 1983), BRE, Garston. – 1983. – pp. 21–30.
166. Анисимова, Н.К. Процессы высокотемпературной отделки бетонов с фазовыми превращениями в декорирующем слое: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Анисимова Наталья Константиновна. – Иваново, 2009. – 141 с.
167. Иванов, А.Б. Моделирование и расчет процессов теплопереноса при термической обработке изделий перемещающимися источниками

тепловой энергии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Иванов Александр Борисович. – Иваново, 2006. – 17 с.

168. Федосов, С.В. Процессы термической обработки дисперсных материалов с фазовыми и термическими превращениями: дис. д-ра техн. наук / Федосов Сергей Викторович. – Ленинград, 1987. – 350 с.

169. Зенина, Т.Л. Пожарная безопасность в сельской местности / Т.Л. Зенина, А.А. Лазарев // Актуальные проблемы и перспективы развития агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-методической конференции. – Иваново, 2009. – С. 161-162.

170. Лазарев, А.А. Модель процесса внедрения системы пожарного мониторинга / А.А. Лазарев // Материалы IX научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность». – 2014. – С. 358-360.

171. Лазарев, А.А. Использование моделирования при создании новых технических средств обнаружения пожара / А.А. Лазарев, В.В. Серов, А.В. Смирнов, С.С. Лапшин // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXVII международной научно - практической конференции, посвященной 25-летию МЧС России. В 3 ч. Ч. 2 М: ВНИИПО. – 2015. – С.311-317.

172. Лазарев, А.А. О совершенствовании обеспечения пожарной безопасности объектов защиты Ивановской области в пожароопасный период / А.А. Лазарев, В.Г. Маличенко, М.В. Торопова // Материалы VI всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов», Ивановская пожарно-спасательная академия. – 2019. – С. 190-195.

173. Маличенко, В.Г. Оценка огнестойкости железобетонных ограждающих конструкций в условиях развития пожара и пожаротушения / В.Г. Маличенко, А.А. Лазарев, М.В. Торопова // (ПОИСК - 2019): сб. материалов всероссийской (с международным участием) научно-техническая конференция аспирантов и студентов. Ч. 1. – Иваново: ИВГПУ. – 2019. – С. 339-341.

174. Федосов, С.В. О строительных изделиях, способствующих нераспространению пожара на соседние здания и сооружения / С.В. Федосов, А.А. Лазарев, М.В.Торопова, П.Б. Татиевский // Материалы XX международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы строительства, строительной индустрии и архитектуры», Тульский государственный университет. – 2019. – С. 318-321.

175. Лазарев, А.А. О проблеме разработки индивидуальных интерактивных автоматизированных элементов диагностики развития пожара в малоэтажном строительстве / А.А. Лазарев // Материалы VI Всероссийской (с международным участием) научно-технической конференции молодых исследователей «Актуальные проблемы строительства, ЖКХ и техносферной безопасности», Волгоградский государственный технический университет, Волгоград. – 2019. – С. 226-227.

176. Блюдова, М.В. Стеновые материалы для малоэтажных зданий на основе бетона с экологически чистым натуральным наполнителем / М.В. Блюдова, В.Г. Маличенко, А.А. Лазарев // (ПОИСК - 2020): сб. материалов всероссийской (с международным участием) научно-техническая конференция аспирантов и студентов. – Иваново: ИВГПУ. – 2020. – С. 406-407.

177. Доморощина, Т.И., Теоретические основы применения термочувствительных строительных материалов для светосигнального обозначения вертикальных поверхностей Оценка огнестойкости железобетонных ограждающих конструкций в условиях развития пожара и пожаротушения / Т.И. Доморощина, А.А. Лазарев, М.В. Торопова // (ПОИСК - 2020): сб. материалов всероссийской (с международным участием) научно-техническая конференция аспирантов и студентов. – Иваново: ИВГПУ. – 2020. – С. 185-186.

178. Лазарев, А.А. Вероятностный подход к определению мест установки приборов вне малоэтажных зданий для обнаружения пожара / А.А. Лазарев, М.В. Торопова // VII Всероссийская научно-практическая

конференция «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов», Ивановская пожарно-спасательная академия. – 2020. – С. 208-212.

179. Fedosov, S., The Fire-Resistant Construction for Building Safety / S. Fedosov, V. Nikolay, A. Lazarev, V. Malichenko, M. Toropova // Proceedings of EECCE 2019. EECCE 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 70. Springer, Cham. – 2020. – С. 319-327.

180. Федосов, С.В. Проблемы совершенствования мониторинга при строительстве малоэтажных жилых зданий / С.В. Федосов, В.И. Голованов, А.А. Лазарев, М.В. Торопова // Приволжский научный журнал. – 2020. – № 2. – С. 50-56.

181. Федосов, С.В. Противопожарный контроль соседних зданий при помощи сенсоров «умного дома» / С.В. Федосов, Н.И. Ватин, А.А. Лазарев, М.В. Торопова, В.Г. Маличенко // Современные проблемы гражданской защиты. –2020. – № 3 (36). – С. 125-135.

182. Федосов, С.В. Модель оценки на нормативно-техническом совете возможности внедрения новых строительных материалов / С.В. Федосов, В.Г. Маличенко, А.А. Лазарев, М.В. Торопова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. –2020. – № 4 (16). – С. 14-25.

183. Федосов, С.В. Уравнения значений температуры срабатывания термочувствительных элементов пожарных извещателей, встроенных в бетонный блок / С.В. Федосов, А.А. Лазарев, М.В. Торопова, В.Г. Маличенко // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2020. – № 4 (60). – С. 35-42.

184. Федосов, С.В. О проблеме совершенствования строительных изделий, обеспечивающих пожарную безопасность малоэтажных зданий / С.В. Федосов, В.И. Голованов, А.А. Лазарев, М.В. Торопова, В.Г. Маличенко // Строительные материалы. – 2021. – № 3. – С. 57-63.

185. ГОСТ 31108-2003 «Цементы общестроительные. Технические условия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200035243>.

186. ГОСТ 310.3-76 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания ли равномерности изменения объёма» (с Изменением № 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-310-3-76>.

187. ГОСТ 310.4-81 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии» (с Изменениями № 1, 2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-310-4-81>.

188. ГОСТ 10178-85 «Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия» (с Изменениями № 1, 2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-10178-85>.

189. ГОСТ 30515-2013 «Цементы. Общие технические условия» (Переиздание с поправкой) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200111314>.

190. ГОСТ 23732-2011 «Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-23732-2011>.

191. ГОСТ 380-2005 «Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки» (с Изменением № 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200052847>.

192. ГОСТ 111-2014 «Стекло листовое бесцветное. Технические условия» (с Изменением № 1) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200119804>.

193. ГОСТ 22483-2012 (IEC 60228:2004) Жилы токопроводящие для кабелей, проводов и шнуров (с Поправкой) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200100953>.

194. ГОСТ 15150-69 Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории,

условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды (с Изменениями N 1, 2, 3, 4, 5) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003320>.

195. Брусова, Н.Е. Особенности режима осадков в Московском регионе в 2008-2017 гг / Н.Е. Брусова, И.Н. Кузнецова, М.И. Нахаев // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2019. – № 1 (371). – С. 127-142.

196. ГОСТ Р МЭК 60068-2-1-2009. Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-1. Испытания. Испытание А: Холод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-mek-60068-2-1-2009>.

197. ГОСТ Р МЭК 60068-2-78-2009 Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-78. Испытания. Испытание Саб: Влажное тепло, постоянный режим [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200077701>.

198. ГОСТ 28203-89 Межгосударственный стандарт. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Fc и руководство: Вибрация (синусоидальная) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200017239>.

199. ГОСТ Р 52931-2008 Приборы контроля и регулирования технологических процессов. Общие технические условия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200069617>.

200. ГОСТ 30805.22-2013 (CISPR 22:2006) Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование информационных технологий. Радиопомехи промышленные. Нормы и методы измерений (Переиздание) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200103840>.

201. ГОСТ Р 51317.4.5-99 (МЭК 61000-4-5-95) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным

импульсным помехам большой энергии. Требования и методы испытаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200007489>.

202. ГОСТ 30804.4.4-2013 (IEC 61000-4-4:2004) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к наносекундным импульсным помехам. Требования и методы испытаний (Издание с Поправкой) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200103837>.

203. ГОСТ 30804.4.11-2013 (IEC 61000-4-11:2004)/[ГОСТ Р 51317.4.11-2007 (МЭК 61000-4-11:2004)] Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к провалам, кратковременным прерываниям и изменениям напряжения электропитания. Требования и методы испытаний (Переиздание) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200103280>.

204. ГОСТ 30804.4.2-2013 (IEC 61000-4-2:2008) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний (Издание с Поправкой) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200104291>.

205. ГОСТ 30804.4.3-2013 (IEC 61000-4-3:2006) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний (Переиздание) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200104293>.

206. Рудобашта, С.П. Диффузия в химико-технологических процессах / С.П. Рудобашта, Э.М. Карташов – М.: КолоС, 2010 – 478 с.

207. Кутателадзе, С.С. Теплопередача и гидродинамическое сопротивление: справочное пособие / С.С.Кутателадзе – М.: Энергоатомиздат, 1990– 367 с.

208. Исаченко, В.П. Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел – М.: Энергия, 1975 – 488 с.

209. Селяев, В.П. Модели теплопроводности зернистых систем / В.П. Селяев, В.А. Неверов, Е.Л. Кечуткина, О.В. Лияскин, Н.Н. Киселев // Строительные конструкции: состояние и перспективы развития. Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 100-летию В. А. Карташова. 2019. – С. 97-101.

210. Грызлов, В.С. Технико-экономическая оценка повышения теплозащиты ограждающих конструкций в регионе / В.С. Грызлов // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2010. – № 3 (26). – С. 74-78.

211. Ярощ, А.М. Оценка коэффициентов теплопроводности остаточного вакуума в кварцевых резонаторах-термостатах / А.М. Ярощ, С.В. Ермоленко, Т.В. Ложникова // Техника радиосвязи. – 2019. – № 1 (40). – С. 82-87.

212. Шибeko, А.С. Некоторые способы экономии тепловой энергии при производстве вертикальных стеклопакетов / А.С. Шибeko // Наука и техника. – 2018. – Т. 17. № 2. – С. 157-164.

213. Бухмиров, В.В. Справочные материалы для решения задач по курсу «Тепломассообмен» / В.В. Бухмиров, Д.В. Ракутина, Ю.С. Солнышкова. – Иваново: ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2009. – 102 с.

214. Коротких, А.Г. Теплопроводность материалов / А.Г. Коротких. – Томск: Изд. Томского политехнического университета, 2011. – 97 с.

215. Лузин, Н.Н. Дифференциальное исчисление / Н.Н. Лузин. – М.: «Советская наука», 1953. – 476 с.

216. С. 2020663950 от 5.11.2020 Российская Федерация. Программа по определению пределов огнестойкости конструкций, предела распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов/ С.В. Федосов, В.Г. Маличенко, М.В. Торопова, А.А. Лазарев; Правообладатели: Федосов С.В., Маличенко В.Г., Торопова М.В., Лазарев А.А. (RU).-№ 020663225; заявл. 27.10.20.

217. Ларионов, А.Н. Физические принципы получения оптических изображений в геодезических приборах: учебное пособие / А.Н. Ларионов, Ю.И. Кураков, В.С. Воищев, И.Н. Маликов, Н.Н. Ларионова, В.С. Греков, О.В. Воищева, А.И. Ефремов, А.Н. Свиридова. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – 75 с.

218. Косых, А.В. Использование пакета прикладных программ «Statistica» для оптимизации технологии производства ячеистых бетонов с комплексной добавкой / А.В. Косых, Е.В. Лужнова // Системы. Методы. Технологии. – 2013. – № 2 (18). – С. 132-136.

219. Шафоростов, А.И. Возможности системы «Statistica quality control» при проведении научно-исследовательских работ / А.И. Шафоростов, А.В. Вытовтов, В.В. Шумилин // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – Т. 2. № 1 (4). – С. 116-120.

220. Кургузов, К.В. Пространственно-корреляционный анализ инженерно-геологических данных на примере строительства логистического комплекса / К.В. Кургузов, И.К. Фоменко // Вестник МГСУ. – 2019. – Т. 14. № 8. – С. 976-990.

221. Иванов, И.М. Математическая модель для назначения высокоэффективного состава бетона с использованием молотого гранулированного доменного шлака / И.М. Иванов, Л.Я. Крамар // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2020. – Т. 20. № 4. – С. 28-41.

222. Denoël, J.-F. Fire Safety and Concrete Structures / J.-F. Denoël FEBELCEM, 2007. – 87 p.

223. Пивоваров, А.А. Концепция развития автоматических систем пожарной сигнализации и пожаротушения / А.А. Пивоваров, С.Г. Цариченко, В.А. Александров // Пожарная безопасность. – 2002. – № 2. – С. 99-104.

224. Кривцов, Ю.В. Развитие требований пожарной безопасности к огнестойкости конструкций в строительных нормах и правилах,

разрабатываемых ЦНИИСК / Ю.В. Кривцов, А.К. Микеев, Д.Г. Пронин // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – № 10. – С. 25-26.

225. Демехин, Ф.В. Алгоритм оценки достоверности обнаружения пожара по сигналам пожарных извещателей / Ф.В. Демехин, Е.В. Куватов // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. Т. 15. – № 3. – С. 70-73.

226. Иванов, А.Ю. Оценка эффективности реструктуризации распределенных баз данных / А.Ю. Иванов // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2009. – № 2. – С. 64-70.

227. Покровская, Е.Н. Термодинамическая оптимизация модификаторов поверхностного слоя древесины / Е.Н. Покровская, Ф.А. Портнов // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26. № 5. – С. 29-36.

228. Поландов, Ю.Х. Результаты испытаний легкобрасываемых конструкций / Ю.Х. Поландов, С.А. Добриков, Д.А. Кукин // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26. № 8. – С. 5-14.

229. Малыгин, И.Г. Метод модификационного управления стоимостью жизненного цикла противопожарных технических систем / И.Г. Малыгин, О.Г. Трудов // Пожаровзрывобезопасность. – 2016. Т. 25. – № 5. – С. 5-17.

230. Поляков, А.С. Методика оценки эффективности конструкции порошковых огнетушителей / А.С. Поляков, Д.Ф. Кожевин, И.А. Сорокин // Научно-аналитический журнал Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2020. – № 2. – С. 16-23.

231. Пророк, В.Я. Оценка эффективности системы пожарной безопасности средств океанотехники по добыче и транспортировке углеводородного сырья на крайнем севере / В.Я. Пророк, И.С. Демченко, А.С. Смирнов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2013. – № 3 (27). – С. 27-32.

232. Пьядичев, Э.В. Состояние опасности и аварийности на трубопроводном подземном транспорте и пути их устранения / Э.В. Пьядичев, Р.В. Шкрабак, Д.С. Шувалов // Известия Международной академии аграрного образования. – 2016. – № 27. – С. 39-43.

233. Сугак, В.П. Методология исследования эффективности системы информационного обеспечения автоматизированных систем управления специального назначения на основе гарантированного результата / В.П. Сугак, В.Ф. Волков, Р.Е. Трепков // Вооружение и экономика. – 2018. – № 1 (43). – С. 48-57.

234. Минкин, Д.Ю. Использование интеллектуальных систем управления в целях повышения устойчивости производственных систем / Д.Ю. Минкин, С.Н. Терехин, Т.В. Власова // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2014. – № 3 (31). – С. 78-84.

235. Буцынская, Т.А. Метод оценки эффективности системы пожарной безопасности промышленного предприятия / Т.А. Буцынская, М.В. Землянухин // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15. № 4. – С. 58-61.

236. Смирнов, А.В. Оценка эффективности многоагентной системы распределения ресурсов для управления пожарной безопасностью предприятий химической отрасли / А.В. Смирнов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 1 (30). – С. 24-29.

237. Федосов, С.В. Оценка показателей экономической эффективности электротепловой обработки на предприятиях сборного железобетона / С.В. Федосов, А.Б. Петрухин, В.И. Бобылев, А.М. Соколов // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 3. С. 54-57.

238. Бобрышев, А.А. Оценка эффективности системы обеспечения пожарной безопасности объектов социальной сферы / А.А. Бобрышев, Э.А. Маслов // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2016. – № 1-2 (5). – С. 23-25.

239. Брагинец, А.В. Оценка эффективности системы пожарной безопасности в Ростовской области / А.В. Брагинец, Л.П. Милешко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 1 (71). – С. 262-265.

240. Макаркин, С.В. Об оценке эффективности деятельности органов местного самоуправления в области обеспечения пожарной безопасности / С.В. Макаркин, Е.П. Воробьева // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – Т. 23. № 8. – С. 6-14.

ПРИЛОЖЕНИЯ



Саморегулируемая организация

**АССОЦИАЦИЯ
«Объединение строителей
Южного и Северо-Кавказского
округов»
(СРО НП «ЮгСевКавСтрой»)**

344010, г. Ростов-на-Дону, ул. Красноармейская,
д. 145, офис 301
тел. (863) 264-17-51, факс (863) 292-33-13
sro_ufo_smr@aaanet.ru
http://www.sroufo.ru

ОГРН 1096100000523
ИНН 6163096204/КПП 616301001

на № 05.02.21г. от № 123

В диссертационный совет
по присуждению
ученых степеней

СРО Ассоциация «Объединение строителей Южного и Северо-Кавказского округов» подтверждает, что в целях дистанционной диагностики и обеспечения пожарной безопасности малоэтажных зданий, строящихся и эксплуатируемых в Южном и Северо-Кавказском федеральных округах, используются наружные стеновые изделия, разработанные под научным руководством д.т.н., профессора С.В. Федосова (разработчики: С.В. Федосов, А.А. Лазарев, М.В. Торопова, В.Г. Маличенко).

Предложенные разработки и рекомендации внедрены в практическое проектирование и строительство членами СРО Ассоциации «ОСЮСКО» на объектах Южного и Северо-Кавказского федеральных округов с экономическим эффектом свыше 3 млн.руб. за 2019-2020 гг.

Генеральный директор



Г.Г. Сеферов

Общество с ограниченной
ответственностью
«Артель-Строй»

В диссертационный совет
по присуждению
ученых степеней

Исх. № 21 от 15.04.2021

ООО «Артель-Строй» подтверждает, что результаты научных исследований соискателя ученой степени кандидата наук А.А. Лазарева внедрены в практическую строительную деятельность и использованы для выпуска опытно-промышленной партии совмещенных с пожарным извещателем бетонных блоков. Работы были проведены с учетом патента на полезную модель 198053 U1 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, E04B 1/94.

Определение динамики полей температур в составных элементах изделия осуществлялось при помощи компьютерной программы (С. 2020663950 от 05.11.2020 Российская Федерация. Программа по определению пределов огнестойкости строительных конструкций, предела распространения огня по конструкциям и групп возгораемости материалов/ Федосов С.В., Маличенко В.Г., Торопова М.В., Лазарев А.А.; Правообладатели: Федосов С.В., Маличенко В.Г., Торопова М.В., Лазарев А.А. (RU).-№2020663225; заявл. 27.10.2020 года).

Разработчики: д.т.н., проф. С.В. Федосов, соискатель ученой степени кандидата технических наук А.А. Лазарев, к.т.н., доц. М.В. Торопова, соискатель ученой степени кандидата технических наук В.Г. Маличенко.

Директор



В.И. Коростелев

Общество с ограниченной
ответственностью
«ЭКСПЕРТ БЕЗОПАСНОСТИ»

Исх. № 22-н4 от 14.04.2021

В диссертационный совет
по присуждению
ученых степеней

Настоящим подтверждается, что опытно-экспериментальная партия изделий, изготовленных в соответствии с Патентом на полезную модель 198053 U1 Российская Федерация, МПК E04C 1/39, E04B 1/94. Совмещенный с пожарным извещателем бетонный блок, позволяет формировать сигнал «Пожар» на прибор приемно-контрольный, с соблюдением следующих параметров:

1. Отсутствие ложного срабатывания в результате воздействия солнечных лучей;
2. Обеспечение срабатывания пожарного извещателя при достижении заданного температурного значения термочувствительного элемента.

Разработчики: С.В. Федосов, А.А. Лазарев, М.В. Торопова, В.Г. Маличенко.

Директор



А.В. Глазов

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ивановский государственный политехнический университет»

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по образовательной
деятельности

А.Ю. Матрохин
2021г.



АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы Лазарева Александра Александровича на тему: «Наружные стеновые изделия для дистанционной диагностики пожарной безопасности малоэтажных зданий» в учебный процесс

Настоящим актом удостоверяется, что результаты диссертационной работы Лазарева Александра Александровича на тему «Наружные стеновые изделия для дистанционной диагностики пожарной безопасности малоэтажных зданий» внедрены в учебный процесс на кафедре «Естественных наук и техносферной безопасности» ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» и использованы в курсах учебных дисциплин:

- «Продвижение инновационных идей в техносферной безопасности», «Профилактика пожаров» для обучения бакалавров по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Безопасность технологических процессов и производств»;

- «Пожарная безопасность в строительстве», «Производственная и пожарная автоматика», «Информационные технологии в управлении чрезвычайными ситуациями» и «Организация защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций» для обучения специалистов по направлению подготовки 20.05.01 «Пожарная безопасность», профиль «Риск-менеджмент в сфере пожарной безопасности».

Начальник учебно-методического управления

Л.В. Дрягина

Директор ИИТЕГН,
советник РААСН, д.т.н., профессор

В.Е. Румянцева

Зав. кафедрой ЕНиТБ,
советник РААСН, д.т.н., профессор

В.Е. Румянцева



АО "Липецкцемент"



РОСС RU C-RU.AE83.B.00013/20

Срок действия с 28.02.2020 по 27.02.2021

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА

за I полугодие 2020 год

Портландцемент ЦЕМ I 42,5Н ГОСТ 31108-2016

ГОСТ 31108-2016

Показатели	Норматив по ГОСТ	Значение
1. Строительно-технические свойства цемента		
Предел прочности при сжатии, МПа в возрасте: 2 суток	не менее 10,0	20,3 ± 2,6
28 суток	не менее 42,5 не более 62,5	53,4 ± 3,0
Начало схватывания, мин	не ранее 60	180 ± 25
Конец схватывания, мин	не нормируется	235 ± 25
Удельная поверхность, м ² /кг	не нормируется	360 ± 10
Тонкость помола, остаток на сите № 008, %	не нормируется	4,0 ± 2,0
Нормальная густота цементного теста, %	не нормируется	25,8 ± 0,8
Ложное схватывание	не должен обладать	отсутствует
Равномерность изменения объема, мм	не более 10,0	0,5 ± 0,5
Потеря массы при прокаливании, %	не более 5,0	2,4 ± 0,6
Нерастворимый остаток, %	не более 5,0	0,37 ± 0,03
Содержание оксида серы (VI) SO ₃ , %	не более 3,5	2,5 ± 0,4
Содержание хлорид-иона Cl ⁻ , %	не более 0,10	0,030 ± 0,003
Содержание технологической добавки (ХЕУ 160-R), %	не более 1,0	0,025 ± 0,015
2. Химический состав клинкера, %		
Оксид кальция	CaO/SiO ₂ > 2,0	66,1 ± 0,3
Оксид кремния		21,5 ± 0,3
Оксид алюминия	не нормируется	4,9 ± 0,4
Оксид железа (III)	не нормируется	4,1 ± 0,3
Оксид магния	не более 5,0	1,8 ± 0,1
Оксид серы (VI)	не нормируется	0,15 ± 0,03
Щелочные оксиды (в пересчете на Na ₂ O)	не нормируется	0,60 ± 0,02
3. Минералогический состав клинкера (расчетный), %		
Трехкальциевый силикат (C ₃ S)	C ₃ S+C ₂ S > 67,0	64,7 ± 2,2
Двухкальциевый силикат (C ₂ S)		13,0 ± 2,0
Трехкальциевый алюминат (C ₃ A)	не нормируется	5,8 ± 1,1
Четырехкальциевый алюмоферрит (C ₄ AF)	не нормируется	12,6 ± 0,6
4. Санитарно-эпидемиологические свойства цемента		
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов A _{эфф} , Бк/кг	не более 370	40,8 ± 6,4

Начальник лаборатории



Е.В. Потина



НАЦИОНАЛЬНАЯ
НЕРУДНАЯ КОМПАНИЯ

ООО «Хромцовский карьер»

Паспорт качества №

на песок природный 1-го класса группы средний для дорожного строительства

Декларация о соответствии № ЕАЭС N RU Д-RU.РА01.И.41132/20

действительна до 19.05.2023



« 14 » 5 2020 г.

Потребитель _____

Номер вагона _____

Количество _____ Тонн _____

№ ж/д квитанции _____

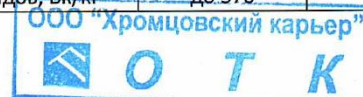
Качественные показатели

№ п.п.	Наименование показателей	Требования ГОСТ 32824-2014	Фактические показатели
1.	Зерновой состав (полные остатки) на контрольных ситах, %		
	Содержание зерен свыше 8 мм	не более 0,5	0,25
	Содержание зерен свыше 4 мм	не более 5,0	4,75
	Полный остаток на сите 0,5 мм	40-55	47,0
	Содержание частиц размером менее 0,125 мм	не более 3,5	1,5
2.	Модуль крупности	2,3-2,8	2,65
3.	Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	не более 2,0	1,0
4.	Содержание глины в комках, %	не более 0,25	0,10
5.	Насыпная плотность, кг/м ³		1620
6.	Истинная плотность, кг/м ³		2650
7.	Пустотность, %		38,9
8.	Влажность, %		4,16
9.	Коэффициент фильтрации, м/сут		4,15
10.	Содержание вредных компонентов и примесей, SO ₃ % . Аморфные разновидности диоксида кремния, растворимого в щелочах, (ммоль/л)	0-1,0	0,10
		0-50	19,3
11.	Содержание хлоридов в пересчете на ион хлора, %	не более 0,15	0,09
12.	Содержание слюды, %	не более 2	нет
13.	Содержание угля, %	не более 1	нет
14.	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Бк/кг	до 370	43

Начальник ОТК:

Лаборант:

И. Валовников



Отзыв на паспорт №

Песок природный 2 класса средний для дорожного строительства ООО «Хромцовский карьер» соответствует требованиям ГОСТ 32824-2014

Замечания _____

Представитель получателя _____

(ФИО, должность, подпись, дата)

АО «Национальная нерудная компания»

123290, г.Москва, ул. 2-ая Магистральная, д.18А

Телефон 8(495)641-58-58, факс 8(495)641-58-95 web:www.naaco.ru

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ИНСТИТУТ СТЕКЛА»
ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ «СТЕКЛО»**

*111024, Москва, ул. Душинская, д. 7
тел. (495) 361-15-02, 363-96-87; факс (495) 363-96-88; e-mail: ic.steklo@mail.ru*



ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ

№ 05-2020 от 07.07.2020 г.

Наименование продукции: стекло листовое особо прозрачное по ГОСТ 111-2014 «Стекло листовое бесцветное. Технические условия».

Предъявитель образцов для испытаний: ООО «Экспогласс» по договору № 03451 от 30.06.2020 г.

Дата получения образцов: 06.07.2020 г.

Описание образцов: на испытания представлено пять образцов листового стекла размером 200 × 200 мм. Номинальная толщина листов стекла составляет 4 мм.

Методика испытаний: ГОСТ EN 410-2014 «Стекло и изделия из него. Методы определения оптических характеристик. Определение световых и солнечных характеристик» (идентичен европейскому региональному стандарту EN 410:2011 “Glass in building — Determination of luminous and solar characteristics of glazing”). Для измерений использовался спектрофотометр PerkinElmer Lambda 950 (№0030502).

Дата испытания образцов: 06.07.2020 г.

Результаты испытаний: приведены в прилагаемой таблице испытаний (приложение 1 на 1 листе).

Заключение: Представленные образцы стекла соответствуют требованиям ГОСТ 111-2014 по показателю «коэффициент направленного пропускания света» для особо прозрачного стекла.

Руководитель ИЛ «Стекло»



А.Г. Чесноков

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 198053

СОВМЕЩЕННЫЙ С ПОЖАРНЫМ ИЗВЕЩАТЕЛЕМ
БЕТОННЫЙ БЛОК

Патентообладатели: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ивановский государственный химико-технологический университет" (RU), Главное управление министерства Российской Федерации по делам Гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий по Ивановской области (RU)*

Авторы: *Федосов Сергей Викторович (RU), Лазарев Александр Александрович (RU), Торопова Мария Владиевна (RU), Маличенко Вячеслав Геннадьевич (RU)*

Заявка № 2020101506

Приоритет полезной модели 11 февраля 2020 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 16 июня 2020 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 11 февраля 2030 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2020663950

**Программа по определению пределов огнестойкости
строительных конструкций, предела распространения огня
по конструкциям и групп возгораемости материалов**

Правообладатели: *Федосов Сергей Викторович (RU), Маличенко
Вячеслав Геннадиевич (RU), Торопова Мария Владиевна (RU),
Лазарев Александр Александрович (RU)*

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2020663225

Дата поступления 27 октября 2020 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 05 ноября 2020 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев

