ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

На правах рукописи

ЛЕОНТЬЕВА Мария Сергеевна

МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ ЛЕГКОВОСПЛАМЕНЯЮЩИХСЯ ВЕЩЕСТВ И МАТЕРИАЛОВ

2.10.1 Пожарная безопасность (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор военных наук, профессор

Актёрский Юрий Евгеньевич

Санкт-Петербург – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение 4
Глава 1. Анализ и научное обоснование комплексной проблемы пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов 12
1.1 Железнодорожные перевозки легковоспламеняющихся веществ и материалов в системе грузооборота, анализ их пожарной опасности 12
1.2 Выбор и обоснование показателей и критерия пожарной опасности железнодорожных перевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов 30
1.3 Факторы, влияющие на уровень пожарной опасности железнодорожных перевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов 42
1.4 Формальная постановка общей научной задачи и частных задач исследования 54
Выводы по главе 1 58
Глава 2. Разработка методики оценивания и снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов в зоне критически важных промышленных и государственных объектов 60
2.1 Выбор и обоснование математического аппарата для решения задачи агрегирования и классификации уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов 60
2.2 Многомерная размытая классификация образов ситуаций, характеризующих уровень пожарной опасности при перевозке опасных грузов 66
2.3 Настройка параметров и функционирование модели при оценивании уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов 69
2.4 Модель для оценивания уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов 72
2.5 Разработка методики и автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов 78
Выводы по главе 2 89

Глава 3. Анализ результативности практического применения методики снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов 91
3.1 Принципы построения структурно-функциональной схемы автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов 91
3.2 Рекомендации по применению автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов 106
3.3 Технико-экономический анализ эффективности внедрения автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов 111
3.4 Предложения на основе разработанной методики по выбору средств обнаружения признаков пожара, требования предъявляемые к ним 115
Выводы по главе 3 125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 127
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 130
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 132
ПРИЛОЖЕНИЕ А 151
ПРИЛОЖЕНИЕ Б 157

Введение

Актуальность темы исследования. В настоящее время в мире происходят глобальные геополитические, военные и экономические трансформации, которые в полной мере затронули и Российскую Федерацию. В этих условиях в нашей стране наблюдаются масштабные изменения и перераспределения основных логистических потоков при перевозке различных промышленных грузов. Грузовые перевозки морским, автомобильным и воздушным транспортом существенно сократились. Основная роль в реализации внутренних и международных грузовых перевозок перешла к железнодорожному транспорту. Объем железнодорожных грузоперевозок промышленных и специальных легковоспламеняющихся веществ и материалов, классифицируемых как опасные грузы (ОГ), продолжает расти.

ГОСТ Р 57478-2017 устанавливает систему классификации опасных грузов, а также показатели и критерии отнесения веществ, материалов и изделий к опасным грузам. Особую опасность представляют грузы, способные легко воспламеняться от внешних источников зажигания во время транспортировки; в результате трения или перегрева, а также при поглощении влаги. Особую опасность представляют грузы, способные во время перевозки легко загораться либо вызывать возгорание или усиление горения в результате трения, а также вещества, способные к самовозгоранию (способные к самопроизвольному нагреванию в процессе транспортирования). Известно, что перевозка грузовым железнодорожным транспортом ОГ сопряжена с повышением пожарной опасности вследствие их возможного самовозгорания или взрыва, причинами которых могут стать физико-химические процессы, инициируемые случайными событиями как в самих ОГ, так и в результате воздействия на них негативных факторов со стороны подвижного состава (ПС) (нагрев, вибрация, искры, смещение груза и т.п.) и внешней среды (ВС) (солнечная радиация, атмосферное

давление, влажность, статическое электричество, сила ветра, грозовые разряды и т.п.).

Несмотря на устойчивое снижение количества пожаров, наблюдается увеличение материального ущерба, приходящегося на один случай возгорания. Кроме того, близость транспортной инфраструктуры к жилым районам, промышленным предприятиям повышает риск дальнейшего распространения пожара, в зоне риска может находиться население близлежащих территорий. Мерой возможности реализации пожарной опасности является величина пожарного риска (ПР). Особо опасным является повышение уровня ПР при следовании железнодорожных составов с ОГ по протяженным мостам, в туннелях, в пределах крупных сортировочных станций, населенных пунктов, хранилищ углеводородного сырья и топлива, радиоактивных и химически опасных веществ и материалов, опасных производственных объектов, крупных пассажирских транспортных узлов, особо охраняемых природных заповедников и т.п. Для предупреждения и своевременного предотвращения пожаров до входа грузового железнодорожного состава в границы указанных районов и объектов необходимо организовать контроль значений параметров ОГ, технических характеристик ПС и факторов ВС, в совокупности способных привести к возникновению пожара или взрыва. В ходе проведенного анализа установлено, что в настоящее время теоретическое и практическое решение данной задачи комплексно не реализовано.

В связи с этим в современных условиях наблюдается рост **объективного противоречия** между реальным и требуемым уровнем ПР при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов, что может привести к крайне тяжелым последствиям, таким как повреждение железнодорожной секции Крымского моста вследствие воспламенения и взрыва цистерн с углеводородным топливом в 2022 году, блокировка Северомуйского туннеля на БАМе в ноябре 2023 года после возгорания и взрыва вагонов с легкогорючими грузами и многим другим. Исследования показывают, что одним из наиболее реальных и экономически обоснованных направлений снижения ПР при железнодорожных

перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов, не приводящих к существенным задержкам доставки грузов и экономическим потерям, является организация мониторинга в реальном масштабе времени наиболее критичных параметров ОГ, ПС и ВС на основе адаптивной к высокой динамике изменения указанных параметров технологии гарантированного предотвращения пожаров.

Степень разработанности темы исследования. Анализ научных работ свидетельствует о наличии на сегодняшний день обширной теоретической базы по исследованию проблемы пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов, проблемы возникновения и тушения таких пожаров.

Накопленный материал является важным ресурсом при разработке системы дистанционного оценивания пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов. Вопросам мониторинга параметров ОГ при организации их транспортировки различными транспортными средствами с целью снижения их ПО посвящено большое количество научных работ отечественных и зарубежных ученых. Результаты исследований зависимости уровня ПР от различных факторов при железнодорожных перевозках ОГ представлены в работах Ю.Е. Актерского, Д.В. Ефанова, Э.Н. Зычкова, Л.А. Королевой, И.Г. Малыгина, Ю.Д. Моторыгина, зарубежных учёных Д. Батарлиене, Э. Масселя и др. Однако, в данных работах вопросы организации комплексного мониторинга в реальном масштабе времени наиболее критичных параметров ОГ в сочетании с негативными параметрами ПС и ВС с целью снижения ПО и ПР не рассматривались.

Все это делает актуальной **научную задачу** совершенствования научно-методического аппарата для снижения ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов на основе комплексного учета возможного негативного влияния параметров ОГ, ПС и ВС при высокой динамике их изменения.

Цель диссертационного исследования – формирование научно-обоснованного механизма снижения ПО при железнодорожных перевозках

легковоспламеняющихся веществ и материалов вблизи критически важных промышленных и государственных объектов.

Актуальность решения сформулированной научной задачи определила выбор объекта и предмета исследования.

Объект исследования: железнодорожные перевозки ОГ.

Предмет исследования: управленческие и программно-аппаратные решения, способы, методы, методики и алгоритмы оценивания и снижения ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов.

Исходя из сформулированной общей научной задачи и поставленной цели исследования, в диссертационной работе необходимо было решить следующие частные задачи:

1. Провести комплексный анализ современных условий организации железнодорожных перевозок ОГ, выявить наличие противоречия между реальным и требуемым уровнем ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов вблизи критически важных промышленных и государственных объектов.

2. Выбрать и обосновать показатель уровня и критерии ПО перевозимых грузов.

3. Провести комплексное исследование факторов, оказывающих наиболее существенное влияние на уровень ПО при железнодорожных перевозках ОГ.

4. Разработать модель и на ее основе систему поддержки принятия решений для оценивания и прогнозирования уровня ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов, учитывающую влияние факторов ПО самого груза, параметров и технических характеристик ПС и состояния ВС.

5. Разработать методику снижения ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов на основе адаптивной к высокой динамике изменения факторов ПО самого груза, параметров и технических характеристик ПС и состояния ВС технологии гарантированного предотвращения пожаров.

6. Разработать структурно-функциональную схему и алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов (АСУ СПОЖДПОГ) в зоне критически важных промышленных и государственных объектов.

Научная новизна исследований заключается в том, что разработана совокупность новых теоретических решений, имеющих существенное значение для снижения ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов по территории или вблизи критически важных промышленных и государственных объектов на основе применения адаптивной к высокой динамике изменения наиболее критичных параметров ОГ, ПС и ВС технологии гарантированного предотвращения пожаров, в частности:

1. Предложена новая модель для оценивания и прогнозирования уровня ПО при железнодорожных перевозках ОГ, отличающаяся от известных возможностью комплексного учета негативного влияния параметров самого ОГ, ПС и ВС, представленных в нечеткой форме.

2. Предложен новый подход к снижению ПО и ПР при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов, отличающийся от известных использованием адаптивной к высокой динамике комплексного изменения негативных факторов ОГ, ПС, ВС технологии гарантированного предотвращения пожаров на ранних этапах их возникновения и развития.

3. Разработаны принципы построения, структурно-функциональная схема и алгоритмы функционирования автоматизированной системы управления снижением ПО и поддержки принятия решений по оперативной диагностике и прогнозированию уровня ПР при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов, которые, в отличие от известных, позволяют комплексно учитывать изменения влияния негативных факторов ОГ, ПС, ВС и в реальном масштабе времени формировать предложения по их безопасной компенсации.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, соответствуют паспорту специальности 2.10.1 Пожарная безопасность п. 12 «Разработка научных

основ создания систем, методов и технических средств обнаружения, предупреждения и ликвидации аварий, пожаров и взрывов».

Теоретическая значимость результатов исследования заключается в обосновании взаимосвязи уровня ПО перевозимых железнодорожным транспортом легковоспламеняющихся веществ и материалов с типом и характеристиками технического состояния ПС и характеристиками ВС, что позволяет на ранних стадиях развития опасной взрывопожарной ситуации реализовать комплекс компенсирующих мероприятий. Предложения, выводы и рекомендации, содержащиеся в диссертации, могут быть использованы: в научно-исследовательской работе при дальнейшем исследовании проблем снижения ПО при грузовых железнодорожных перевозках ОГ; в учебном процессе профильных образовательных учреждений при подготовке кадров для центров управления в кризисных ситуациях (ЦУКС) различного уровня.

Практическая значимость результатов исследования связана с разработкой рекомендаций и предложений по совершенствованию и повышению эффективности деятельности подразделений ЦУКС и соответствующих структурных подразделений РЖД в области обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов вблизи критически важных объектов. Также полученные в диссертационной работе результаты могут быть использованы для оперативного контроля уровня пожарной безопасности стационарных опасных производственных объектов.

Методы исследования. При разработке основных положений диссертационной работы использовались методы исследования, основанные на общей теории сложных систем, теории принятия решений, статистики, обработки нечетких данных, применялись методы системного анализа и математического моделирования.

Достоверность результатов, научных положений, выводов и рекомендаций, содержащихся в данном исследовании, подтверждается: непротиворечивостью полученных в работе результатов известным результатам, полученным в ходе аналогичных исследований в данной предметной области;

корректным использованием при постановке и решении задач апробированного математического аппарата и современных методов математического моделирования, в частности, системного анализа, векторной оптимизации, теории нечетких множеств, методов математической статистики; непротиворечивостью результатов моделирования данным, полученным на основе ретроспективного анализа методов снижения ПО при транспортировке ОГ; широким обсуждением и апробацией полученных результатов.

Научные результаты, выносимые на защиту:

1. Модель и шкала для оценивания принадлежности уровня ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов к одному из классов: μ_1 – уровень ПО низкий, μ_2 – уровень ПО средний, μ_3 – уровень ПО высокий.

2. Методика снижения ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов в зоне критически важных промышленных и государственных объектов.

3. Структурно-функциональная схема и алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы управления снижением ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов в зоне критически важных промышленных и государственных объектов.

Внедрение результатов исследования. Основные результаты работы реализованы в АО «Научно-исследовательский институт программных средств», АО «НИИ телевидения».

Апробация результатов. Основные научные положения диссертации докладывались на международных конференциях: XV Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» (Иваново, 2020 г.); IX Всероссийской научно-практической конференции «Молодые ученые в решении актуальных проблем безопасности» (Железногорск, 2020 г.); XVII Международной научно-практической конференции «Комплексные проблемы техносферной безопасности» (Воронеж, 2021 г.); XV Международной научно-практической конференции «Обеспечение безопасности

жизнедеятельности: проблемы и перспективы» (Минск, 2021 г.); Международной научно-практической конференции «Транспорт России: проблемы и перспективы» (Санкт-Петербург, 2020-2021 гг.); VIII Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (Москва, 2022 г.); Международной научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы» (Санкт-Петербург, 2020-2023 гг.).

Публикации. По теме диссертационного исследования опубликовано 18 научных работ, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России.

Личный вклад автора. Все результаты, выносимые на защиту, получены автором лично. Из публикаций, выполненных в соавторстве, в диссертационную работу включены в качестве личного вклада только те результаты, которые принадлежат автору, на другие результаты даны необходимые ссылки. Автором лично разработана модель для оценивания и прогнозирования уровня ПО при железнодорожных перевозках ОГ, предложен новый подход к снижению ПО таких перевозок, разработаны принципы построения и функционирования автоматизированной системы управления снижением ПО при перевозках ОГ.

Глава 1. Анализ и научное обоснование комплексной проблемы пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов

1.1 Железнодорожные перевозки легковоспламеняющихся веществ и материалов в системе грузооборота, анализ их пожарной опасности

Территория Российской Федерации пронизана сетью железных дорог. Железнодорожный транспорт широко используется для обеспечения перевозки различных грузов, в том числе легковоспламеняющихся веществ и материалов. Важнейшим государственным приоритетом и принципом «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» является «повышение уровня безопасности функционирования железнодорожного транспорта» [66]. Существование и развитие современной экономики невозможно представить без транспортной инфраструктуры. Железнодорожный транспорт обладает рядом преимуществ перед другими видами транспорта благодаря своей универсальности и надежности. Он способен перевозить опасные грузы в любое время года, независимо от климатических условий и способов транспортировки. Кроме того, железнодорожные линии позволяют перевозить опасные грузы в значительных объемах на большие расстояния.

Обеспечение пожарной безопасности, как составной части транспортной безопасности, требует комплексного подхода со стороны различных министерств, ведомств и организаций. Эксплуатируя объекты повышенной опасности, ОАО «РЖД» позиционирует пожарную безопасность неотъемлемым элементом своей деятельности и одним из своих долгосрочных приоритетов. Совместно с МЧС России обсуждаются вопросы взаимодействия системы корпоративных коммуникаций ОАО «РЖД» и информационных подразделений МЧС России, а также вопросы организации мониторинга и прогнозирования пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов. Перед ОАО «РЖД» и МЧС России стоит основная задача в области пожарной безопасности: снижение

пожарной опасности. Кроме того, уделяется повышенное внимание предупреждающим мерам, их эффективности; совершенствованию системы управления в области пожарной безопасности; обеспечению соответствия деятельности в области пожарной безопасности современному уровню развития науки и техники.

Проведенный анализ показал – более половины пожаров на подвижном составе связаны с перевозкой грузов [5, 63-70]. Тем не менее, несмотря на устойчивое снижение количества пожаров, наблюдается рост материального ущерба приходящегося на один пожар. Кроме того, близость транспортной инфраструктуры к промышленным предприятиям и жилым зданиям повышает риск дальнейшего распространения пожара, в зоне риска могут находиться работники и обслуживающий персонал, а также население близлежащих территорий.

Основные причины пожаров на грузовом подвижном составе: самовозгорание груза, неосторожное обращение с огнем, искры от тепловозов и контактной электросети, короткое замыкание силовой и вспомогательной цепей; неисправность топливопровода; неисправность тягового электродвигателя; неисправность выхлопного тракта; нагрев роликового подшипника [5,15]. Распределение основных показателей обстановки с пожарами за 2012-2021 гг. по основным причинам возникновения представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Количество пожаров и прямой ущерб от них в ОАО «РЖД» за 2013-2021 гг.

Год	Количество пожаров / в грузовых вагонах	Прямой ущерб, тыс. руб.
2021	108 / 39	4380
2020	101 / 45	4310
2019	82 / 35	3339
2018	102 / 36	4200
2017	89 / 21	6532
2016	95 / 29	6078
2015	110 / 55	4089
2014	90 / 30	2960
2013	96 / 42	3980

Высокая динамика пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов связана с большим количеством быстроменяющихся факторов, наиболее существенными из которых являются взрывопожарные характеристики самого груза, эксплуатационные и технические характеристики подвижного состава, факторы внешней среды на маршрутах транспортировки грузов. Также, в процессе железнодорожных грузоперевозок, возможно изменение количественного и качественного состава вагонов, номенклатуры перевозимых грузов и характеристик их пожарной опасности, параметров внешней среды и погодных условий. Это происходит, в том числе, на сортировочных узлах и станциях, выполняющих функцию перераспределения вагонов из одного состава в разные направления, так как не все вагоны следуют из пункта А в пункт Б. Таким образом, уровень ПО определяется не только параметрами самого ОГ, но и возможными негативными факторами со стороны ПС (тип вагона, нагрев, вибрация, искры, смещение груза и т.п.) и ВС (солнечная радиация, атмосферное давление, влажность, статическое электричество, сила ветра, грозовые разряды и т.п.), уровень ПО изменяется по пути следования железнодорожного состава постоянно, необходимо оперативно контролировать указанные параметры при движении грузового состава вблизи критически важных промышленных и государственных объектов. Часть вагонов может перераспределяться между составами в процессе сортировки на промежуточных пунктах. Процесс формирования и переформирования поездов, а также пропуск транзитных поездов происходит в границах сортировочных станций. Для начала все составы приезжают в парк приема, вагоны переписываются, в автоматическом или ручном режиме с каждого списывается уникальный номер и добавляется в базу данных. Специальная программа сортировки обрабатывает полученную информацию и составляет сортировочный план – главный документ, на основании которого будет происходить дальнейшее распределение состава. Каждый вагон попадает под технический и коммерческий контроль, проверяется состояние вагонов и целостность груза. Основной недостаток имеющейся системы – контроль лишь целостности груза, без его параметров, влияющих на пожарную опасность.

ГОСТ 57478-2017 [29] устанавливает систему классификации опасных грузов, а также показатели, критерии отнесения веществ и материалов к опасным грузам. Однако, крайне важно реализовать адаптацию системы обеспечения пожарной безопасности как к меняющимся характеристикам пожарной опасности грузов, так и к меняющимся параметрам и характеристикам подвижного состава и внешней среды на всем пути следования, так как в настоящее время эти параметры не учитываются в режиме реального времени. Все это приводит к необходимости поиска новых методов и способов снижения пожарной опасности железнодорожных перевозок опасных грузов.

Разработка и внедрение методики снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов является одной из актуальных задач, от решения которой зависят темпы научно-технического прогресса и комплексного развития нашей страны. Важнейшее значение приобретает в условиях импортозамещения создание отечественной автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов.

Практическое использование усовершенствованного научно-методического аппарата снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов на основе адаптивной технологии гарантированного предотвращения пожаров позволяет снизить вероятность возникновения на подвижном составе пожаров, тем самым, минимизировать возможные материальные потери, случаи травмирования и гибели людей. Сложившаяся ситуация определяет необходимость решения актуальной научной задачи, заключающейся в совершенствовании научно-методического аппарата по снижению пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов.

Роль и место железнодорожных перевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов (далее – опасных грузов (ОГ)) в системе грузооборота переоценить сложно. Железнодорожный транспорт играет ключевую роль в современном развитии экономики. Доля железнодорожных перевозок в общем

грузообороте страны превышает 80%, значимость железных дорог очень велика при перевозках грузов на длинные расстояния. Доля опасных грузов в общем грузообороте равна 30% и их перевозка железнодорожным транспортом наиболее выгодна. С 2000 по 2021 гг. в РФ наблюдается преобладание железнодорожного транспорта над остальными видами транспорта (по грузообороту) (рисунок 1.1).

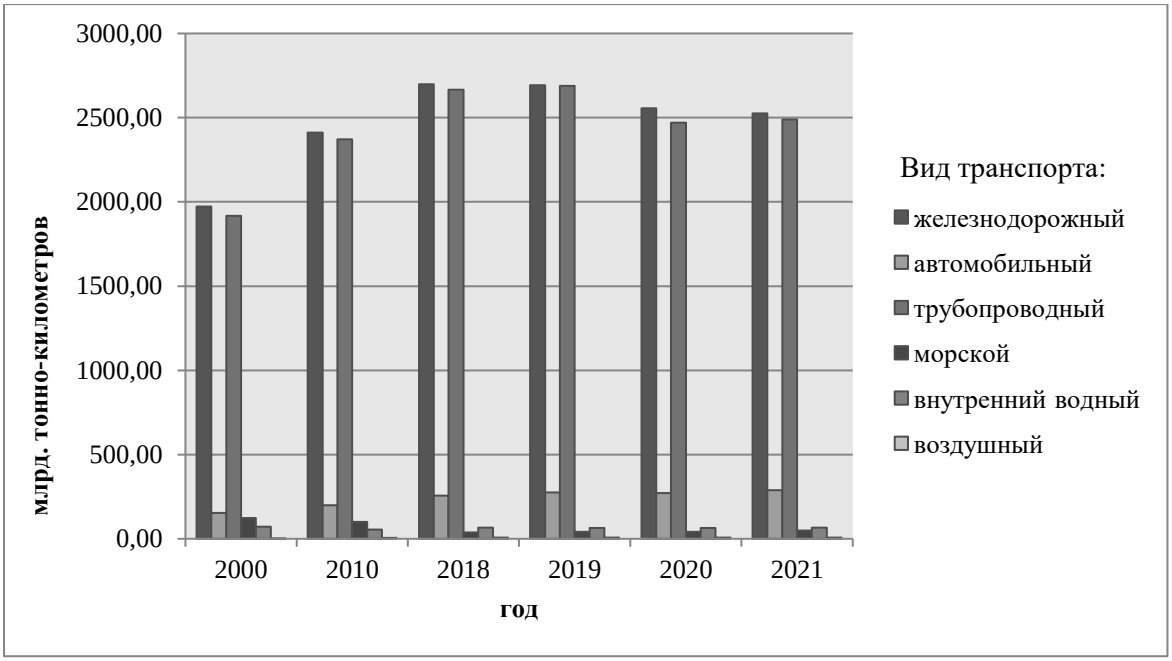


Рисунок 1.1 – Грузооборот по различным видам транспорта 2000-2021 гг.

По мере увеличения объема перевозки опасных грузов возрастает и пожарная опасность, которую они представляют во время транспортировки.

Анализ грузооборота по видам транспорта за январь-сентябрь 2021 г. и аналогичный период прошлого года показывает, что более 90% грузооборота приходится на железнодорожный и трубопроводный транспорт. В 2021 г. железнодорожный грузооборот занимает первое место. Незначительное снижение за 2021 г. по отношению к 2020 г. наблюдается из-за ограничений, вызванных новой коронавирусной инфекцией. Однако, сложившаяся международная обстановка усложнила логистику, вопросы транспортировки и транзита грузов, в том числе пожаровзрывоопасных, легковоспламеняющихся веществ и материалов. Изменяется география грузоперевозок. Сегодня рынок столкнулся с общим снижением товарооборота, что быстро отразилось на падении объема

грузоперевозок. Снижение грузопотока по территории Российской Федерации со стороны недружественных стран переориентировал экспортно-импортный грузопоток на Дальний Восток. В рамках процесса импортозамещения ожидается рост объема внутрироссийских грузоперевозок, поэтому тема исследования не теряет своей актуальности.

Погрузка и грузооборот российских железных дорог показывает стабильный рост на протяжении последних нескольких лет, а также по прогнозу на 5 лет вперёд, объём перевозок возрастёт, положительная тенденция связана с развитием отечественной экономики, внедрением программ импортозамещения. Среднегодовой прирост погрузки составляет 1,9%, а грузооборота – 2,2%. На рисунке 1.2 изображен график прогноза спроса на новые вагоны в 2022-2030 гг.

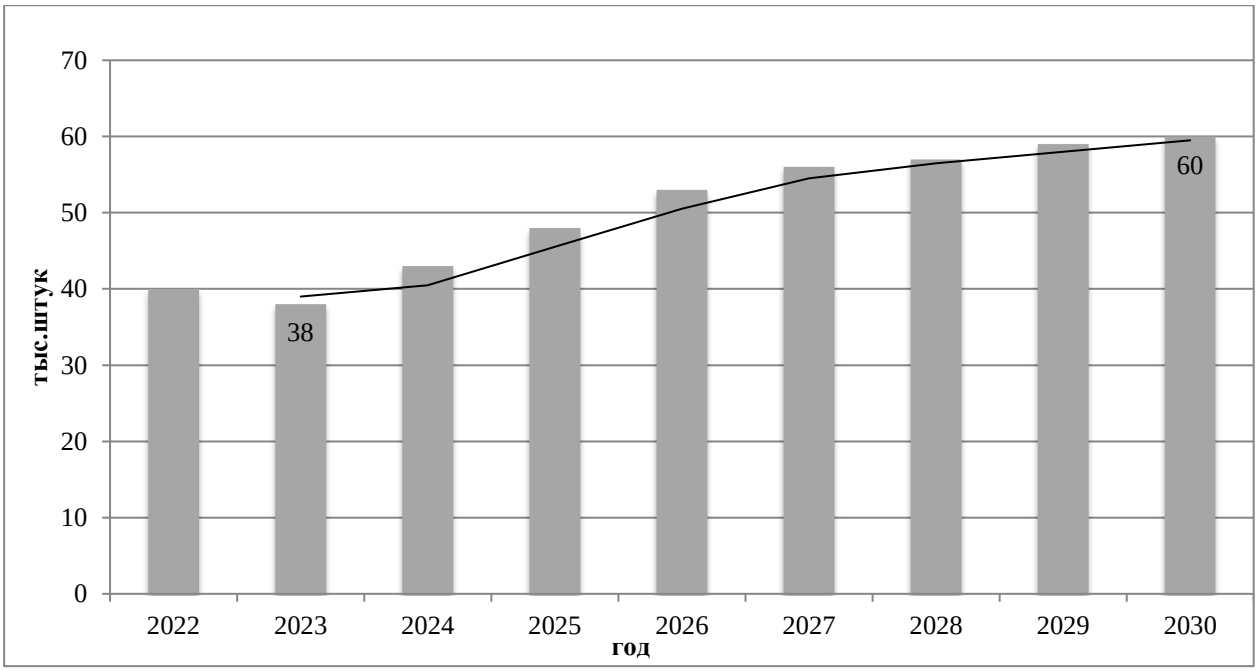


Рисунок 1.2 – Спрос на новые вагоны по прогнозу до 2030 года

По прогнозу спрос на новые вагоны до 2030 года увеличится. В результате не только расширяются корпоративные транспортные парки, но и повышается пожарная опасность Увеличение общего количества грузовых вагонов на 2,7% в 2021 году по сравнению с 2020 годом (с 1 172 286 единиц до 1 205 403 единиц согласно данным ОАО «РЖД») также свидетельствует о значимости

рассматриваемой темы. Россия характеризуется высоким показателем средней дальности перевозок железнодорожным транспортом, по протяженности железных дорог страна находится на третьем месте в мире после США и Китая.

В развитии транспортных технологий теоретические решения и применение практических инструментов имеют большое значение, способствуя тем самым улучшению процесса безопасной транспортировки опасных грузов.

Грузоотправители в некоторых случаях не имеют альтернативы железнодорожному транспорту: автомобильный – относительно дорогой, а расположение порта не всегда совпадает с конечным пунктом доставки груза в случае отправления его водным видом транспорта, к тому же, он доступен только во время навигации. Железнодорожному транспорту принадлежит первостепенная роль в осуществлении перевозок ОГ. Железные дороги связывают все субъекты Российской Федерации и в условиях недостаточности автомобильных дорог обеспечивают потребности промышленности и населения в перевозках. Железные дороги – основное звено транспортной системы России. Грузоперевозки являются важным компонентом производственной инфраструктуры страны. Железнодорожный транспорт универсален для перевозок всех видов грузов, в межрайонном и во внутрирайонном сообщении.

АО «Федеральная грузовая компания» (ФГК) – общесетевой оператор грузового подвижного состава (ПС). Компания является дочерним обществом ОАО «РЖД» и одним из крупнейших грузовых железнодорожных операторов в России. АО «ФГК» предоставляет для выполнения железнодорожных перевозок различные рода ПС: цистерны (для перевозки светлых и темных нефтепродуктов); платформы с бортами и без (для перевозки грузовых и легковых автомобилей, изделий из металла, древесины и железобетона); полувагоны (для перевозки грузов, не требующих укрытия их от осадков: круглого леса, угля, песка, гравия и т.д.); крытые вагоны (для перевозки грузов, чувствительных к влаге: фасованный цемент, сухие строительные смеси, удобрения, бумажная и пищевая продукция).

На сегодняшний день констатируются недостатки анализируемых систем и их способностей предотвратить пожар с заданными характеристиками и

параметрами работы устройств [37-41]. Возможности устройств значительно зависят от количества встроенных каналов, предназначенных для измерения соответствующих параметров. Их может быть от одного до нескольких.

Протяженность железных дорог велика, а перечень перевозимых грузов (особенно взрывоопасных и пожароопасных) очень широк, что усложняет тушение возможных пожаров. Такие пожары приносят огромный материальный ущерб железной дороге и железнодорожному транспорту; приводят к масштабным разрушениям инфраструктуры. Сложившаяся ситуация требует улучшения систем мониторинга безопасности при транспортировке взрывоопасных и пожароопасных грузов, а также необходимости контроля за параметрами этих грузов и факторами, которые могут способствовать возгоранию.

Большая часть опасных грузов является легковоспламеняющимися веществами и материалами либо горючими. Наиболее частым видом опасности в транспортировке грузов является пожар и взрыв.

К легковоспламеняющимся веществам и материалам относятся горючие вещества и материалы: все горючие газы (водород, метан, этан, пропан и др.), горючие жидкости (ацетон, бензол и др.), горючие твердые вещества (нитроцеллюлоза, стружка древесная и др.). Для работы многих промышленных объектов необходимо использование таких веществ и материалов. Их доставка осуществляется, в том числе, с помощью железнодорожных грузовых составов.

Необходимо учитывать, что ОГ обладают повышенной чувствительностью к температурным колебаниям. Необходимо исключать контакты с иными материалами, веществами и предметами, которые потенциально могут привести к серьёзным последствиям. Требования при перевозке опасных грузов распространяются также на тару, упаковку, персонал, погрузо-разгрузочные работы, хранение.

Легковоспламеняющиеся вещества и материалы считаются одним из наиболее опасных грузов. История изобилует примерами тяжелых несчастных случаев, которые произошли при перевозке таких веществ и материалов.

Увеличение масштабов производства и применения ОГ обуславливает расширение объемов их перевозки.

Предприятия, производящие ОГ зачастую находятся на значительном удалении от конечных потребителей. Поэтому каждый день по железным дорогам страны перевозятся сотни тонн опасных грузов.

И хотя при перевозке опасных грузов соблюдается максимальная безопасность, полностью исключить пожары при перевозке пока не удается, однако возможно минимизировать случаи возгораний и последствий пожаров путем мониторинга пожарной опасности в процессе грузоперевозок. Нередки случаи, когда воздействие неблагоприятных факторов или их сочетание приводит к возгоранию опасного груза с последующей эскалацией. Одна из наиболее важных задач при перевозке ОГ – обеспечение не только сохранности дорогостоящего опасного груза, но и обеспечение пожарной безопасности при перевозке. Эффективное решение задачи позволяет своевременно доставить такие грузы к месту назначения, защитить персонал, занятый в обеспечении перевозки, сам опасный груз, грузовой ПС, и окружающую среду от опасности.

Для обеспечения пожарной безопасности грузоперевозок международными организациями и национальными компетентными органами принимаются обязательные для исполнения участниками перевозки международные соглашения, технические регламенты, законодательные и другие нормативные правовые акты.

Для обеспечения безопасности перевозки ОГ принимаются следующие меры:

– предотвращение случайного инициирования и повреждения ОГ;

– определение требований к упаковкам, контейнерам ПС, цистернам;

– ограничение перевозимого на одной транспортной единице количества ОГ;

– ограничение совместной перевозки легковоспламеняющихся веществ и материалов в соседних вагонах, с другими опасными грузами;

– распределение и изоляция различных ОГ внутри ПС;

– проведение специального обучения персонала перед допуском к выполнению операций, связанных с грузоперевозками ОГ;

– согласование маршрута грузоперевозок.

Международные соглашения, технические регламенты, законодательные и другие нормативные правовые акты, регламентирующие перевозку опасных грузов периодически разрабатываются и дополняются в соответствии с современным уровнем технологического развития, а также с учетом характеристик и опасных свойств вновь изобретаемых легковоспламеняющихся веществ и материалов.

Пожарная опасность железнодорожных перевозок опасных грузов связана с большим количеством единиц ПС, сложностью тушения пожаров, наличием проблем по обеспечению противопожарным водоснабжением. Рост техногенных рисков объясняет необходимость обеспечения техносферной безопасности в целях минимизации материального ущерба от пожаров и риска травмирования и гибели людей, оказавшихся в зоне действия железнодорожного транспорта [4,5].

Ряд примеров крушений грузовых поездов подтверждают необходимость совершенствования научно-методического аппарата (рисунок 1.3). Анализ статистических данных выявил основные причины пожаров на грузовом ПС: самовозгорание груза, неосторожное обращение с огнем, искры от тепловозов и линий отвода и др.

Рисунок 1.3 – Пожары в грузовых вагонах, перевозящих:

а) дитионит натрия; б) бензин

По видам транспортных средств за 2021 г. в грузовых вагонах произошло 45 пожаров (на 10 больше, чем в предыдущем году). Количество пожаров в железнодорожных цистернах составило 1178 за 2020 г. и 1334 за 2021 г. Рассмотрим наиболее крупные аварии за всю историю грузоперевозок железнодорожным транспортом.

4 октября 1988 года на перегоне Свердловск-Сортировочный произошёл взрыв (суммарно взорвалось 104,5 т тротила и гексогена). По официальным данным, погибших четверо. Тысячи признаны потерпевшими. Зона разрушений составила около 10 км. Взрыв спровоцировал сопутствующий пожар трёх резервуаров с дизельным топливом. Огонь перекинулся на близлежащие штабеля угля и древесины. Возникла угроза массовых пожаров, так как 80 % зданий, располагавшихся в зоне поражения, имели V степень огнестойкости. Ущерб от аварии превысил 300 млн руб. С целью предотвращения подобных инцидентов и повышения пожарной безопасности при транспортировке различных опасных грузов железнодорожным транспортом был издан приказ Министерства путей сообщения СССР и Министерства машиностроения СССР от 28 октября 1988 года № 39Ц/523, который определяет приоритетные меры для обеспечения безопасной транспортировки грузов.

26 августа 2013 года в полувагоне движущегося грузового поезда в Западной Сибири произошло самовозгорание серы из-за попадания влаги. При этом не были соблюдены требования безопасности при погрузке и перевозке опасных грузов.

Взрыв, произошедший в портовой зоне Бейрута 4 августа 2020 года, продемонстрировал риск возникновения аналогичных инцидентов при транспортировке аммиачной селитры железнодорожным транспортом, поскольку она также перевозится в железнодорожных цистернах. Ущерб инфраструктуре составил около 15 млрд долларов, более 5,5 тысяч человек получили травмы. В результате двух взрывов с разницей в полминуты, взорвалось более трех тысяч тонн аммиачной селитры, хранившейся в порту.

Эти примеры подчеркивают важность мониторинга физических и химических характеристик веществ и материалов, а также контроля за изменениями температуры, влажности и давления; за состоянием ПС, перевозящего опасные грузы. Комплексная система мониторинга данных параметров в настоящее время отсутствует.

Для раннего выявления первых признаков возгорания опасных грузов предлагается контролировать параметры самих грузов, а также условия внешней среды и параметров ПС, при изменении которых до критических уровней увеличивается вероятность возникновения пожара. Реализация предложенных мер возможна с помощью комплексной системы мониторинга, позволяющей дистанционно оценивать и контролировать различные параметры без остановки железнодорожного состава. Это поможет избежать временных задержек при грузоперевозках. Анализ статистических данных показал, что наибольший риск чрезвычайных ситуаций связан с пожарами и взрывами при транспортировке наиболее распространенных опасных грузов — легковоспламеняющихся веществ и материалов [56, 57]. Это объясняется недостаточным вниманием к вопросам обеспечения и контроля пожарной безопасности в процессе грузоперевозок, а также к мониторингу параметров ОГ, ПС и ВС.

Основной причиной случайных возгораний при транспортировке опасных грузов является повышение допустимого уровня механического воздействия для перевозимого груза. Сильное механическое воздействие может оказываться на груз при движении по неровным дорогам, неправильном закреплении упаковок, вибрации и т.д. Некоторые опасные грузы обладают повышенной чувствительностью к трению.

Повышенная температура может привести к возгоранию опасного груза, а также к химическим реакциям, приводящим к детонации. Кроме того, причиной возникновения пожара может стать искровой разряд, который может возникать в результате возникновения статического электричества, неисправности электрооборудования и соударения или трения отдельных металлических поверхностей. В первую очередь, электрические разряды представляют опасность

при перевозке порошкообразных веществ, так как очень велика вероятность возникновения условий, которые могут привести к пожару или взрыву. Поскольку большинство сыпучих опасных грузов обладает низкой электропроводностью, то они способны электризоваться, что при определенных условиях создает угрозу возникновения пожара и взрыва за счет разрядов статического электричества.

В процессе исследования была разработана концепция создания мониторинговой системы, которая может быть внедрена не только в железнодорожном транспорте, но и на объектах хранения опасных веществ (склады, морские порты и др), а также при транспортировке этих веществ и материалов по трубопроводам и в других потенциально опасных зонах [3,52,75].

Действия сотрудников железнодорожного транспорта и подразделений МЧС России, задействованных в ликвидации ЧС, должны быть максимально оперативными и учитывать особенности перевозимых опасных грузов, такие как пожаровзрывоопасность, токсичность и окисляющее действие. Ликвидация пожара должна осуществляться строго с соблюдением мер безопасности и профилактики, установленных Правилами перевозки опасных грузов. [107,108].

Основные формы проявления транспортной опасности грузов, а также меры безопасности, которые нужно соблюдать при ликвидации ЧС с опасными грузами, приведены в групповых и индивидуальных аварийных карточках [105].

Групповые карточки создаются для грузов с аналогичной транспортной опасностью, порядок действий при ликвидации ЧС с которыми либо совпадает, либо незначительно отличается. В них содержатся рекомендации по:

1) применению средств индивидуальной защиты;

2) действиям при пожаре, утечке, разливе, россыпи;

3) по нейтрализации;

4) мерам первой помощи.

Пожары при перевозках ОГ грузовым железнодорожным транспортом возникают тогда, когда присутствует горючее вещество (им является перевозимый груз), окислитель (кислород) и источник зажигания.

На рисунке 1.4. отображены направления работы в области безопасности грузоперевозок.

Рисунок 1.4 – Направления работы в области безопасности грузоперевозок

Широкая номенклатура перевозимых грузов, а также обновление и увеличение вагонного парка требуют адаптации системы обеспечения пожарной безопасности к каждому ПС, транспортирующему опасные грузы.

Опасные грузы в соответствии с международными требованиями, установленными Типовыми правилами ООН (Рекомендации по перевозке опасных грузов), классифицируются по характеру опасных свойств на классы, подклассы, категории и группы [22,25,88]. Отнесение к этим категориям осуществляется в зависимости от типа и уровня опасности. Классификация и маркировка опасных грузов [29] отображена в таблице 1.2 и в Приложении А, Рисунок А.1.

Таблица 1.2 – Классификация опасных грузов

Номер		Наименование подкласса
класса	подкласса	
1	1.1	Взрывчатые материалы с опасностью взрыва массой
	1.2	Взрывчатые материалы, не взрывающиеся массой
	1.3	Взрывчатые материалы пожароопасные, не взрывающиеся массой
	1.4	Взрывчатые материалы, не представляющие значительной опасности
	1.5	Очень нечувствительные взрывчатые материалы
	1.6	Изделия чрезвычайно низкой чувствительности
2	2.1	Невоспламеняющиеся неядовитые газы
	2.2	Ядовитые газы
	2.3	Воспламеняющиеся (горючие) газы
	2.4	Ядовитые и воспламеняющиеся газы
3	3.1	Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки менее минус 18 °С в закрытом тигле
	3.2	Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не менее минус 18 °С, но менее 23 °С в закрытом тигле
	3.3	Легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не менее 23 °С, но не более 61 °С в закрытом тигле
4	4.1	Легковоспламеняющиеся твердые вещества
	4.2	Самовозгорающиеся вещества
	4.3	Вещества, выделяющие воспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой
5	5.1	Окисляющие вещества
	5.2	Органические пероксиды
6	6.1	Ядовитые вещества
	6.2	Инфекционные вещества
7	–	Радиоактивные материалы на подклассы не разделены
8	8.1	Едкие и (или) коррозионные вещества, обладающие кислотными свойствами
	8.2	Едкие и (или) коррозионные вещества, обладающие основными свойствами
	8.3	Разные едкие и (или) коррозионные вещества
9	9.1	Грузы, не отнесенные к классам 1-8
	9.2	Грузы, обладающие видами опасности, проявление которых представляет опасность только при их транспортировании навалом водным транспортом

В соответствии с Правилами перевозок опасных грузов [108] к опасным грузам относятся вещества, материалы, изделия, отходы производства и иной деятельности, которые в силу присущих им свойств и особенностей при наличии определенных факторов в процессе транспортирования и обращения могут нанести вред окружающей среде, стать причиной взрыва, пожара или повреждения инфраструктуры, а также привести к гибели, травмированию людей и животных.

При перевозке таких ОГ железнодорожным транспортом нужно учитывать их свойства и класс опасности. Степень опасности грузов класса 3 определяют по температуре вспышки и температуре кипения; критерии отображены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Критерии опасности грузов класса 3 по температуре вспышки, температуре кипения

Наименование показателя	Критерий степени опасности		
	высокой - 1	средней - 2	низкой - 3
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	-	<23	61
Температура кипения, °С	35	>35	>35

Наиболее опасным является подкласс 3.1, который включает легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки ниже -18°С. Эти жидкости могут образовывать горючие пары над своей поверхностью при любых температурах, превышающих температуру вспышки. Грузы четвертого класса опасности включают легковоспламеняющиеся твердые вещества, самовоспламеняющиеся материалы и вещества, которые выделяют воспламеняющиеся газы при контакте с водой. Перевозка веществ, относящихся к подклассу 4.1 класса опасности, включает в себя вещества, которые подразделяются на семь видов, четыре из которых разделены на подвиды: легковоспламеняющиеся твердые вещества и изделия; самореактивные твердые вещества или жидкости; твердые десенсибилизированные взрывчатые вещества, а также вещества, подобные самореактивным веществам. При транспортировке опасных грузов класса 4 следует уделять внимание его влажности – недостаточная влажность может способствовать его самовозгоранию. Степень опасности грузов подкласса 4.1 определяется следующим образом:

- для легковоспламеняющихся твердых веществ – по скорости распространения пламени;
- для саморазлагающихся материалов – по скорости распространения пламени или температуре разложения, а также в соответствии с критериями, представленными в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Критерии опасности грузов класса 4

Наименование показателя	Критерий степени опасности		
	высокой - 1	средней - 2	низкой - 3
Скорость распространения пламени, мм/с, не менее	-	10	2*, 1**
Температура разложения, °С, не более	23	50	65

* Для всех легковоспламеняющихся твердых веществ (кроме порошков).
** Только для порошков.

Степень опасности грузов подкласса 4.1 определяется следующим образом: для увлажненных взрывчатых веществ – высокая, а для веществ, воспламеняющихся от трения – низкая. При контакте с воздухом некоторые вещества способны самовозгораться (например, фосфор желтый). Грузы подкласса 4.3 при взаимодействии с водой могут взрываться. Они называются высокоактивными по отношению к воде. При транспортировке их во время дождя или в условиях повышенной влажности эти свойства грузов нужно учитывать.

В соответствии с п. 4.4.2 и 4.4.3 Правил перевозок опасных грузов взрывоопасные легковоспламеняющиеся твердые вещества, способные загораться без предварительного подогрева от источника зажигания с низкой энергией должны транспортироваться только в герметичной таре. Перевозка опасных грузов подкласса 4.1 допускается в крытых сухих вагонах и контейнерах. Запрещается транспортирование без упаковки в открытом ПС. Изделия из нитроцеллюлозы можно транспортировать в универсальных контейнерах в потребительской упаковке. Спички следует перевозить в фанерных ящиках или пакетах. Сера в универсальных контейнерах и крытых вагонах перевозится в транспортной таре согласно требованиям Приложения 7 [108]. Там же определен порядок подготовки растительных волокон к транспортировке (вата хлопковая, волокно хлопковое, джут-волокно, лен чесаный, луб сухой, пакля и др.), веществ твердых легковоспламеняющихся органических (пенька чесаная, хлопок-сырец; полова, сено, солома).

Классификационный шифр по ГОСТ Р 57478-2017 [29] характеризует транспортную опасность груза, отражает его опасные свойства и степень их проявления (рисунок 1.5).

Рисунок 1.5 – Классификационный шифр груза

В таблице 1.5 приведены сведения о наличии пожароопасных, ядовитых, коррозионных свойств опасных грузов [105].

Таблица 1.5 – Сведения о наличии пожароопасных, ядовитых, коррозионных свойств опасных грузов

<table>
<tr><td>Вид опасности</td><td colspan="3">Классификационные шифры</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Пожароопасные:</td><td colspan="3">температура вспышки, °С</td></tr>
<tr><td>ниже -18</td><td>-18...23</td><td>23...61</td></tr>
<tr><td>Легковоспламеняющиеся - горючие</td><td>3111, 3112, 3121, 3122, 3141, 3142, 3151, 3152, 4331, 4361, 6121</td><td>3211, 3212, 3213, 3221, 3222, 3231, 3241, 3242, 3252, 4331, 4361, 5261, 6121</td><td>3313, 3332, 3342, 3343, 3353, 4331, 4361, 6132, 6151, 6152, 8142, 8242</td></tr>
<tr><td colspan="3">4111, 4112, 4113, 4121, 4122, 4132, 4133, 4172, 4211, 4212, 4213, 4221, 4252, 4372, 4382, 5211, 5212, 5222, 5231, 5232, 5242, 5262, 6182, 9123, 9133</td></tr>
<tr><td>Ядовитые</td><td colspan="3">3121, 3122, 3151, 3152, 3221, 3222, 3231, 3252, 3332, 3353, 4121, 4122, 4132, 4133, 4221, 4321, 4322, 4341, 4351, 5121, 5122, 5141, 6111, 6112, 6113, 6121, 6132, 6141, 6142, 6143, 6151, 6152, 6161, 6162, 6163, 6171, 6172, 6182, 6211, 6212, 6213, 8121, 8161, 8162, 8172, 8173, 8262, 8272, 8361, 8362, 8373, 9153</td></tr>
<tr><td>Едкие (коррозионные)</td><td colspan="3">3141, 3142, 3231, 3241, 3242, 3332, 3342, 3343, 4361, 5141, 5151, 5152, 6141, 6142, 6143, 6151, 6152, 6171, 6172, 8111, 8112, 8113, 8121, 8142, 8152, 8161, 8162, 8172, 8173, 8182, 8211, 8212, 8213, 8242, 8262, 8272, 8311, 8312, 8313, 8321, 8361, 8362, 8373, 8382, 9163</td></tr>
</table>

Шифры указывают на наличие у жидких и твердых грузов пожароопасных, ядовитых и коррозионных свойств. Общая оценка пожарной опасности веществ и материалов изложена в ГОСТе [23] – стандарт определяет необходимые и достаточные характеристики для оценки пожаровзрывоопасности различных веществ и материалов.

1.2 Выбор и обоснование показателей и критерия пожарной опасности железнодорожных перевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов

Постановка задачи снижения пожарной опасности железнодорожных перевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов как объекта защиты требует выбора и обоснования критерия и количественного показателя успешности ее решения. В ходе проведенных исследований установлено, что в качестве такого наиболее информативного показателя может быть использована величина уровня (мера) возможности реализации пожарной опасности железнодорожных перевозок. В соответствии с п.28, ст.2 Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ количественной характеристикой такой меры является уровень пожарного риска объекта защиты.

В работах [60-71] термин «пожарный риск» автором исследований характеризуется как количественная (вероятностная) величина пожарной опасности железнодорожных перевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов по территории или вблизи критически важных промышленных и государственных объектов. При этом для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи таких объектов, индивидуальный пожарный риск принимается равным величинам потенциального риска в этой зоне с учетом доли времени присутствия в ней людей.

Оценивание уровня и разработка комплекса мероприятий по снижению пожарной опасности железнодорожных перевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов и индивидуального пожарного риска вблизи критически

важных промышленных и государственных объектов требуют проведения детального анализа возможных сценариев возникновения пожара и развития пожарной ситуации.

Основу такого анализа составляют требования Федерального закона от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ, устанавливающего нормативные значения пожарных рисков для различных производственных и транспортных объектов защиты и определяющего опасные факторы пожара [11].

Согласно п.2 статьи 94 [11] анализ уровня пожарной опасности производственных и транспортных объектов должен предусматривать:

1) анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на производственном объекте;

2) определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса;

3) определение перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную;

4) построение сценариев возникновения и развития пожаров, повлекших за собой гибель людей.

В результате анализа значимости основных параметров и оценивания уровня пожарной опасности железнодорожных перевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов может быть разработан адаптивный комплекс превентивных мероприятий, гарантировано обеспечивающих снижение пожарной опасности железнодорожных перевозок до допустимого уровня в конкретных условиях обстановки.

При этом анализ влияния на общий уровень пожарной опасности перевозок параметров подвижного состава и параметров внешней среды предусматривает их сопоставление с показателями пожарной опасности перевозимых веществ и материалов.

В [110] приведены примеры расчетов величин пожарного риска для случая транспортировки опасных грузов железнодорожным транспортом, а также сведения о пожаровзрывоопасных и физико-химических свойствах наиболее

распространенных опасных грузов, а также сведения о частотах реализации инициирующих пожароопасные ситуации событий и частоты возникновения пожаров.

При расчетах пожарного риска также учитываются результаты ранее проведенных исследований, существующие методические документы по оценке пожарной опасности производственных объектов, данные отечественных и зарубежных источников информации (включая международные нормативные документы) по проблемам оценки пожарной опасности. Оценка пожарной опасности становится важной, когда колебания входных параметров значительно влияют на полученные результаты.

Зависимость пожарной опасности от температуры является практически линейной и скорость изменения оценки максимальна, это доказано в работе [55]. Частоты реализации сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров при разгерметизации цистерны представлены в справочных источниках [126].

Рассмотрим влияние скорости движения железнодорожного состава на пожарную опасность. Высокая скорость может значительно увеличить риск возникновения пожаров по нескольким ключевым причинам. Трение и тепловые эффекты: при увеличении скорости возрастает уровень трения между колесами и рельсами, а также в механизмах ПС. Это может привести к перегреву, что, в свою очередь, создает условия для потенциального возгорания. Критичность состояния инфраструктуры: на высоких скоростях даже незначительные дефекты в рельсах или колесах могут вызвать серьезные аварии. Искры, возникающие в результате механических повреждений, способны воспламенить горючие материалы, что увеличивает вероятность возникновения пожара.

Таким образом, скорость движения ПС является критически важным фактором для оценки пожарной безопасности. Необходимы дальнейшие исследования и разработки мер, направленных на минимизацию рисков, связанных с высокой скоростью движения на железнодорожном транспорте.

В контексте пожарной безопасности на железнодорожном транспорте важно учитывать взаимодействие между источниками зажигания и горючими газовыми

смесями, которые могут двигаться относительно друг друга. Это взаимодействие может привести к возникновению пожара в следующих ситуациях:

1. Искры от электровозов: при движении электровозов искры, образующиеся в результате трения или короткого замыкания, могут быть выброшены в воздух. Если эти искры попадут на ОГ, содержащие горючие материалы, или на неподвижные горючие смеси, это может спровоцировать воспламенение.

2. Движение горючих газов: в случае, если горючие газовые смеси, например, пары топлива, перемещаются вблизи источников зажигания, таких как искры или открытое пламя, существует высокий риск возгорания. Это особенно актуально на участках, где происходит погрузка и разгрузка ОГ.

3. Состояние инфраструктуры: неисправности в железнодорожной инфраструктуре, такие как трещины в рельсах или повреждения в системе электроснабжения, могут привести к образованию искр, которые, в свою очередь, могут взаимодействовать с горючими газами, создавая опасные ситуации.

Таким образом, важно проводить регулярные проверки состояния как ПС, так и инфраструктуры, а также разрабатывать меры по предотвращению и минимизации риска возникновения пожаров, связанных с движением источников зажигания и горючих газовых смесей. Это требует комплексного подхода к оценке пожарной безопасности на железнодорожном транспорте.

Для определения необходимой скорости движения источника зажигания, чтобы за время, равное времени химической реакции ($\tau_{\text{х.р.}} = 10^{-4} – 10^{-3}$ с), он сместился на расстояние, равное его размеру (d = 1–3 мм), можно использовать формулу [8]:

$$\upsilon = \frac{d}{\tau_{\text{х.р.}}} \qquad (1.1)$$

Где:

υ – скорость источника зажигания;

d – размер источника зажигания;

$\tau_{\text{х.р.}}$ – время химической реакции.

Теперь подставим значения:

Для d = 1 мм (0,001 м):

Если $\tau_{\text{х.р.}} = 10^{-4}$ с:

$$\upsilon = \frac{0{,}001}{10^{-4}} = 10 \text{ м/с}$$

Если $\tau_{\text{х.р.}} = 10^{-3}$ с:

$$\upsilon = \frac{0{,}001}{10^{-3}} = 1 \text{ м/с}$$

Для d = 3 мм (0,003 м):

Если $\tau_{\text{х.р.}} = 10^{-4}$ с:

$$\upsilon = \frac{0{,}003}{10^{-4}} = 10 \text{ м/с}$$

Если $\tau_{\text{х.р.}} = 10^{-3}$ с:

$$\upsilon = \frac{0{,}003}{10^{-3}} = 3 \text{ м/с}$$

Таким образом, для того чтобы за время химической реакции источник зажигания сместился на расстояние, равное его размеру, скорость его движения должна составлять от 1 до 30 м/с в зависимости от размера источника и времени реакции. Это подчеркивает важность контроля за движением источников зажигания вблизи горючих газовых смесей, чтобы минимизировать риск возгорания на ПС. Если $\upsilon < 1$ м/с, влияние движения будет незаметным, а при $\upsilon > 30$ м/с может быть сильным, что приведет к увеличению пожарной опасности [8].

При низких скоростях движения (< 30 м/с) влияние скорости на минимальную энергию зажигания незначительно, так как молекулы горючей смеси не имеют достаточной кинетической энергии для значительного изменения условий зажигания. При средних и высоких скоростях влияние становится более значительным, так как увеличивается вероятность столкновений молекул и их взаимодействия, что может приводить к повышению температуры и изменению характеристик смеси [8].

Горючие аэрогели, представляющие собой дисперсные системы, содержат мелкие твердые частицы, находящиеся во взвешенном состоянии. При

воздействии высокотемпературного источника зажигания, такого как нагретые поверхности ПС или электрическая искра, происходит прогрев частиц дисперсной фазы. Этот процесс приводит к испарению и термическому разложению компонентов аэрогеля, в результате чего образуются горючие газы, такие как угарный газ (CO) и метан (CH_4). Эти газы, смешиваясь с воздухом, формируют гомогенную горючую среду, которая может воспламеняться от источника зажигания [8]. Размер частиц также играет важную роль: чем выше дисперсность аэрозоля или аэрогеля, то есть чем меньше диаметр частиц, тем легче происходит воспламенение этой горючей системы. Характер этой зависимости представлен на рисунке 1.6.

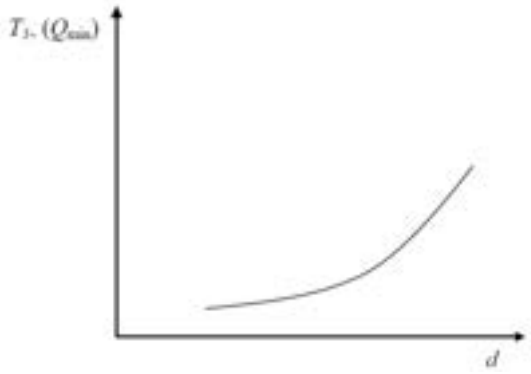


Рисунок 1.6 – Зависимость температуры ОГ и минимальной энергии зажигания от диаметра частиц дисперсной фазы

Важным аспектом аэрогелей, помимо их дисперсности, является количество летучих горючих веществ, которые образуются в процессе термического разложения твердой фазы. К примеру, в каменном угле содержание летучих компонентов составляет примерно 20%, тогда как в пшеничной муке и древесной пыли этот показатель может достигать около 80%.

Зависимость температуры T_3 и минимальной энергии зажигания Q_{min} от содержания летучих горючих веществ иллюстрируется на графике (рисунок 1.7), демонстрирующем, как увеличение доли летучих компонентов влияет на эти параметры. Это подчеркивает необходимость учета состава аэрогелей в

перевозимом ОГ для оценки их воспламеняемости и разработки эффективных мер по предотвращению возгораний на ПС.

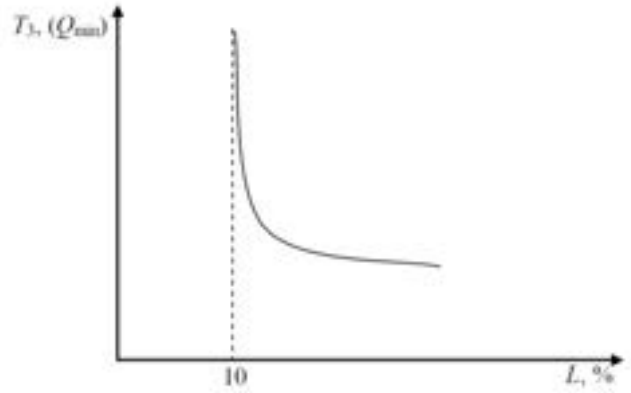


Рисунок 1.7 – Зависимость температуры и минимальной энергии зажигания от содержания летучих горючих продуктов

Если доля летучих горючих веществ при термическом разложении ОГ составляет менее 10%, то его невозможно воспламенить в аэродисперсном состоянии [8].

Чем больше различия в теплофизических свойствах горючего и окислителя, тем больше могут смещаться минимальные значения T_3 и Q_{min} от стехиометрических значений. Зависимости Q_{min} от концентрации горючего в газовоздушных смесях метана и бутана отображены на графике (рисунок 1.8).

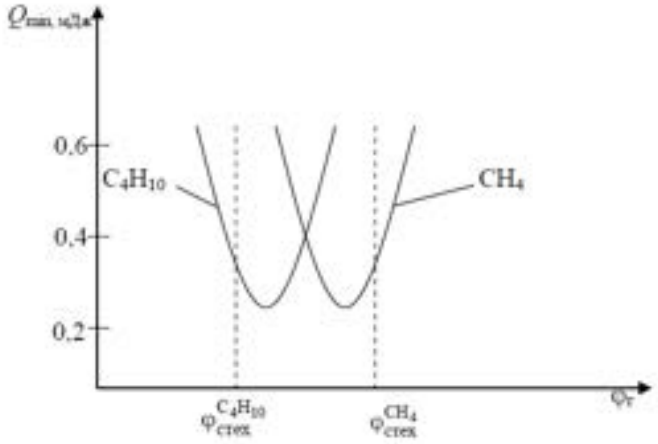


Рисунок 1.8 – Зависимость минимальной энергии зажигания от концентрации горючего в углеводородовоздушных смесях

Минимум функции $Q_{min} = f(\phi_г)$ для метана демонстрирует смещение от стехиометрических значений в сторону бедных смесей, в то время как для бутана наблюдается смещение в сторону богатых смесей. Важным аспектом процесса зажигания является локальная аккумуляция тепла в ПС, где фиксируется электрический разряд. Бутан характеризуется более высокой теплоемкостью и низкой теплопроводностью по сравнению с воздухом, что способствует более легкому воспламенению смесей с небольшим избытком бутана. Подобные зависимости также фиксируются для температуры зажигания $T_З = f(\phi_г)$, что указывает на необходимость дальнейшего исследования этих термодинамических характеристик [8].

Анализ пожарной опасности ОГ при их перевозке грузовым железнодорожным транспортом включает сравнение показателей пожарной опасности различных веществ и материалов с параметрами их транспортировки. Технический регламент устанавливает перечень показателей, необходимых для оценки пожарной опасности в зависимости от агрегатного состояния веществ и материалов [122]. Это: группа горючести и излучающая способность пламени для твердых веществ и пыли; способность гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха и другими веществами; способность к самовозгоранию и др. Обратимся к Приложению 2 «Правил перевозок опасных грузов по железным дорогам». где в списке легковоспламеняющихся веществ и материалов, разрешенных для железнодорожных перевозок, насчитывается 130 наименований (алюминий – порошок прикрытый, алюминия резинат, натрий, изобутиронитрил в виде пасты, бария азид увлажненный, бериллий – порошок и др.)

Наиболее важной характеристикой горения является способность пламени распространяться по горючей смеси. Это объясняет, почему пожар может переходить от вагона, где он возник, к другим вагонам в направлении движения, включая влияние ветра на его распространение. В общем, горение происходит благодаря комбинированному термодиффузионному механизму. Процессы горения опасных грузов класса 4 имеют критические условия, которые зависят от состава перевозимой смеси, давления внутри железнодорожной цистерны, а также

температуры ОГ и ВС. Кроме того, критические условия также зависят от других факторов, влияющих на возникновение и распространение пламени по грузовому ПС. Снижение пожарной опасности при грузовых железнодорожных перевозках может быть достигнуто за счёт учета физических и химических свойств веществ и материалов, их реакций на изменения температуры, влажности и давления, а также направления и скорости ветра и процессов, происходящих в грузах.

Транспортировка взрывчатых и легковоспламеняющихся веществ несет в себе риск возникновения взрывов. Согласно статистике, пожары, сопровождающиеся взрывами, утечками и разливами, чаще всего происходят в цистернах с легковоспламеняющимися и горючими жидкостями, а также сжиженными газами. Утечки и разливы могут приводить к массовым отравлениям как людей, так и животных. При этом близлежащие территории подвергаются загрязнению, что наносит ущерб окружающей среде.

Основа локомотивного парка – электровозы и тепловозы. Дизельное топливо располагается в отсеках тепловозов в большом количестве (температура вспышки 40–65°С), а также имеются горючие смазочные материалы. Такую же опасность составляет и дизель-поезд. На электровозах пожарную опасность представляет электрическое оборудование. Электровозы постоянного тока оснащены аккумуляторами и электродвигателями. Электровозы переменного тока представляют пожарную опасность ввиду наличия в них тяговых трансформаторов.

Рассмотрим, как оцениваются свойства индивидуальных веществ, входящих в состав опасных грузов. Вводим критерий пожарной опасности перевозимого груза R_F, который выражает количественную оценку пожарной опасности грузов и в дальнейшем используется для общей классификации пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов. Рассчитываем R_F, используя показатели, необходимые для оценки пожарной опасности веществ и материалов.

$$R_F = \sum_{i=1}^{m} a_i \left(\frac{x_i}{x_i^{\text{н}}} \right) \qquad (1.2)$$

где a_i – коэффициент веса для i–го показателя, x_i – величина i–го показателя для опасного груза, $x_i^{\text{н}}$ – нормирующее значение для i–го показателя безопасности, m – количество показателей (в нашем случае m=4) (рисунок 1.9).

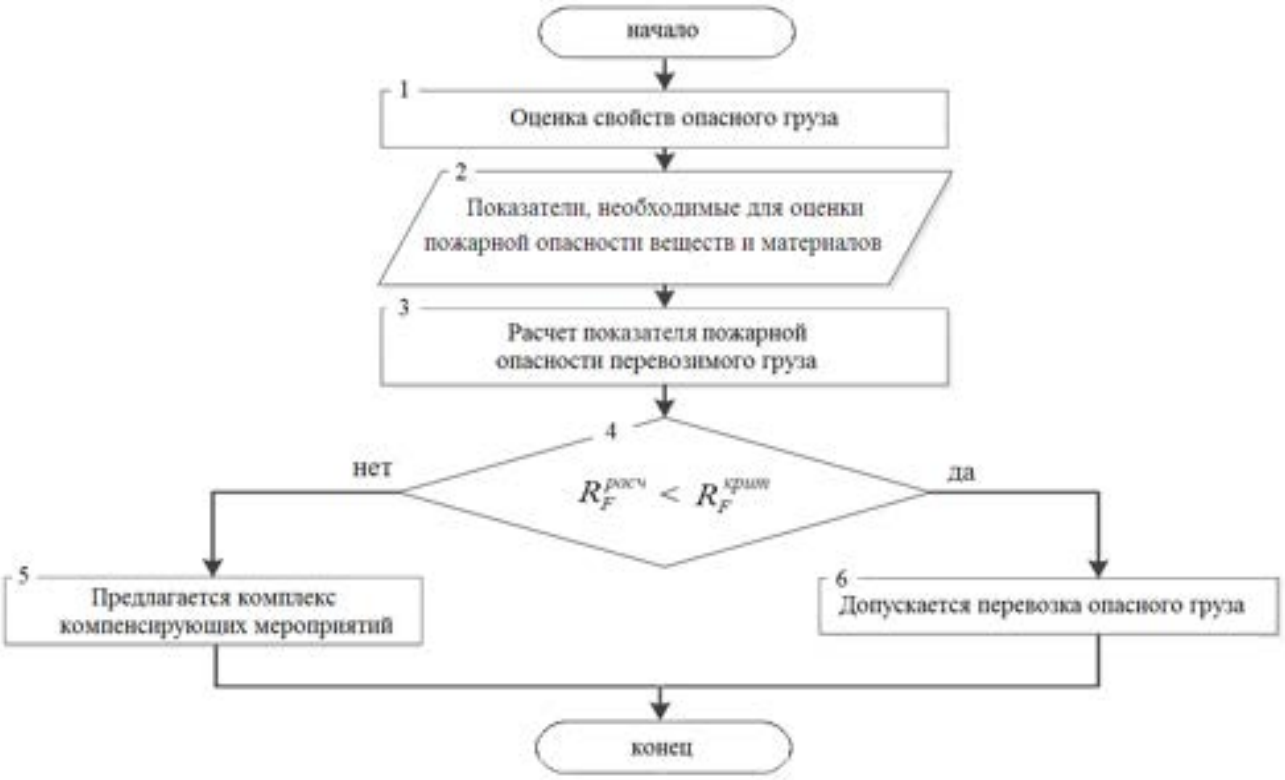


Рисунок 1.9 – Структурная схема алгоритма оценки пожарной опасности перевозимого груза

Сравниваем полученные расчетным путем значения обобщенного показателя пожарной опасности с заданным значением. При выполнении неравенства $R_F < R_F^{\text{расч}}$, дальнейшее движение грузового состава не допускается – перевозимый груз представляет пожарную опасность. При повышении значения R_F для рассматриваемых опасных грузов предлагается комплекс превентивных мероприятий.

Безопасную температуру среды для веществ, склонных к тепловому самовозгоранию ($t_б$), °С, вычисляют по формуле:

$$t_б = 0{,}7t_c, \tag{1.3}$$

где t_c – температура самовозгорания вещества.

Рассмотрим процесс нагрева веществ, приводящий к самовозгоранию. Минимальная температура, при которой может произойти тепловое самовозгорание, определяется с помощью следующего выражения [22]:

$$lgt_c = A_p + n_p lgS \quad (1.4)$$

Время нагревания вещества до момента самовозгорания вычисляется из выражения [22]:

$$lg\tau_c = \frac{1}{n_в}(A_в - lgt_c) \quad (1.5)$$

где t_c - температура окружающей среды, °С; τ_c - время нагрева, ч; A_p, $A_в$, n_p, $n_в$ - эмпирические константы; S - удельная поверхность тела.

$$S = \frac{F}{V} = 2\left(\frac{1}{l} + \frac{1}{b} + \frac{1}{h}\right) \quad (1.6)$$

где F - полная наружная поверхность тела, м^2; V - объем тела, м^3; l, b, h - размеры тела вдоль соответствующей координатной оси, м; например, для прямоугольного параллелепипеда: l - длина, b - ширина, h - высота; для цилиндра: $l=b=D_ц h$, – высота. Показатели пожаровзрывоопасности учитываются при разработке мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. В таблицу 1.6 выведены основные показатели пожаровзрывоопасности некоторых опасных грузов.

Горючими веществами и материалами называют вещества и материалы, способные самовозгораться, а также возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления. Например, опасный груз – нитрат аммония, перевозится железнодорожным транспортом в больших объёмах.

Таблица 1.6 – Показатели пожарной опасности опасных грузов

Вещество	Температура вспышки, °С	Температура самовоспламенения, °С	Нижний концентрационный предел распространения пламени, % (об.)	Характеристика вещества	Теплота сгорания, кДж/ кг
Амилацетат	+43	+290	1,08	ЛВЖ	29879
Аммиак	-	+650	15,0	ГГ	18585
Анилин	+73	+617	1,3	ГЖ	32386
Ацетальдегид	-40	+172	4,12	ЛВЖ	27071
Ацетилен	-	+335	2,5	ГГ (ВВ)	49965
Ацетон	-18	+535	2,7	ЛВЖ	31360
Бензол	-11	+560	1,43	ЛВЖ	40576
Винилхлорид	-	+470	3,6	ГГ	18496
Водород	-	+510	4,12	ГГ	119841
Гептан	-4	+223	1,07	ЛВЖ	44919
Гидразин	+38	+132	4,7	ЛВЖ (ВВ)	14644
Глицерин	+198	+400	2,6	ГЖ	16102
Декан	+47	+230	0,7	ЛВЖ	44602
Диэтиловый эфир	-41	+180	1,7	ЛВЖ	34147
Изобутиловый спирт	+28	+390	1,8	ЛВЖ	36743
Изопропил-бензол	+37	+424	0,88	ЛВЖ	46663
Изопропиловый спирт	+14	+430	2,23	ЛВЖ	34139
Метан	-	+537	5,28	ГГ	50000
Метиловый спирт	+6	+440	6,98	ЛВЖ	23839
Сероуглерод	-43	+102	1,0	ЛВЖ	14020
Стирол	+30	+490	1.1	ЛВЖ	43888
Толуол	+7	+535	1,27	ЛВЖ	40936
Уксусная кислота	+40	+465	4,0	ЛВЖ	13097
Хлорбензол	+29	+637	1,4	ЛВЖ	27315
Хлорэтан	-50	+510	3,8	ГГ	19392
Этилацетат	-3	+446	2,0	ЛВЖ	23587
Этилбензол	+20	+431	1,0	ЛВЖ	41323
Этиленгликоль	+111	+412	4,29	ГЖ	19329
Этиловый спирт	+13	+400	3,6	ЛВЖ	30562

Основным условием для возникновения горения является наличие горючего вещества и окислителя. Во время пожаров в грузовых вагонах могут гореть как твердые, так и жидкие или газообразные вещества. К наиболее распространенным материалам относятся целлюлозные материалы (такие как древесина, хлопок, хлопчатобумажные ткани и бумага), углеводороды и их производные (включая

резину, пластмассы и синтетические волокна), горючесмазочные материалы, а также продукты питания (например, зерно, зернопродукты, жиры и сахар).

Пожарная опасность веществ и материалов определяется совокупностью свойств, характеризующих их способность к возникновению и распространению горения, образованию опасных факторов пожара.

Температура вспышки и температурные пределы распространения пламени – это те показатели, которые определяют насколько хорошо жидкость может создать горючую среду. Чем меньше температура вспышки, тем опаснее вещество. В работе [126-127] «норму» температуры вспышки определяют как 25°С. Однако, исходя из деления жидкостей на особо опасные и постоянно опасные, мы предлагаем определить «нормативное значение» 23°С, как верхнюю границу постоянно опасных жидкостей.

1.3 Факторы, влияющие на уровень пожарной опасности железнодорожных перевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов

Для разработки общей концепции и конкретных мер по снижению пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов были проведены комплексные исследования технических характеристик грузового ПС, используемого для их транспортировки, а также проанализированы особенности и параметры пожарной опасности этих грузов.

Железнодорожный транспорт как сложная, многоуровневая, многофункциональная, расположенная на огромной территории, в различных климатических зонах и различных зонах потенциальных угроз при возникновении ЧС природного и техногенного характера, в том числе и связанных с пожарами, система, в связи с вышеизложенными особенностями весьма уязвима от воздействия опасных факторов, вызванных пожарами [30,31].

Анализ статистических данных [7,12,35,57] выявил ключевые причины возникновения пожаров на грузовом ПС: самовозгорание грузов, неосторожное

обращение с огнем, искры от тепловозов и другие факторы. Разнообразие перевозимых грузов и обновление вагонного парка подчеркивают необходимость адаптации системы обеспечения пожарной безопасности к любому составу, транспортирующему ОГ.

Научные исследования в области разработки средств контроля ПС делятся на два основных направления: технические средства, которые обнаруживают неисправности, угрожающие безопасности движения поездов, и средства контроля, оценивающие текущее состояние элементов ПС, прибывающего на пункты технического осмотра вагонов или в депо. Диагностическая информация, полученная от этих приборов, используется в процессе технического обслуживания ПС.

На сегодняшний день в мире функционирует большое многообразие систем мониторинга на различных объектах. Например, системы мониторинга мостов, тоннелей, зданий и др. Системы технической диагностики и мониторинга устройств автоматики и телемеханики существуют также на железнодорожном транспорте, они предназначены для наблюдения и анализа различных параметров с помощью большого разнообразия приборов, среди наиболее известных: аппаратно-программный комплекс диспетчерского контроля, система технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики автоматизированная система диагностирования и контроля устройств сигнализации и блокировки.

Для контроля обеспечения пожарной безопасности в РЖД создана «Автоматизированная система управления пожарной безопасностью». Внедрен мониторинг состояния систем пожарной автоматики на постах электроцентрали на участке высокоскоростного движения Москва – Санкт-Петербург.

Внедрение информационных технологий и создание систем интегрированной информационной поддержки перевозочного процесса является одним из наиболее важных и эффективных мероприятий по инновационному развитию системы управления перевозочным процессом. Применение типовых

интегрированных информационных технологий в системе управления грузоперевозками затруднено, ввиду того что:

– в процессе перевозки задействованы динамические единицы, которые постоянно перемещаются и требуют непрерывного контроля их местоположения, а не разовых проверок;

– система сбора информации для принятия управленческих решений имеет значительное рассредоточение, что приводит к задержкам в передаче данных пользователям;

– системы управления грузоперевозками непосредственно влияют на безопасность движения поездов, а также на сохранность подвижного состава и грузов;

– объем информации, передаваемой и обрабатываемой в ходе перевозочного процесса на железнодорожном транспорте, значительно превышает объемы данных крупнейших промышленных предприятий, что требует внедрения более производительных технологий и технических средств для обработки информации.

Эти и ряд других причин требуют создания специализированных интегрированных информационных систем поддержки перевозочного процесса. Из зарубежных систем управления процессом грузоперевозок выделяется информационная аналитическая система поддержки управленческих решений для грузовых перевозок, которая является базисной системой управления перевозочным процессом на Белорусской железной дороге, в настоящее время продолжаются работы по ее внедрению и совершенствованию. Предназначение системы белорусского производства: обеспечение специалистов оперативной и достоверной информацией о производимых и выполненных грузовых перевозках, состоянии и дислокации вагонного и локомотивного парков; информационной поддержки принятия обоснованных управленческих воздействий при решении основных задач по повышению эффективности работы железнодорожного транспорта, увеличению объемов и качества перевозок, сокращению транспортных издержек.

Автоматизация мониторинга технического состояния ПС представляет собой важный шаг к повышению безопасности и эффективности грузоперевозок. Система, работающая в реальном времени во время движения поезда, позволяет не только оперативно выявлять дефекты в деталях и узлах, но и предсказывать изменения их состояния в будущем.

Благодаря интеграции данных в едином информационном пространстве, специалисты могут анализировать информацию о состоянии ПС и принимать обоснованные решения по техническому обслуживанию. Это не только снижает вероятность возникновения пожара, аварий и поломок, но и оптимизирует процессы ремонта, позволяя заранее планировать необходимые работы и сокращая время простоя ПС.

Таким образом, комплексная автоматизация мониторинга является ключевым элементом для повышения надежности эксплуатации и общей эффективности работы железнодорожного транспорта.

В базе данных аккумулируется подробная информация о каждом вагоне и его конструктивных элементах, собранная во время прохождения через различные контрольные пункты. Эти данные охватывают состояние и характеристики узлов, результаты проверок и диагностик, проведенных ранее.

Такой метод позволяет эффективно отслеживать текущее состояние ПС и путем анализа данных, выявлять тенденции износа, прогнозировать потенциальные проблемы. Систематизация информации в единой базе значительно облегчает работу специалистов, позволяя им быстро реагировать на обнаруженные дефекты и планировать техническое обслуживание с учетом реальных потребностей. Это, в свою очередь, повышает безопасность и надежность железнодорожного транспорта в целом.

Современные диагностические системы используют множество сенсоров и датчиков, которые устанавливаются на различных узлах ПС. Они собирают данные о состоянии колес, тормозных систем, подвесок и других критически важных компонентов. Например, системы мониторинга могут выявлять аномалии

в работе колесных пар, такие как износ или деформация, что позволяет оперативно реагировать на возникающие проблемы.

Системы часто интегрируются с программным обеспечением для анализа данных, что позволяет проводить детальный мониторинг и планировать сроки обслуживания, избегать незапланированного простоя и повышать общую производительность системы. Использование специализированных устройств, таких как детекторы дефектов колес и системы контроля профиля колеса, обеспечивает высокую точность диагностики. Они работают на основе различных технологий, включая ультразвук, вибрационный анализ и термографию, что позволяет выявлять даже самые незначительные отклонения от нормы [14].

Примеры таких устройств, используемых в разных странах:

1. Канадская система WILD (Wheel Impact Load Detector) – система для мониторинга нагрузки на колеса и выявления аномалий, которые могут указывать на износ или повреждения.

2. Отечественная система ДДК (Детектор Дефектов Колес) – используется для автоматического контроля состояния колесных пар и выявления различных дефектов, таких как трещины и деформации.

3. Американская система WIS (Wheel Inspection System) – проводит измерения и анализ состояния колес, используя различные технологии, включая оптические и ультразвуковые методы.

4. Немецкая диагностическая система ARGUS – контролирует профиль колеса, используя специализированные измерительные рельсы.

5. Британская система DART (Dynamic Axle Load Testing) – проводит динамическое измерение нагрузки на оси, выявляя проблемы с распределением нагрузки, состоянием колес.

В связи с тем, что случаи возникновения пожаров из-за перегрева механических узлов ПС становятся все более распространенными в исследуемой области, важно понимать, что регистрация избыточной температуры может служить ключевым индикатором для диагностики потенциального возгорания.

Избыточная температура выступает в роли критически важного информационного параметра, поскольку в некоторых случаях другие признаки загорания, такие как продукты горения, могут отсутствовать. Это делает мониторинг температуры особенно актуальным, так как своевременное обнаружение перегрева может предотвратить серьезные последствия, включая пожар.

Таким образом, внедрение систем, способных отслеживать и анализировать температурные изменения в реальном времени, становится важной частью стратегии обеспечения пожарной безопасности грузового состава. Такие меры могут значительно снизить риск возникновения пожаров.

Основные автоматизированные системы контроля грузовых перевозок: автоматизированная система контроля ПС и автоматизированная система оперативного управления перевозками, контролируют технические неисправности, габариты груза. Системы дистанционного мониторинга являются важнейшими среди технических средств контроля состояния грузового состава. Совершенствованию и развитию таких систем уделяется повышенное внимание со стороны разработчиков, производственных компаний во многих странах мира.

В последние десятилетия на железных дорогах различных стран начали активно внедряться системы бесконтактного оптического контроля параметров колесных пар ПС в движении. Эти системы позволяют выявлять дефекты колес задолго до того, как они могут привести к ЧС. Приведенные выше примеры демонстрируют, что в процессе динамического измерения можно отслеживать ряд важных параметров колес, включая температуру буксового узла, ширину изнашиваемой части поверхности катания, толщину обода, а также высоту, толщину и диаметр гребня. Однако стоит отметить, что не все они способны измерять эти параметры в полном объеме. Комплексные системы технической диагностики, генерирующие рекомендации по текущему ремонту каждой единицы с учетом её реального технического состояния, способствует повышению безопасности грузоперевозок. Это позволяет не только предотвращать пожары, но и оптимизировать процессы обслуживания и ремонта,

что в конечном итоге улучшает эффективность работы железнодорожного транспорта.

Рассмотрим наиболее известные системы, позволяющие контролировать состояние ПС.

Система мониторинга Argus (Германия) позволяет непрерывно контролировать техническое состояние вагонов и нагрузку на путь (рисунок 1.10).

Рисунок 1.10 – Контроль поезда в движении посредством системы Argus

Argus оснащена системой контроля габаритов грузов, которая предотвращает попадание выступающих элементов в критические зоны за пределами установленных границ. Основной задачей данной системы является обнаружение вагонов с потенциально опасными дефектами и своевременное принятие решения об их исключении из процесса перевозки. Комплексная система управления движением поездов Thales (Франция) обеспечивает безопасность эксплуатации ПС, осуществляя мониторинг состояния проходящих вагонов (см. рисунок 1.11).

Рисунок 1.11 – Система контроля CheckPoint (Thales)

Загрузка вагона определяется по нагрузке от колеса на путь, а масса вагона вычисляется на основе его типа, который распознается автоматическим датчиком. Смещение груза выявляется путём сравнения нагрузки от колес с обеих сторон вагона.

Диагностическая система Multirail WheelScan (Германия) позволяет во время движения поезда идентифицировать ПС, который из-за сверхнормативной загрузки или динамических сил способен нанести повреждения инфраструктуре.

Автоматизированный диагностический комплекс Комплекс-2, произведённый в России, предназначен для контроля колесных пар ПС. Он измеряет параметры поверхности катания, выявляет износ, дефекты колес в процессе движения поезда. Она обеспечивает регистрацию неисправностей колесных пар и оперативную передачу информации о технических неисправностях на ближайшую станцию. Система функционирует при скоростях в диапазоне от 5 до 50 км/ч, что позволяет эффективно контролировать состояние колесных пар в реальном времени. Контроль колесных пар проводится независимо, по принципу бесконтактного сканирования набором активных измерительных датчиков (внутренним и наружным), быстродействие которых достигает 500 000 измерений в секунду (рисунок 1.12).

Рисунок 1.12 – Процесс бесконтактного сканирования

Фактическое техническое состояние сложных деталей и узлов, неисправность которых может привести к возникновению пожара, можно оценить только специальными средствами контроля и диагностики. Для непосредственного измерения параметров и оценки состояния сложных механических, электронных систем и микропроцессорных устройств

применяются методы косвенного определения износа отдельных узлов и агрегатов. Эти методы используют как бортовые, так и стационарные диагностические средства. К устройствам автоматического контроля технического состояния ПС во время движения поезда относятся стационарные системы, предназначенные для выявления определённых типов неисправностей. Эти системы служат дополнительными средствами, способствующими повышению безопасности грузоперевозок.

Система акустического зондирования Fauscher Acoustic Sensing измеряет скорость движения поезда и взвешивание вагонов по ходу движения, осуществляет мониторинг технического состояния, рельсов, рельсовых скреплений, ПС.

Преимуществом систем бесконтактного оптического контроля параметров колесных пар является возможность выполнения измерений при установленной скорости движения. Нами рассматривается улучшение этих систем как процесс, связанный с их интеграцией в создаваемый автоматизированный комплекс. Он объединен с другими техническими устройствами, позволяющими производить мониторинг параметров метеоусловий и параметров опасного груза.

Основными автоматизированными системами, которые обеспечивают контроль ПС и организацию грузовых перевозок по железным дорогам, являются автоматизированная система контроля ПС и автоматизированная система оперативного управления перевозками. Разработка базы данных, которая будет служить интеграционной информационной средой для всех систем перевозочного процесса, отличается от традиционных подходов. Основное отличие: информация для решения множества задач, должна быть собрана в одной единой базе данных. Это позволит избежать необходимости стыковки различных систем и создания специальных правил для обмена данными между ними.

В современном железнодорожном транспорте особое внимание уделяется мониторингу технического состояния подвижного состава, и одним из первых шагов в этом направлении стало внедрение датчиков температуры букс. Эти устройства не только способствуют своевременному выявлению потенциальных

неисправностей, но и играют решающую роль в предотвращении инцидентов, таких как сход поездов, вызванный повреждением буксовых узлов или тормозных систем.

Датчики нагрева букс обеспечивают непрерывный контроль за температурными показателями, что позволяет оперативно реагировать на изменения и принимать своевременные меры до ЧС. Таким образом, их использование значительно повышает уровень безопасности на железнодорожных путях и способствует уменьшению числа ЧС.

Внедрение таких технологий также открывает новые горизонты для анализа данных и оптимизации процессов обслуживания. Системы, основанные на данных, полученных от датчиков, могут использоваться для предсказания возможных неисправностей, что позволяет проводить профилактические работы в наиболее подходящее время и минимизировать простои ПС.

Таким образом, датчики температуры букс представляют собой не только инструмент для контроля, но и важный элемент комплексной системы мониторинга. Не менее важен мониторинг нагрузок в системе «колесо-рельс». Он играет ключевую роль в выявлении дефектов колесных пар, несбалансированного распределения груза и перегрузки ПС.

Для выявления неисправностей, связанных с перегревом или повреждением подшипников, применяются пункты дистанционного измерения температуры, установленные вдоль железнодорожных путей. Основные элементы системы мониторинга температуры букс:

1. инфракрасные датчики на шпалах или рельсах;
2. датчики прохода колес;
3. электронный анализатор;
4. рабочее место диспетчера, с данными электронных анализаторов.

При подъезде ПС датчик прохода колес активирует систему, начинается подготовительный этап измерений. Счетчик осей и луч датчика фиксируют прохождение колеса, регистрируя значения температуры левых и правых буксовых узлов, колес и тормозных дисков с указанием их номеров. Данная

информация может накапливаться либо передаваться в центр обработки данных диспетчеру. На основе полученных значений температуры система может выдавать тревожные сигналы различных типов, по которым диспетчер принимает соответствующие меры.

Главными недостатками современных систем мониторинга являются:

– отсутствие подсистем, поддерживающих процесс принятия решений;

– низкий уровень полноты и глубины диагностики;

– недостаток интеллектуальной обработки собранных данных или отсутствие соответствующего программного обеспечения;

– значительный объем информации, передаваемой по коммуникационным каналам.

В работе [31] описывается создание современных систем мониторинга, использующих беспроводную передачу данных, что значительно увеличивает возможности применения диагностического оборудования. Сенсорные сети обеспечивают передачу измеренных параметров от датчиков через радиоканал, что особенно важно в тех случаях, когда прокладка проводного канала передачи данных невозможна.

Анализ исследований и разработок в области диагностики и мониторинга показал наличие множества видов измерительного оборудования и активное развитие беспроводных технологий, а также интеграцию современных решений по обработке и хранению данных мониторинга и диагностики. В некоторых системах диагностика и мониторинг интегрированы как основные функции, в то время как в других они представлены в виде дополнительной системной надстройки.

Однако, системам, комплексно оценивающим пожарную опасность, уделено недостаточно внимания, системы иностранного производства имеют ряд недостатков и не могут в полном объеме удовлетворить требования, предъявляемые к комплексной системе мониторинга, кроме того, отсутствует отечественная система мониторинга пожарной опасности.

Проведенный анализ характеристик известных приборов обнаружения пожара; анализ характеристик и свойств перевозимых грузов показал, что приборы обнаружения пожара постоянно совершенствуются, разрабатываются новые методы обнаружения опасных факторов пожара, совершенствуются уже имеющиеся методы [14, 36-42]. Оптимизируя технологию обнаружения пожара необходимо создать систему оперативного обнаружения пожара, с помощью которой свелась бы к минимуму доля ложных сигналов тревоги.

Модули контроля и управления противопожарной системой необходимы для получения обратной связи от ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями (центрального пункта управления безопасностью). Основные задачи ситуационного центра, в соответствии с Положением ОАО «РЖД» отображены на рисунке 1.13.

Рисунок 1.13 – Основные задачи ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями

Подводя итог анализа проведенных исследований и действующих средств отечественной и зарубежной автоматики, можно констатировать, что очень важно использовать все теоретические и практические знания, чтобы сделать перевозку

легковоспламеняющихся веществ и материалов, а также других опасных грузов более безопасной. Однако решение аналитических задач осложняется высокими затратами и длительным процессом формализации перевозки ОГ и проведения экспериментальных исследований. В научных исследованиях зачастую не уделяется должного внимания ключевым рискам и факторам, которые могут повысить вероятность возникновения пожара на ПС с ОГ. Также наблюдается отсутствие рекомендаций по предотвращению пожаров и взрывов при перевозках ОГ железнодорожным транспортом.

1.4 Формальная постановка общей научной задачи и частных задач исследования

Сформулируем постановку общей научной задачи и приведем ее формализованное описание.

Постановку научной задачи производим в формализованном виде, представленном аналитическим выражением:

$$S_k^* = \arg \min_{S_k \in \{S\}} \max_{W_{\text{ПО}k} \in \{W_{\text{ПО}}\}} W_{\text{ПО}}(W_{\text{ПО}k}(W_{\text{ОГ}k}, W_{\text{ПС}k}, W_{\text{ВС}k}), S_k(C_k, T_k))$$

$$W_{\text{ПО}}(W_{\text{ПО}k}(W_{\text{ОГ}k}, W_{\text{ПС}k}, W_{\text{ВС}k}), S_k) \le W_{\text{ПО}}^{\text{доп}} \qquad (1.7)$$

$$C_k < C_k^{\text{доп}}; \qquad T_k < T_k^{\text{доп}}$$

где

S_k* – искомый сценарий противопожарных мероприятий по снижению пожарной опасности, обеспечивающих гарантированное предотвращение пожара при перевозке опасных грузов в k-м вагоне железнодорожного состава;

$W_{\text{ПО}}$ ($W_{\text{ПО}k}$ ($W_{\text{ОГ}k}$, $W_{\text{ПС}k}$, $W_{\text{ВС}k}$), S_k (C_k, T_k) – уровень пожарной опасности при перевозке опасных грузов в k-м вагоне железнодорожного состава и реализации сценария противопожарных мероприятий;

$W_{\text{ПО}k}$ ($W_{\text{ОГ}k}$, $W_{\text{ПС}k}$, $W_{\text{ВС}k}$) – уровень пожарной опасности груза при его перевозке в k-м вагоне железнодорожного состава с учетом влияния характеристик ПС и параметров внешней среды;

$W_{ОГk}$ – вектор показателей, характеризующих пожарную опасность груза в k-м вагоне без учета влияния характеристик подвижного состава и внешней среды;

$W_{ПСk}$ – вектор показателей, характеризующих влияние характеристик k-го вагона ПС на увеличение уровня пожарной опасности;

$W_{ВСk}$ – вектор показателей, характеризующих влияние характеристик внешней среды на увеличение уровня пожарной опасности при перевозке опасного груза в k-м вагоне ПС;

S_k – вектор сценариев противопожарных мероприятий по снижению пожарной опасности при перевозке опасных грузов в k-м вагоне железнодорожного состава;

$W_{ПО}^{доп}$ – допустимый уровень пожарной опасности при перевозке опасных грузов в k-м вагоне железнодорожного состава;

C_k, T_k – стоимость и время реализации противопожарных мероприятий по снижению пожарной опасности при перевозке опасных грузов в k-м вагоне;

$C_k^{доп}, T_k^{доп}$ – допустимые стоимость и время реализации противопожарных мероприятий по снижению пожарной опасности при перевозке опасных грузов в k-м вагоне.

Рассмотрим более подробно формальную постановку задачи, требующей определение уровня пожарной опасности (μ) и на основании выбранного уровня (μ1, μ2, μ3) определение комплекса мероприятий по снижению пожарной опасности. Решается минимаксная задача: в многокритериальном пространстве ищем рациональное решение для наихудшего варианта одной совокупности показателей с целью найти наилучший вариант для какого-либо отдельного показателя. В рамках диссертационного исследования имеется опасный груз, ПС и факторы ВС – в совокупности способные привести к повышению пожарной опасности (увеличить вероятность возможного возникновения пожара), если показатели стремятся к увеличению пожарной опасности – предлагается комплекс мероприятий по его снижению.

Пусть S – показатель, при удовлетворительном значении которого железнодорожный состав беспрепятственно может двигаться дальше. При фиксации повышенной пожарной опасности производится контроль ПС на ближайшей станции либо на запасных путях для детального осмотра и т.д. (выполняется комплекс мероприятий по снижению пожарной опасности до гарантированно уровня пожарной безопасности для каждого вагона k с ОГ).

Снижение пожарной опасности зависит от показателя пожарной опасности k-го вагона, а показатель пожарной опасности k-го вагона в свою очередь складывается из уровня пожарной опасности ОГ, влияния пожарной опасности ПС и ВС. Кроме перечисленных параметров на общий уровень пожарной опасности оказывает влияние комплекс мероприятий по снижению опасности. Необходимо определить такой комплекс из известного перечня, который позволит снизить пожарной опасности до гарантированного безопасного. Показатель S_k^* ищем для каждого вагона. Если вагон с ОГ обеспечивает выполнение требования – он двигается дальше, если хотя бы для одного из вагонов зафиксирован параметр, связанный с повышением пожарной опасности (возникли предпосылки к возникновению пожара) – происходит фиксация данной ситуации для k-го вагона и осуществляется дальнейшая проверка. Она нужна для выбора наихудшего варианта развития событий во всем ПС. ППРР ТОГ формирует предложения определенного комплекса мероприятий для каждого вагона.

Минимизируем параметр $W_{\text{ПР}}$, общий показатель пожарной опасности, путем перебора возможных сценариев. Для решения данной задачи вводим ограничения. Уровень пожарной опасности должен быть меньше требуемой величины. В результате решения задачи определяем такой перечень действий, который обеспечит выполнение неравенства:

$$W_{\text{ПР}}(W_{\text{ПО}k}(W_{\text{ОГ}k}, W_{\text{ПС}k}, W_{\text{ВС}k}), S_k) \le W_{\text{ПР}}^{\text{доп}} \qquad (1.8)$$

Предлагаются следующие виды мероприятий:

1) полная остановка железнодорожного состава при фиксации высокого уровня пожарной опасности хотя бы в одном из вагонов;

2) перемещение железнодорожного состава на запасные пути для последующего осмотра вагона, у которого установлен средний уровень пожарной опасности.

3) допускается движение до ближайшего пункта технического осмотра с последующим обследованием вагона.

При низком уровне пожарной опасности продолжается движение железнодорожного состава с опасными грузами по установленному маршруту следования.

Осуществление этапов функционирования созданной информационной модели на практике невозможно без внедрения концепции автоматизации этого процесса.

Выводы по главе 1

Анализ статистики выявил основные причины пожаров на грузовом ПС: самовозгорание груза, неосторожное обращение с огнем, искры от тепловозов и линий отвода и др. Разнообразие перевозимых грузов и обновление вагонного парка диктует необходимость адаптировать систему обеспечения пожарной безопасности к любому грузовому составу, перевозящему опасные грузы.

Пожарная опасность железнодорожных перевозок опасных грузов связана с большим количеством единиц ПС, сложностью тушения пожаров, наличием проблем по обеспечению противопожарным водоснабжением. Рост техногенных рисков объясняет необходимость обеспечения техносферной безопасности в целях минимизации материального ущерба от пожаров и риска травмирования и гибели людей, оказавшихся в зоне действия железнодорожного транспорта.

Главными недостатками современных систем мониторинга являются:

– отсутствие подсистем, поддерживающих процесс принятия решений;

– низкий уровень полноты и глубины диагностики;

– недостаток интеллектуальной обработки собранных данных или отсутствие соответствующего программного обеспечения;

– значительный объем информации, передаваемой по коммуникационным каналам.

Анализ проведенных исследований и действующих средств отечественной и зарубежной автоматики, показал значимость накопленных теоретических и практических знаний для дальнейшей работы. Однако в научных исследованиях в основном рассматривается транспорт в целом, но не выделяются основные риски и факторы, определяющие вероятность пожара с ОГ на железнодорожном транспорте, а также не даются рекомендации о том, как обеспечить пожарную безопасность, предотвратить пожар и взрыв при железнодорожных перевозках ОГ.

Анализ исследований и разработок в области диагностики и мониторинга показал наличие множества видов измерительного оборудования и активное

развитие беспроводных технологий, а также интеграцию современных решений по обработке и хранению данных мониторинга и диагностики. В некоторых системах диагностика и мониторинг интегрированы как основные функции, в то время как в других они представлены в виде дополнительных компонентов. Тем не менее, исследование показало, что системам, которые комплексно оценивают пожарную опасность, не уделяется должного внимания. Иностранные системы также имеют ряд недостатков и не могут полностью удовлетворить требования, предъявляемые к комплексным системам мониторинга. Более того, на данный момент отсутствует отечественная система мониторинга пожарной опасности.

Глава 2. Разработка методики оценивания и снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов в зоне критически важных промышленных и государственных объектов

2.1 Выбор и обоснование математического аппарата для решения задачи агрегирования и классификации уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов

Перевозка грузовым железнодорожным транспортом ОГ сопряжена с повышенной пожарной опасностью вследствие их возможного самовозгорания или взрыва. Причинами происхождения подобных чрезвычайных ситуаций могут стать физико-химические процессы, инициируемые случайными событиями как в самих ОГ, так и в результате воздействия на них негативных факторов со стороны ПС (нагрев, вибрация, искры, смещение груза и т.п.) или со стороны внешней среды (солнечная радиация, атмосферное давление, влажность, статическое электричество, сила ветра, грозовые разряды и т.п.) [1]. Особо опасным является повышение уровня пожарной опасности при следовании железнодорожных составов с опасными грузами по протяженным мостам, в туннелях, в пределах крупных сортировочных станций, населенных пунктов, хранилищ углеводородного сырья и топлива, радиоактивных и химически опасных веществ и материалов, опасных производственных объектов, крупных пассажирских транспортных узлов, особо охраняемых природных заповедников и т.п. Для предупреждения и своевременного предотвращения пожаров до входа грузового железнодорожного состава в границы указанных районов и объектов необходимо установить пункты контроля и организовать контроль значений параметров опасных грузов, технических характеристик ПС и факторов внешней среды, в совокупности способных привести к возникновению пожара (крупному пожару или взрыву). Для недопущения задержек в перевозке и доставке грузов такой

контроль в каждом пункте контроля должен проводиться дистанционно в реальном масштабе времени без существенного снижения скорости следования железнодорожного состава. При этом показатели достоверности и эффективности контроля должны отвечать самым высоким и жестким требованиям, комплексная реализация которых возможна только на основе системного подхода.

Среди требований системного подхода к методам оценивания и прогнозирования уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов (УПООГ) в условиях динамичного изменения уровня взрывопожарной опасности самого груза (УВПОГ), уровня влияния технических характеристик ПС (УВХПС) и характеристик внешней среды (УВХВС), важнейшим является требование многоуровневого иерархического представления и анализа всех возможных факторов, в совокупности влияющих на УПООГ.

Сложность системного анализа и оценивания заключается в нечетком представлении ограниченного объема данных об УВПОГ, УВХПС, УВХВС, в совокупности влияющих на УПООГ.

В данной главе решаются задачи диагностики и прогнозирования УПООГ в условиях изменения уровня пожарной опасности самого груза, уровня влияния технических характеристик ПС и характеристик внешней среды. Математическую основу составили методы размытой классификации объектов [11-14,18,26].

Алгоритмы и модели могут реализовываться в рамках единого диагностического комплекса для текущего оценивания уровня пожарной опасности при перевозке конкретных опасных грузов, так и прогнозирования с учетом изменения параметров грузов, технических характеристик ПС и параметров внешней среды в широких пределах.

Система показателей УПООГ содержит большое число взаимосвязанных переменных (параметры пожарной опасности самого груза, технические характеристики ПС, характеристики внешней среды).

Одним из наиболее эффективных подходов для оценки и управления рисками в различных ситуациях, включая пожарную безопасность, является метод ситуационного управления. Базовая операция данного метода связана с процессом

классификации параметров подсистем. Модель объекта позволяет получить решение о принадлежности к какому-либо классу опасности (уровню пожарной опасности) на основе построения однородных ситуаций, возникающих при функционировании рассматриваемой сложной системы.

В зависимости от характера используемой априорной информации различают классификационные модели с обучением (модели распознавания образов) и классификационные модели без обучения (модели автоматической классификации или кластерного анализа). Для решения научной задачи будет использоваться модель с обучением. Трудозатратно исследовать все показатели УПООГ [26,28], поэтому, для принятия решения о степени опасности УПООГ произведем агрегирование массива параметров, характеризующих УВПОГ, УВХПС и УВХВС. Их объем может быть объединен в небольшое число обобщенных (агрегированных, интегральных) показателей влияния на уровень пожарной опасности. В связи с тем, что прямое исследование влияния на уровень ПО перевозок большого количества факторов весьма трудоемко, требуется проведение их агрегирования (рисунок 2.1).

Рисунок 2.1 – Агрегирование факторов ПО

Эти показатели объединяют параметры, характеризующие конкретные свойства опасных грузов, технические параметры ПС и параметры внешней среды. Иногда только многократная свертка частных показателей исследуемых объектов позволяет сделать вывод об уровне пожарной опасности. Это объясняет то, что задача оценки интегрального показателя уровня пожарной опасности

(УПООГ) на основе заданных значений частных критериальных характеристик решается путем уменьшения размерности исследуемого признакового пространства $П^{(p)}(x)$ до единицы.

Сложность этой задачи обусловлена как нечеткостью исходных данных, так и неметрическим характером их влияния на уровень ПО. Для разработки алгоритма, который будет решать задачи агрегирования и классификации уровня ПО при железнодорожных перевозках ОГ, целесообразно использовать сочетание неметрических методов многомерного шкалирования и нечеткой классификации.

Целевая функция исследуемого свойства УПООГ определяется как преобразование $f(x(1),...,x(p))$, которое учитывает значения частных критериальных характеристик $x(1),...,x(p)$. Это преобразование сохраняет порядок между различными состояниями УПООГ, позволяя более точно анализировать и сравнивать их.

Экспертам известны характеристики, обладающие важным свойством: если выполняется неравенство $W_1>...> W_i>...>W_n$ (где W_i представляет собой УПООГ, соответствующий i-му состоянию ОГ, ПС и ВС) с необходимостью следует $f(x_1) > f(x_2) > \ldots > f(x_n)$. И, наоборот, соблюдение этого порядка значений функции также указывает на соответствующее ранжирование характеристик.

Экспериментальный метод, основанный на удельных весах агрегируемых параметров ОГ, ПС, ВС, представляет собой один из самых простых и эффективных способов решения данной задачи среди множества существующих методов агрегирования исходных данных. Этот подход позволяет наглядно интегрировать различные параметры, обеспечивая удобство анализа. Характеристики, определяющие УПООГ с учетом параметров ОГ, характеристик ПС и ВС, обладают особенностями, отраженными на рисунке 2.2.

Рисунок 2.2 – Характеристики, определяющие УПООГ

Следствие этих особенностей – нечеткость по анализируемому интегральному свойству сравнительных оценок УПООГ.

Требования к частным показателям, характеризующим УПООГ и уровень влияния параметров ОГ, ПС и ВС на него отображены на рисунке 2.3.

Рисунок 2.3 – Требования к частным показателям

Исследования агрегированных нечетких показателей 1-го уровня (УВПОГ, УВХПС и УВХВС) проводим по принципу обобщения. Обозначим интегральные показатели первого уровня как $x(I) \in X_1$, в то время как соответствующие им частные показатели будем представлять через $x(0) \in X_0$.

$$x = \{x(1) = f_1\left(x(0)\right)\ x(0)X_0\} f_1(x_i), X_1 E^{n1} \qquad (2.1)$$

где n_1 – количество первичных показателей, относящихся к 1-му уровню, $X_0 \in E^{n0}$. $n_1 < n_o$, размерность вектора показателей состояния меньше, f_1, X_1 должны согласоваться с $x(0)$, X_0.

Функции принадлежности нечеткого отображения интегральных показателей (ИП) 1-го уровня для каждого частного показателя предпочтения:

$$\mu^{(x(1))}\left(x_{10}, \ldots, x_{n0}, x(1)\right);$$

$$\mu\left(x(1)\right) = \sup \min \left\{\mu_{10}(x_{10}), \ldots, \mu_{n0}(x_{n0})\right\}, \quad (2.2)$$

$$(x_{10}, \ldots, x_{n0}) \in X_o$$

где $\mu^{(x(1))}$ (.) – функция принадлежности частного показателя предпочтения (вектор описания характеристик $\{x_{10}, \ldots, x_{n0}\} = x(0)$);

$X_1 = \{x(I) = f_1(x(0)) \mid x(0) \in Xo\}$ – нечеткий образ Xo.

Агрегирование оценок УВПОГ, УВХПС и УВХВС продолжается:

$$x(0)X_0 \subseteq E^{no}, x(1) = f_1\left(x(0)\right)\ X_1 \subseteq E^{n1}$$

$$n_1 < n_0, \mu(x(1))\ E^{N1}$$

$$x(k+1) = f_{k+1}\left(x(k)\right)X_{k+1} \subseteq E^{nk+1} \quad (2.3)$$

$$n_{k+1} < n_K, \mu\left(x(k+1)\right)\ E^{Nk+1}$$

$$x(m) = f_m\left(x(m-1)\right)X_m \subseteq E^{mn}, n_m < n_{m-1}, \mu\left(x(m)\right) E^{mn}$$

$$X(k+1) = f_k + 1\left(x(k)\right) = x(k+1) = f_k\, 1\left(x(k)\right)2x(k)X_k\,.$$

$$X = ||\, x\ r\ j\, ||_{[m,n]},$$

где n – количество групп показателей в матрице данных;

m – количество измерений исследуемых показателей.

Обозначим множество E как обучающую выборку (ОВ), которая формируется из генеральной совокупности частных показателей, отражающих влияние параметров ОГ, ПС и ВС. Эти показатели имеют четко определённую степень выраженности уровня УПООГ.

2.2 Многомерная размытая классификация образов ситуаций, характеризующих уровень пожарной опасности при перевозке опасных грузов

Данные об объекте в классе систем ситуационного управления носят нечеткий и неоднородный характер. Это данные:

– об уровне пожарной опасности объекта;

– о характеристиках взаимодействующих объектов, внешней среды, оперативной обстановки;

– параметры технического состояния объекта, выражаемые количественно и качественно и т.д.

В соответствии с учетом особенностей влияния параметров взрывопожарной опасности перевозимых опасных грузов, характеристик ПС и факторов внешней среды, была разработана методика, позволяющая на основании сформированных обучающих выборок классифицировать УПООГ. Последовательность действий для достижения минимальных различий отображена на рисунке 2.4.

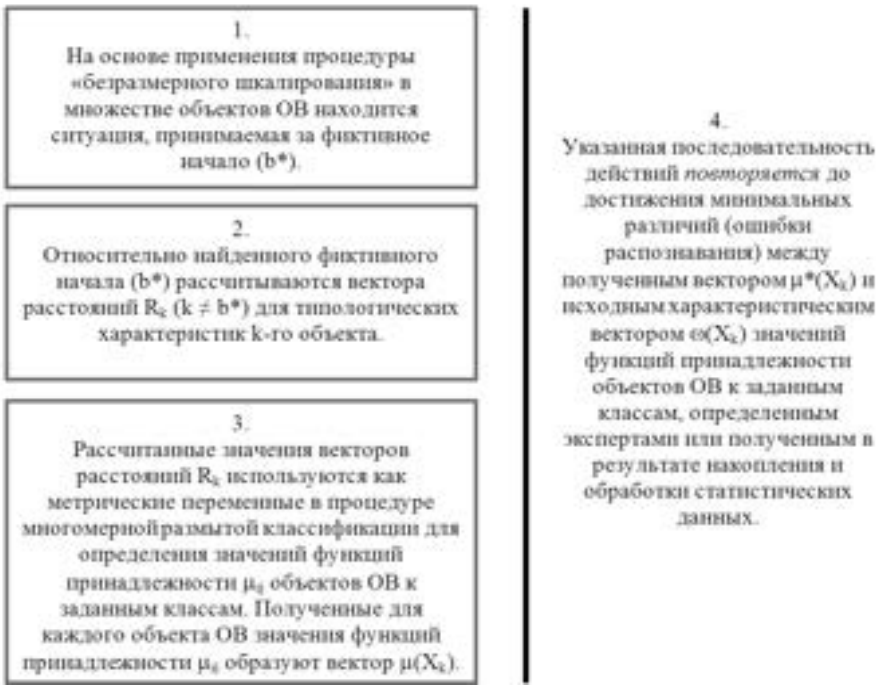


Рисунок 2.4 – Последовательность действий для достижения минимальных различий

На основании данных ОВ, представляемых кортежем:

$$< \{R_n(S_k, S_b^*)\ k = \overline{1, M_0};\ n = \overline{1, q}\}, \{\mu_i\ (S_k)\ i = \overline{1, K}; k = \overline{1, M_0}\} > \qquad (2.4)$$

мы можем определить размытые центры классов V_n и весовые коэффициенты λ_n для интегральной шкалы оценок ситуации:

$$F_m\ (S_k) = \sum_n \lambda_j\ R_n(S_k, S_b^*),\ \sum_j \lambda_j = 1, \qquad (2.5)$$

где R_n (S_k , S_b*) – вектор расстояния между фиктивным началом S_b* и n-той компонентой k-образа ситуации ОВ;

$\mu_i(S_k)$ – функция принадлежности k-образа ситуации ОВ i-му классу.

Обозначим:

$$U\ R_n\ (S_k, S_b^*) = U\ X_{nk}\ ;\ n = \overline{1, q}$$

$$F_м = (\lambda\ X_k), \text{ где } \lambda = \{\lambda_n : n \in q\}.$$

Определим значение разделяющей функции F('), соответствующее наилучшему разделению объектов ($k = \overline{1, M_0}$) ОВ на K классов.

Для проведения исследования по определению в отношении объектов ОВ их характеристик и нечеткой классификации была использована экспертная оценка – процедура согласования мнений отдельных экспертов и формирования общего решения. Надежность экспертной оценки зависит от размера группы экспертов, их специализации и характеристик.

Методология экспертной оценки основывается на следующих предположениях:

1. Эксперт имеет доступ к значительному объему рационально обработанной информации и, следовательно, может служить источником ценных данных.

2. Мнение группы экспертов в целом не сильно отличается от реального решения рассматриваемой проблемы.

Процесс экспертной оценки осуществляется с соблюдением этических стандартов социальных исследований:

– респонденты отбираются таким образом, чтобы обладать необходимой компетентностью для ответов на вопросы;

– исследователь не оказывает влияния на мнения респондентов.

В опросе, проведенном в 2021-2022 годах, участвовали 32 эксперта. Определение приемлемого числа экспертов основывалось на методологических предположениях классической теории тестирования, согласно которой надежность коллективных решений и количество принимающих решения лиц (в данном случае экспертов) связаны с быстро убывающей нелинейной зависимостью.

В ходе качественного исследования были опрошены эксперты со стажем работы от трёх лет, чья работа связана с опасными грузами. Опрос выявил, с какими проблемами чаще всего сталкивались при организации перевозки опасных грузов, какие информационные технологии использовались на транспорте, сколько аварийных ситуаций произошло за последние три года и каковы причины их увеличения [69].

Для того чтобы выяснить, с какими проблемами сталкивались и какие факторы чаще всего приводили к пожарам, была разработана анкета. Перед началом исследования были сформулированы следующие задачи:

– выявить наиболее распространенные классы опасных грузов;

– выявить наиболее распространенные проблемы, возникающие при грузоперевозках;

– выяснить, использовались ли специально адаптированные информационные системы для перевозки ОГ;

– определить, происходили ли пожары с ОГ на железной дороге, а также уточнить их причины;

– выяснить, проводится ли дополнительная подготовка машинистов поездов для перевозки ОГ;

– выяснить, какие факторы оказали наибольшее влияние на возникновение пожара.

Для определения параметров классификационной шкалы был рассмотрен функционал следующего вида:

$$\Phi(\alpha, \lambda, \omega) = \sum_{k=1}^{Mo} \sum_{i=1}^{K} (1 - \mu_i (X_k^*)) \omega_i (X_k) \quad (2.6)$$

где $\mu_i(X_k^*)$ – значения функций принадлежности k-го объекта i-му классу, $X_k^* = (\lambda, X_k)$;

$\omega_i (X_k)$ – характеристическая функция.

$\Phi(')$ – функционал, определяющий суммарную ошибку распознавания.

Экспертная оценка исходных данных и условий перевозки опасного груза (фосфора желтого) определила значения уровня пожарной опасности при перевозке опасного груза (Приложение А). Жёлтый фосфор распространённый опасный груз, широко используется в военной промышленности в зажигательных смесях, для снаряжения авиационных бомб, мин, кассетных боеприпасов, артиллерийских снарядов.

2.3 Настройка параметров и функционирование модели при оценивании уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов

Разработана модульная структурная схема многомерного размытого классификатора уровня пожарной опасности при перевозке ОГ железнодорожным транспортом, методика его построения и идентификации параметров (рисунок 2.5).

Рисунок 2.5 – Структурная схема многомерного классификатора

Модулями классификатора реализуются функции расчета параметров шкалы классификации уровня ПО при железнодорожной перевозке ОГ; контроля непротиворечивости обучающей выборки; коррекции обучающей выборки в случае обнаружения недостоверных данных; классификации новых объектов, не включенных в обучающую выборку. Предложенная структура многомерного размытого классификатора позволяет реализовать процедуры распознавания и классификации уровня ПО как самого ОГ, так и уровня влияния на ПО негативных факторов ПС и ВС, а также их композиции. Для построения структуры классификатора и идентификации его параметров разработана методика, которая включает в себя следующие ключевые положения:

1. Для каждого нормируемого типа ОГ, ПС и ВС формируются обучающие выборки (ОВ), содержащие нечетко определенные параметры ПО транспортировки ОГ и соответствующие им значения степеней принадлежности к заданным классам уровня ПО, основанные на расчетных или статистических данных, а также на мнениях экспертов.

2. Из каждой созданной ОВ выбирается произвольная точка, и вектор ее характеристик используется в качестве начальной точки отсчета на многомерной поверхности параметров, характеризующих уровень ПО.

3. Вычисляются векторы расстояний между образами уровней ПО в ОВ и заданной точкой, принятой за начальную в данной выборке.

4. На основе алгоритма многомерной размытой классификации объектов вычисляются параметры шкалы классификации (центры классов) и весовые коэффициенты линейной разделяющей функции (ЛРФ).

5. Для каждой точки ОВ рассчитываются значения степеней принадлежности к каждому из заданных классов.

6. ОВ оценивается на достоверность посредством сопоставления значений степеней принадлежности, которые были получены на предыдущем этапе, с соответствующими значениями, определенными экспертным путем или вычисленными с использованием статистических методов.

7. Проводится проверка, были ли обработаны все объекты из обучающих выборок.

8. Производится определение рациональных значений параметров шкалы классификации, включая центры классов и весовые коэффициенты ЛРФ, которые будут применяться для идентификации и классификации образов уровня ПО объектов, не входящих в ОВ.

Предложенная структура многомерного размытого классификатора создаст возможности для эффективного распознавания и классификации сложноструктурированных образов, как УПООГ, так и УВПОГ, УВХПС и УВХВС. Это позволяет упростить анализ УПООГ в конкретных условиях обстановки, определить диапазон изменения значений факторов, влияющих на исследуемые показатели.

Построение структуры классификатора и идентификация его параметров проводится поэтапно (рисунок 2.6).

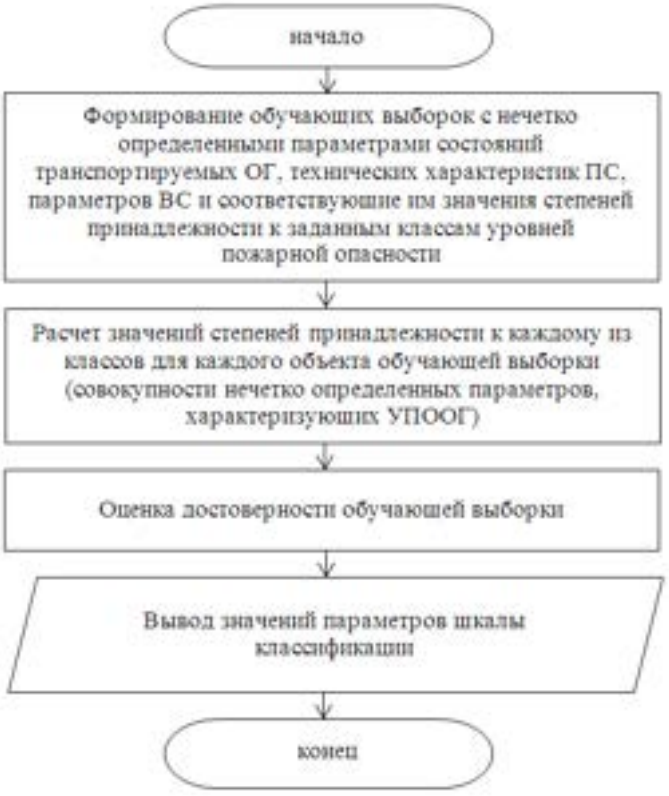


Рисунок 2.6 – Алгоритм построения структуры классификатора и идентификация его параметров

На примере синтеза информационной модели для оценивания УПООГ при высокой динамике изменения параметров пожарной опасности перевозимых грузов, значений технических характеристик ПС и параметров внешней среды проиллюстрируем использование алгоритмов и методики.

2.4 Модель для оценивания уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов

Железнодорожные перевозки опасных грузов всегда сопряжены с повышенной пожарной опасностью вследствие возможного самовозгорания или взрыва груза [62]. Особо опасным является повышение уровня пожарной опасности при следовании железнодорожных составов с опасными грузами по протяженным мостам, в туннелях, в пределах крупных сортировочных станций, населенных пунктов, хранилищ углеводородного сырья и топлива, радиоактивных и химически опасных веществ и материалов, опасных производственных объектов, крупных пассажирских транспортных узлов и населенных пунктов, особо охраняемых природных заповедников и т.п. Для предупреждения и своевременного предотвращения пожаров до входа грузового состава в границы указанных районов и объектов необходимо установить пункты контроля и организовать контроль значений параметров опасных грузов, технических характеристик ПС и факторов внешней среды, в совокупности способных привести к возникновению пожара.

Связь между уровнем ПО перевозок ОГ в целом, параметрами ПО самого ОГ, характеристиками ПС и ВС имеет сложный и нелинейный характер. В этом случае модель для оценивания уровня ПО представляется в виде иерархической совокупности однородных структур, характеризующих степень влияния указанных компонентов на уровень ПО. Разработанная модель содержит два уровня иерархически взаимосвязанных между собой многомерных размытых классификаторов (рисунок 2.7).

Рисунок 2.7 – Модель для оценивания уровня ПО

Чем сложнее рассматриваемая модель, тем проще ее описание, умышленно утрирующее и игнорирующее менее существенные свойства. Модель должна быть простой и по возможности наглядной. Чем выше степень обобщения описываемых задач в модели, тем больше их вероятностный характер и тем заметнее будет проявляться воздействие окружающей среды на систему.

Следовательно, исследуемые процессы целесообразно описывать в вероятностных категориях и в основу модели закладывать статистические закономерности, выявленные экспертами, что позволит избежать дорогостоящих экспериментов.

Минимизация числа ступеней иерархии, фильтрация части информации на нижних уровнях и укрупнение потоков информации на высших уровнях увеличивает устойчивость системы.

Модель содержит два уровня классификаторов. Классификаторы первого уровня предназначены для решения задач распознавания образов ситуаций, характеризующих уровень ПО перевозимых ОГ $W_{ОГ}$, уровень влияния технических характеристик ПС $W_{ПС}$ на уровень ПО, уровень влияния характеристик ВС $W_{ВС}$ на уровень ПО [61].

Входными данными для классификаторов первого уровня служат совокупности (векторы) исходных параметров, характеризующие уровень ПО перевозимого ОГ $X_{ОГ}$ = ($x_{ОГ1}$, … $x_{ОГN1}$), уровень влияния технических характеристик ПС $X_{ПС}$ = ($x_{ПС1}$, … $x_{ПСN2}$), уровень влияния характеристик ВС $X_{ВС}$ = ($x_{ВС1}$, … $x_{ВСN3}$) на соответствующие уровни риска ($W_{ОГ}$, $W_{ПС}$, $W_{ВС}$). Значения этих параметров определяются путем дистанционного инструментального контроля в пунктах контроля.

В результате классификации данных групп показателей определяются нечеткие оценки степеней принадлежности уровня влияния ПО ОГ μ($W_{ОГ}$), уровня влияния характеристик ПС μ($W_{ПС}$), уровня влияния характеристик ВС μ($W_{ВС}$) на уровень ПО к каждому из классов:

класс μ1 – «уровень влияния низкий»;

класс μ2 – «уровень влияния средний»;

класс μ3 – «уровень влияния высокий» (рисунок 2.8).

Рисунок 2.8 – Уровни пожарной опасности

В формализованном виде образ уровня негативного влияния соответствующих компонентов можно описать выражениями:

$$W_{ОГ} = \{\langle x_{ОГi}\rangle : i = \overline{1, N1}\}, \quad (2.7)$$

где $x_{ОГi}$ – фиксируемые параметры ПО ОГ;

$$W_{\text{ПС}} = \{\langle x_{\text{ПС}j}\rangle : i = \overline{1, N2}\}, \quad (2.8)$$

где $x_{\text{ПС}j}$ – фиксируемые параметры технического состояния ПС;

$$W_{\text{ВС}} = \{\langle x_{\text{ВС}k}\rangle : k = \overline{1, N3}\}, \quad (2.9)$$

где $x_{\text{ВС}k}$ – фиксируемые параметры ВС.

В этом случае оценка уровня влияния на ПО соответствующих компонентов может быть представлена в виде следующих векторов степеней принадлежности к введенным классам:

$$\mu(W_{\text{ОГ}}) = \{<\mu_k(X_{\text{ОГ}})> : k = \overline{1,3}\};$$
$$\mu(W_{\text{ПС}}) = \{<\mu_k(X_{\text{ПС}})> : k = \overline{1,3}\};$$
$$\mu(W_{\text{ВС}}) = \{<\mu_k(X_{\text{ВС}})> : k = \overline{1,3}\}.$$

Классификатор второго уровня осуществляет окончательное решение задачи определения степеней принадлежности уровня ПО $W_{\text{ПО}}$ при железнодорожных перевозках ОГ к классам: класс μ_1 – «уровень ПО низкий»; класс μ_2 – «уровень ПО средний»; класс μ_3 – «уровень ПО высокий».

Входные данные классификатора представляют собой все значения степеней принадлежности к определённым классам, которые были получены на выходах классификаторов первого уровня:

$$W_{\text{ПО}} = \{<\mu_k(W_{\text{ОГ}}), \mu_k(W_{\text{ПС}}), \mu_k(W_{\text{ВС}})> : k = \overline{1,3}\}, \quad (2.10)$$

Выходной вектор нечетких оценок степеней принадлежности уровня ПО к соответствующему классу имеет вид:

$$\mu(W_{\text{ПО}}) = \{< \mu_k(W_{\text{ПО}})> : k = \overline{1,3}\} \quad (2.11)$$

В соответствии с алгоритмом многомерной размытой классификации, каждый классификатор модели должен быть наполнен априорными данными о рассматриваемом объекте (ОГ, ПС, ВС). Эти априорные данные формируют ОВ, которая может описываться так:

$$W = (< X_{ig}, \mu_k(X_i) > : i = \overline{1, N};\ g = \overline{1, G};\ k = \overline{1,3}), \quad (2.12)$$

где X_{ig} – вектор параметров (в общем виде количественно-качественных), описывающих i-ю точку наблюдения в ОВ:

$$X_{ig} = (x_{i1}, x_{i2}, \ldots x_{ig}, \ldots x_{iG}),\ g = \overline{1, G}, \quad (2.13)$$

где G – общее количество параметров, применяемых для характеристики объектов;

$\mu_k(X_i)$ – степень принадлежности i-й точки наблюдения к k-му классу;

N – количество точек наблюдения в ОВ.

Степени принадлежности i-й точки наблюдения к k-му классу $\mu_k(X_i)$ при формировании ОВ могут определяться на основе расчета уровня пожарной опасности для конкретного типа ОГ или на основе экспертных оценок. В зависимости от типа и состава данных об ОГ используются следующие выражения:

$$R_F = \sum_{i=1}^{m} a_i \left(\frac{x_i}{x_i^{\text{н}}} \right) \tag{2.14}$$

где R_F – расчетный уровень пожарной опасности перевозимого груза; a_i – коэффициент веса для i–го показателя; x_i – величина i–го показателя для ОГ; $x_i^{\text{н}}$ – нормирующее значение для i–го показателя ОГ; m – количество показателей (m=4).

$$R(r) = \sum_{j=1}^{J_0} \sum_{k=1}^{K_0} \lambda_j Q_{jk} \int_{x_{1jk}}^{x_{2jk}} Q_{hitjk}(x, r) dx \tag{2.15}$$

где $R(r)$ – условная вероятность реализации ПО на расстоянии r от зоны критически важного объекта; K_0 – число сценариев развития пожароопасной ситуации; λ_j – удельная частота пожароопасной ситуации j-го типа; Q_{jk} – условная вероятность реализации k-го сценария развития для j-й пожароопасной ситуации; x_{1jk}, x_{2jk} – координаты начала и окончания участка влияния пожароопасной ситуации на объект защиты; $Q_{hitjk}(x,r)$ – условная вероятность поражения людей на расстоянии r от объекта защиты в результате реализации k-го сценария развития пожароопасной ситуации, возникшей на участке движения состава с координатой x, расположенной в зоне влияния на критически важный объект.

$$\lambda = (F \cdot TR \cdot D)/L \tag{2.16}$$

где F – частота реализации пожароопасной ситуации на единицу длины пути в зоне влияния на критически важный объект, м$^{-1}$; TR – суммарный годовой трафик

подвижного состава на участке пути в зоне влияния на критически важный объект, м·год$^{-1}$; D – доля подвижного состава с ОГ в суммарном трафике; L – длина пути в зоне влияния на критически важный объект, м.

После обработки исходных данных классификатором на выходе были получены значения, отраженные в таблицах Приложения А, что позволило отнести груз при данных условиях транспортировки к категории μ_1, μ_2, μ_3. Исследования были проведены для маршрута перемещения опасного груза (фосфора желтого) из Санкт-Петербурга в Оренбург. $W_{ОГ}$, $W_{ПС}$, $W_{ВС}$ – характеризует вероятность принадлежности уровня пожарной опасности к заданному интервалу. Заданный интервал определяет перечень (сценарий) мероприятий по снижению пожарной опасности.

Связь между уровнем пожарной опасности в целом и отдельных его подсистем, таких как уровень пожарной опасности груза, ПС и внешней среды имеет нелинейный характер. Для описания образа ситуаций модель для диагностики и прогнозирования уровня пожарной опасности при перевозке опасных грузов должна быть представлена в виде совокупности однородных структур, характеризующих пожарную опасность отдельных подсистем [61].

Классификаторы предлагаемой модели позволяют определить вероятность пожара ($W_{по}$). Для диагностики и прогнозирования уровня пожарной опасности при перевозке опасных грузов вероятность возникновения пожара определяется с учётом вероятности нарушения параметров перевозимого груза ($W_{гр}$), а также с учётом вероятности технических неисправностей ПС ($W_{пс}$), (в том числе, искры от тепловозов, вибрация и др.), с учётом параметров внешней среды ($W_{вс}$) критических показателей температуры, давления, влажности воздуха, направления ветра, концентрации газов и паров, влияющих на увеличение показателя пожарной опасности), эти параметры отслеживаются в процессе перевозки.

Рассмотрим, как функционирует модель при оценивании уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов.

Обучающая выборка классификатора представлена в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Обучающая выборка

Номер объекта ОВ	Нормированные значения параметров объектов ОВ						Степени принадлежности объектов к классам		
	x_1	x_2	...	x_g	...	x_G	$\mu_1(X_i)$	$\mu_2(X_i)$	$\mu_3(X_i)$
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1g}	...	x_{1G}	$\mu_1(X_1)$	$\mu_2(X_1)$	$\mu_3(X_1)$
2	x_{21}	x_{22}	.	x_{2g}	.	x_{2G}	$\mu_1(X_2)$	$\mu_2(X_2)$	$\mu_3(X_2)$
3	x_{31}	x_{32}	.	x_{3g}	.	x_{3G}	$\mu_1(X_3)$	$\mu_2(X_3)$	$\mu_3(X_3)$
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.		.		.	.	.	.
.	.	.		.		.	.	.	.
N	x_{N1}	x_{N2}		x_{Ng}		x_{NG}	$\mu_1(X_N)$	$\mu_2(X_N)$	$\mu_3(X_N)$

1-й этап работы информационной модели представлен в виде таблицы (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Расчетные значения центров классов и весовых коэффициентов для различного уровня представления знаний

Уровень четкости представления знаний		Расчетные значения центров классов			Расчетные значения весовых коэффициентов			
		V1	V2	V3	λ_1	λ_2	. . .	λ_G
α_1	0,1	$V_{1\alpha_1}$	$V_{2\alpha_1}$	$V_{3\alpha_1}$	$\lambda_{1\alpha_1}$	$\lambda_{2\alpha_1}$	. . .	$\lambda_{G\alpha_1}$
α_2	0,2	$V_{1\alpha_2}$	$V_{2\alpha_2}$	$V_{3\alpha_2}$	$\lambda_{1\alpha_2}$	$\lambda_{2\alpha_2}$	. . .	$\lambda_{G\alpha_2}$
α_3	0,3	$V_{1\alpha_3}$	$V_{2\alpha_3}$	$V_{3\alpha_3}$	$\lambda_{1\alpha_3}$	$\lambda_{2\alpha_3}$	. . .	$\lambda_{G\alpha_3}$
α_4	0,4	$V_{1\alpha_4}$	$V_{2\alpha_4}$	$V_{3\alpha_4}$	$\lambda_{1\alpha_4}$	$\lambda_{2\alpha_4}$	. . .	$\lambda_{G\alpha_4}$
α_5	0,5	$V_{1\alpha_5}$	$V_{2\alpha_5}$	$V_{3\alpha_5}$	$\lambda_{1\alpha_5}$	$\lambda_{2\alpha_5}$	. . .	$\lambda_{G\alpha_5}$
α_6	0,6	$V_{1\alpha_6}$	$V_{2\alpha_6}$	$V_{3\alpha_6}$	$\lambda_{1\alpha_6}$	$\lambda_{2\alpha_6}$	. . .	$\lambda_{G\alpha_6}$
α_7	0,7	$V_{1\alpha_7}$	$V_{2\alpha_7}$	$V_{3\alpha_7}$	$\lambda_{1\alpha_7}$	$\lambda_{2\alpha_7}$	. . .	$\lambda_{G\alpha_7}$
α_8	0,8	$V_{1\alpha_8}$	$V_{2\alpha_8}$	$V_{3\alpha_8}$	$\lambda_{1\alpha_8}$	$\lambda_{2\alpha_8}$	. . .	$\lambda_{G\alpha_8}$
α_9	0,9	$V_{1\alpha_9}$	$V_{2\alpha_9}$	$V_{3\alpha_9}$	$\lambda_{1\alpha_9}$	$\lambda_{2\alpha_9}$	. . .	$\lambda_{G\alpha_9}$

2.5 Разработка методики и автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов

Оценивание уровня пожарной опасности на основе предложенной модели будем осуществлять в рамках специализированной автоматизированной системы. Основные ее задачи отображены на рисунке 2.9.

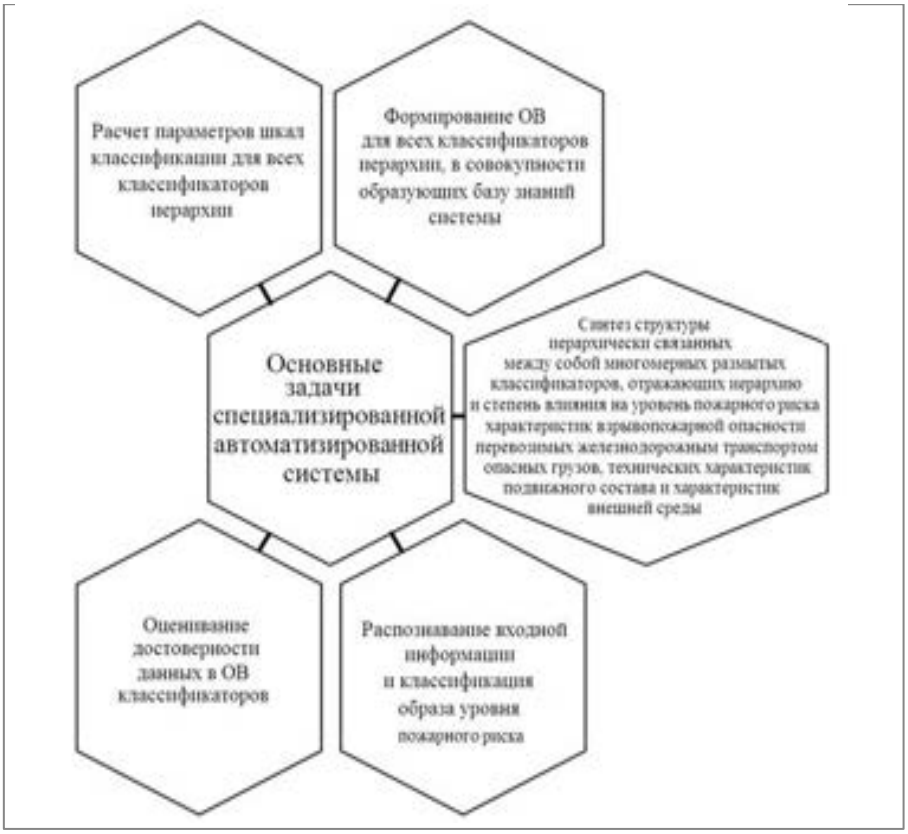


Рисунок 2.9 – Основные задачи, решаемые автоматизированной системой

В ходе исследования разработана структурная схема и алгоритмическое обеспечение автоматизированной подсистемы поддержки принятия решений о возможности транспортировки ОГ (ППРР ТОГ). Анализ функционирования и расчеты, выполненные на ее основе, показали, что предлагаемая система способна корректно решать стоящие перед ней задачи (Приложение Б).

Предлагаемая подсистема способна решать следующие задачи:

1. Формирование иерархической структуры многомерных классификаторов, определяющих взаимосвязь и степень влияния параметров ОГ, ПС и ВС на уровень ПО при грузовых железнодорожных перевозках.

2. Формирование обучающих матриц статистических точек наблюдения для всех классификаторов, образующих иерархическую структуру модели.

3. Расчет основных параметров классификационной шкалы для каждого классификатора модели.

4. Оценивание достоверности параметров обучающих матриц статистических точек наблюдения для всех классификаторов.

5. Оценивание и классификация уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках ОГ для статистических точек наблюдения, не входящих в обучающую матрицу.

6. Формирование и выдача информации предупреждения подразделениям РЖД и МЧС о необходимости активации соответствующего комплекса компенсирующих мероприятий для гарантированного недопущения пожара.

Структурная схема ППРР ТОГ и функциональное назначение ее компонентов представлены на рисунке 2.10.

Рисунок 2.10 – Структурно-функциональная схема ППРР ТОГ

Методика снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов на основе использования разработанной ППРР ТОГ включает реализацию последовательности следующих этапов.

1. Выбор режима функционирования ППРР ТОГ: режим формирования иерархической модели или режим оценивания и классификации уровня пожарной опасности перевозок. Переход к пункту 11 методики при выборе режима оценивания и классификации.

2. Активация и настройка параметров режима формирования иерархической модели для оценивания уровня пожарной опасности.

3. Определение количества классов и признаков принадлежности к ним статистических точек наблюдения с указанием типа представления данных и степени их достоверности.

4. Решение задачи кластеризации статистических точек наблюдения.

5. Построение иерархической структуры модели на основе взаимосвязанных многомерных классификаторов, определяющих степень влияния параметров ОГ, ПС и ВС на уровень пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов.

6. Формирование обучающих матриц статистических точек наблюдения для всех классификаторов, образующих иерархическую структуру модели.

7. Задание уровня четкости оценки распознавания и определение для каждого классификатора параметров шкалы классификации.

8. Расчет параметров достоверности обучающих матриц статистических точек наблюдения для каждого классификатора. Переход к пункту 10, если все обучающие матрицы достоверны.

9. Коррекция обучающих матриц при их недостоверности. Возврат к пункту 7 после коррекции.

10. Сохранение в базе данных результатов параметрической идентификации статистических моделей для каждого классификатора.

11. Активация и настройка параметров режима оценивания и классификации новых статистических точек.

12. Ввод исходных данных новых статистических точек, характеризующих ПО перевозимого ОГ, техническое состояние ПС и состояние ВС.

13. Выполнение нормирования параметров новых статистических точек, характеризующих ПО перевозимого ОГ, техническое состояние ПС и состояние ВС.

14. Выборка из базы данных статистических моделей для каждого классификатора и объединение их в иерархическую модель уровня ПО для заданных условий транспортировки ОГ.

15. Расчет и анализ интервального значения функции принадлежности уровня ПО к заданным классам для заданных условий транспортировки ОГ и формирование исходных данных для лица, принимающего решения по выбору сценария мероприятий по снижению пожарной опасности перевозок ОГ. Для низкого уровня ПО дополнительные компенсирующие мероприятия не планируются и не реализуются, транспортировка ОГ осуществляется без ограничений. Для среднего уровня ПО выполняется оперативный анализ маршрута следования железнодорожного состава, выбирается ближайший пункт контроля состояния ОГ, формируется перечень необходимых средств диагностики параметров ОГ и ПС. Для высокого уровня ПО выполняется оперативный анализ маршрута следования железнодорожного состава, выбирается ближайшая зона экстренного контроля состояния ОГ с немедленным направлением туда железнодорожного состава, формируется перечень необходимых средств экстренной диагностики параметров ОГ и ПС и снижения их пожарной опасности.

16. Сохранение в базе данных результатов классификации уровня ПО для заданных условий транспортировки ОГ.

17. Выдача при необходимости информации предупреждения подразделениям РЖД и МЧС в требуемом объеме и заданной форме с учетом следующего критерия:

Таблица 2.3 – Критерии классификации уровня ПО

Интервалы значений функции принадлежности	Характеристика уровня ПО	Возможные сценарии реализации комплекса компенсирующих мер
$\mu_1 \in [0\text{-}0,5]$	Уровень ПО низкий	Транспортировка ОГ без ограничений
$\mu_2 \in [0,5\text{-}0,85]$	Уровень ПО средний	Транспортировка ОГ до ближайшего пункта контроля состояния ОГ по пути следования ПС
$\mu_3 \in [0,85\text{-}1]$	Уровень ПО высокий	Транспортировка ОГ невозможна, состав направляется в безопасную зону для экстренного контроля состояния ОГ и реализации комплекса компенсирующих мероприятий

Решение задачи оценивания и снижения уровня пожарной опасности предполагает выполнение последовательности действий, на основе использования разработанной АСУ СПОЖДПОГ. На рисунке 2.11 в формализованном виде представлена последовательность реализации процесса оценивания и снижения уровня ПО при транспортировке ОГ.

Рисунок 2.11 – Оценивание и снижение пожарной опасности транспортировки ОГ

Алгоритмы, реализующие подготовительный режим функционирования автоматизированной системы и режим классификации представлены в виде двух схем (рисунок 2.12).

На конкретном примере исследованы функциональные возможности основных компонентов АСУ СПОЖДПОГ. Исследования проводились на полигоне грузовой станции Шушары (структурного подразделения Санкт-Петербург-Витебского центра организации работы железнодорожных станций). Предлагаются практические рекомендации по снижению ПО перевозок на основе комплексного учета изменений негативных факторов ОГ, ПС и ВС и выбора рационального сценария совместных действий подразделений РЖД и МЧС по их безопасной компенсации.

Рисунок 2.12 – Схема алгоритма функционирования АСУ СПОЖДПОГ в подготовительном режиме (а) и в режиме классификации (б)

В обобщенном виде комплексный алгоритм функционирования разработанной АСУ может быть представлен в виде последовательности решения следующих задач.

1. Пункт формирования железнодорожного состава с ОГ. Формирование состава и локальной базы данных о параметрах ПО транспортируемых ОГ и типе ПС. Далее БД передается по каналам связи в центр обработки данных и принятия решений оператора перевозок (ЦОДПР ОП).

2. Пункт предварительного контроля (ППК). Дистанционная идентификация параметров железнодорожного состава. Отправка сигнала активации выборки базы данных в ЦОДПР ОП. Активация системы контроля параметров ПС и системы контроля метеорологических параметров. Дистанционная идентификация и контроль технического состояния вагонов с ОГ. Отправка результатов дистанционного контроля технического состояния вагонов с ОГ и результатов контроля метеорологических параметров в ЦОДПР ОП. Формирование и отправка сигнала активации системы контроля параметров пожарной опасности ОГ на пункт основного контроля (ПОК).

3. ЦОДПР ОП. Прием сигнала активации и выборка базы данных с информацией о типах вагонов и типах ОГ в них. Прием информации с ППК с результатами дистанционного контроля технического состояния вагонов с ОГ и результатов контроля метеорологических параметров. Совместная обработка информации с результатами дистанционного контроля технического состояния вагонов с ОГ, результатами метеорологического контроля и информации о типе и ПО ОГ в соответствующих вагонах. Формирование по результатам обработки информации блока управляющих сигналов для конфигурирования и настройки рабочих параметров датчиков раннего распознавания опасных факторов пожара индивидуально для каждого вагона с соответствующим ОГ.

4. ПОК. Активация системы дистанционного контроля параметров ПО ОГ в вагонах железнодорожного состава. Прием от ЦОДПР ОП управляющих сигналов для конфигурирования и настройки рабочих параметров датчиков раннего распознавания опасных факторов пожара индивидуально для каждого вагона с соответствующим ОГ. Дистанционный контроль и сохранение информации в памяти системы дистанционного контроля параметров ПО грузов об уровне зафиксированных опасных факторов пожара для соответствующих вагонов.

Отправка в ЦОДПР ОП сведений об уровнях зафиксированных опасных факторов пожара для соответствующих вагонов.

5. ЦОДПР ОП. Прием сведений об уровнях зафиксированных опасных факторов пожара для соответствующих вагонов. Выборка из базы данных моделей для диагностики уровня ПО ОГ в соответствующих вагонах. Совместная обработка информации об уровнях зафиксированных опасных факторов для соответствующих вагонов с результатами дистанционного контроля технического состояния данных вагонов, результатами метеорологического контроля и информации о типе и ПО перевозимых в соответствующих вагонах ОГ. Формирование и сохранение результатов обработки данных (μ_1 – уровень ПО низкий, возможно дальнейшее движение без ограничений; μ_2 – уровень ПО средний, необходим контроль состояния груза на ближайшей грузовой станции по маршруту следования состава; μ_3 – уровень ПО высокий, необходимо экстренно направить состав на запасные пути в безопасное место для немедленного контроля ОГ и состояния ПС).

6. При уровне ПО μ_2 – формирование и выдача информации предупреждения в локальные пункты управления грузовыми железнодорожными перевозками РЖД. При уровне ПО μ_3 – формирование и выдача информации предупреждения в локальные пункты управления грузовыми железнодорожными перевозками РЖД и в территориальные подразделения РСЧС МЧС.

Технико-экономический анализ эффективности практического применения основных компонентов АСУ СПОЖДПОГ показал, что использование предложенного методического аппарата позволяет полностью отказаться от пунктов ручного контроля пожароопасного состояния ОГ. Более чем на 80% исключить ошибки, связанные с человеческим фактором. В 3,5 – 4 раза (в зависимости от количества вагонов с ОГ в составе поезда) сократить длительность простоев и связанные с ними задержки доставки грузов потребителю. А также снизить вероятность реализации пожароопасной ситуации при железнодорожной транспортировке ОГ в зоне критически важных объектов в среднем на 18 – 22% за счет комплексного учета негативных факторов ОГ, ПС,

ВС и выбора рационального сценария противопожарных мероприятий (рисунок 2.13).

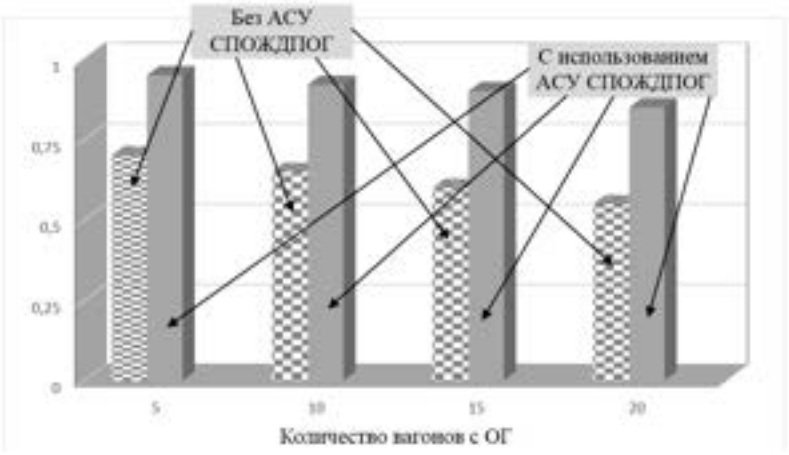


Рисунок 2.13 – Вероятность выбора сценария гарантированного предотвращения пожара

Разработанная АСУ СПОЖДПОГ в целом и входящая в ее состав подсистема поддержки принятия решений позволяют оперативно и с приемлемой достоверностью распознавать и классифицировать ситуации, характеризующие уровень ПО при железнодорожных перевозках ОГ с целью выбора рационального сценария мероприятий по обеспечению снижения ПО и гарантированного предотвращения пожара. Предложенная концепция построения автоматизированной системы управления снижением ПО может быть успешно реализована не только на железнодорожном транспорте, но и на других производственных объектах с обращением легковоспламеняющихся веществ и материалов.

Наиболее оптимальными точками мониторинга параметров являются подъезды к критически важным и значимым объектам инфраструктуры – перед въездами в туннели, подъезды к мостам, транспортным узлам и сортировочным станциям.

Система и реализованная на ее основе модель для диагностики и прогнозирования уровня пожарной опасности при перевозке опасных грузов позволяют проводить анализ степени влияния внутренних и внешних факторов,

представленных в нечеткой расплывчатой форме, на уровень пожарной опасности.

В большинство современных автоматизированных систем контроля пожарной безопасности входят датчики различного назначения, наиболее распространенные их них – тепловые датчики. Внедрение систем пожарной автоматики упрощает процесс мониторинга пожарной безопасности объекта.

На сегодняшний день большинство объектов защиты обладает автоматизированными системами управления пожарной безопасностью. При проектировании таких систем используется компьютерное моделирование. В основе автоматизации обеспечения пожарной безопасности лежат технологии, позволяющие собирать статистику о пожарах, анализировать и предлагать решения для предотвращения повторных инцидентов.

Наиболее эффективно объединение программно-аппаратных комплексов в единую автоматизированную систему мониторинга для обеспечения пожарной безопасности.

Для обнаружения места возгорания в качестве идентифицирующего устройства используются телевизионные камеры и другие автоматизированные системы.

Большинство автоматизированных систем управления пожарной безопасностью содержат только датчики, реагирующие на критические параметры окружающей среды. Для повышения эффективности работы системы необходимо идентифицировать признаки пожароопасного состояния до возникновения горения.

Выводы по главе 2

В ходе проведенных исследований установлено, что перевозка грузовым железнодорожным транспортом опасных грузов сопряжена с повышенными рисками пожаров и чрезвычайных ситуаций вследствие их возможного самовозгорания или взрыва.

Доказано, что особо опасным является повышение уровня пожарной опасности при следовании железнодорожных составов с ОГ по протяженным мостам, в туннелях, в пределах крупных сортировочных станций, населенных пунктов, хранилищ углеводородного сырья и топлива, радиоактивных и химически опасных веществ и материалов, опасных производственных объектов, крупных пассажирских транспортных узлов, особо охраняемых природных заповедников и т.п.

Обосновано, что причинами происхождения подобных пожаров могут стать физико-химические процессы, инициируемые случайными событиями как в самих ОГ, так и в результате воздействия на них негативных факторов со стороны ПС (нагрев, вибрация, искры, смещение груза и т.п.) или со стороны внешней среды (солнечная радиация, атмосферное давление, влажность, статическое электричество, сила ветра, грозовые разряды и т.п.).

Для предупреждения и своевременного предотвращения пожара до входа грузового железнодорожного состава в границы указанных районов и объектов необходимо установить пункты контроля и организовать контроль значений параметров опасных грузов, технических характеристик ПС и факторов внешней среды, в совокупности способных привести к возникновению чрезвычайной ситуации (крупному пожару или взрыву) [2-4].

Установлено, что система факторов, оказывающих влияние на повышение уровня пожарной опасности при перевозке опасных грузов, содержит взаимосвязанные частные показатели. Сложность решения задачи по агрегированию этих показателей для определения уровня пожарной опасности,

обусловлена нечеткостью исходных данных и неметрическим характером описания их влияния на уровень ПО.

Установлено, что целесообразно разрабатывать алгоритм для агрегирования и классификации уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов на основе сочетания неметрических методов многомерного шкалирования и нечеткой классификации.

На основе исходных данных по перевозке опасного груза (фосфора желтого) разработана модель многомерных размытых классификаторов, характеризующих степень влияния на уровень пожарной опасности параметров пожарной опасности транспортируемых грузов, технических характеристик ПС и параметров состояния внешней среды. Разработана модульная структурная схема многомерного размытого классификатора уровня пожарной опасности при перевозке ОГ железнодорожным транспортом, методика его построения и идентификации параметров

Разработана методика и практические рекомендации по осуществлению процедуры диагностики и прогнозирования УПООГ с помощью предложенной автоматизированной системы.

Глава 3. Анализ результативности практического применения методики снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов

3.1 Принципы построения структурно-функциональной схемы автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов

Одним из показателей эффективности систем пожарной безопасности является вероятность возникновения пожара. Этот показатель представлен и обоснован в 1991 г. в ГОСТ 12.1.004-91 «Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования». Объекты, подлежащие защите, оснащаются системами пожарной безопасности. Управление пожарной опасностью усложняется большим количеством вагонов, протяженностью железных дорог, разнообразием перевозимых грузов [5-8].

Согласно требованиям свода правил [92], для определения местоположения пожара на охраняемом объекте могут быть использованы идентифицирующие устройства: телевизионные камеры или другие технические средства, способствующие выявлению места возникновения пожара.

В процессе подготовки диссертации был проведен глубокий анализ методов и возможностей снижения пожарной опасности на железнодорожном транспорте при транспортировке опасных грузов. Установлено, что наиболее эффективными и экономически оправданными являются подходы, основанные на раннем выявлении признаков и условий, способствующих возникновению пожара [9-11]. При этом высокая скорость реагирования датчиков и надежность компонентов автоматизированных систем являются необходимыми, но недостаточными условиями для эффективного управления пожарной безопасностью в грузовых железнодорожных перевозках. Одной из ключевых характеристик любого датчика являются его чувствительность, инерционность и зона действия.

Чувствительность датчика определяется пороговым значением контролируемого параметра, при достижении которого он срабатывает.

Для выявления изменений параметров опасного груза, таких как температура, давление, влажность, а также концентрация газов и паров, необходимо регулировать чувствительность датчика. Это предполагает возможность дистанционной настройки параметров самого датчика (рисунок 3.1).

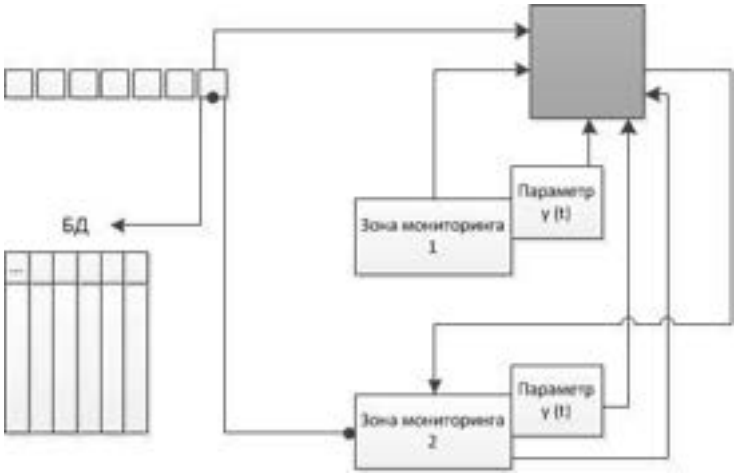


Рисунок 3.1 – Алгоритм манипулирования комбинированными датчиками

Низкие температуры самовоспламенения делают опасные жидкости еще более угрожающими, так как они могут воспламеняться от контакта с нагретыми до относительно невысоких температур поверхностями. Среди наиболее опасных жидкостей по параметрам самовоспламенения можно выделить сероуглерод, ацетальдегид и диэтиловый эфир. Пары этих веществ способны воспламеняться при взаимодействии с поверхностями, нагретыми всего до 160-300°С, что подчеркивает необходимость строгого соблюдения мер безопасности при работе с ними.

Например, при температуре окружающей среды 20°С в цистерне с этиловым спиртом концентрация паров в паровоздушном пространстве является взрывоопасной, т.к. температура 20°С лежит в диапазоне температурных пределов распространения пламени спирта. При тех же условиях в цистерне с ацетоном концентрация паров в паровоздушном пространстве не является

взрывоопасной, т.к. температура ацетона находится вне температурных пределов распространения пламени. Низкие температуры самовоспламенения усугубляют опасность ОГ, т.к. придают им способность воспламеняться от нагретых до невысоких температур различных тел или поверхностей. Сероуглерод, ацетальдегид, диэтиловый эфир являются наиболее опасными жидкостями по температуре самовоспламенения. Пары этих жидкостей способны воспламеняться от соприкосновения с телами, нагретыми до 160-300°С. Для обеспечения правильной работы устройств зондирования проводится последовательная настройка параметров датчиков на основе данных, получаемых с контрольных пунктов мониторинга. При достижении критических значений параметров опасных грузов в ЦОДПР ОП поступает тревожный сигнал. Система способна выявлять признаки пожароопасного состояния до возникновения горения.

Существует множество ресурсов и методов, направленных на снижение пожарной опасности, которые также можно применять в железнодорожных перевозках опасных грузов. Одним из ключевых направлений снижения риска возникновения пожара является мониторинг состояния перевозимых ОГ и ПС в процессе транспортировки. На сегодняшний день существуют системы мониторинга ПС, однако большинство из них предполагает контактную работу с грузом, что значительно замедляет процесс транспортировки и, соответственно, снижает экономическую эффективность перевозок. Такие системы используются чаще всего в вагонных участках, депо.

При повреждениях грузового вагона (цистерны), тлении некоторых грузов, мощность теплового потока от грузового вагона возрастает, что приводит к росту температуры груза или внешней поверхности вагона. Температура груза становится критической, нехарактерной для обычного состояния окружающей среды. Обнаружение критических температур позволяет обнаружить зарождающийся пожар, повреждения вагона или цистерны.

При продолжении движения состава состояние является критическим, если не принять меры – произойдёт возгорание. Критическим состоянием является уровень теплового потока, уровень температуры, при которых ещё возможно

принять решения, которые позволят не доводить контролируемый объект до фатального повреждения или пожара. Контроль температуры вагона или груза может предотвратить возможный пожар или взрыв, зная температуру на поверхности вещества в начальный момент и в определённый контролируемый момент времени, можно оценить ситуацию и предсказать, как будет развиваться потенциальный пожар, а также получить необходимые параметры для принятия мер по предотвращению дальнейших негативных последствий, включая снижение скорости, отправление грузового состава на запасные пути, его остановку и охлаждение силами и средствами пожарной охраны.

При возникновении пожарной ситуации именно тепло является первичным признаком пожара. Если известно, что поверхность грузового вагона достигла аномальной температуры, которая не соответствует нормальным условиям окружающей среды, то можно предпринять меры для устранения данной ситуации и предотвращения опасных последствий.

Одной из основных причин возникновения пожаров на железнодорожной инфраструктуре является отсутствие комплексных систем и технологий для раннего обнаружения огня. В настоящее время широко используются простые в обслуживании технологии и устройства, которые в основном работают как детекторы пламени, дыма или тепла, срабатывающие уже после того, как пожар успел развиться и распространиться. Тепловизионный индикатор критических состояний обеспечивает непрерывный автоматический мониторинг проходящего в зоне контроля подвижного состава. Этот прибор относится к категории индикаторов, что упрощает его использование. Тепловизионные устройства позволяют бесконтактно измерять поверхностную температуру объектов, что дает возможность контролировать скрытые процессы внутри грузового вагона (или цистерны), учитывая при этом параметры внешней среды. Поскольку ни один оператор не может постоянно следить за тепловизионной картиной (термограммой), прибор автоматически получает и анализирует термограмму с заданным интервалом, учитывая скорость движения состава. При выявлении

признаков критического состояния прибор отправляет тревожный сигнал дежурному оператору в Центр обработки данных и управления в ЦОДПР ОП.

При настройке прибора задается необходимое количество зон (грузовых вагонов), и их контуры обозначаются на термограмме в сервисной программе. Для каждой зоны можно установить индивидуальный порог критической температуры. Прибор анализирует температуры в диапазоне от 50 до 200°С для выявления критических состояний. Поскольку тревожный сигнал формируется автоматически, тепловизионный индикатор критических состояний должен иметь очень низкую частоту ложных срабатываний.

Важно отметить, что тепловизионный индикатор не имеет метрологических параметров точности измерения температуры и не подлежит поверке в течение всего срока эксплуатации. Беспроводной канал для обмена информацией используется редко, в основном при настройке или считывании тревожной термограммы из памяти устройства. Таким образом, контроль параметров пожарной безопасности осуществляется в автоматическом режиме без участия человека (рисунок 3.2). Беспроводная связь также исключает необходимость прокладки кабеля. Имеется возможность получить фиксированный кадр, из памяти прибора, запечатленный при тревоге, для того, чтобы увидеть, что послужило причиной тревоги и проанализировать степень опасности. В фиксированном кадре термограммы отмечается контур зоны, в которой было выделено критическое состояние.

Рисунок 3.2 – Условное деление тепловизионных систем

Из современных систем пожарной безопасности можно выделить также ИК-тепловидение, зарекомендовавшее себя как средство сверхраннего обнаружения пожара или перегрева. Впервые инфракрасное излучение было зарегистрировано английским астрономом Гершелем в 1800 году. В XX веке применение инфракрасного излучения в качестве метода исследования получило прочную научную основу благодаря ключевым работам таких ученых, как Планк, Эйнштейн, Кирхгоф, Ламберт, Голицин и Вин. В настоящее время тепловизоры стали доступными устройствами благодаря разработке электронных матричных систем и неохлаждаемых болометрических матриц, а также улучшению их метрологических характеристик. Инфракрасные технологии позволяют выявлять возгорания при температурах, которые ниже температуры воспламенения. Схема тепловизора представлена на рисунке 3.3.

Рисунок 3.3 – Схема тепловизора

Технология аспирационного обнаружения дыма получила широкое применение в различных сферах. При транспортировке опасных грузов она позволяет отбирать пробы воздуха из зоны мониторинга (например, во время проезда грузового состава) и анализировать содержание частиц дыма. Такие системы обладают высоким уровнем защиты от ложных срабатываний, быстрым временем анализа и низкими затратами на обслуживание.

Кроме определения критической температуры, для комплексной оценки пожарной опасности также необходимо применять методы бесконтактного

дистанционного обнаружения и идентификации. Это позволяет своевременно фиксировать утечки опасных веществ из грузовых вагонов, что критично для предотвращения дальнейшего самовозгорания и возможных взрывов.

Обзор научно-технической информации о существующих методах внелабораторного бесконтактного дистанционного обнаружения и идентификации различных типов опасных веществ показал как их преимущества, так и недостатки [52,61,62]. В таблице А1 (Приложение А) приведено сравнение наиболее распространенных из них.

Лидарные системы, использующие метод дифференциального поглощения, могут эффективно применяться для обнаружения токсичных аэрозолей, возникающих в результате утечек из грузовых вагонов. Ведущие исследователи изучают перспективы расширения практического использования различных методов выявления опасных веществ, принимая во внимание как их преимущества, так и недостатки альтернативных подходов.

Идентификация аварийных ситуаций с опасным грузом на ПС происходит с помощью системы датчиков. На практике компания ОАО «РЖД» использует несколько автоматизированных систем для обнаружения негативных факторов со стороны ПС (нагрев, вибрация, смещение груза и т.п.). Мониторинг происходит в режиме реального времени с выведением на рабочее место диспетчера в комплексной программе ведения и анализа графика исполненного движения ГИД «Урал-ВНИИЖТ», включающей в себя такие модули как: СКАТ ДИ, АРМ ПТО, ЕСПП. Набор функций и система их отбора при настройке на конкретного пользователя, позволяют использовать систему, как в службе перевозок, так и в других службах и ведомствах. Факторы со стороны внешней среды (солнечная радиация, атмосферное давление, влажность, статическое электричество, сила ветра, грозовые разряды и т.п.) и самого груза не анализируются. А все перечисленные программы для обнаружения технических неисправностей расположены вдали друг от друга, на разных участках железной дороги, что не позволяет обеспечить допустимый уровень безопасного прохождения в районах размещения критически важных объектов. Предлагается расширить

функциональность системы ГИД «Урал-ВНИИЖТ» путем добавления количества выходных форм по оценке оперативной обстановки на дороге средствами предлагаемой системы. Внедрить дополнительный комплекс датчиков предлагается в систему подсистему ППРС (тепловизор, газоанализатор, камера и др.), благодаря этому у диспетчера (оператора грузоперевозок) появляется возможность в режиме реального времени отслеживать все параметры, влияющие на повышения уровня пожарной опасности железнодорожного состава, перевозящего опасные грузы. А добавление системы поддержки принятия решений позволит получать оперативную информацию обо всех пожароопасных ситуациях с выводом по аналогии с системой КТСМ тревожных сигналов «0/1/2/3» и поддержкой принятия решений в том или ином случае.

Система в целом работает под управлением оперативной системы Windows 95/98/NT/2000/XP. На файловом сервере может быть использована любая оперативная система. NETWARE (версии 4.1 и выше) рекомендуется разработчиками. Макет сканирующих ворот изображен на рисунке 3.4.

Рисунок 3.4 – Макет сканирующих ворот

Для осуществления предложенных решений предлагается использование RFID-меток, расположенных на грузовых вагонах (Приложение А, Рисунок А2). Оборудование является эффективным инструментом для создания систем

слежения за ПС с опасными грузами, в том числе, за их составными частями, например, колесными парами. Предлагается производить сканирование RFID-меток на ППК.

Первые автоматизированные системы коммерческого осмотра поездов и вагонов (АСКО ПВ) были разработаны в лаборатории автоматизации коммерческих операций ОАО «НИИАС» совместно со АО «Альфа-Прибор». Такие системы были внедрены впервые на железнодорожных станциях в 1995 году. Сегодня разработкой и поставкой автоматизированных систем, используемых в технологии работы с грузовым подвижным составом, занимается компания АО «Альфа-Прибор».

По результатам эксплуатации, а также по мере развития и совершенствования цифровой техники, постоянно ведется работа по расширению функциональных возможностей, повышению качества и надежности систем. Современные модификации систем АСКО ПВ, разработанные на сегодняшний день специалистами АО «Альфа-Прибор», значительно отличаются от своих первых образцов типами используемого оборудования, расширенным набором параметров, позволяющим максимально автоматизировать процесс коммерческого осмотра вагонов и грузов.

Информация о грузе и его характеристиках, включая пожароопасные свойства, хранится в электронном виде в вычислительном комплексе, расположенном у машиниста. Считывание данных осуществляется на пункте предварительного контроля и передается в ситуационный центр мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями. С основного контрольного пункта поступают данные о температуре, скорости ветра и давлении, которые также отправляются в ситуационный центр для дальнейшей обработки. Учитывая полученную информацию о состоянии окружающей среды, центр выдает команды для настройки датчиков.

Анализ показал, что наибольшая вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций связана с пожарами и взрывами при перевозке опасных грузов. Это объясняется тем, что недостаточно внимания уделяется обеспечению и контролю

пожарной безопасности, в частности, снижению пожарной опасности через мониторинг параметров груза, вагона и окружающей среды во время транспортировки опасных материалов.

Предлагается новый подход к организации мониторинга взрывопожарной опасности при перевозке ОГ. Он основан на интеллектуализации систем мониторинга и использовании высокочувствительных быстродействующих комбинированных датчиков.

Ключевая особенность данного подхода заключается во внедрении комплексной системы мониторинга, которая контролирует пожарную опасность перевозимых грузов и позволяет дистанционно выявлять потенциальные угрозы возникновения пожара во время движения грузового состава. Структура и обобщенный алгоритм функционирования этой системы, а также ее взаимодействие с более высокоуровневыми информационно-управляющими подсистемами, представлены на рисунке 3.5.

Рисунок 3.5 – Структурная схема автоматизированной системы

1. Подсистема формирования, хранения и модификации локальной базы данных о параметрах ПС и пожарной опасности транспортируемых грузов с функционалом ввода информации о номере кода опасного груза, типе и идентификационном номере вагона загрузки, отправителе и получателе груза, маршруте следования груза накапливает информацию о параметрах вагона и груза в целях дальнейшего анализа и обработки. Каждый вагон с опасным грузом должен маркироваться с учетом вида и степени опасности груза. Таким образом, происходит формальная классификация опасного груза на три группы:

1) Взрывопожароопасность груза высокая.

2) Взрывопожароопасность груза средняя.

3) Взрывопожароопасность груза низкая.

Для присвоения шифра необходимо установить:

– виды опасности;

– класс опасности груза;

– категорию дополнительного вида опасности;

– группу степени опасности груза.

2. Подсистема хранения и модификации информации о номере кода опасного груза и идентификационном номере вагона загрузки, отправителе и получателе груза, маршруте следования груза позволяет работать с логистической информацией для уточнения наличия запасных путей по маршруту следования в случае возможных ЧС, а также критически важных и значимых объектах на пути следования грузового состава.

Определяется степень опасности влияния внешней среды с учетом кода груза и типа вагона, при этом учитывается наружная температура воздуха, влажность, давление, скорость и направление ветра (попутный, встречный левый боковой, правый боковой):

1) Опасность влияния среды высокая (с учетом кода груза и типа вагона).

2) Опасность влияния среды средняя (с учетом кода груза и типа вагона).

3) Опасность влияния среды низкая (с учетом кода груза и типа вагона).

С помощью подсистемы кодирования и передачи информации в центральный пункт обработки данных (ЦОДПР ОП) информация передается в локальные пункты управления грузовыми железнодорожными перевозками и в случае необходимости в территориальные подразделения МЧС России (при поступлении предупреждающего тревожного сигнала).

Подсистема формирования исходной информации о параметрах состояния ПС с опасным грузом (идентификационный номер и код типа вагона, скорость движения, полная масса вагона с грузом, признак смещения центровки груза, значение уровня температуры узлов ходовой части ПС, уровень вибрации ПС) и внешней среды (наружная температура воздуха, влажность, давление, скорость и направление ветра (попутный, встречный левый боковой, правый боковой)) позволяет определить степень влияния технических параметров ПС на пожарной опасности.

Предлагаемая автоматизированная система управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов (АСУ СПОЖДПОГ) предназначена для контроля ПС, регистрации технического состояния (автоматизированного выявления отказов и предотказных состояний) устройств железнодорожной автоматики и телемеханики, а также идентификации груза, предоставления информации о его характеристиках (рисунок 3.6). АСУ СПОЖДПОГ собирает, обрабатывает, хранит и отображает информацию о состоянии ПС в режиме реального времени. Информация передается в автоматическом режиме при смене локомотива, а также выдается на автоматизированные рабочие места оперативного персонала ситуационного центра мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями на базе ЦОДПР ОП в различной степени детализации в зависимости от уровня опасности для принятия решений о дальнейших действиях с грузовым составом. В приложении 2 Правил безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам приведены аварийные карточки на опасные грузы. Таким образом, в автоматическом режиме отбираются аварийные карточки перевозимых на конкретном грузовом составе

опасных веществ для дальнейшего оперативного реагирования на возможные пожары и проведения конкретных мероприятий по их локализации.

Разработанная концепция построения мониторинговой системы может быть успешно реализована не только на железнодорожном транспорте, но и на объектах хранения пожаро- и взрывоопасных веществ в морских портах, складах, при их транспортировке по трубопроводам и в других потенциально опасных местах, архитектура АСУ СПОЖДПОГ отображена на рисунке 3.6.

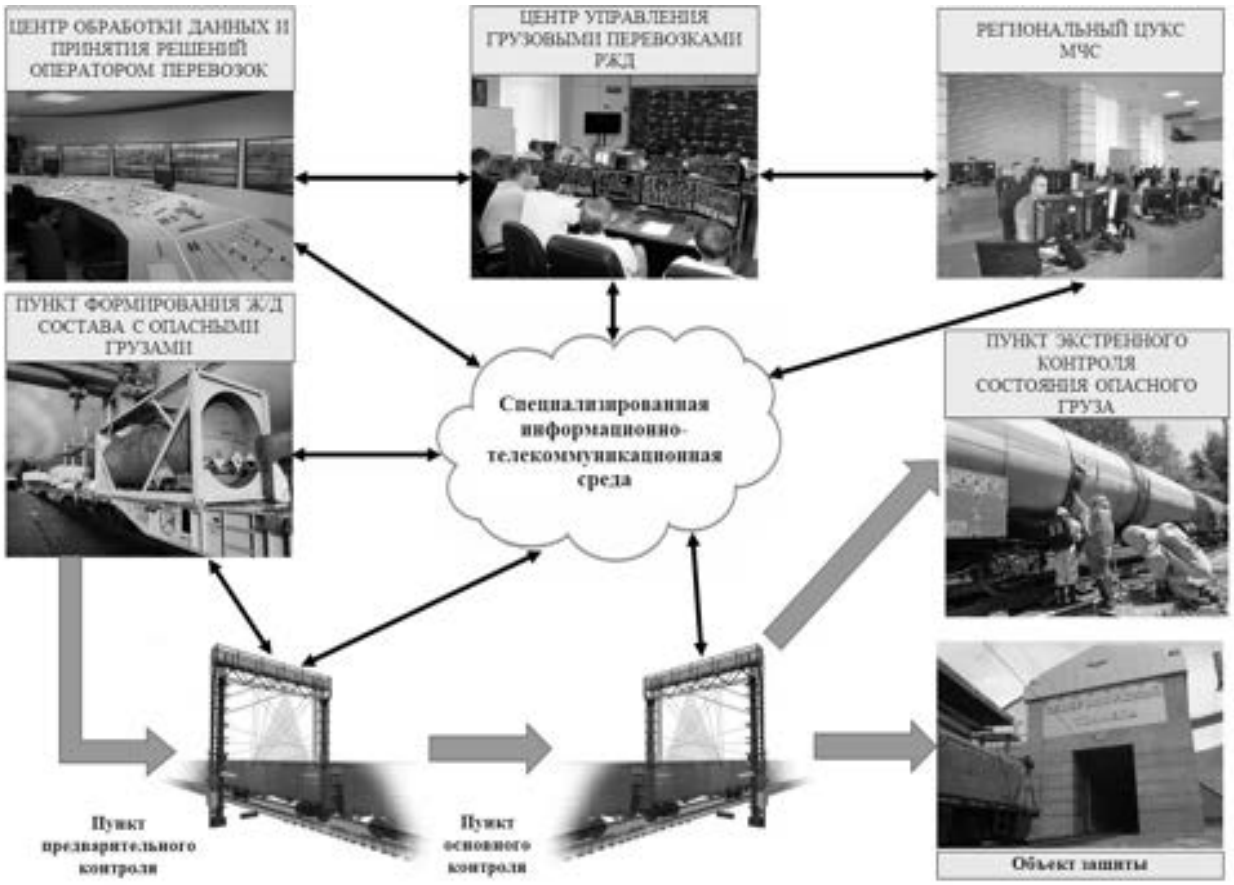


Рисунок 3.6 – Архитектура АСУ СПОЖДПОГ

Улучшение научно-методического обеспечения для снижения пожарной опасности при перевозке ОГ по железной дороге с использованием адаптивных технологий предотвращения пожаров; практическая реализация и внедрение предложенного комплекса обеспечат раннее выявление факторов, способствующих возникновению пожаров во время железнодорожных перевозок

ОГ, что, в свою очередь, значительно снизит риски для здоровья и жизни людей, а также уменьшит материальные потери.

С целью раннего выявления первичных признаков и факторов, способствующих возгоранию или взрыву ОГ, перевозимых железнодорожным транспортом, предлагается создать комплексную систему дистанционного мониторинга как параметров ПС, так и самих ОГ, при изменении которых до критических значений резко возрастает вероятность возникновения пожара. Разработанная мониторинговая система позволяет контролировать и оценивать опасные параметры удаленно, не останавливая грузовой состав, что исключает значительные временные потери в процессе транспортировки.

Предложенная концепция создания мониторинговой системы может быть эффективно применена не только в железнодорожном транспорте, но и на объектах хранения пожаро- и взрывоопасных веществ, таких как морские порты и склады, а также при транспортировке по трубопроводам и в других потенциально опасных зонах. Оценка пожарной опасности перевозки опасных грузов железнодорожным транспортом происходит в условиях постоянно меняющихся параметров, таких как: свойств пожарной опасности груза; опасности параметров ПС; опасности параметров внешней среды. Эта особенность диктует необходимость систематического измерения пожарной опасности для оперативного реагирования на его повышение и дальнейшие своевременные действия для его снижения.

Наиболее оптимальными точками мониторинга параметров являются подъезды к критически важным и значимым объектам инфраструктуры – перед въездами в туннели, подъезды к мостам, транспортным узлам и сортировочным станциям – в районах погрузки и выгрузки грузов, схождения магистралей, на подходах к крупным промышленным центрам, морским и речным портам, в местах выхода из добывающих бассейнов. Таким образом, сортировочные станции являются объектом повышенной опасности и на подъезде к ним целесообразно устанавливать точки мониторинга пожарной опасности. На

рисунке 3.7 представлены ключевые мероприятия, направленные на устранение аварийной ситуации с ОГ.

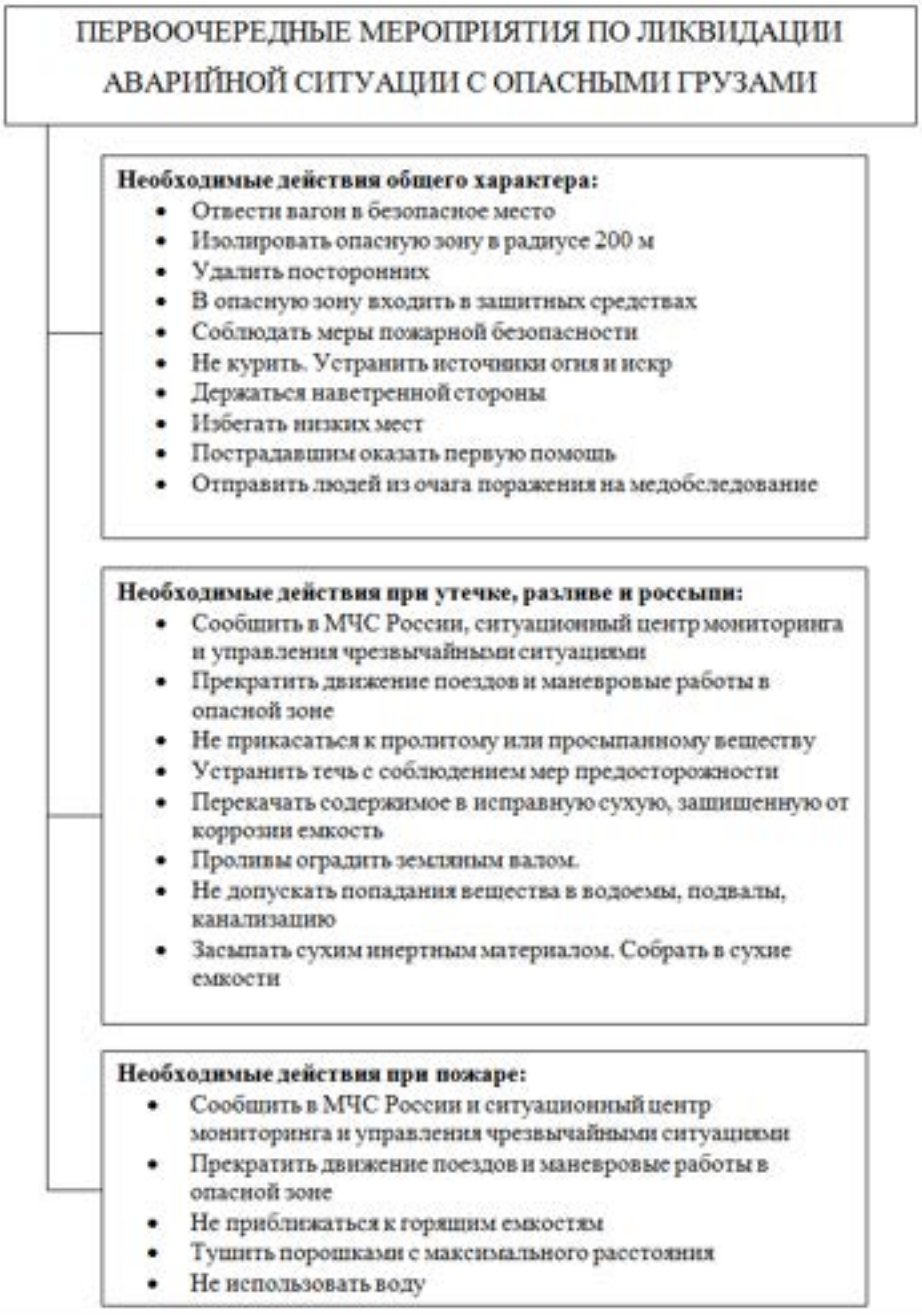


Рисунок 3.7 – Первоочередные мероприятия, направленные на устранение аварийной ситуации с ОГ

Разработанная АСУ СПОЖДПОГ представляет собой комплекс с открытой и масштабируемой модульной архитектурой. Это позволяет легко вносить изменения, добавлять новые и корректировать уже существующие модули.

Функционально завершенные процедуры обработки данных реализуются через модули, сгруппированные в подсистемы.

Ключевой элемент на этапе подготовки к функционированию комплекса – подсистема формирования и модификации иерархической структуры модели идентификации уровня пожарной опасности транспортируемых опасных грузов, которая состоит из трех модулей (рисунок 3.8).

Рисунок 3.8 – Предназначение подсистемы формирования и модификации структуры модели идентификации уровня пожарной опасности

3.2 Рекомендации по применению автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов

Цель разработанной автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов заключается не в автоматизации процесса принятия решения машинистом и работниками ОАО «РЖД», МЧС России и т.д. в случае возникновения чрезвычайной ситуации, а в осуществлении кооперации, взаимодействия между системой и человеком в процессе принятия решений. Предлагаемая система поддерживает интуицию, уметь распознавать двусмысленность и неполноту информации, и иметь средства для их преодоления.

При возникновении пожара на перегоне машинист после оценки обстановки с помощью автоматизированной подсистемы ППР о возможности транспортировки ОГ и по согласованию с поездным диспетчером принимает решение следовать до ближайшей станции или остановить поезд на участке, благоприятном для подъезда пожарных автомобилей (у шоссейных дорог, переездов).

ПППР ТОГ выдаёт следующие команды машинисту, дежурному по станции, диспетчеру при возникновении пожара:

– сообщить в МЧС России наименования и количество груза в горящем и смежных с ним вагонах; принятые меры по отцепке и эвакуации соседних вагонов, обесточиванию контактной сети;

– подать заявку энергодиспетчеру о снятии напряжения в контактной сети;

– освободить до прибытия МЧС России и пожарного поезда не менее трех соседних путей с обеих сторон от очага пожара и вывести вагоны из опасной зоны на расстояние не менее 200 м.

Работники станции начинают тушение пожара с использованием первичных средств пожаротушения в соответствии с указаниями аварийной карточки. Они прокладывают рукавную линию от ближайших источников воды и, обеспечивая свою личную безопасность, используют распыленные струи воды для защиты сотрудников, занимающихся эвакуацией подвижного состава и опасных грузов. При возможности предотвращают растекание легковоспламеняющихся и горючих жидкостей. После получения информации о снятии напряжения заземляют контактную сеть на участках работы пожарных подразделений в максимально короткие сроки.

Ответственность за тушение пожара до прибытия МЧС России возлагается на начальника станции, его заместителя и дежурного по станции на станциях, а на машинистов (помощников) и бригады специалистов, сопровождающих опасные грузы, на перегонах.

При возникновении пожара на электрифицированных участках запрещается приближаться к проводам и другим элементам контактной сети и воздушных

линий на расстояние менее 2 м до снятия напряжения. Ликвидация пожара, включая использование пожарного поезда, на электрифицированном участке может осуществляться только после получения письменного разрешения от руководителя тушения пожара на снятие напряжения в контактной сети или получения соответствующего разрешения по имеющимся средствам связи.

Локомотивные бригады, а также специалисты грузоотправителя и грузополучателя должны быть обучены методам тушения пожара вблизи проводов контактной сети в соответствии с действующими нормами пожарной безопасности.

При возникновении признаков возгорания на перегоне посредством работы автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов незамедлительно подается команда на пункт дислокации поездного диспетчера, а также дежурным по ближайшим станциям, ограничивающим перегон. Схема подачи команд на рабочие места причастных работников при возникновении пожара представлена на рисунке 3.9.

Сообщение от автоматизированной ППРР ТОГ по снижению по пожарной опасности включает в себя описание характера ЧС, наименование груза, номер аварийной карточки, количество опасного груза в зоне ЧС.

После передачи сообщения о ЧС локомотивная бригада принимает меры, руководствуясь указаниями, выданными автоматизированной ППРР ТОГ по снижению пожарной опасности (в соответствии с данными аварийной карточки на конкретные опасные грузы).

При возникновении ЧС и подтверждении информации машинистом, дежурный по станции обязан уведомить начальника станции, поездного диспетчера и МЧС России. Затем он принимает меры, следуя указаниям, в соответствии с аварийной карточкой.

Поездной диспетчер, получив сообщение о ЧС, незамедлительно информирует дежурного по отделению (управлению) железной дороги. В зависимости от ситуации он принимает решение о направлении восстановительных и пожарных поездов, а также других аварийно-

восстановительных подразделений. Кроме того, диспетчер регулирует движение поездов в районе происшествия, опираясь на данные из автоматизированной системы.

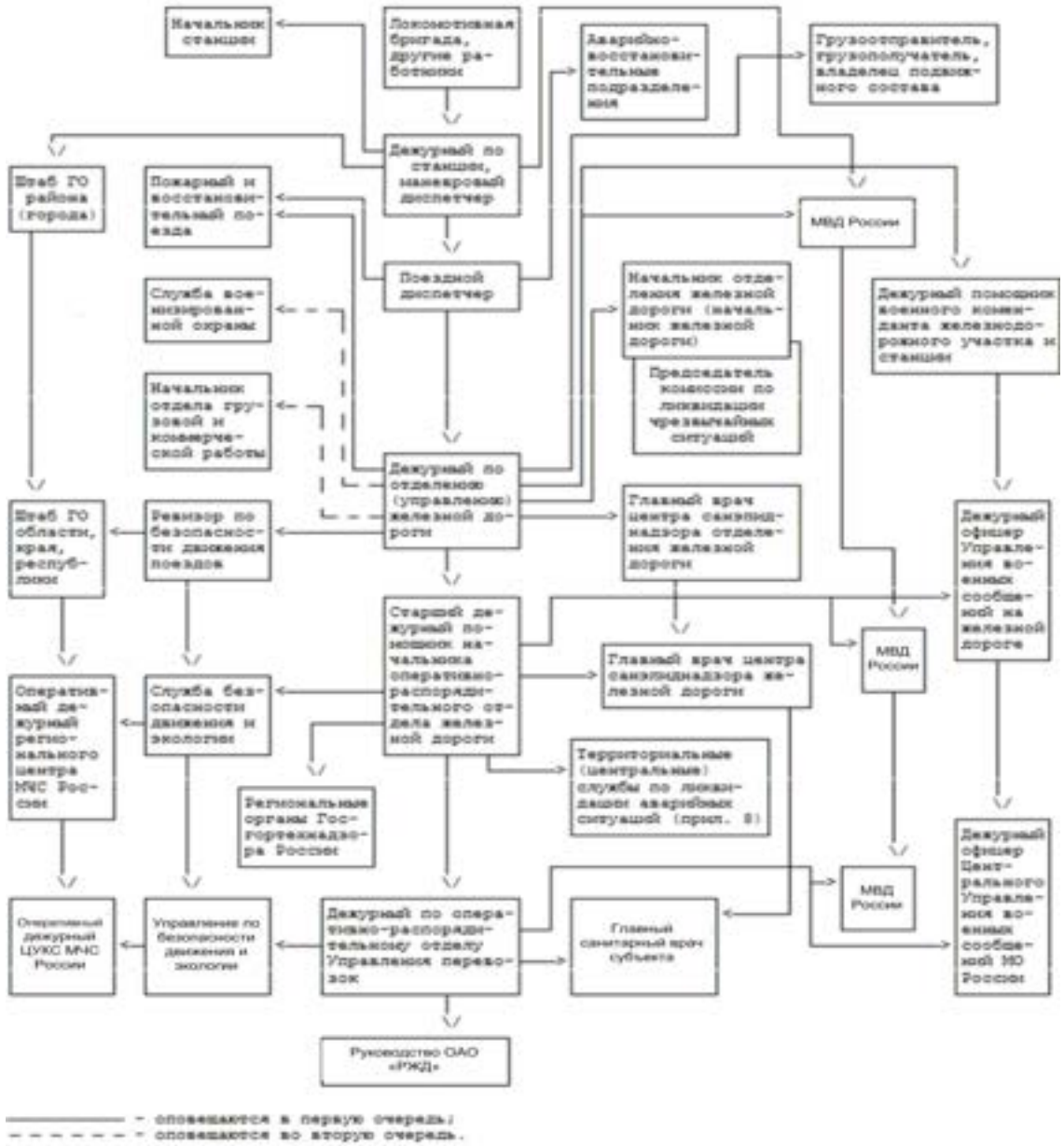


Рисунок 3.9 – Схема оповещения при возникновении пожара

Если в зоне ЧС находится значительное количество опасного груза, дежурный по отделению (управлению) железной дороги уведомляет местные органы власти, которые действуют в соответствии со статьей 11 Федерального закона «О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера».

В случае пожара, представляющего угрозу для населения или окружающей среды, начальник железной дороги совместно с представителями местных властей, территориальных служб МЧС России, здравоохранения, МВД России, а также специалистами промышленных предприятий и грузоотправителей (грузополучателей) должны оперативно провести комплекс необходимых мероприятий.

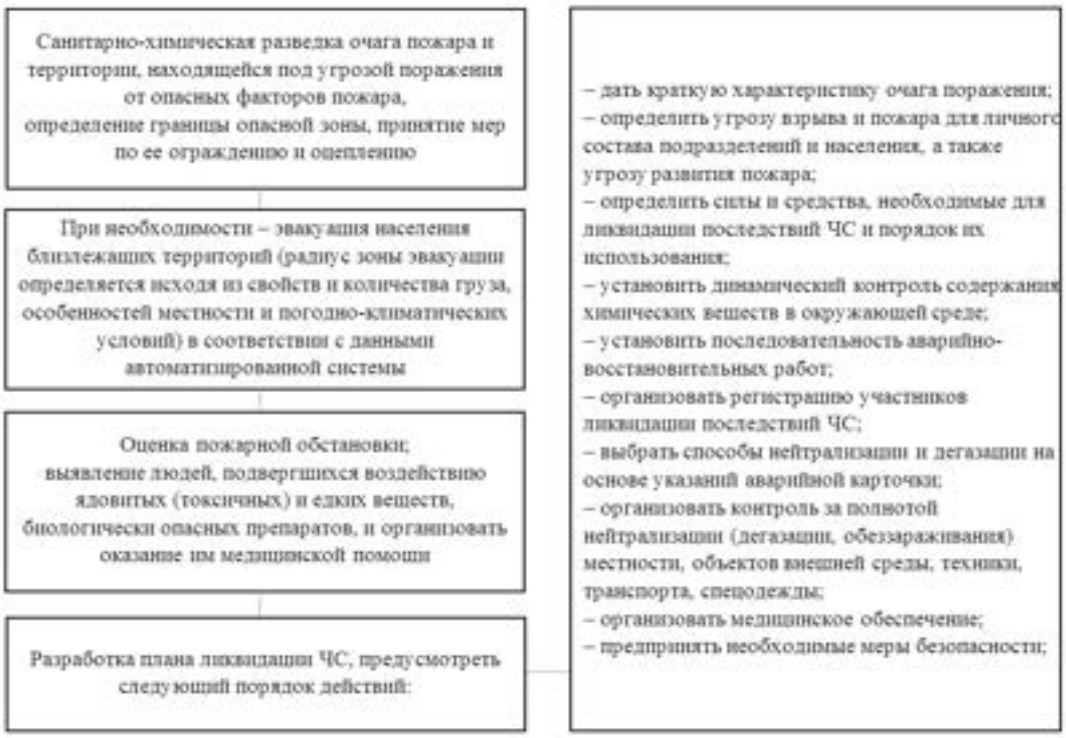


Рисунок 3.10 – Комплекс мероприятий при ликвидации ЧС

Сотрудники РЖД занимаются восстановлением сквозного движения, расчисткой завалов и подъемом ПС. В случае возникновения ЧС, аварийные бригады предприятий и подразделения МЧС России оцепляют зону, развертывают пункты управления и организуют связь между подразделениями для ликвидации последствий ЧС. На их плечи ложится нейтрализация ядовитых веществ, перекачка жидкостей, участие в тушении сложных пожаров и организация действий по ликвидации загрязнений местности и утилизации опасных грузов. Общее руководство безопасным ведением работ осуществляется руководителем работ по ликвидации последствий ЧС. Руководители

подразделений и работники «РЖД» несут ответственность за выполнение установленных ими мер безопасности.

Вагоны с опасными грузами должны быть перемещены в безопасное место на расстояние, указанное в аварийной карточке, но не менее 200 м от производственных и жилых строений, других вагонов с опасными грузами или на запасные пути.

При обнаружении утечки, просыпи опасного груза, необходимо действовать согласно аварийной карточке, действиям, рекомендованным АСУ СПОЖДПОГ.

Решение о возобновлении движения поездов через территорию, подвергшуюся загрязнению в результате ЧС, принимается руководителем работ после получения соответствующего заключения органов Санэпиднадзора.

Ликвидация последствий ЧС с опасными грузами считается законченной после завершения ликвидации заражения, подтвержденной санитарно-химическим заключением, и обеспечения безопасности движения поездов с составлением комиссионного акта.

3.3 Технико-экономический анализ эффективности внедрения автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов

Внедрение автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов имеет технические и экономические преимущества, в том числе:

– обеспечение поддержки принятия решения для операторов перевозок;

– повышение информативности перевозки ОГ за счет расширения набора автоматически измеряемых параметров;

– обеспечение своевременного и оперативного поиска причины нештатной ситуации при раннем обнаружении признаков пожара по сравнению со временем, затраченным персоналом на поиск;

– увеличение числа распознаваемых событий или отказов в автоматическом режиме;

– возможность индивидуальной настройки каждого устройства зондирования.

Математическое ожидание экономических потерь от пожара определяется следующим выражением:

$$M(П) = M(П_{нб}) + M(П_{ор}) + M(П_{по}) \text{ руб.год}^{-1}$$

где $M(П_{нб})$ – математическое ожидание потерь от пожара в части национального богатства;

$M(П_{ор})$ – математическое ожидание потерь на компенсацию последствий пожара;

$M(П_{по})$ – математическое ожидание потерь от простоя объекта.

$M(П_{нб})$ определяется по формуле:

$$M(Пнб) = Sп\ (Судмц\ Ry + Судмц\ Rп) \cdot Рпож \text{ руб. год}^{-1} \quad (3.1)$$

где Sп – площадь возможного пожара на объекте железнодорожной инфраструктуры.

Исходными данными для расчета вероятности возникновения пожара в железнодорожном составе, перевозящем ОГ, являлись статистические данные за 2012-2021 годы [47,76-83].

Поскольку интенсивность потока отказов практически постоянна и поток отказов является простым, вероятность возникновения пожара рассчитывается по формуле:

$$P_{пож}(t) = 1 - e^{-\lambda пож(t)t} \quad (3.2)$$

где t – время, учитываемое при оценке вероятности возникновения пожара, а $\lambda пож(t)$ – среднее значение параметра интенсивности пожаров за расчетный год [48; 60]:

$$P_{пож}(t) = 0{,}66$$

Материальные потери части национального богатства от пожара:

$$M(P_{пож})_{вар1} = 296679 \text{ год}^{-1}$$

$$\text{М}(P_{\text{пож}})_{\text{вар2}} = 555278\ \text{год}^{-1}$$

Математическое ожидание убытков, понесенных в результате перенаправления ресурсов на компенсацию последствий пожара:

$$\text{М}(\text{П}_{\text{ор}}) = S_{\text{п}}\left(\text{И}_{\text{уд}} + \text{Е}_{\text{н}}\left(\text{К}^{\text{з}}_{\text{уд}} + \text{К}^{\text{о}}_{\text{уд}}\right)\right)\lambda, \text{руб.}\,\text{год}^{-1} \quad (3.3)$$

где $\text{И}_{\text{уд}}$ – удельные издержки при в работах по восстановлению,

$\text{К}^{\text{з}}_{\text{уд}}$ – удельные единовременные вложения в здание (сооружение),

$\text{К}^{\text{о}}_{\text{уд}}$– удельные единовременные вложения в оборудование. Расчет материальных потерь:

$$\text{М}(\text{П}_{\text{ор}})_{\text{вар1}} = 374078\ \text{руб.}\,\text{год}^{-1}$$

$$\text{М}(\text{П}_{\text{ор}})_{\text{вар2}} = 882309\ \text{руб.}\,\text{год}^{-1}$$

Математическое ожидание потерь от простоя объекта:

$$\text{М}(\text{П}_{\text{ор}}) = \text{П}_{\text{пр}}\text{Т}_{\text{пр}}\lambda_{\text{пож}}\ \text{руб.}\,\text{год}^{-1}$$

где $\text{П}_{\text{пр}}$– время простоя объекта,

$\text{Т}_{\text{пр}}$– прибыль объекта.

Вводим коэффициент, учитывающий то, что оборудование не используется во время ремонта:

$$\text{М}(\text{П}_{\text{по}}) = \text{П}_{\text{пр}}\text{k}_{\text{пр}}\text{Т}_{\text{пр}}\lambda_{\text{пож}}\ \text{руб.}\,\text{год}^{-1} \quad (3.4)$$

где $\text{k}_{\text{пр}}$ – коэффициент, учитывающий долю оборудования, находящуюся в простое. Материальные потери от простоя:

$$\text{М}(\text{П}_{\text{по}})_{\text{вар1}} = 290675\ \text{руб.}\,\text{год}^{-1}$$

$$\text{М}(\text{П}_{\text{по}})_{\text{вар2}} = 559542\ \text{руб.}\,\text{год}^{-1}$$

Значения математических ожиданий экономических потерь от пожара:

$$\text{М}(\text{П}_{\text{по}})_{\text{вар1}} = 296679 + 374078 + 290675 = 961432\ \text{руб.}\,\text{год}^{-1}$$

$$\text{М}(\text{П}_{\text{по}})_{\text{вар2}} = 555278 + 882309 + 559542 = 1997129\ \text{руб.}\,\text{год}^{-1}$$

Определяем экономическую эффективность – она равна отношению математических ожиданий:

$$\text{Е} = \frac{\text{М}(\text{П}_{\text{по}})_{\text{вар2}}}{\text{М}(\text{П}_{\text{по}})_{\text{вар1}}} \quad (3.5)$$

Определим экономическую эффективность:

$$E = \frac{1997129}{961432} = 2{,}077$$

Критерием эффективности внедрения автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов является получаемый от ее реализации интегральный экономический эффект (И), учитывающий материальные потери от пожаров, а также капитальные вложения и затраты на выполнение мероприятия.

Если экономический эффект от внедрения автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов положителен, решение является эффективным и может рассматриваться вопрос о ее внедрении.

Таким образом, использование АСУ СПОЖДПОГ, которая автоматически передает информацию на пульт диспетчера о месте возгорания и типе ОГ, позволит уменьшить материальные потери от пожара в 2,077 раза, а также сократить время работы осмотрщика грузового состава с 4 минут до 2 минут.

Кроме того, экономический эффект от внедрения АСУ СПОЖДПОГ может быть достигнут на сетевом уровне благодаря снижению затрат на энергию и топливо для тяговых усилий локомотивов. Выгода будет заметна в вагонных и локомотивных депо за счет уменьшения расходов на техническое обслуживание и увеличения срока службы ПС.

Однако, в связи со сложностью и большим объемом работ по проектированию и внедрению системы эффект от использования вложенных инвестиций может быть получен только по истечении некоторого периода времени. На железнодорожном транспорте, по разным оценкам, автоматизированный системы различного назначения окупаются за 12 лет.

Полученные в многолетнем процессе железнодорожных перевозок опасных грузов статистические данные и экспертные оценки уровня влияния различных факторов на пожарную опасность перевозки различных грузов позволили, следуя

разработанной методике, создать ОВ и обработать их с помощью иерархически объединённых многомерных классификаторов.

3.4 Предложения на основе разработанной методики по выбору средств обнаружения признаков пожара, требования предъявляемые к ним

На сегодняшний день существуют технические средства и комплексы для повышения вероятности обнаружения пожара и его признаков, но, с учетом требований предъявляемых к данным системам относительно железнодорожных перевозок ОГ целесообразна их доработка. Далее приводятся примеры марок и моделей средств обнаружения признаков пожара наиболее подходящих для применения в рассматриваемой в работе ситуации.

Наблюдается тенденция к более рациональному использованию возможностей железнодорожного транспорта, что приводит к удлинению участков безостановочного следования поездов, увеличению скорости движения и нагрузок на ось. В связи с этим особое внимание необходимо уделять сбору информации о состоянии вагонных букс, особенно о греющихся буксовых подшипниках, их перегрев может вызвать возгорание ОГ и ПС. Хотя технические параметры отслеживаются, мониторинг метеоусловий и характеристик ОГ остается недостаточно проработанным. Таким образом, разработка и внедрение средств контроля ПС уже показали значительный технический и экономический эффект, что привело к снижению числа аварий на железнодорожном транспорте. Однако материальный ущерб от пожаров продолжает оставаться на высоком уровне.

Тепловизионный индикатор критических состояний «Снегирь» позволяет обнаруживать «ненормальные» температуры и предаварийную ситуацию. В зоне контроля моет обнаружить скрытый, зарождающийся пожар в зоне контроля. При уровне теплового потока, температуры, при которой еще возможно принять решения, предотвращающие пожар. Тепловизионные приборы позволяют

определить поверхностную температуру грузового вагона, перевозящего взрывопожароопасные вещества и материалы бесконтактным способом. Таким образом, происходит контроль процессов, происходящих внутри. Данный прибор с интервалом менее двух секунд автоматически получает и анализирует термограмму. При обнаружении признаков критического состояния перевозимого опасного груза и ПС прибор передает тревожный сигнал в ЦОДПР. Под признаком критического состояния понимается порог температуры для определенного вещества и материала, перевозимого железнодорожным транспортом. Он устанавливается при инсталляции прибора.

Для уменьшения частоты ложных срабатываний тревоги, используется специальный алгоритм – в термограмме на ППК выделяются пиксели с температурой не ниже установленного порога. На ПОК анализируется их поведение. Недостаток прибора – относительно низкая точность измерения при воздействии солнечной радиации, порывов ветра и перепадов температуры. Поэтому, в большинстве своем их используют в закрытых пространствах. Размеры контролируемой площади прибором показаны на рисунке 3.11.

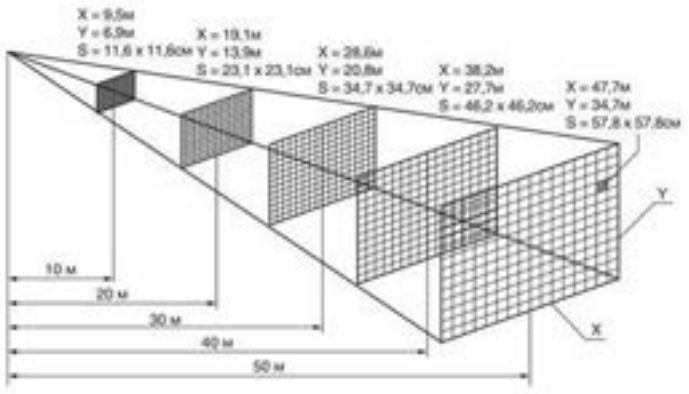


Рисунок 3.11 – Размеры контролируемой прибором площади

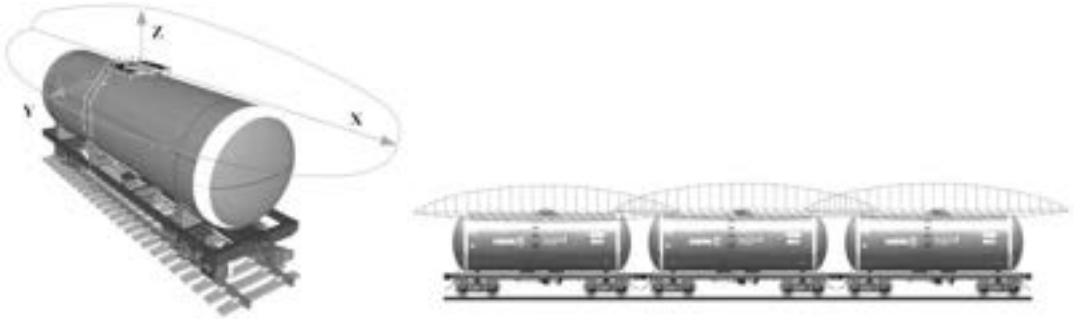
Газоанализатор «Сектор» – сигнализатор взрывоопасных газов, стационарный автоматический прибором непрерывного действия. Прибор для контроля довзрывоопасных концентраций газов и выдачи сигнала о превышении пороговых значений концентраций. Прибор является неотъемлемой частью

системы безопасности и мониторинга взрывопожароопасных ситуаций при железнодорожных перевозках опасных грузов. Значения предупредительного и аварийного порога срабатывания задаются для каждого опасного груза индивидуально (процент от НКПР). Прибор интегрируется в систему мониторинга.

Рассмотрим современный технический комплекс ЯУЗА-Ех. Он предназначен для защиты промышленных и взрывоопасных объектов. ИПД-Ех и ИПДЛ-Ех, включенные в его состав обеспечивают обнаружение возгораний, сопровождающихся появлением дыма. Инерционность срабатывания составляет не более 5 секунд.

Наиболее рациональным из существующих типов анемометров является ультразвуковой. Он в отличие от других видов позволяет определить не только скорость ветра, но и его направление, что крайне важно для анализа пожарной опасности перевозимых грузов. Анемометры ультразвуковые делятся на двухмерные, трехмерные и термоанемометры. Первые отличаются тем, что с их помощью можно определить не только величину скорости, но и направление потока ветра. Вторые – определяют времена прохода импульсов и затем по ним осуществляют пересчет компонент, отвечающих за направление ветра. Особенность термоанемометров заключается в возможности фиксировать также и температуру воздуха.

Рассмотрим газоаналитические системы. Их выбор связан с некоторыми трудностями – все они имеют преимущества и недостатки, и для оптимального выбора оборудования требуется учесть множество различных факторов и параметров, то есть данная задача является многокритериальной. Схематический вид размеров взрывоопасной зоны изображен на рисунке 3.12 и показывает, по какому принципу распространяется пожароопасная смесь над вагоном-цистерной для улавливания ее газоанализатором в целях обнаружения утечки и принятия дальнейших мер по предотвращению пожара.



а) б)

Рисунок 3.12 – Схематический вид: а) размеров взрывоопасной зоны;
б) перекрывания соседних взрывоопасных зон

В случае неблагоприятных метеорологический условий размер взрывоопасной зоны увеличивается.

Для решения задач, связанных с повышением пожарной безопасности грузовых поездов и одновременным снижением эксплуатационных затрат, необходимо внедрение эффективных цифровых систем для диагностики и мониторинга технического состояния ПС, основанных на современных технологиях. Сегодня многие развитые страны активно исследуют технологии мониторинга на железных дорогах, используя распределенные виртуальные акустические датчики на основе оптоволокна. В кабели передаются высокочастотные световые импульсы с последующей оценкой отраженных сигналов, кроме того, широкое применение находят системы оптического контроля параметров ПС. Общие принципы построения системы оптического контроля показаны на рисунке 3.13.

Измерительные модули системы размещены в корпусах, установленных с обеих сторон колеса на платформах, ниже уровня головки рельса. Между платформой и рельсом установлен демпфер, поглощающий при движении ПС удары и вибрации. Внешняя поверхность колеса освещается лазером, который проецирует множество лучей, охватывающих часть колесного центра, внешнюю поверхность обода, поверхность катания и гребень. Лучи направлены так, что

центральный луч пересекает обод колеса радиально. Отраженные лучи фиксируются фотоприемниками.

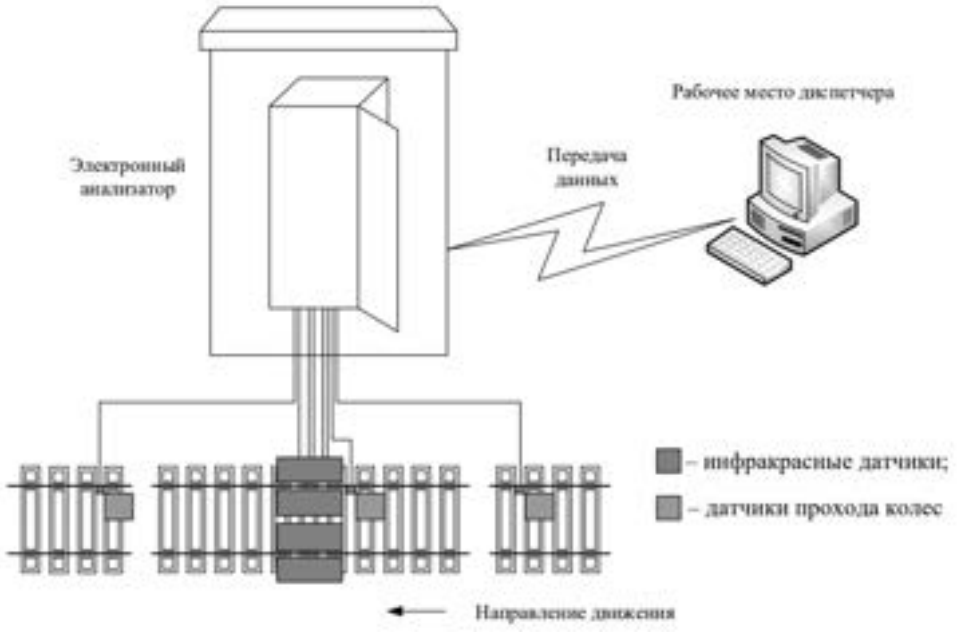


Рисунок 3.13 – Система оптического контроля параметров ПС

Начало измерительного цикла запускается сигналами от датчиков положения колеса, которые определяют его появление в зоне измерений. Система оптического контроля параметров колесных пар представлена на рисунке 3.14.

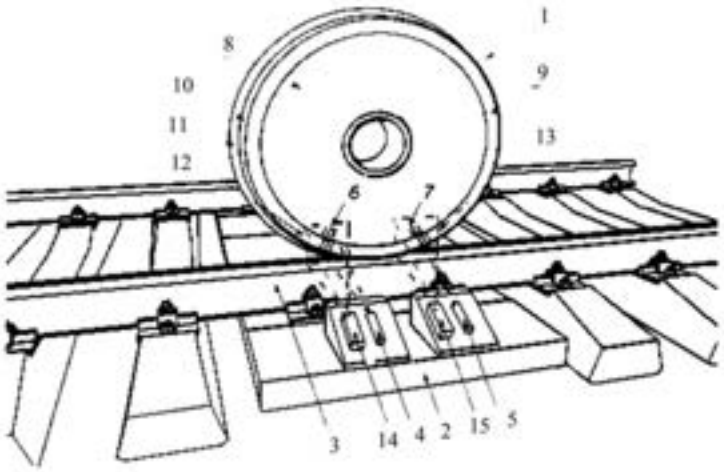


Рисунок 3.14 – Система оптического контроля параметров колесных пар:
1 – внешняя поверхность колеса; 2 – платформа; 3 – рельс; 4,5 – лазеры;
6,7 – набор лучей; 8 – часть колесного центра; 9 – внешняя поверхность обода;
10 – поверхность катания; 11 – гребень; 12,13 – граничные траектории лучей;
14,15 – фотоприемники

Сигналы, полученные с выходов фотоприемников, направляются на специализированное устройство, которое захватывает кадр и преобразует его в цифровой формат, данные поступают в процессор, где осуществляется окончательная обработка и расчет результатов параметров колеса.

Технологии мониторинга, использующие распределенные виртуальные акустические датчики на основе оптоволокна, могут применяться не только для измерения температуры, но и для определения других физических величин, таких как давление, ускорение, смещение и другие параметры, благодаря внедрению брэгговских решеток в датчик. Использование технических решений на базе волоконной брэговской решетки подтвердило целесообразность применения оптоволоконных технологий для мониторинга состояния технических систем ПС. Данная технология предполагает создание в оптоволокне с помощью лазерного источника сигналов периодической структуры, обладающей свойствами отражателя для импульсов определенной длины волны.

Созданная система контроля передает всю информацию через общий межсетевой интерфейс в унифицированном формате сообщений. Интеграция отдельных систем контроля осуществляется не через базовое оборудование, а на информационном уровне, при соблюдении стандартных интерфейсов и единого протокола сообщений. При выполнении этих требований комплекс контрольных устройств остается открытым для добавления приборов от любых разработчиков и производителей.

Возможны случаи, когда пожар возникает путем вспышки открытого пламени с последующим распространением его по поверхности перевозимого ОГ и ПС по ходу движения за счет воздействия ветра. В этих условиях целесообразно применять датчики пламени.

Кроме температуры, которая может быть обнаружена тепловыми датчиками, информационными параметрами загорания, связанными с температурой, является скорость роста температуры и ее флуктации, возникающая в силу турбулентного течения газов.

Скорость нарастания температуры может быть обнаружена дифференциальными тепловыми датчиками. Флуктации температуры являются информационными параметрами загорания для фотолучевых устройств обнаружения.

Кроме тепловых информационных параметров загорания существенным признаком загорания является возникновение заряженных частиц, переносимых газовым потоком, это можно обнаружить ионизационными устройствами.

Существенным признаком загорания является выделение газообразных продуктов горения и твердых частиц (дым). Газообразные продукты горения выявляются с помощью газоанализаторов, включая оптические приборы, которые функционируют на основе селективного поглощения излучения различными газами. Твердые частицы, в свою очередь, обнаруживаются оптическими методами, основанными на затухании и рассеянии света, проходящего через задымленную среду. Дым, образующийся при горении ОГ, перемешиваясь с воздухом, образует аэрозоль-взвесь в газе жидких и твердых частиц. Наиболее приемлемы для обнаружения аэрозолей оптические методы, они регистрируют рассеяние излучения в задымленной среде. Широкое применение такая регистрация нашла в точеных дымовых датчиках.

Анализ каталога научных разработок сотрудников Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I выявил возможность интеграции некоторых изобретений с создаваемой системой. Для решения задачи по выбору средств обнаружения пожароопасных признаков были отобраны приведенные далее изобретения.

Применение инфракрасного спектрометра способствует решению ряда задач, связанных с перевозкой ОГ железнодорожным транспортом. Например, контроль состава выхлопных газов локомотивов и выявление утечек газов и нефтепродуктов, перевозимых по железной дороге. Инфракрасный спектрометр ИК-11 автоматизирован на базе ЭВМ, что позволяет фиксировать спектры пропускания в заданных диапазонах длин волн и режимах. В инфракрасной

области спектра от 2 до 15 мкм расположены полосы валентных колебаний практически всех газов.

В рамках решения практических задач раннего обнаружения загораний при перевозках ОГ для обоснования я выбора и оптимального размещения датчиков в системе мониторинга необходимо принять во внимание наиболее характерное развитие загораний с учетом характеристик перевозимых опасных грузов и реакцию датчиков на загорание с учетом его развития, технических характеристик датчиков, их взаимного расположения.

Лучевые устройства обладают одинаковой динамической и статической чувствительностью, порог их срабатывания по оптической плотности не зависит от динамики дымонакопления, следовательно, и от динамики развития загорания. Повышение их чувствительности хоть и позволит обнаружить загорание на более ранней стадии, но приведет к ухудшению помехоустойчивости и увеличению вероятности появления ложных сигналов. Поэтому представляет практический интерес повышение динамической чувствительности устройства при сохранении статической чувствительности. Можно понизить порог срабатывания в течение небольшого интервала времени до такого уровня, чтобы среднее время выдачи ложного сигнала тревоги при новом уровне порога было существенно больше длительности выбранного интервала. Если при этом интервал времени совпадает со временем развития загорания, то повышение эффективности обнаружения очага горения не приведет к ухудшению помехоустойчивости устройства.

Таким образом, для повышения эффективности обнаружения загорания достаточно понизить порог срабатывания устройства при появлении загорания, что эквивалентно повышению динамической чувствительности устройства обнаружения при сохранении статической чувствительности.

Раннее выявление источника возгорания играет ключевую роль в предотвращении значительных материальных потерь. Чтобы обосновать выбор оптимальных проектных решений, необходимо разработать критерии оптимизации обнаружения, различные для разных условий.

Разработанные требования для АСУ СПОЖДПОГ включают в себя ряд основных и специальных требований:

– передача данных между компонентами разработанной системы должна преимущественно осуществляться через защищенные беспроводные каналы связи;

– система должна обладать функцией автоматической передачи сигналов от пунктов контроля дежурному диспетчеру;

– должны быть предусмотрены резервные каналы для передачи информации;

– приборы для обнаружения опасных факторов пожара должны быть сертифицированы;

– система должна функционировать круглосуточно;

– мониторинг функционирования всех ее элементов должен проводиться с отображением их статуса в ЦОДПР в режиме реального времени.

Разработанные основные и специальные технико-эксплуатационные требования к АСУ СПОЖДПОГ можно оценить качественно. Однако для оптимального выбора системы недостаточно лишь качественной оценки; необходимо также провести количественную оценку. В связи с этим возникла необходимость создать комплексный критерий для оценки функционирования АСУ СПОЖДПОГ.

Для корректного выбора конкретного датчика из множества доступных на сегодняшний день следует использовать соответствующую методику. Эта методика включает анализ мнений экспертов, обладающих значительным опытом эксплуатации современных датчиков на различных объектах. Каждый датчик имеет свою уникальную совокупность характеристик. Практическое применение различных систем противопожарного назначения позволило выделить ключевые параметры, определяющие качество их работы. Организации, занимающиеся проектированием и производством таких систем, стремятся предложить потребителям продукты с высоким качеством изготовления, оперативностью уведомления о распространении огня и надежностью предоставляемой

информации. Однако, не всегда удается сразу определить, какая система будет наиболее подходящей для конкретных условий. Поэтому целесообразно использовать методику, основанную на выборе оптимальной системы противопожарного назначения с учетом единого комплексного критерия.

Анализ характеристик современных тепловых датчиков показывает, что все они обладают достаточно высоким пороговым уровнем, т.е. в месте их установки необходимо появление избыточной температуры порядка 20К для их срабатывания. Снижение этого уровня нецелесообразно из-за появления избыточных температур, создаваемых солнечной радиацией.

Критерий оптимального обнаружения загораний позволяет не только разместить датчики оптимально, но и выбрать тип датчиков, сравнив значения функций для каждого типа датчика. Для этого в процессе проведенных исследований, была проанализирована возможность применения некоторых положений методики Ф.И. Шаровара для вычисления величины f_{*0} для каждого типа датчика:

$$f_{*0} = (Q^{1/2}{}_{*опт} + \Delta t_*)^2 + \lambda_* r^2{}_{*опт} \qquad (3.6)$$

где Δt_* – тактический параметр, характеризующий время от момента срабатывания извещателя до момента локализации очага горения, с;

$r_{*опт}$ – радиальное расстояние от оси пламени центра очага горения до извещателя, м;

λ_* – удельная скорость выгорания, кг/(м^{2}с)

$Q_{*опт}$ – теплота сгорания, кДж/кг$^{-1}$.

Сравнив полученные значения $f_{*0,}$ выбираем тип извещателей, у которых соответствующая им f_{*0} наименьшая.

На сегодняшний день констатируются недостатки анализируемых систем и их способностей предотвратить пожар с заданными характеристиками и параметрами работы устройств. Приборы не позволяют достичь определенной точности, оперативности обнаружения. Возможности устройств значительно зависят от количества встроенных каналов, предназначенных для измерения соответствующих параметров, их может быть от одного до нескольких.

Выводы по главе 3

Разработана структурно-функциональная схема автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов, позволяющая в случае возникновения чрезвычайной ситуации осуществлять взаимодействие между системой и человеком в процессе принятия решений.

Раннее обнаружение очага возгорания на ранней стадии его развития и выдача тревожного предупредительного сигнала обеспечивает предотвращение образования пожара и причинение ущерба. Для этих целей существуют технические средства, входящие в состав комплексной системы мониторинга.

Внедрение автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов имеет технические и экономические преимущества, в том числе:

– обеспечение поддержки принятия решения для операторов перевозок;

– повышение информативности перевозки ОГ за счет расширения набора автоматически измеряемых параметров;

– обеспечение своевременного и оперативного поиска причины нештатной ситуации при раннем обнаружении признаков пожара по сравнению со временем, затраченным персоналом на поиск;

– увеличение числа распознаваемых событий или отказов в автоматическом режиме;

– возможность индивидуальной настройки каждого устройства зондирования.

На сегодняшний день существуют технические средства и комплексы для повышения вероятности обнаружения пожара и его признаков, но, с учетом требований предъявляемых к данным системам относительно железнодорожных перевозок опасных грузов целесообразна их доработка.

Проанализированы марки и модели средств обнаружения признаков пожара наиболее подходящих для применения в рассматриваемой области. Основной недостаток сегодняшнего проектирования систем пожаропредупредительной сигнализации состоит в том, что проектировщик не учитывает при выборе типа пожарных извещателей физико-химические характеристики опасных грузов, ОГ перевозимые в конкретном грузовом вагоне, способные на той или иной стадии горения выделять тепло, образуя конвективное движение нагретого воздуха или излучения открытого пламени. Не учитывают характеристики ПС, параметры внешней среды, влияющие на состояние груза и его пожарную опасность.

Разработанная система мониторинга и рекомендации по применению автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках ОГ создана в соответствии с актуальными правовыми нормами и правилами, регулирующими перевозку опасных веществ и материалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного анализа статистических данных были выявлены основные причины пожаров на грузовом ПС: самовозгорание груза, неосторожное обращение с огнем, искры от тепловозов и линий отвода и др. Разнообразие перевозимых грузов и обновление вагонного парка диктует необходимость адаптировать систему обеспечения пожарной безопасности к любому грузовому составу, перевозящему ОГ.

Главными недостатками современных систем мониторинга являются:

– отсутствие подсистем, поддерживающих процесс принятия решений;

– низкий уровень полноты и глубины диагностики;

– недостаток интеллектуальной обработки собранных данных или отсутствие соответствующего программного обеспечения;

– значительный объем информации, передаваемой по коммуникационным каналам.

Анализ исследований и разработок в области диагностики и мониторинга показал наличие множества видов измерительного оборудования и активное развитие беспроводных технологий, а также интеграцию современных решений по обработке и хранению данных мониторинга и диагностики. В некоторых системах диагностика и мониторинг выполняют роль встроенных функций, тогда как в других они представлены в виде дополнительной системной надстройки. Однако, системам, комплексно оценивающим пожарную опасность, уделено недостаточно внимания, системы иностранного производства имеют ряд недостатков и не могут в полном объеме удовлетворить требования, предъявляемые к комплексной системе мониторинга, кроме того, отсутствует отечественная система мониторинга пожарной опасности. С учетом вышеизложенного была разработана модель для оценивания и прогнозирования уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов.

Раннее обнаружение очага возгорания на ранней стадии его развития и выдача тревожного предупредительного сигнала обеспечивает во многих случаях принять необходимые меры по предотвращению образования пожара, причиняющего ущерб.

В результате решения поставленной научной задачи по совершенствованию научно-методического аппарата для снижения ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов на основе комплексного учета возможного негативного влияния параметров ОГ, ПС и ВС при высокой динамике их изменения были получены следующие теоретические и практические результаты:

1. Проведен комплексный анализ современных условий организации железнодорожных перевозок ОГ. Показано, что в современных условиях наблюдается рост объективного противоречия между реальным и требуемым уровнем ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов, что может привести к крайне тяжелым последствиям.

2. Выбраны и обоснованы показатель уровня и критерии ПО перевозимых ОГ. Обосновано, что в качестве меры возможности реализации ПО целесообразно использовать величину ПР.

3. Проведен выбор и обоснование факторов, оказывающих существенное влияние на уровень ПО при железнодорожных перевозках ОГ. Показано, что перевозка железнодорожным транспортом ОГ сопряжена с повышением ПО вследствие их возможного самовозгорания или взрыва, причинами которых могут стать физико-химические процессы, инициируемые случайными событиями как в самих ОГ, так и в результате воздействия на них негативных факторов ПС и ВС.

4. На основе математического аппарата многомерной размытой классификации разработана модель и шкала для оценивания принадлежности уровня ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов к одному из классов:

μ_1 – уровень ПО низкий,

μ_2 – уровень ПО средний,

μ_3 – уровень ПО высокий.

Модель позволяет учитывать негативные факторы как самого ОГ, так и параметры ПС и ВС. Практическая реализация модели представлена в виде аппаратно-программного комплекса подсистемы поддержки принятия решений о возможности транспортировки легковоспламеняющихся веществ и материалов в зоне критически важных промышленных и государственных объектов. Адекватность разработанной модели была проверена путем тестового сравнения полученных результатов моделирования с эталонными требованиями к рискам, представленными в ГОСТ Р 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте [28] и положительными экспертными заключениями.

5. Разработана методика снижения ПО при железнодорожных перевозках на основе комплексного учета изменений негативных параметров легковоспламеняющихся веществ и материалов, ПС и ВС.

6. Разработана структурно-функциональная схема и алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы управления снижением ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов в зоне критически важных промышленных и государственных объектов.

Таким образом, поставленные в диссертационном исследовании задачи решены, цель работы достигнута. Разработанная методика позволяет снизить ПО при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов по территории или вблизи критически важных промышленных и государственных объектов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АСУ ПБ – автоматизированная система управления пожарной безопасностью;

АСУ СПОЖДПОГ – автоматизированная система управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов;

БД – база данных;

ВС – внешняя среда;

ГЖ – горючая жидкость;

ИК – инфракрасный;

ИП – интегральные показатели;

КРС – комбинационное рассеяние света;

ЛВЖ – легковоспламеняющаяся жидкость;

ЛПР – лицо, принимающее решение;

ЛРФ – линейная разделяющая функция;

МЧС – Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий;

ОВ – обучающая выборка;

ОГ – опасный груз;

ОФП – опасные факторы пожара;

ПО – пожарная опасность;

ПОК – пункт основного контроля;

ППК – пункт предварительного контроля;

ППРП ТОГ – подсистема поддержки принятия решений о возможности транспортировки опасного груза;

ПР – пожарный риск;

ПС – подвижной состав;

РФ – Российская Федерация;

СП – свод правил;

СУБД – система управления базой данных;

СУБМ – системы управления базой моделей;

УВПОГ – уровень взрывопожарной опасности груза;

УВХВС – уровень влияния характеристик внешней среды;

УВХПС – уровень влияния технических характеристик подвижного состава;

УПООГ – уровень пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов;

УФ – ультрафиолетовый;

ФГК – Федеральная грузовая компания;

ФЗ – Федеральный закон;

ЦБД – цифровая база данных;

ЦОДПР ОП – центр обработки данных и принятия решений оператора перевозок;

ЦПОД – центральный пункт обработки данных;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЭС – экспертные системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов, В.А. Методики оценки рисков чрезвычайных ситуаций и нормативы приемлемого риска чрезвычайных ситуаций (Руководство по оценке рисков чрезвычайных ситуаций техногенного характера, в том числе при эксплуатации критически важных объектов Российской Федерации) / В.А. Акимов, А.А. Быков, В.Ю. Востоков, и др. // Проблемы анализа риска. – 2005. – № 1. – С. 6–32.

2. Акимов, В.А. Методические рекомендации по определению количества, пострадавших при чрезвычайных ситуациях техногенного характера // В.А. Акимов, А.А. Быков, В.Ю. Востоков и др. // Проблемы анализа риска. – 2007. – №1. – С. 347–367.

3. Аксютин, В.П. Пожарная безопасность железнодорожного подвижного состава / В.П. Аксютин, Н.А. Шелудько, А.Г. Крылов, Ю.П. Никифорёнок // под ред. В.П. Аксютина, Н.А. Шелудько. - Москва : Трансинфо, 2016. – 453 с.: ил.; 29 см.. – Библиогр.: С. 433-444.

4. Актерский, Ю.Е. Повышение эффективности снижения рисков чрезвычайных ситуаций на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса / Ю.Е. Актерский, А.С. Смирнов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2022. – № 1. – С. 1-10.

5. Александров, Ю.С. Пожарная безопасность вагонов / Ю.С. Александров. – М.: Транспорт, 1988. – 53 с.

6. Алексеев, В.М. Техническая диагностика и автоконтроль работоспособности устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / В.М. Алексеев, И.Е. Дмитриенко – 1991. – №5. – С. 163-169.

7. Анализ состояния пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в 2019 году на основе ИАС МОПБ. – Москва, 2010–2019 гг.

8. Андросов, А.С. Бегишев, И.Р. Салеев, Е.П. Теория горения и взрыва: Учебное пособие. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2007. – 203 с.

9. Беликов, В.С., Вислогузов, В.В., Катцын, Д.В., Клюй, В.В., Малыгин, И.Г. Обеспечение пожарной безопасности на железнодорожном транспорте: учебное пособие / Под ред. В.С. Артамонова – СПб: Санкт–Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. – 100 с.

10. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем: учебное пособие / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 432 с.

11. Биргер, И.А. Техническая диагностика / И.А. Биргер – М.: Машиностроение, 1978, – 240 с.

12. Боровик, С.И. Особенности тушения пожаров и ликвидации аварий на железнодорожном транспорте: курс лекций / С.И. Боровик, М.Н. Боровик, Е.В. Демченков, Д.А. Резниченко // Министерство образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, Кафедра «Безопасность жизнедеятельности». – Челябинск: ЮУрГУ, 2017. – 121 с.

13. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. Основные понятия / Н.Н. Брушлинский – М.: 2004 ФГУ ВНИИПО МЧС России. – Выпуск 1, 2004. – 11 с.

14. Бурченков, В.В. Автоматизация контроля технического состояния подвижного состава : учебно-методическое пособие для курсового и дипломного проектирования по специальности «Неразрушающий контроль и техническая диагностика» / В.В. Бурченков; Министерство образования Республики Беларусь, Белорус. гос. университет транспорта. – Гомель : БелГУТ, 2008. – 254 с.

15. Ватлин, С.Н. Анализ обоснованности нечетких классификационных моделей управления в сложных технических системах / С.Н. Ватлин. – Минск: МРТИ, 1993. – 55 с.

16. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Издат. центр «Академия», 2005. – 573 с.

17. Гавкалюк, Б.В. Проблемы обеспечения пожарной безопасности при обращении с опасными грузами на железнодорожном транспорте / Б.В. Гавкалюк, В.И. Гуменюк // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского

университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2019. – № 4. – С. 43-47.

18. Гаркавенко, С.И. О диагностике неисправностей в непрерывных объектах / С.И. Гаркавенко, В.И. Сагунов // Автоматика и телемеханика. – 1976. – №9. – С. 177-185.

19. Глушко, В.П. Термодинамические свойства индивидуальных веществ / В.П. Глушко // Справочное издание: в 4–х т. – М.: Наука, 1978 – 400 с.

20. Гмурман, В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике: учебное пособие / В.Е. Гмурман. – 11–е изд., перераб. – М.: Высшее образование. – 2007. – 404 с.

21. ГОСТ 12.1.010-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования.

22. ГОСТ 12.1.004–91. Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования.

23. ГОСТ 12.1.044–89. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения.

24. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения.

25. ГОСТ 31538-2012. Цикл жизненный железнодорожного подвижного состава. Общие требования.

26. ГОСТ 33381-2015. Моторвагонный подвижной состав и вагоны пассажирские локомотивной тяги. Правила расчета и проверки времени эвакуации пассажиров.

27. ГОСТ 9238–2013. Габариты железнодорожного подвижного состава и приближения строений.

28. ГОСТ Р 33433-2015. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте.

29. ГОСТ Р 57478-2017. Грузы опасные. Классификация.

30. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011. Менеджмент риска. Методы оценки риска.

31. Грачев, Е.В. Методы оценки качества военной техники на множестве теории нечетких множеств / Е.В. Грачев, А.Ф. Ратников, А.Н. Степанов. – Л.:1987– С. 17-29.

32. Гриненко, А.В. Поиск отказов в устройствах СЦБ / А.В. Гриненко, В.Л. Лабецкий // Автоматика, связь, информатика. – 1990. – №12. – С. 25-28.

33. Гриненко, А.В., Автоматизированная обучающая система для дистанции сигнализации и связи / А.В. Гриненко, В.В. Нестеров, В.Л. Лабецкий // Автоматика, связь, информатика. –1990. – №12. – С. 25-28.

34. Демина, Н.В. Перевозка опасных грузов железнодорожным транспортом / Н.В. Демина. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2010. – С. 135-148.

35. Дубровин, А.А. Типизация деревьев событий при транспортировке железнодорожным транспортом опасных грузов / А.А. Дубровин // Проблемы анализа риска. – 2008. –№ 3. – С. 86-95.

36. Ефанов, Д.В. Интеграция систем непрерывного мониторинга и управления движением на железнодорожном транспорте // Транспорт Российской Федерации. – 2017. – №4. – С.62-65.

37. Ефанов, Д.В. Интеллектуальный транспорт: интеграция средств мониторинга и управления // Автоматика, связь, информатика. – 2019. – №7. – С. 40-41.

38. Ефанов, Д.В. Лыков, А.А. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие – СПб. : Петербургский государственный университет путей сообщения, 2012 – 59 с.

39. Ефанов, Д.В. Осадчий, Г.В., Хорошев, В.В. Применение оптических датчиков в системах управления движением поездов // Известия вузов. Приборостроение. – 2019. – Том 62. – №4. – С. 364-372.

40. Ефанов, Д.В. Особенности функционирования систем технического диагностирования и мониторинга объектов железнодорожной инфраструктуры // Автоматика на транспорте. – 2018. – Том 4. – №3. – С. 333-354.

41. Ефанов, Д.В. Функциональный контроль и мониторинг устройств железнодорожной автоматики и телемеханики: монография. – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – 171 с.

42. Ефанов, Д.В., Хорошев, В.В. Принципы совершенствования информационного обеспечения систем технического диагностирования и мониторинга / T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2019. – Т. 13, №5. – С. 41-48.

43. Журавлев, Д.Е. Математическая модель комплексной системы мониторинга пожарной безопасности / В.И. Зыков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – №2. – С. 44–48.

44. Журавлев, Д.Е. Система мониторинга и прогнозирования ЧС для обеспечения комплексной безопасности объектов МЧС России 112 / В.И. Зыков // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – №4.– С. 12–17.

45. Захматов, В.Д. Техника ударно-волнового тушения пожаров на взрывоопасных объектах Российских железных дорог, нефтегазовых и химических объектов Газпрома, Транснефти, Нефтепрома / В.Д. Захматов // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы VI Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 4-х частях, Москва, 01 марта 2022 года / Сост. В.С. Бутко, М.В. Алешков, С.В. Подкосов, А.Г. Заворотный. Том Часть III. – Москва: Академия ГПС МЧС России. – 2022. – С. 305-311.

46. Зыков, В.И. Организация пожарного мониторинга. Вопросы подключения системы передачи извещений [Текст] / В.И. Зыков // Каталог пожарной безопасности. – 2015. – С. 100 – 101.

47. Зычков, Э. А. Закономерности процессов эвакуации людей при пожаре подвижного состава в тоннеле метрополитена: диссертация кандидата технических наук: 05.26.03 Пожарная и промышленная безопасность (по отраслям). – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский филиал ВНИИПО МВД России, 1998. – С. 184 с.

48. Калач, А.В. Современные аспекты управления системой территориальной комплексной безопасности / А.В. Калач, Н.В. Мартинович, А.К. Черных // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2022. – № 1. – С. 84-94.

49. Киракосян, Р.С. Мультикритериальные и мультисенсорные пожарные извещатели / Р.С. Киракосян, П.В. Капустин, А.А. Легейда, Т.А. Буцынская // Академия Государственной противопожарной службы МЧС России (материалы V Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов). – 2017. – С. 130-132.

50. Классификатор нарушений требований пожарной безопасности на тепловозах и электровозах, утвержденный директором ОАО «РЖД» от 13 декабря 2016 г.

51. Клочкова, Е.А. Промышленная, пожарная и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте: Учебное пособие / Е.А. Клочкова – М.: УМЦ МПС России. – 2007. – С. 456.

52. Кожевин Д.Ф., Поляков А.С., Таранцев А.А., Каминский В.Ю. Пожарная безопасность транспортно-перегрузочных комплексов угля, сжиженных углеводородных газов и нефтепродуктов в морском порту // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 4-1(50). – С. 193-200.

53. Королева, Л. А. Прогнозирование при управлении пожарным риском на железнодорожном транспорте / Л. А. Королева // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2019. – № 4(52). – С. 123-128.

54. Королева, Л.А. Технология ликвидации разливов нефтепродуктов на железнодорожном транспорте в Арктической зоне / Л.А. Королева, Д.И. Морозов, Е.А. Захарова // Природные и техногенные риски (физико-математические и прикладные аспекты). – 2022. – № 4(44). – С. 20-25.

55. Королева, Л.А. Применение потенциала горючести и эксергетического показателя для оценки пожарной опасности грузов железнодорожного транспорта

/ Л.А. Королева, А.Г. Хайдаров, Г.К. Ивахнюк, Ю.Е. Актерский // Пожаровзрывобезопасность / Fire and Explosion Safety. 2021; 30(1). – С. 16-31.

56. Кошкаров, Р.В. Анализ возможных угроз при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом / Р.В. Кошкаров, Л.А. Королева // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020: материалы Юбилейной Международной научно–практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2020 года / Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. Том 1. – Санкт-Петербург: ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2020. – С. 244-249.

57. Кошкаров, Р.В. Анализ чрезвычайных ситуаций на объектах железнодорожного транспорта / Р.В. Кошкаров, Л.А. Королева // XXI век. Техносферная безопасность. – 2020. – Т. 5, № 4(20). – С. 374-383.

58. Крупенин, С.С. Развитие системы и организация работы по обеспечению пожарной безопасности на железнодорожном транспорте / С.С. Крупенин, К.Б. Кузнецов / Наука и техника транспорта. – 2004. – № 4. – С. 16–29.

59. Кушнир, А.М. Тенденции и особенности грузовых перевозок железнодорожным транспортом России в современных условиях / А.М. Кушнир // Транспортное дело России. – 2016. – № 5. – С. 45-49.

60. Леонтьева, М.С. Анализ комплексной проблемы и основных факторов пожарного риска при перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов железнодорожным транспортом / М.С. Леонтьева, Ю.Е. Актерский // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2022. – № 1(61). – С. 108-116.

61. Леонтьева, М.С. Аппаратно-программный комплекс предупреждения чрезвычайных ситуаций техногенного характера при железнодорожных перевозках опасных грузов / М.С. Леонтьева // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурса НИР): Материалы Молодежной программы 26-ой Международной специализированной выставки и Форума, Москва, 6–9 декабря 2022 года. – Москва: Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков средств индивидуальной защиты, 2023. – С. 53-56.

62. Леонтьева, М.С. Методика формирования сценариев и оценивания уровня опасных факторов пожара при железнодорожных перевозках опасных грузов / М.С. Леонтьева // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2022. – Т. 11. – № 4(60). – С. 193-199.

63. Леонтьева, М.С. Модуль оценивания огнестойкости несущих конструкций промышленных зданий в специализированных системах поддержки принятия решений / Ю.Е. Актерский, А.Е. Куприяшкин, М.С. Леонтьева // Пожарная и аварийная безопасность: материалы XV Международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России, Иваново, 17–18 ноября 2020 года. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России», 2020. – С. 4-6.

64. Леонтьева, М.С. Обеспечение своевременного прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова в сельской местности / Ф. А. Дали, А.М. Беспорточнов, М.С. Леонтьева // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020: Материалы Юбилейной Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2020 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, Коллектив авторов, 2020. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2020. – С. 172-174.

65. Леонтьева, М.С. Основные ресурсы и механизмы снижения пожарного риска железнодорожных перевозок опасных грузов / М.С. Леонтьева // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы VIII Международной научно-практической конференции, в 2 ч., Москва, 17–18 марта 2022 года. – Москва: АГПС МЧС России, 2022. – С. 326-331.

66. Леонтьева, М.С. Перспективные автоматизированные системы контроля пожарной безопасности грузовых железнодорожных перевозок / Ю.Е. Актерский, Г.Л. Шидловский, М.С. Леонтьева // Комплексные проблемы техносферной безопасности. Научный и практический подходы к развитию и реализации технологий безопасности: материалы XVII Международной научно-

практической конференции, Воронеж, 26 марта 2021 года. – Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. – С. 255-258.

67. Леонтьева, М.С. Применение системы автоматической радиочастотной идентификации на основе ПАВ-меток в железнодорожных грузоперевозках / М. С. Леонтьева // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Мониторинг, предотвращение и ликвидация чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера: материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 28 октября 2021 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2021. – С. 359-363.

68. Леонтьева М.С. Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры в Арктическом регионе / Ф.А. Дали, М.С. Леонтьева, А.М. Беспорточнов // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика - регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе: материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 28 октября 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. – С. 189.

69. Леонтьева, М.С. Система мониторинга факторов пожарной опасности при железнодорожных перевозках опасных грузов / Ю.Е. Актерский, М.С. Леонтьева // ОБЖ: Основы безопасности жизни. – 2022. – № 1. – С. 60-64.

70. Леонтьева, М.С. Снижение пожарного риска железнодорожных перевозок на основе комплексирования средств дистанционного мониторинга опасных грузов / Ю. Е. Актерский, М.С. Леонтьева // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2021: материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 09–10 ноября 2021 года. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2021. – С. 125-128.

71. Леонтьева, М.С. Специфика железнодорожных грузоперевозок легковоспламеняющихся веществ и материалов в условиях Арктики / М.С. Леонтьева // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы.

Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе: материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 27 октября 2022 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева, 2022. – С. 278-281.

72. Малыгин, И.Г. О перспективах обеспечения пожарной безопасности на железнодорожном транспорте / И.Г. Малыгин, А.А. Таранцев, А.А. Шарапов // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2018: материалы Международной-научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 13–14 ноября 2018 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2018. – С. 14-21.

73. Малыгин, И.Г. Применение автоматизированной информационно-управляющей системы мониторинга чрезвычайных ситуаций на автомобильном транспорте / И.Г. Малыгин, О.А. Королев // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2021. – № 3. – С. 1-12.

74. Маркова, Л.А. Предупреждение и тушение пожаров на железнодорожном транспорте / Л.А. Маркова // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2013. – № 1 (4). – С. 138-143.

75. Методика расчета пожарных рисков на тепловозах и электровозах ОАО «РЖД». Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» от 26 декабря 2017 г. № 2750. – С. 12-19.

76. Методические рекомендации по построению матрицы рисков, утв. распоряжением ОАО "РЖД" от 22.09.2016 N 1946р.

77. Моторыгин, Ю.Д. Область применения теории нечетких множеств в пожарном деле / Ю.Д. Моторыгин, А.П. Решетов, Д.В. Косенко // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2015. – № 2(34). – С. 66-69.

78. Моторыгин, Ю.Д. Оценка методов управления и моделирования пожарной безопасности на железнодорожном транспорте / Ю.Д. Моторыгин,

К.Б. Мальчиков // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2020: материалы Юбилейной Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2020 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 2020. Том 2. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2020. – С. 154-158.

79. Набатчиков, А.Ю. Обзор плюсов и минусов современных техник обнаружения пожара // Наука, техника и образование № 8(49), 2018. – С. 10-16.

80. Новгородская, А.В. Обзор методов бесконтактного дистанционного обнаружения и идентификации опасных веществ / А.В. Новгородская // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 8. – С. 120-126.

81. Нормы оснащения объектов и подвижного состава федерального железнодорожного транспорта первичными средствами пожаротушения: (утверждены МПС России от 31 марта 2000 г. № Г – 822у). URL: https://www.garant.ru (дата обращения 10.05.2022).

82. О железнодорожном транспорте в РФ: Федеральный закон от 10 января 2003 г. № 17 – ФЗ. URL: https://www.garant.ru (дата обращения 03.09.2022).

83. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68–ФЗ // Гарант: информ.– правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016.

84. О пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69–ФЗ // Гарант: информ. – правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016.

85. О техническом регулировании: Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184–ФЗ // Гарант: информ.– правовое обеспечение. – Электрон. Дан. – М., 2016.

86. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 г №404 // Гарант: информационно-правовое образование. – Эл. Дан. – М., 2016.

87. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной

пожарной опасности: Приказ МЧС России от 30 июня 2009 г. № 382 // Гарант: информационно-правовое образование. – Эл. Дан. – М., 2016.

88. Об утверждении Политики холдинга «РЖД» в области охраны труда и окружающей среды, промышленной и пожарной безопасности. Распоряжение ОАО «РЖД» от 21.01.2020 № 102/р

89. Об утверждении технического регламента о безопасности железнодорожного подвижного состава: Постановление Правительства РФ от 15.07.2010 № 524 URL: https://www.garant.ru (дата обращения 10.05.2022).

90. Объекты инфраструктуры железных дорог. Требования по обеспечению пожарной безопасности: СТО РЖД 1.15.004–2009. URL: https://www.garant.ru (дата обращения 10.05.2022).

91. Оценка пожарного риска. Обзор зарубежных источников. Под редакцией Грачева В. Ю. ООО «СИТИС», Екатеринбург, 2010. – С. 10-99.

92. Оценка пожарного риска на производственных объектах: учебное пособие / сост. Ю.И. Иванов, В.А. Зубарева, Д.А. Беспёрстов, Н.А. Пашкевич; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2013. – 228 с.

93. Подрезов, Ю.В. Особенности создания цифровой экономики в Российской Федерации, проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций [Текст] / Ю.В. Подрезов – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2019. – № 4. С. 98–104.

94. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией А.В. Матюшина. – М.: ВНИИПО, 2014. – 137 с.

95. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией А.В. Матюшина. – М.: ВНИИПО, 2015. – 124 с.

96. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией А.В. Матюшина. – М.: ВНИИПО, 2016. – 111 с.

97. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2017. – 126 с.

98. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2018. – 121 с.

99. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2019. – 112 с.

100. Пожары и пожарная безопасность в 2019 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2020. – 130 с.

101. Пожары и пожарная безопасность в 2020 году [Текст]: статистический сборник / Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2021. – 134 с.

102. Положение о ведомственной пожарной охране железнодорожного транспорта Российской Федерации: приказ Федерального агентства железнодорожного транспорта от 07 февраля 2008 г. № 46.

103. Положение ОАО «РЖД» от 31.07.2014 г. 318 «О Ситуационном центре мониторинга и управления чрезвычайными ситуациями».

104. Постановление Правительства РФ от 16 сентября 2020 года № 1479 «Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации».

105. Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам: утверждено МЧС России и МПС РФ от 31 октября, 25 ноября 1996 г. – № 9–733/3–2, ЦМ–407. URL: https://www.garant.ru (дата обращения 17.09.2022).

106. Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам. – М., 1996.

107. Правила перевозок опасных грузов : приложение 2 к Соглашению о международном железнодорожном сообщении (СМГС). – М. : НПФ «Планета», 2005.

108. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам (утв. СЖТ СНГ, протокол от 05.04.1996 N 15).

109. Приказ МЧС России от 30.06.2009 г. №382 «Об утверждении Методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности».

110. Приказ МЧС России от 10.07.2009 г. №404 «Об утверждении Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах».

111. Семина, А.Ю. Сущность железнодорожных перевозок и их роль в развитии транспортной системы России / А.Ю. Семина // Молодой ученый. – 2018. – № 1 (187). – С. 71-73.

112. Система управления пожарной безопасностью в ОАО «РЖД». Стандарт ОАО «РЖД». СТО «РЖД» 1.15.009–2009.URL: https://www.garant.ru (дата обращения 16.09.2022).

113. Смирнов, А.С. Концептуальные основы агрегирования частных показателей уровня противопожарного состояния опасных производственных объектов / А.С. Смирнов // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". – 2011. – № 1. – С. 32-37.

114. Смирнов, А.С. Методика оценивания уровня противопожарного состояния опасных производственных объектов в условиях динамического изменения параметров среды функционирования / А.С. Смирнов, М.С. Бирюков // Актуальные проблемы защиты населения и территорий от пожаров и катастроф : Материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 21 июня 2006 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2006. – С. 48-53.

115. СП 485.1311500.2020 Системы противопожарной защиты. Установки пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования.

116. СТО РЖД 1.15.009-2009 «Система управления пожарной безопасностью в ОАО «РЖД». Организация обучения».

117. СТО РЖД 1.15.009-2014 Система управления пожарной безопасностью в ОАО «РЖД». Основные положения.

118. СТО РЖД 1.15.007-2009 «Система управления пожарной безопасностью в ОАО «РЖД». Декларирование пожарной безопасности».

119. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: Распоряжение Правительства РФ от 17.06.2008 № 877–URL: https://www.consultant.ru/(дата обращения 02.09.2022).

120. Таранцев, А.А. Особенности пожаров в тоннелях и их тушение / А.А. Таранцев, А.А. Шарапов, М.С. Галиев, Д.В. Химчук // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2020: Материалы Юбилейной Международной научно- практической конференции, Санкт-Петербург, 10–11 ноября 2020 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 2020 © Коллектив авторов, 2020. Том 2. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2020. – С. 150-153.

121. Федеральный закон от 21.12.1994 г. №69-ФЗ «О пожарной безопасности».

122. Федеральный закон от 22.07.2008 г. №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

123. Флегонтов, А.В. Моделирование задач принятия решений при нечетких исходных данных: монография / А.В. Флегонтов, В.Б. Вилков, А.К. Черных. – Санкт-Петербург: Лань, 2020. – С. 320-328.

124. Хохлов, Н.В. Управление риском: учеб. пос. для вузов. М.: Юнити-Дана, 2001. 239 с.

125. Циюрий, А.И. Определение зон воздействия опасных факторов аварий с горючими жидкостями на железнодорожной станции «Красноярск – Восточный» Красноярской железной дороги. – Красноярск. – ФГАОУ ВО «Сибирский Федеральный Университет». – 2016. – С. 155-160.

126. Черепахин А. М. Методика оценки пожарной опасности горючей среды на основе веществ, обращающихся на объектах нефтегазового комплекса / А.М. Черепахин, Е.В. Калач // Пожаровзрывобезопасность. – 2020. – №. 24. – С. 15-22.

127. Черепахин А.М. Обобщенный критерий пожарной и химической опасности растворителей / А.М. Черепахин, Е.В. Калач, Т.Р. Дебердеев // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2017. – Т. 1. – С. 212-215.

128. Черных, А.К. К вопросу о безопасности функционирования сети железных дорог при чрезвычайной ситуации регионального масштаба /

А.К. Черных // Транспорт России: проблемы и перспективы - 2019 : материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 12–13 ноября 2019 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 2019. Том 1. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2019. – С. 207-211.

129. Черных, А.К. Подход к интелектулизации автоматизированных систем на железнодорожном транспорте / А. К. Черных, М. Г. Яшин // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2019: материалы Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 12–13 ноября 2019 года / ФГБУН Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко Российской академии наук, 2019. Коллектив авторов, 2019. Том 1. – Санкт-Петербург: Институт проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН, 2019. – С. 135-140.

130. Шатило, С.Н. Пожарная безопасность на железнодорожном транспорте: пособие для вузов / С.Н. Шатило, С.В. Дорошко, А.А. Еж –Гомель: БелГУТ, 2006 – С. 199.

131. Шубинский, И.Б. Методы обеспечения функциональной надежности программ / И.Б. Шубинский // Надежность. – 2014. – № 4. – С. 87-101.

132. Юсупов, Т.Р. / Статистический анализ причин аварийности на железнодорожном транспорте Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире / Т.Р. Юсупов, Р.Р. Шайдуллин, А.Н. Елизарьев. – СПб: Стратегия будущего. – 2015. – № 21-1. – С. 189-192.

133. Alyami, H.; Yang, Z.; Riahi, R.; Bonsall, S.; Wang, J. Advanced uncertainty modelling for container port risk analysis. Accid. Anal. Prev. 2019. – PP. 411–421.

134. Batarlienė, N. Improving safety of transportation of dangerous goods by railway transport //Infrastructures. – 2020. – Т. 5. – №. 7. – P. 54.

135. Batarliene, N. Risk analysis and assessment for transportation of dangerous freight. Transport 2008. – PP. 98–103.

136. Batarlienė, N.; Jarašūnienė, A. Analysis of the accidents and incidents occurring during the transportation of dangerous goods by railway transport. Transport 2014. – PP. 395–400.

137. Blanco, M.A. Safety Adviser for the Transport of Dangerous Goods by Road, Seguridad sy Medio Ambiente Nr.123. 2011. – PP. 11-15.

138. Bogdaniuk B., Massel A., Radomski R. Increasing rail life by forecasting fatigue failure //NDT & E International. – 2003. – T. 36. – №. 3. – PP. 131-134.

139. Bouissou, C.; Ruffin, E.; Defert, R. A New QRA Model for Rail Transportation of Hazardous Goods. 2011. – PP. 110-119.

140. Camillo, A. Risk analysis of fire and evacuation events in the European railway transport network //Fire Safety Journal. – 2013. – T. 60. – PP. 25-36.

141. Carvel, R. The Effect of Ventilation on Fires in Train / R. Carvel // Department of Civil Offshore Engineering Heriot–Watt University. – 2010. – P. 115.

142. Conca, A.; Ridella, C.; Sapori, E. A risk assessment for road transportation of dangerous goods: A routing solution. Transp. Res. Procedia 2016, № 14. – PP. 200-209.

143. Diernhofer, F.; Kohl, B.; Horhan, R. New Austrian guideline for the transport of dangerous goods through roads tunnels. In Proceedings of the 5th International Conference Tunnel Safety and Ventilation, Graz, Austria, 3–4 May 2010; Institute for Internal Combustion Engines and Thermodynamics: Graz, Austria. – PP. 44–51.

144. Directive 2008/68/EC of the European Parliament and of the Council of 24 September 2008 on the Inland Transport of Dangerous Goods. Official Journal of the European Union, L 260/13, 30 September 2008. – PP. 104–112.

145. Drabek, W. Charakterystyka przedsięwzięć związanych z organizacją transport materiałów niebezpiecznych w ruchu samochodow. Logistyka 2010. – P. 22.

146. Drzewiencka, B.; Nowak, M. Safety aspect in carriage of dangerous goods by railway transport. New Trends Prod. Eng. 2018. – PP. 35–41.

147. Erkut, E.; Tjandra, S.; Verter, V. Hazardous materials transportation. In Transportation: Handbook on Operations Research and Management Science;

Barnhart, C., Laporte, G., Eds.; Handbook in OR & MS; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2007; Volume 14. – PP. 539–622.

148. Fabiano, B.; Curro, F.; Reverberi, A.P.; Pastorino, R. Dangerous goods transportation by road: From risk analysis to emergency planning. J. Loss Prev. Process Ind. 2005. – PP. 403–413.

149. Finkenzeller, K. RFID Handbook : Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification / K. Finkenzeller // 2nd edition – New York, 1999. – PP. 41–152.

150. Ghazinoory, S.; Kheirkhah, A.S. Transportation of hazardous materials in Iran: A strategic approach for decreasing accidents. Transport 2008. – PP. 104–111.

151. Kršák, E.; Hrkút, P.; Vestenický, P. Technical infrastructure for monitoring the transportation of oversized and dangerous goods. In Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems, Wroclaw, Poland, 9–12 September 2012. – PP. 797–802.

152. Lawrence, E. L. Integrated Circuit Technology Options for RFID's – Present Status and Future Directions / E.L. Lawrence // IEEE Custom Integrated Circuits Conference, 1997. – PP. 170–177.

153. Liang, C.; Ghazel, M. A risk assessment study on accidents at French level crossings using Bayesian belief networks. Int. J. Inj. Control Saf. Promot. 2018. – PP. 162–172.

154. Massel A. The role of the experimental District of the Railway Institute in the research of rolling stock and railway infrastructure. - Railway Institute, 2021.– PP. 55-58.

155. Massel A. experimental tracks and their role in research of rolling stock and railway infrastructure. – 2021. – №. 192. – PP. 140-150.

156. Milazzo, M.F.; Lisi, R.; Maschio, G.; Antonioni, G.; Sadoni, G. A study of land transport of dangerous substances in Eastern Sicily. J. Loss Prev. Process Ind. 2010. – PP. 393–403.

157. Najib, M.; Boukachour, H.; Boukachour, J. Multi-Agent Framework for Hazardous Goods Transport Risk Management. 2009. – PP. 117-119.

158. Nowacki, G.; Krysiuk, C.; Kopczewski, R. Dangerous goods transport problems in the European Union and Poland. Int. J. Mar. Navig. Saf. Sea Transp. 2016. – PP. 143–150.

159. Rappaport, T.S. Wireless Communications: Principles and Practice / T.S. Rappaport // Prentice Hall PTR, NJ, 1995. – P. 641.

160. Różycki, M. Safety Transport of Dangerous Goods; PPHU Moritz Marek Różycki: Mikolow, Poland, 2009. – PP. 118-119.

161. Samotaev, N.N. Digital intellectual sensors for gas analysis system / N.N. Samotaev, A.V. Ivanova, K.Y. Oblov // 2015 International SIBERIAN conference on control and communications, SIBCON 2015. – Omsk: 2015. – PP. 12-19.

162. Samotaev, N.N. Wi–Fi Wireless Digital Sensor Matrix for Environmental Gas Monitoring / N.N. Samotaev, A.V. Ivanova, K.Y. Oblov // Procedia Engineering, 2014. – Vol. 87. – PP. 1294–1297.

163. Samotaev, N.N. Wireless digital platform for environmental gas MONITORING / N.N. Samotaev, A.V. Ivanova, K.Y. Oblov // 2015 International SIBERIAN conference on control and communications. – Omsk: 2015. – PP. 10-16.

164. Siegel, J.M. A method to assess power plant risk due to fire induced transients / J.M. Siegel, M.A. Stutzke // Anticipated and Abnorm. – 1984. – № 2. – PP. 985–993.

165. Thomson, J.B. International co-operation in hazardous materials accident prevention. J. Loss Prev. Process Ind. 1999. – PP. 217–225.

166. Tomasoni, M.A.; Garbolino, E. Risk evaluation of real-time accident scenarios in the transport of hazardous material on road. Manag. Environ. 2010. – PP. 695–711.

167. Xuan, L.; Wei, D.Y.; Shi, Y. A brief analysis of security risks in transportation of logistics enterprises. Chin. Mark. 2015. – PP. 68–74.

168. Zhao, L.; Wang, X.; Qian, Y. Analysis of factors that influence hazardous material transportation accidents based on Bayesian networks: A case study in China. Saf. Sci. 2012. – C. 1049–1055.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Рисунок А.1 – Классификация и маркировка опасных грузов

Рисунок А.2 – Расположение RFID-меток на грузовом вагоне

Таблица А.1 – Основные преимущества и недостатки методов обнаружения и идентификации опасных веществ

Наименование метода	Достоинства	Недостатки
Спектрометрия комбинационного рассеяния света (КРС)	• неразрушающий метод; • не требует подготовки пробы; • способность анализировать различные состояния вещества; • быстрота анализа	• для его применения требуется мощный источник излучения, большое количество определяемого вещества
Резонансная спектрометрия КРС	• регистрация низких концентраций веществ в различных фазах; • возможность регистрации спектров с меньшей плотностью возбуждающего излучения (уменьшается риск влияния излучения на вещество)	• необходимость в громоздком перестраиваемом лазере; • увеличенное время идентификации веществ
Инфракрасная (ИК)-спектрометрия	• позволяет исследовать практически любое вещество в любом агрегатном состоянии; • высокая чувствительность; • быстрая обработка данных; • автоматизация измерений	• невозможность регистрации слабых сигналов вследствие малого отношения сигнал/шум, затрудняется работа в далекой ИК-области; • длительная (несколько минут) регистрация спектров
Лазерно-индуцированная флуоресцентная спектрометрия (LIF)	• высокая чувствительность по сравнению с другими методами; • не требует предварительной подготовки; • быстрое время измерения (несколько секунд); • широкий спектр анализируемых веществ	• относится к разрушающим методам, что делает невозможным его применение для досмотра ПС; • невозможность досмотра объектов большой (~1 м^2) площади; • небезопасный для глаз; • чувствительность к внешним помехам
Спектрометрия лазерно-индуцированного пробоя (LIBS)	• позволяет дистанционно обнаруживать разные вещества в различных условиях; • высокая обнаружительная способность; • малое время отклика прибора; • малое отношение сигнал/ шум;	• дальность действия прибора ограничивается мощностью лазера
Спектрометрия дифференциального поглощения	• получаемые спектры излучения исследуемых веществ имеют хорошо выраженные линии излучения; • минимизировано влияние возможных оптических помех	• при идентификации взрывчатых веществ круг анализируемых веществ ограничивается азотосодержащими веществами; • возникают сложности на этапе распознавания
Люминесценция	• беспробоотборность; • высокое отношение сигнал/ шум позволяет распознавать вещества в малой концентрации	• может изменить химический состав веществ, не устойчивых к УФ-излучению

Таблица А.2 – Набор входных данных классификатора 1-го уровня и результирующий параметр характеристик опасного груза

N п/п	$X_{ОГ}$						$W_{ОГ}$		
	$x_{ОГ1}$	$x_{ОГ2}$	$x_{ОГ3}$	$x_{ОГ4}$	$x_{ОГ5}$	$x_{ОГ6}$	$\mu_{ОГ1}$	$\mu_{ОГ2}$	$\mu_{ОГ3}$
1	0,19	25	26	15	10	1	0,86	0,12	0,02
2	0,18	26	27	16	11	2	0,77	0,12	0,11
3	0,17	27	28	17	12	3	0,84	0,11	0,05
4	0,16	28	29	18	13	4	0,71	0,22	0,07
5	0,15	29	30	19	14	5	0,82	0,04	0,14
6	0,14	30	31	20	15	6	0,75	0,02	0,23
7	0,13	31	32	21	16	7	0,79	0,09	0,12
8	0,12	32	33	22	17	8	0,33	0,46	0,21
9	0,11	33	34	23	18	9	0,32	0,37	0,31
10	0,1	34	35	24	19	10	0,35	0,41	0,24
11	0,09	35	36	25	20	11	0,33	0,46	0,21
12	0,08	36	37	26	21	12	0,16	0,53	0,31
13	0,07	37	38	27	22	13	0,03	0,58	0,39
14	0,06	38	39	28	23	14	0,09	0,59	0,32
15	0,05	39	40	29	24	15	0,17	0,35	0,48
16	0,04	40	41	30	25	16	0,11	0,33	0,56
17	0,03	41	42	31	26	17	0,09	0,29	0,62
18	0,02	42	43	32	27	18	0,01	0,28	0,71
19	0,01	43	44	33	28	19	0	0,11	0,89
20	0	44	45	34	29	20	0	0,07	0,93

Рисунок А.3 – Уровни влияния характеристик опасного груза на уровни пожарной опасности при перевозке опасного груза

Таблица А.3 – Набор входных данных классификатора 1-го уровня и результирующий параметр характеристик подвижного состава

N п/п	$X_{ПС}$						$W_{ПС}$		
	$x_{ПС1}$	$x_{ПС2}$	$x_{ПС3}$	$x_{ПС4}$	$x_{ПС5}$	$x_{ПС6}$	$\mu_{ПС1}$	$\mu_{ПС2}$	$\mu_{ПС3}$
1	1	41	55	55	23	0,11	0,74	0,11	0,15
2	1	42	56	56	28	0,12	0,73	0,12	0,15
3	1	43	57	57	33	0,14	0,69	0,11	0,2
4	1	44	58	58	38	0,18	0,66	0,16	0,18
5	1	45	59	59	43	0,22	0,62	0,19	0,19
6	1	46	60	60	48	0,31	0,49	0,38	0,13
7	1	47	61	61	53	0,35	0,37	0,39	0,24
8	1	48	62	62	58	0,45	0,31	0,41	0,28
9	1	49	63	63	63	0,49	0,16	0,49	0,35
10	1	50	64	64	68	0,56	0,19	0,53	0,28
11	1	51	65	65	73	0,65	0,17	0,54	0,29
12	1	52	66	66	78	0,71	0,16	0,49	0,35
13	1	53	67	67	83	0,77	0,02	0,53	0,45
14	1	54	68	68	88	0,81	0,12	0,39	0,49
15	1	55	69	69	93	0,86	0,07	0,38	0,55
16	1	56	70	70	98	0,88	0,08	0,33	0,59
17	1	57	71	71	103	0,91	0,04	0,29	0,67
18	1	58	72	72	108	1,1	0,12	0,09	0,79
19	1	59	73	73	113	1,11	0,11	0,04	0,85
20	1	60	74	74	118	1,12	0,03	0,06	0,91

Рисунок А.4 – Уровни влияния характеристик подвижного состава на уровни пожарной опасности при перевозке опасного груза

Таблица А.4 – Набор входных данных классификатора 1-го уровня и результирующий параметр характеристик внешней среды

N п/п	$X_{ВС}$				$W_{ВС}$		
	$x_{ВС1}$	$x_{ВС2}$	$x_{ВС3}$	$x_{ВС4}$	$\mu_{ВС1}$	$\mu_{ВС2}$	$\mu_{ВС3}$
1	18	39	1	0	0,73	0,16	0,11
2	19	41	2	2	0,71	0,17	0,12
3	20	43	3	4	0,64	0,27	0,09
4	21	45	4	6	0,61	0,21	0,18
5	22	47	1	8	0,52	0,44	0,04
6	23	49	2	10	0,51	0,47	0,02
7	24	51	3	12	0,45	0,48	0,07
8	25	53	4	14	0,28	0,53	0,19
9	26	55	1	16	0,32	0,37	0,31
10	27	57	2	8	0,37	0,41	0,22
11	28	59	3	16	0,27	0,49	0,24
12	29	61	4	2	0,44	0,37	0,19
13	30	63	1	2	0,34	0,44	0,22
14	31	65	2	4	0,13	0,56	0,31
15	32	67	3	6	0,2	0,35	0,45
16	33	69	4	8	0,1	0,32	0,58
17	34	71	1	10	0,06	0,31	0,63
18	35	73	2	12	0,04	0,27	0,69
19	36	75	3	14	0,08	0,17	0,75
20	37	77	4	16	0,04	0,07	0,89

Рисунок А.5 – Уровни влияния характеристик внешней среды на уровни пожарной опасности при перевозке опасного груза

Таблица А.5 – Входные данные классификатора 2-го уровня и результирующий параметр пожарной опасности при перевозке опасного груза

N	$W_{ОГ}$			$W_{ПС}$			$W_{ВС}$			$W_{ПО}$		
п/п	$\mu_{ОГ1}$	$\mu_{ОГ2}$	$\mu_{ОГ3}$	$\mu_{ПС1}$	$\mu_{ПС2}$	$\mu_{ПС3}$	$\mu_{ВС1}$	$\mu_{ВС2}$	$\mu_{ВС3}$	$\mu_{ПО1}$	$\mu_{ПО2}$	$\mu_{ПО3}$
1	0,86	0,12	0,02	0,74	0,11	0,15	0,73	0,16	0,11	0,84	0,14	0,2
2	0,77	0,12	0,11	0,73	0,12	0,15	0,71	0,17	0,12	0,73	0,15	0,12
3	0,84	0,11	0,05	0,69	0,11	0,2	0,64	0,27	0,09	0,81	0,16	0,03
4	0,71	0,22	0,07	0,66	0,16	0,18	0,61	0,21	0,18	0,69	0,23	0,08
5	0,82	0,04	0,14	0,62	0,19	0,19	0,52	0,44	0,04	0,74	0,11	0,15
6	0,75	0,02	0,23	0,49	0,38	0,13	0,51	0,47	0,02	0,68	0,2	0,12
7	0,79	0,09	0,12	0,37	0,39	0,24	0,45	0,48	0,07	0,62	0,24	0,14
8	0,33	0,46	0,21	0,31	0,41	0,28	0,28	0,53	0,19	0,32	0,48	0,2
9	0,32	0,37	0,31	0,16	0,49	0,35	0,32	0,37	0,31	0,31	0,4	0,29
10	0,35	0,41	0,24	0,19	0,53	0,28	0,37	0,41	0,22	0,33	0,42	0,25
11	0,33	0,46	0,21	0,17	0,54	0,29	0,27	0,49	0,24	0,31	0,43	0,26
12	0,16	0,53	0,31	0,16	0,49	0,35	0,44	0,37	0,19	0,08	0,57	0,35
13	0,03	0,58	0,39	0,02	0,53	0,45	0,34	0,44	0,22	0,02	0,65	0,33
14	0,09	0,59	0,32	0,12	0,39	0,49	0,13	0,56	0,31	0,07	0,57	0,36
15	0,17	0,35	0,48	0,07	0,38	0,55	0,2	0,35	0,45	0,12	0,33	0,55
16	0,11	0,33	0,56	0,08	0,33	0,59	0,1	0,32	0,58	0,08	0,31	0,61
17	0,09	0,29	0,62	0,04	0,29	0,67	0,06	0,31	0,63	0,06	0,26	0,68
18	0,01	0,28	0,71	0,12	0,09	0,79	0,04	0,27	0,69	0,05	0,2	0,75
19	0	0,11	0,89	0,11	0,04	0,85	0,08	0,17	0,75	0,0	0,09	0,91
20	0	0,07	0,93	0,03	0,06	0,91	0,04	0,07	0,89	0,0	0,05	0,95

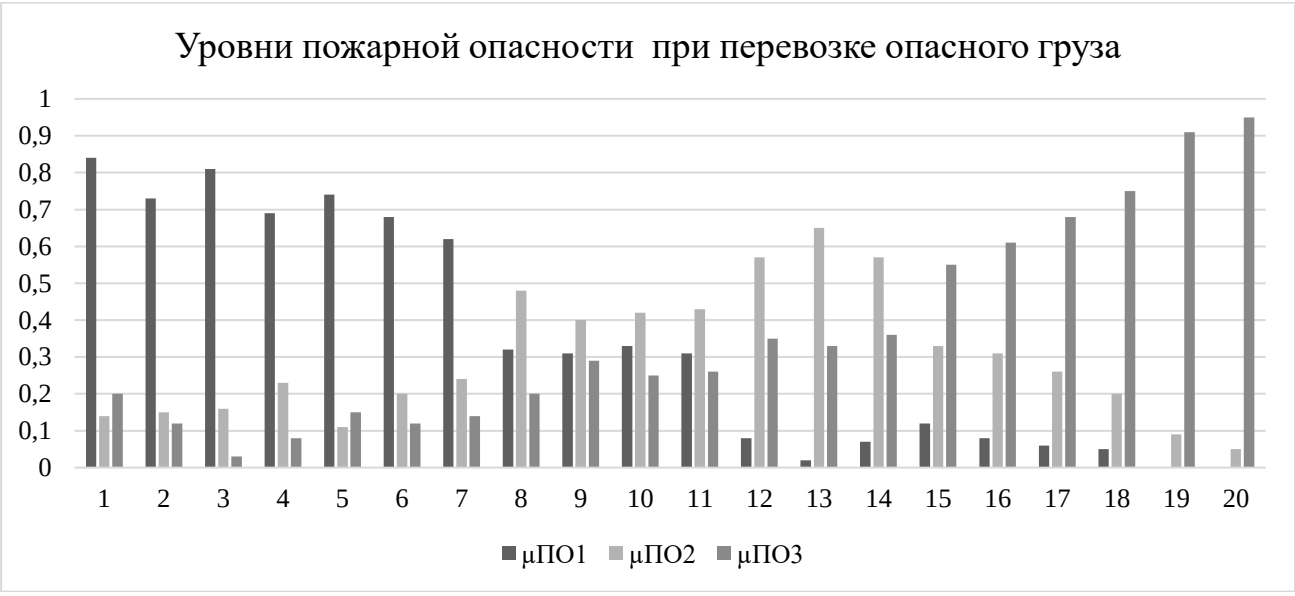


Рисунок А.6 – Уровни пожарной опасности при перевозке опасного груза

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Акты внедрения научных результатов

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора
АО «НИИ телевидения» по научной работе
доктор технических наук, профессор

А.К. Цыцулин

«12» 02 2024 г.

АКТ
реализации результатов диссертационного исследования, выполненного по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки) в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»
Леонтьевой Марией Сергеевной

Комиссия в составе:

председателя комиссии: начальника НТК-57, доктора технических наук, профессора Пяткова Вячеслава Викторовича

членов комиссии: Старшего научного сотрудника НТК-30, кандидата технических наук, доцента Богданова Юрия Германовича

начальника лаборатории Решетникова Алексея Юрьевича

составила настоящий акт о том, что в диссертационном исследовании Леонтьевой Марии Сергеевны на тему: «Методика снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов» на соискание ученой степени кандидата технических наук разработаны модель для оценивания уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов и методика снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов в зоне критически важных промышленных и государственных объектов.

Полученные результаты реализованы в АО «НИИ телевидения» на этапе рабочего проектирования интеллектуальной системы технического зрения промышленного назначения.

Реализация результатов диссертационного исследования Леонтьевой Марии Сергеевны позволила расширить функциональные возможности и повысить интегральный показатель эффективности функционирования специализированных модулей разрабатываемой системы в среднем на 18%.

Результаты научных исследований Леонтьевой Марии Сергеевны, полученные в рамках диссертационной работы, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, рассмотрены на заседании научно-технического совета АО «НИИ телевидения», протокол № 5 от 2 февраля 2024 г.

Председатель комиссии:	начальник НТК-57, дтн, профессор	В.В. Пятков
Члены комиссии:	ведущий инженер НПК-30, ктн, доцент	Ю.Г. Богданов
	начальник лаборатории	А.Ю. Решетников

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ОБЪЕДИНЕННАЯ ПРИБОРОСТРОИТЕЛЬНАЯ КОРПОРАЦИЯ»
(АО «ОПК»)
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ»
(АО «НИИ ПС»)

ул. Политехническая, д. 22, лит. «Н», Санкт-Петербург, 194021. Тел./факс (812) 313-78-00, тел. (812) 313-78-01
E-mail: office@niil-ps.ru
ОГРН 1117847044440, ИНН / КПП 7804454894 / 780201001

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель генерального директора
по научно-техническому развитию
АО «Научно-исследовательский
институт программных средств»
доктор технических наук профессор
Езерский В.В.

_____ № _____

«10» 02 2025 г.

АКТ

реализации результатов диссертационного исследования, выполненного по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки) в ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России имени Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева»
Леонтьевой Марией Сергеевной

Комиссия в составе:

председателя комиссии: кандидата технических наук доцента Шаповалова Е.Н.

членов комиссии: кандидата технических наук Фасмана А.А.

кандидата педагогических наук Пойды А.Г.

составила настоящий акт о том, что в диссертационном исследовании Леонтьевой Марии Сергеевны на тему: «Методика снижения пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов» на соискание ученой степени кандидата технических наук получены следующие результаты:

1. Разработана модель и шкала для оценивания принадлежности уровня пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов к одному из классов: μ_1 – уровень пожарной опасности низкий, μ_2 – уровень пожарной опасности средний, μ_3 – уровень пожарной опасности высокий.

2. Разработана структурно-функциональная схема и алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы управления снижением пожарной опасности при железнодорожных перевозках легковоспламеняющихся веществ и материалов в зоне критически важных промышленных и государственных объектов.

Полученные результаты реализованы в АО «Научно-исследовательский институт программных средств» в рамках выполнения ОКР по теме: «Разработка Интегрированной системы управления пропуском через Государственную границу Российской Федерации в части управления транспортными потоками, автоматизированного контроля нахождения и передвижения ТС в АПП, предварительного резервирования времени и пересечения Государственной границы».

Реализация результатов диссертационного исследования Леонтьевой Марии Сергеевны позволила повысить на 16% эффективность и достоверность контроля прохождения транспортными средствами пунктов пропуска с автоматической фиксацией даты, времени и направления движения.

Результаты научных исследований Леонтьевой Марии Сергеевны, полученные в рамках диссертационного исследования, представленного на соискание ученой степени кандидата технических наук, рассмотрены на заседании научно-технического совета АО «Научно-исследовательский институт программных средств», протокол № 2 от 20 февраля 2023 г.

Председатель комиссии:	кандидат технических наук доцент	Шаповалов Е.Н.
Члены комиссии:	кандидат технических наук	Фасман А.А.
	кандидат педагогических наук	Пойда А.Г.