

**ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет Государственной
противопожарной службы МЧС России**

На правах рукописи

Королева Людмила Анатольевна

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗКАХ
ОПАСНЫХ ГРУЗОВ**

05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность (транспорт)

Диссертация на соискание ученой степени
доктора технических наук

Научный консультант:
доктор химических наук, профессор
Ивахнюк Григорий Константинович

Санкт-Петербург

2019

Оглавление

Введение	6
1 Общее состояние проблемы	20
1.1 Роль и перспективы железнодорожного транспорта в развитии национальной экономики.....	20
1.2 Методические подходы к обеспечению пожарной безопасности на железнодорожном транспорте в историко-социальном аспекте.....	23
1.2.1 Организация пожарной охраны на железнодорожном транспорте.....	23
1.2.2 Анализ пожаров на железнодорожном транспорте.....	28
1.2.3 Перевозка опасных грузов на железнодорожном транспорте	31
1.2.4 Организация деятельности по обращению с отходами на железнодорожном транспорте	40
1.3 Управление пожарными рисками на железнодорожном транспорте	45
1.3.1 Анализ методических подходов к процессу управления рисками	45
1.3.2 Анализ методов управления пожарными рисками на железнодорожном транспорте	52
1.3.3 Совершенствование дыхательной арматуры и огнепреграждающих устройств как направление снижения пожарного и экологического риска при железнодорожных перевозках нефтепродуктов	64
1.4 Эксергетический метод как инструмент исследования технических систем и процессов.....	67
1.5 Применение наилучших доступных технологий на объектах железнодорожного транспорта	73
1.6 Анализ методических подходов к организации технологического аудита	78
1.7 Организация тушения пожаров на объектах железнодорожного транспорта	80
Выводы по главе 1	89
2 Концептуальные основы обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов	94
2.1 Основные направления обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов	94

2.1.1 Каскадный характер развития техногенных пожаров на объектах железнодорожного транспорта.....	97
2.1.2 Проведение аудирования на объектах железнодорожного транспорта.....	102
2.1.3 Прогностическая оценка возможности возникновения и развития пожаров на основе теплофизических и эксергетических условий возникновения горения.....	105
2.1.4 Методологические аспекты организации систем управления подразделениями пожарной охраны.....	110
2.2 Анализ состояния пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД».....	116
2.2.1 Общее положение по пожарам в ОАО «РЖД».....	117
2.2.2 Пожары на подвижном составе ОАО «РЖД», дочерних зависимых обществ ОАО «РЖД» и сторонних организаций.....	118
2.2.3 Пожары на стационарных объектах ОАО «РЖД».....	122
2.2.4 Основные показатели пожаров и их последствий.....	123
2.3 Анализ осуществления профилактики пожаров в ОАО «РЖД».....	125
Выводы по главе 2.....	128
3 Обоснование, организация и проведение технологического аудирования как метода управления пожарными рисками на железнодорожном транспорте.....	130
3.1 Анализ существующих методик аудита.....	130
3.2 Организация и проведение внутреннего аудирования системы управления пожарной безопасностью.....	135
3.2.1 Область применения аудирования, его цели, задачи, принципы, назначение.....	135
3.2.2 Порядок проведения технологического аудирования объектов железнодорожного транспорта для управления их пожарной безопасностью путем минимизации пожарных рисков.....	138
Выводы по главе 3.....	146
4 Эксергетический анализ как инструмент прогнозирования и управления пожарными рисками при перевозке пожароопасных грузов на железнодорожном транспорте.....	148
4.1 Методология расчета и прогнозирования эксергии.....	148

4.1.1	Принципы расчета физической и химической эксергии.....	149
4.1.2	Методика расчета эксергии с использованием программы HYSYS.....	154
4.2	Категорирование веществ по способам хранения и перемещения.....	158
4.3	Эксергетический подход к оценке пожарной опасности нефтяных грузов железнодорожного транспорта.....	161
4.3.1	Исследование и оценка зависимостей показателей пожарной опасности нефтяных грузов от химической эксергии	161
4.3.2	Классификация опасных грузов по эксергетическому показателю.....	169
4.3.3	Эксергетическая оценка пожарной опасности перевозок сжиженных газов на железнодорожном транспорте.....	172
4.4	Эксергетическая оценка склонности грузов к самовозгоранию.....	181
4.5	Оценка экологической и пожарной опасности отходов, обращающихся на железнодорожном транспорте.....	190
4.5.1	Эксергетический анализ пожарной опасности отходов, обращающихся на железнодорожном транспорте.....	191
4.5.2	Эксергетическая оценка сценариев извлечения ресурсов из отходов.....	204
4.5.3	Моделирование процессов образования пожаровзрывоопасных газов при обращении с отходами.....	207
4.5.4	Определение класса опасности отходов	216
	Выводы по главе 4	218
5	Способ минимизации пожарного риска, основанный на применении инновационных технических решений, предназначенных для предотвращения и тушения пожаров при железнодорожных перевозках нефтепродуктов	223
5.1	Расчет пожарного риска при горении шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости на дыхательной арматуре.....	224
5.2	Конструкция и научно-техническое обоснование применения адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя и огнегасительной базальтовой сетки	245
5.2.1	Адсорбционно-предохранительный клапана-огнепреградитель	245
5.2.2	Обоснование возможности использования базальтовой ткани для изготовления сетчатого огнепреградителя	248

5.2.3 Обоснование использования Сибунита в качестве насадки огнепреградителя и адсорбента	250
5.2.4 Минимизация пожарного риска при использовании адсорбционно-предохранительного клапана-огнепреградителя	253
5.3 Огнегасительная базальтовая сетка	255
Выводы по главе 5	258
6 Принципы и модели принятия решений при управлении действиями подразделений Государственной противопожарной службы МЧС России и ведомственной пожарной охраны железнодорожного транспорта при тушении пожаров.....	261
6.1 Ситуационная модель управления подразделениями при тушении пожаров.....	261
6.1.1 Содержание модели.....	261
6.1.2 Выбор действий подразделений в рамках ситуационной модели	266
6.2 Причинно-следственная модель прогнозирования тушения пожаров	274
6.2.1 Прогнозирование при тушении пожаров	274
6.2.2 Содержание причинно-следственной модели прогнозирования	278
6.3 Человеческий аспект в системе управления при боевых действиях подразделений.....	286
Выводы по главе 6	293
Заключение.....	295
Список сокращений и условных обозначений.....	298
Словарь терминов.....	301
Список литературы.....	303
Приложение А.....	358
Приложение Б.....	384
Приложение В	398
Приложение Г.....	400
Приложение Д.....	406

Введение

Актуальность темы исследования. В условиях поиска новой социально-экономической парадигмы особое значение приобретает концепция устойчивого развития, объединяющая два направления: с одной стороны, движение вперед, развитие, с другой – устойчивость и безопасность.

Железнодорожный транспорт (ЖДТ) как ведущий элемент транспортной системы Российской Федерации (РФ) обеспечивает создание условий для развития экономики страны, единство ее экономического пространства, реализацию социальных программ, экономическую и национальную безопасность, активно влияет на развитие внутренних и внешних связей, обеспечивает перевозку людей и грузооборот.

Необходимость повышения безопасности функционирования определена Стратегией развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года как важнейший государственный приоритет, «ключевой момент, являющийся критическим для дальнейшего социально-экономического роста страны».

В связи с возможностью причинения значительного материального ущерба при авариях, особые требования предъявляются к деятельности, связанной с опасными грузами (ОГ). Доля ОГ в грузообороте ЖДТ непрерывно увеличивается, происходит расширение их номенклатуры. Анализ показал, что более половины пожаров, происходящих на подвижном составе ЖДТ, связаны с перевозкой грузов. Несмотря на устойчивое снижение количества, в РФ наблюдается рост приходящегося на один пожар материального ущерба, который в 2017 году увеличился практически в 2 раза по сравнению с 2012 годом. Возникновение большого материального ущерба определяется особенностями современного ЖДТ, повышенную угрозу создает близость транспортной инфраструктуры к промышленным предприятиям и жилой застройке.

Сложившаяся ситуация определяет необходимость решения актуальной проблемы, заключающейся в концептуальном обеспечении требуемого уровня пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов.

Исследование указанной проблемы применительно к современным условиям подтвердило необходимость создания новой концепции, позволяющей проводить комплексную оценку соответствия объектов требованиям ПБ; разрабатывать инновационные решения, ориентированные на минимизацию пожарного риска; прогнозировать пожарную опасность перевозимых и планируемых к перевозке ОГ, осуществляемых процессов; повышать результативность действий, направленных на тушение пожаров.

Тема диссертации соответствует паспорту специальности **05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (транспорт)**, в частности **п. 2** «Разработка систем информационного обеспечения, управления и государственного надзора в области промышленной и пожарной безопасности»; **п. 3** «Научное обоснование принципов и способов обеспечения промышленной и пожарной безопасности на предприятиях промышленности, строительства и на транспорте»; **п. 4** «Исследование условий и разработка методов управления риском для обеспечения безопасности при технологических процессах, утилизации, нейтрализации, складировании и регенерации отходов деятельности предприятий»; **п. 5** «Разработка научных основ, моделей и методов исследования процессов горения, пожаро- и взрывоопасных свойств веществ, материалов, производственного оборудования, конструкций, зданий и сооружений»; **п. 6** «Исследование и разработка средств и методов, обеспечивающих снижение пожарной и промышленной опасности технологических процессов, предупреждения пожаров и аварий, тушения пожаров».

Степень разработанности темы исследования. Концептуальные основы обеспечения безопасности на ЖДТ были заложены в трудах многих отечественных и зарубежных ученых. Особенностью развития методологических подходов в данной области является изначальная декомпозиция общего процесса:

каждое направление развивалось самостоятельно и обеспечивалось своим комплексом методов, методик и моделей.

Проблемы пожарной безопасности железнодорожного транспорта рассматриваются в работах В.М. Предтеченского, А.И. Милинского, Э.Н. Зычкова, А.В. Пузача, А.А. Таранцева, И.Г. Малыгина, Д. Маркуса и др. Вопросам разработки систем управления в области пожарной безопасности посвящены работы Я.С. Повзика, Н.Н. Брушлинского, В.В. Терехнева, Н.Г. Семикова, Н.Г. Топольского и др.

Эксергетический метод как инструмент исследования технических систем и процессов разрабатывался З. Рантом, Я. Шаргутом, Р. Петелой, Дж. Гиббсом, Ж. Гюи, А. Стодолой Д. Кинаном, Ф. Бошняковичем, В.М. Бродянским, В. Фатчер. Большой вклад в развитие эксергетического метода и значительное расширение сферы его применения внесли ученые Г. Вам, П. Грассман, А. И. Андрющенко, И. Л. Лейтес, Д.П. Гохштейн, Е. И. Янтовский, В.С. Степанов, А. Ghanndzadeh, Т.Т. Kotas, F. Abdollahi-Demneh, A.P. Hinderink и др.

Анализу эффективности использования энергоресурсов на транспорте, оценке негативного воздействия транспортных систем на окружающую среду с использованием эксергетического метода посвящены работы В.Г. Попова, Е. А. Byers, N. Lior, M. Federici, F. Zarifi, F. Motasemi и др. Однако эти исследования практически не затрагивают вопросов пожарной безопасности.

Анализ трудов ведущих ученых в рассматриваемой области свидетельствует о наличии солидного теоретического и практического базиса для исследований. Однако современные динамично меняющиеся условия принятия управленческих решений по обеспечению ПБ требуют создания новой концепции обеспечения ПБ на ЖДТ, учитывающей современные тенденции происходящих изменений и существующие противоречия.

Актуальность решения выявленной проблемы определила выбор объекта, предмета и цели исследования.

Объект исследования: пожароопасные грузы, перевозимые железнодорожным транспортом.

Предмет исследования: методы аудирования, эксергетического прогноза в управлении пожарным риском, научно-технические решения, направленные на обеспечение пожарной безопасности при железнодорожных перевозках пожароопасных грузов.

Целью исследования является разработка научно-обоснованных концептуальных основ и практических решений обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках пожароопасных грузов.

В качестве рабочей гипотезы рассмотрены:

применение эксергии как уточняющего параметра для придания объективности процедуре оценки пожарной опасности грузов;

разработка инновационных научно-технических решений, направленных на минимизацию пожарного риска;

создание модели управления, позволяющей учесть особенности межведомственного взаимодействия при выполнении задач по обеспечению пожарной безопасности на железнодорожном транспорте.

Для обоснования гипотезы и достижения цели исследования были сформулированы следующие логически взаимосвязанные задачи:

1. Выявить на основе анализа тенденций развития железнодорожного транспорта противоречия в системе обеспечения пожарной безопасности и обосновать необходимость разработки и реализации новой концепции обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов; определить условия каскадного развития техногенных пожаров на транспорте.

2. Разработать метод управления пожарными рисками на железнодорожном транспорте, а именно:

- разработать методику комплексного технологического аудирования для управления пожарной безопасностью объектов железнодорожного транспорта;
- представить процедуру комплексного технологического аудирования;
- доказать необходимость введения эксергетического анализа в процедуру аудирования.

3. Обосновать применение эксергетического анализа как инструмента прогнозирования и управления пожарными рисками при перевозках пожароопасных грузов, а именно:

- предложить методический инструментарий для применения эксергетического анализа при комплексной энергоэкологической оценке и определении пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожного транспорта и разработать методику для расчета и прогнозирования эксергии;
- установить зависимости между эксергией и показателями пожарной опасности грузов железнодорожного транспорта;
- обосновать возможность учета теплофизических условий возникновения горения через эксергию и введение эксергетического показателя в оценку склонности грузов к самовозгоранию;
- разработать методику классификации пожароопасных грузов с учетом эксергетического показателя;
- выполнить расчетно-экспериментальные исследования эксергии с определением условий и закономерностей ее изменения применительно к пожароопасным грузам железнодорожного транспорта.

4. Разработать способ минимизации пожарного риска, основанный на применении инновационных технических решений для предотвращения и тушения пожаров при железнодорожных перевозках нефтепродуктов, а именно:

- разработать конструкцию и провести научно-техническое обоснование применения адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя и огнегасительной базальтовой сетки для предотвращения и тушения пожаров, снижения риска их каскадного развития и обеспечения экологической безопасности при железнодорожных перевозках нефтепродуктов;
- выполнить расчетно-аналитические исследования изменений пожарного риска с определением условий и закономерностей его снижения при применении адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя при железнодорожных перевозках нефтепродуктов.

5. Предложить комплекс управленческих решений, основанный на моделировании ситуаций, возникающих при тушении пожаров на объектах железнодорожного транспорта в процессе организованного межведомственного взаимодействия, а именно:

- обосновать организацию систем управления подразделениями Государственной противопожарной службы и ведомственной пожарной охраны железнодорожного транспорта в пределах единой методологии;

- классифицировать нештатные ситуации, возникающие в процессе функционирования подразделений, участвующих в ликвидации пожаров на объектах железнодорожного транспорта и разработать ситуационную модель управления;

- разработать единый подход к построению причинно-следственной модели прогнозирования тушения пожаров.

Научная новизна:

1. На основании проведенного анализа тенденций развития железнодорожного транспорта, выявленных противоречий в системе обеспечения пожарной безопасности, определены условия каскадного развития техногенных пожаров на транспорте, что позволило обосновать необходимость разработки и реализации новой концепции обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов.

2. Разработанный метод управления пожарными рисками отличается введением эксергетического анализа в процедуру аудирования. Основан на выявлении «узких» мест функционирования объектов железнодорожного транспорта и позволяет эффективно решать задачи, связанные с разработкой инновационных решений, направленных на минимизацию пожарных рисков.

3. Обосновано применение эксергетического анализа как инструмента прогнозирования и управления пожарными рисками при перевозках пожароопасных грузов, а именно:

- предложен методический инструментарий и разработана методика, позволяющая осуществлять расчет и прогнозирование эксергии, отличающаяся

возможностью проведения комплексной энергоэкологической оценки и определения пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожного транспорта;

- рассмотрены теплофизические условия возникновения горения и установлена возможность их учета через эксергию, что позволяет оценивать склонность грузов к самовозгоранию эксергетическим методом;

- разработаны методики классификации пожароопасных грузов, позволяющие повысить объективность процедуры в целях обеспечения пожарной безопасности. Предложенные методики отличаются использованием эксергетического показателя как классификационного признака;

- выполнены расчетно-экспериментальные исследования эксергии, позволяющие обосновать применение эксергетического анализа как инструмента для прогностической оценки и управления пожарными рисками. Установлены зависимости между эксергией и показателями пожарной опасности. Определены условия и закономерности изменения эксергии применительно к пожароопасным грузам железнодорожного транспорта.

4. Разработанный способ минимизации пожарного риска включает:

- адсорбционно-предохранительный клапан – огнепреградитель и огнегасительную базальтовую сетку, применение которых позволяет осуществлять предотвращение и тушение пожаров, снижать риск их каскадного развития и обеспечить экологическую безопасность при железнодорожных перевозках нефтепродуктов. Предлагаемые технические решения отличаются конструкцией и выполняемыми функциями;

- научно-техническое обоснование возможности применения адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя и огнегасительной базальтовой сетки.

На основании полученных результатов расчетно-аналитических исследований выявлены тенденции изменений пожарного риска, связанные с условиями и закономерностями его снижения при применении адсорбционно-

предохранительного клапана – огнепреградителя при железнодорожных перевозках нефтепродуктов.

5. Предложенный комплекс управленческих решений, основанный на моделировании ситуаций, возникающих при тушении пожаров, отличается условиями применения, формирующимися в процессе межведомственного взаимодействия на объектах железнодорожного транспорта, и включает:

- обоснование организации систем управления взаимодействующими в процессе тушения пожаров подразделениями Государственной противопожарной службы и ведомственной пожарной охраны железнодорожного транспорта, отличающейся единым методологическим подходом;

- разработанную ситуационную модель управления. С целью оптимизации выбора управляющих решений предложена классификация нештатных ситуаций, позволяющая учесть приоритеты противоречий, возникающих в процессе межведомственного взаимодействия подразделений при тушении пожаров на объектах железнодорожного транспорта;

- единый подход к построению причинно-следственной модели, которая позволяет осуществлять прогнозирование тушения пожаров.

Теоретическая значимость работы заключается в обосновании концептуальных основ обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках пожароопасных грузов, основанных на новых методических элементах, базирующихся на:

- условиях каскадного развития техногенных пожаров на транспорте;
- обосновании возможности учета теплофизических условий возникновения горения через эксергию;

- найденных зависимостях между эксергией и показателями пожарной опасности, параметрами, характеризующими условия самовозгорания опасных грузов;

- в преодолении методологических проблем при необходимости учета различных показателей в единой системе;

– установленных принципах ранжирования опасных грузов железнодорожного транспорта по показателям их экологической и пожарной опасности;

– в теоретическом обосновании возможности применения огнегасительной базальтовой сетки и адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя для предотвращения и тушения пожаров, снижения риска их каскадного развития и обеспечения экологической безопасности при железнодорожных перевозках нефтепродуктов.

Впервые предложено применение эксергетического анализа как инструмента прогнозирования и управления пожарными рисками при организации перевозок пожароопасных грузов на железнодорожном транспорте.

Полученные в ходе выполнения диссертационной работы результаты развивают теоретические основы превентивного и текущего управления тушением пожаров с учетом межведомственного взаимодействия и потенциальной опасности функционирования подразделений.

Практическая значимость результатов определяется доказанными возможностями использования разработанной концепции обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов для принятия оптимальных решений по управлению пожарным риском.

Применение разработанных методик, учитывающих эксергетический показатель, повышает объективность процедуры классификации пожароопасных грузов железнодорожного транспорта в целях обеспечения безопасности.

Оборудование железнодорожных цистерн адсорбционно-предохранительным клапаном – огнепреградителем позволяет осуществлять предотвращение и тушение пожаров, снижать риск их каскадного развития и обеспечивать экологическую безопасность при железнодорожных перевозках нефтепродуктов.

Полученные в работе результаты развивают методологию практического применения систем управления тушением пожаров в процессе взаимодействия

подразделений пожарной охраны, функционирующих в условиях нештатных ситуаций, на объектах железнодорожного транспорта.

Методология и методы исследования:

Методология исследования основана на использовании междисциплинарного подхода, базирующегося на фундаментальных научных положениях таких областей, как пожарная, экологическая и транспортная безопасность, теория риска, системный анализ, теория принятия решений, термодинамика, химия и др. Методы исследования включают теоретический анализ причин и закономерностей возникновения и развития пожаров на железнодорожном транспорте; статистические методы анализа, включая регрессионный и корреляционный анализ; наблюдение; моделирование образования пожаровзрывоопасных газов при перевозке грузов; метод индукции для формирования теоретических знаний и получения зависимостей между эксергией и показателями пожарной опасности веществ и материалов; метод дедукции для обоснования выводов, полученных индуктивным путем; методы расчетно-экспериментальных исследований эксергии с использованием стандартных и оригинальных программных продуктов; методы управления, лингвистического прогнозирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Условия каскадного развития техногенных пожаров, определенные на основании проведенного анализа тенденций развития железнодорожного транспорта, выявленных противоречий в системе обеспечения пожарной безопасности и позволяющие обосновать необходимость разработки и реализации новой концепции обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов.

2. Метод управления пожарными рисками на железнодорожном транспорте, включающий:

- методику комплексного технологического аудирования для управления пожарной безопасностью объектов железнодорожного транспорта;
- процедуру комплексного технологического аудирования;

- введение эксергетического анализа в процедуру аудирования.

3. Эксергетический анализ как инструмент прогнозирования и управления пожарными рисками при перевозках пожароопасных грузов на железнодорожном транспорте, включающий:

- обоснованный методический инструментарий для применения эксергетического анализа при комплексной энергоэкологической оценке и определении пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожного транспорта и методику для расчета и прогнозирования эксергии;
- зависимости между эксергией и показателями пожарной опасности грузов железнодорожного транспорта;
- теоретическое обоснование возможности учета теплофизических условий возникновения горения через эксергию и введение эксергетического показателя в оценку склонности грузов к самовозгоранию;
- методику классификации пожароопасных грузов с учетом эксергетического показателя;
- расчетно-экспериментальные исследования эксергии с определением условий и закономерностей ее изменения применительно к пожароопасным грузам железнодорожного транспорта.

4. Способ минимизации пожарного риска, основанный на применении инновационных технических решений для предотвращения и тушения техногенных пожаров при железнодорожных перевозках нефтепродуктов, включающий:

- конструкцию и научно-техническое обоснование применения адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя и огнегасительной базальтовой сетки для предотвращения и тушения пожаров, снижения риска их каскадного развития и обеспечения экологической безопасности при железнодорожных перевозках нефтепродуктов;
- результаты расчетно-аналитических исследований изменений пожарного риска с определением условий и закономерностей его снижения при применении

адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя при железнодорожных перевозках нефтепродуктов.

5. Комплекс управленческих решений, основанный на моделировании ситуаций, возникающих при тушении пожаров на объектах железнодорожного транспорта в процессе организованного межведомственного взаимодействия, включающий:

- обоснование организации систем управления подразделениями Государственной противопожарной службы и ведомственной пожарной охраны железнодорожного транспорта в пределах единой методологии;

- классификацию нештатных ситуаций, возникающих в процессе функционирования подразделений, участвующих в ликвидации пожаров на объектах железнодорожного транспорта и разработанную ситуационную модель управления;

- единый подход к построению причинно-следственной модели прогнозирования тушения пожаров.

Достоверность и обоснованность результатов диссертационного исследования подтверждается применением широко известных теоретических представлений о природе возникновения и механизмах распространения горения, системного анализа проблем управления; масштабностью и удовлетворительной корреляцией результатов экспериментально - расчетных исследований; согласованностью полученных результатов с результатами всемирно признанных отечественных и зарубежных научных школ; использованием сертифицированного оборудования и программного обеспечения. Достоверность результатов исследований обеспечивается объективной информационной базой данных по показателям пожарной опасности, физическим и химическим свойствам веществ и материалов, достоверными сведениями о пожарах и осуществлении профилактической работы на объектах и подвижном составе открытого акционерного общества «Российские железные дороги» (ОАО «РЖД»).

Апробация результатов. Основные положения диссертации доложены и обсуждены на V Всероссийской научно-практической конференции «Надежность

и долговечность машин и механизмов» (Иваново, 2014); VI Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов» (Иваново, 2015); VII Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов» (Иваново, 2016); XXVI международной научно-практической конференции «Предупреждение. Спасение. Помощь» (Москва, АГЗ МЧС России, 2016); Международной научно-практической конференции «История пожарной охраны и современная пожарная охрана» (Москва, АГПС МЧС России, 2016); Международном салоне «Комплексная безопасность 2016» (Москва, ВДНХ), Всероссийской научно-практической конференции «Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе» (Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016); Международной научно-практической конференции: «Транспорт России: проблемы и перспективы» (Санкт-Петербург, 2016); XXVII Международной научно-практической конференции: «Предупреждение. Спасение. Помощь» (Москва, АГЗ МЧС России, 2017); при проведении Дней науки с международным участием «Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности» (Екатеринбург, 2017); Международной научно-практической конференции, посвященной году культуры и безопасности: «Современные пожаробезопасные материалы и технологии» (Иваново, 2018); XXXI Международной научной конференции «Математические методы в технике и технологиях – ММТТ» (Санкт-Петербург, 2018); XXI Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности» (Санкт-Петербург, 2018); Международной научно-практической конференции: «Транспорт России: проблемы и перспективы» (Санкт-Петербург, 2018); XXII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы защиты и безопасности» (Санкт-Петербург, 2019), Международной научно-практической конференции: «Транспорт России: проблемы и перспективы» (Санкт-Петербург, 2019).

Реализация результатов исследования.

Представленные в диссертации результаты исследований нашли практическое применение в образовательном и научно-исследовательском процессе ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «Военмех» им. Д.Ф. Устинова», внедрены в деятельность Главного управления МЧС России по Санкт-Петербургу, ФГКУ «2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу», ФГКУ «СПСЧ по городу Санкт-Петербургу», Северо-Западный филиал АО «Федеральная пассажирская компания».

1 Общее состояние проблемы

Вовлечение в хозяйственную деятельность все большего количества природных ресурсов, использование все более сложных и масштабных технологических и транспортных систем, увеличение количества потребляемой энергии в современном мире привело к росту вероятности возникновения пожаров и масштабов их развития. Современные ЧС, связанные с пожарами, характеризуются высокой сложностью. Развитие транспорта определяет устойчивый рост национальной экономики, который, однако, невозможен без обеспечения пожарной и промышленной безопасности, рационального использования ресурсов, снижения негативного техногенного воздействия транспортных систем на окружающую среду.

Транспортные средства автономны в пути следования. Они перевозят людей и грузы, в том числе ядовитые и пожароопасные, и достаточно часто удалены от мест, где имеется возможность оказания первой помощи в случае ЧС. Увеличивается сложность и размеры транспортных систем [1-5], процессы их строительства и эксплуатации требуют постоянного управления рисками.

1.1 Роль и перспективы железнодорожного транспорта в развитии национальной экономики

Анализ статистики пожаров по объектам возникновения показывает, что пожары на транспорте занимают второе место после пожаров в зданиях жилого назначения [6]. С каждым годом все больше внимания уделяется пожарной безопасности на транспорте, что сопровождается уменьшением количества пожаров, числа погибших и травмированных, однако данные показатели остаются достаточно высокими (Таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Статистика аварий на транспорте [6]

Объект, на котором возник пожар		2013	2014	2015	2016	2017	% от общих данных по России (2017 г.)
Транспортное средство	кол-во пожаров, ед.	23434	23081	20766	19299	17521	13,23
	погибло людей при пожарах, чел.	158	123	157	146	127	1,63
	травм. людей при пожарах, чел.	455	403	371	344	337	3,62

ЖДТ входит в единую транспортную систему Российской Федерации (РФ). При взаимодействии с другими видами транспорта он предназначен для своевременного и качественного обеспечения потребности государства в перевозках, создания условий для развития экономики, обеспечения единства экономического пространства на территории РФ, реализацию социальных программ, экономическую и национальную безопасность государства, активно влияет на развитие межрегиональных и международных связей [7–15].

Велика стратегическая роль ЖДТ в общей транспортной системе РФ. Его доля в грузообороте нашей страны составляет около 46 %, по пассажирообороту – приблизительно 23 % [13, 16]. Безаварийное и устойчивое функционирование ЖДТ является одной из составляющих жизнеобеспечения и национальной безопасности страны [14, 15].

Структура грузооборота по видам транспорта (%) представлена на Рисунке 1.1 [16].

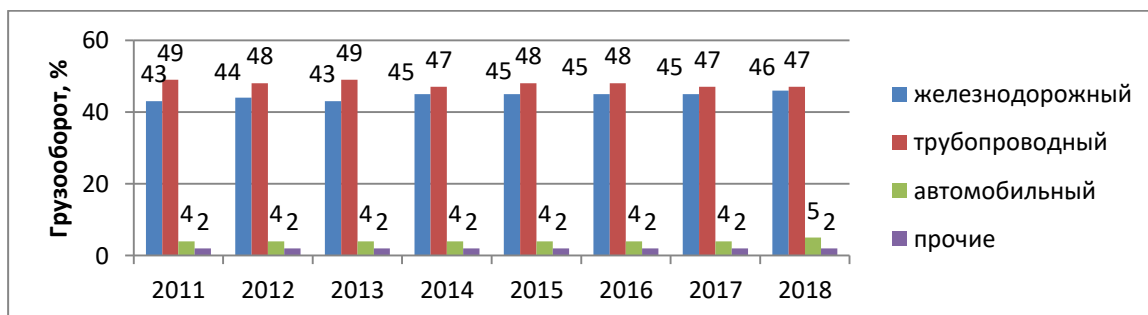


Рисунок 1.1 – Структура грузооборота по видам транспорта [16]

ЖДТ во многих странах, среди которых РФ, занимает ведущее место среди всех видов транспорта, что объясняется возможностью обслуживать все отрасли экономики; удовлетворять потребности населения в перевозках практически во всех климатических зонах; эксплуатировать вне зависимости от сезона; высокой скоростью доставки грузов и пассажиров; возможностью перевозки значительных количеств грузов на большие расстояния, высоким пассажиропотоком, надежностью и безопасностью, относительно низкой себестоимостью перевозок, меньшим воздействием на окружающую среду по сравнению с другими видами транспорта.

Российские железные дороги являются второй по величине транспортной системой мира, уступая лишь США. Эксплуатационная длина железнодорожных путей в РФ составляет 86 тыс. км [16]. На долю США, России, Канады, КНР, Индии, ФРГ, Австралии, Аргентины, Франции, Мексики приходится более половины общей длины железных дорог мира. По протяженности электрифицированных магистралей Российские железные дороги занимают первое место в мире [12]. Плотность железнодорожных путей общего пользования в РФ составляет 5,1 км на 1 тыс. км² территории. Интенсивность перевозок на 1 км длины железнодорожных путей общего пользования достигает 28,8 млн.т-км грузов и 1.4 млн. пассажиро-км. Парк подвижного состава ОАО «РЖД» в настоящее время включает: локомотивов – 8,3 тыс. шт., грузовых вагонов всех типов – 166, 895 тыс. шт. [16].

По грузообороту лидирующие позиции в мире занимают США, КНР и Россия. По данным Росстата в 2016 году российский железнодорожный транспорт перевез 1 млрд. 325 млн. т грузов, что на 4 млн. т меньше, чем в 2015 году. Наша страна осуществляет более 20% грузооборота и 10% пассажирооборота всех железных дорог в мире [12].

За последние годы на ЖДТ произошли значительные изменения в технике, методах эксплуатации и экономике. Осуществляется поэтапное внедрение автоматизированной системы управления железнодорожным транспортом. Дальнейшее развитие получили контейнерные перевозки на основании

реализации единой контейнерно-транспортной системы; построены новые железнодорожные линии. Внедрение новой техники сопровождается дальнейшим совершенствованием методов эксплуатационной работы.

Однако, несмотря на успехи в развитии, на ЖДТ существует ряд серьезных проблем, являющихся «критическими для дальнейшего социально-экономического роста страны» [12], среди которых особое внимание должно быть уделено повышению безопасности функционирования железнодорожного транспорта.

Пожарная опасность объектов ЖДТ связана с эксплуатацией и размещением большого количества единиц подвижного состава, обращением ОГ; высокой плотностью застройки станций; большим количеством образующихся и накопленных отходов; сложностью проведения боевых действий по тушению пожаров, наличием проблем, связанных с обеспечением противопожарным водоснабжением и т.д. [8, 14, 15, 17].

Среди проблем ЖДТ в России в настоящее время особо выделяется недостаточный уровень технологической, техносферной и экологической безопасности, повышение которого рассматривается как один из прогнозируемых результатов Стратегии [12].

Ожидается, что мере увеличения интенсивности перевозок техногенные риски будут расти, что скажется на развитии ЖДТ. Важным фактором его устойчивого развития определяется обеспечение необходимого уровня ПБ и минимизация ущерба от пожаров и ЧС на железнодорожном транспорте.

1.2 Методические подходы к обеспечению пожарной безопасности на железнодорожном транспорте в историко-социальном аспекте

1.2.1 Организация пожарной охраны на железнодорожном транспорте

Пожары на железных дорогах России в 19 веке случались достаточно часто и приводили к значительным убыткам. Масштаб пожаров на станциях

определялся сосредоточением большого количества грузов в вагонах, на платформах, в пакгаузах и т.д. Железнодорожные станции и сами представляли собой пожароопасные объекты [18].

Можно выделить ключевые проблемы в обеспечении ПБ ЖДТ в XIX веке: некомпетентность железнодорожной инспекции, призванной осуществлять надзор; слабая подготовка станционных служащих к тушению пожаров; отсутствие профессионалов, способных обучить людей основам пожарного дела. Система тушения пожаров и меры противопожарной защиты на ЖДТ были неудовлетворительными; средства тушения – находящимися в ненадлежащем состоянии, что определило необходимость формирования станционных команд, способных бороться с пожарами. Однако этот процесс принял затяжной характер.

В 1918 г. на железнодорожных станциях и отдельных объектах были созданы пожарные команды и пожарные посты, в 1921 г. организованы надзорные органы. Введены в действие 7 дежурных пожарных поездов (места стоянки: Москва, Бологое, Вологда, Смоленск, Курск, Самара, Екатеринбург). В результате принятых мер число пожаров на железных дорогах с 3718 в 1920 г. снизилось до 2369 – в 1922 г. [19].

Работа ЖДТ во время Великой Отечественной войны была подчинена обеспечению воинских перевозок, бесперебойной и быстрой доставке грузов для нужд армии. Особое значение придавалось охране и обороне поездов, а также наиболее важных объектов на железных дорогах [20, 21].

В 2008 г. приказом Федерального агентства железнодорожного транспорта № 46 утверждено Положение о ведомственной пожарной охране железнодорожного транспорта Российской Федерации [22].

В 2018 году на сети железных дорог России в режиме постоянной готовности функционируют 310 пожарных поездов, из них 157 поездов «нового поколения», имеющие увеличенный в 2 раза запас пенообразователя, мощные прожекторы, электронные датчики цистерн-водохранилищ и оборудованные навигационной системой ГЛОНАСС. Поезда с повышенными тактическими возможностями оснащены средствами, позволяющими параллельно с тушением

вести перекачку разлива опасных веществ. По программе обновления их парка полная замена должна пройти до 2020 года. Общее количество выездов пожарных поездов составило 3133 за 2017 г. и 1128 за 2018 г. [23]. Выезды пожарных поездов распределились следующим образом (Рисунок 1.2).

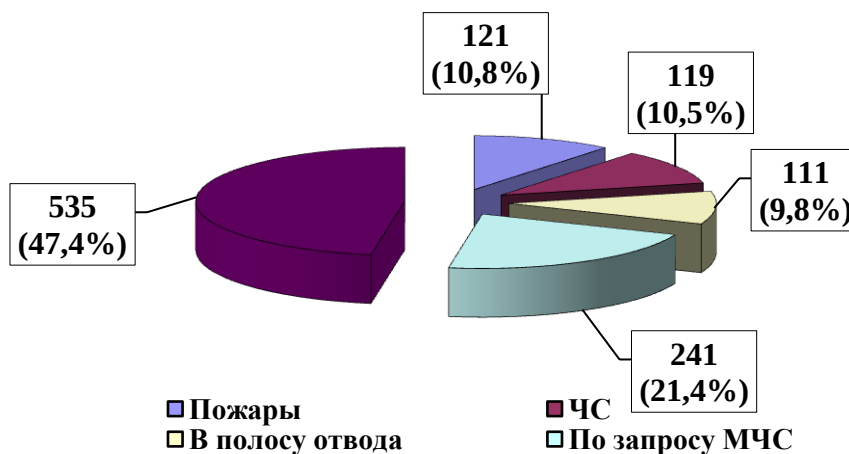


Рисунок 1.2 – Распределение выездов пожарных поездов за 2018 год [23]

Выезды на тушение пожаров распределились следующим образом: на тушение пожаров на стационарных объектах железнодорожного транспорта – 17 выездов (или 13,9 % от общего количества выездов на тушение пожаров), на подвижной состав – 105 выездов (или 86,1 %) (Рисунок 1.3).

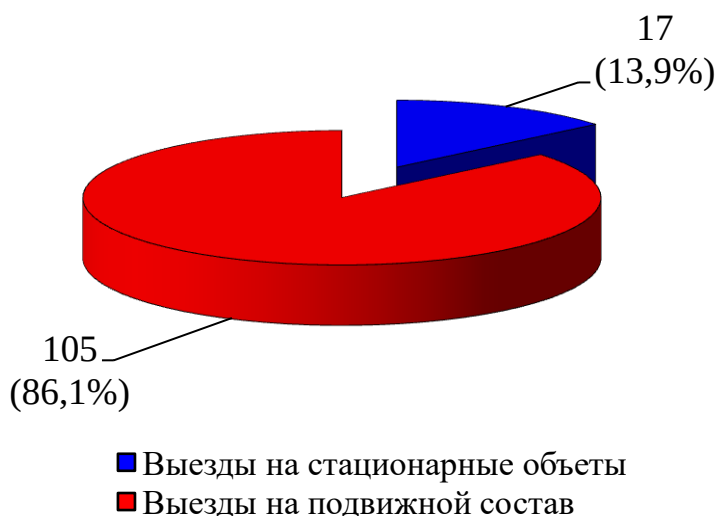


Рисунок 1.3 – Распределение выездов пожарных поездов на пожары в 2018 году [23]

Всего за период 2012 – 2018 гг. боевыми расчётами пожарных поездов на пожарах спасено 193 человека и материальных ценностей на общую сумму около 9,5 миллиардов рублей [23].

В соответствии с [24] каждый объект защиты должен иметь систему обеспечения ПБ, включающую систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению ПБ.

На объектах защиты ОАО «РЖД» осуществляют свою деятельность государственная; ведомственная, частная и добровольная пожарная охрана [22, 25].

ГПС МЧС России выполняет функции организации и профилактики пожаров, спасение людей и имущества при пожарах, организацию и осуществление тушения пожаров, проведение АСР в соответствии с законодательством РФ в области ПБ [26].

Функции ведомственной пожарной охраны в ОАО «РЖД» выполняет Федеральное государственное предприятие «Ведомственная охрана железнодорожного транспорта Российской Федерации» (ФГП ВО ЖДТ России) [24]. ФГП ВО ЖДТ России проводит профилактические работы по предупреждению пожаров; осуществляет контроль за обеспечением пожарной безопасности и пожарный надзор; участвует в тушении пожаров, ликвидации последствий ЧС на железнодорожном транспорте и проведении аварийно-спасательных работ в зоне осуществления перевозочного процесса.

Ведомственная и частная пожарная охрана осуществляют свою деятельность на договорных условиях в соответствии с законодательством РФ [24, 26].

Анализ статистики пожаров на железнодорожном транспорте показывает, что приблизительно в 75% случаев первыми на место пожара прибывают боевые расчёты территориальных подразделений пожарной охраны.

Основными стратегическими целями пожарной охраны в области защиты ЖДТ от пожаров являются [8, 12, 17, 23, 25]:

- минимизация рисков возникновения пожаров и их последствий;
- качественное улучшение профилактики пожаров с учетом модернизации технологических процессов в отрасли, внедрения в практику работы высокотехнологичного оборудования, а также введения в эксплуатацию нового подвижного состава;
- обеспечение надежной противопожарной защиты инфраструктуры ЖДТ и ПБ перевозочного процесса за счет повышения боеготовности пожарных поездов, пожарных подразделений и показателей их оперативного реагирования, развития материально-технической базы и системы подготовки персонала, а также совершенствования технологий тушения пожаров.

Для достижения рассмотренных целей необходимо: сохранение и профессиональное развитие кадрового потенциала; повышение эффективности, качества и надежности пожарного надзора; повышение уровня технической оснащенности и развитие инфраструктуры пожарной охраны; сокращение времени оперативного реагирования на пожары; совершенствование систем управления силами и средствами на пожаре; внедрение новых инновационных технологий пожаротушения; создание единого информационного пространства по вопросам обеспечения пожарной безопасности железнодорожного транспорта [22, 27].

В настоящее время уровень пожарной защиты объектов ЖДТ неизмеримо возрос. Тем не менее, ЖДТ рассматривается как совокупность производственно-технологических комплексов повышенной пожарной опасности. Пожары на объектах ЖДТ являются мощным дестабилизирующим фактором не только для отрасли, но и в целом для экономики страны.

1.2.2 Анализ пожаров на железнодорожном транспорте

Примеры крупных пожаров на ЖДТ приведены в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Сведения о крупных пожарах на ЖДТ [28-32]

Год	Место аварии	Поезд	Данные о пожаре	Жертвы
1917	Сен-Мишель-де-Морье, Франция	Пассажирский поезд	Поезд перевозил солдат и был составлен из разных вагонов, его вез один паровоз вместо двух. На крутом повороте разорвалась сцепка и первый вагон сошел с рельс. В него врезались остальные вагоны. Вспыхнули деревянные конструкции. Многие солдаты везли боеприпасы и гранаты, что усилило пожар. Спасать было некого.	Погибло более 700 чел., многие не опознаны
1944	Деревня Торре-дель-Бьерсо (Испания)	Почтовый поезд, маневровый поезд, грузовой состав	Почтовый поезд с отказавшими тормозами вошел в тоннель, в котором оказался маневровый поезд. С противоположной стороны в тоннель въехал паровоз с 27 гружеными вагонами. Пожар тушили 2 дня	Точное число жертв неизвестно (от 500 до 800 чел.)
1968	Перегон Березайка-Поплавенец (Россия)	Пассажирский поезд	Поезд вошел на неисправный отрезок пути, расцепились электровоз и первый вагон, 15 вагонов опрокинулись. Загорелся вагон-ресторан. Пламя распространилось на другие вагоны. Пожарные машины не могли подъехать к поезду из-за заболоченной местности. В пожарном поезде оказалось недостаточно воды, чтобы справиться с пожаром.	31 чел. погиб, 100 чел. ранено
1972	Ист-Сен-Луис (США)	Формирование грузового состава	При формировании грузового состава цистерна с полипропиленом ударилась на небольшой скорости в катившийся перед ней хопер. Хопер пробил цистерну, сжиженный газ разлился и испарялся. Газовоздушная смесь загорелась, произошел мощный взрыв.	176 чел. ранено

Продолжение таблицы 1.2

Год	Место аварии	Поезд	Данные о пожаре	Жертвы
1973	США	Цистерна с пропаном	Цистерна, не оборудованная отсечным клапаном, дала утечку паров при перекачке пропана. Воспламенилась паровая фаза. Через 19 минут взорвалась цистерна. Образовался «огненный шар» диаметром 50-70 м. Половина цистерны отброшена на 400 м.	13 чел. погибло, 95 чел. ранено
1974	Штат Иллинойс (США)	Грузовой состав с нефтепродуктами	В результате аварии в цистерне образовалось отверстие размером 56/66 мм, через которое выброшено 115 м ³ изобутана. Взрыв и пожар.	7 чел. погибло, 356 чел. ранено
1978	Ваверли (США)	Грузовой поезд с нефтепродуктами	68 железнодорожных цистерн, в двух из которых находился пропан, сошли с рельсов. Через два дня одна из цистерн разрушилась вследствие перегрева, произошел взрыв и пожар.	16 чел. погибло, 43 чел. ранено
1989	Перегон Аша-Улутеляк. Башкирская АССР (СССР)	Два пассажирских поезда	В момент встречного прохождения двух пассажирских поездов мощный взрыв облака лёгких углеводородов, образовавшегося в результате аварии на проходившем рядом трубопроводе Сибирь — Урал — Поволжье.	От 575 до 645 чел. погибло, 623 чел. ранено
1989	Станция Алма-Ата II (СССР)	Два грузовых состава, один из которых с нефтепродуктами	Пробоину получила железнодорожная цистерна, перевозящая пропан-бутан. Газ под давлением пошел под днище соседней цистерны. Возгорание произошло от искры выхлопного коллектора локомотива. Образовался мощный факел. Произошел взрыв. Образовался «огненный шар». Части корпуса цистерны взлетели на высоту 30 м.	20 чел. погибло, 208 чел. ранено
1992	Разъезд Подсосенка Тверская область (СССР)	Пассажирский поезд и сборный грузовой состав	Столкновение грузового и пассажирского поезда. Следуя к станции, машинист пассажирского поезда на вызовы по радиосвязи не отвечал, скорость не уменьшал. Позднее применение автоматических тормозов пассажирского поезда. При столкновении возник пожар.	43 чел. погибло, 22 чел. ранено

Продолжение таблицы 1.2

Год	Место аварии	Поезд	Данные о пожаре	Жертвы
1995	Волгоград (Россия)	Пять железнодорожных цистерн с пропан-бутаном	Срыв резинотканевого рукава со штуцера и истечение газа из рукава и вентиля. Воспламенение газовоздушной смеси при искре, появившейся от удара рукава с хомутом о конструкции эстакады. Нагревание цистерны при пожаре и образование «огненного шара».	3 чел. погибло, 8 чел. ранено
2002	Недалеко от города Аль-Айят (Египет)	Пассажирский поезд	Возгорание в пассажирском вагоне вследствие неосторожного обращения с переносной газовой горелкой. Машинист не заметил горения и ехал дальше.	383 чел. погибло, несколько сотен чел. ранено
2012	Перегон Буря – Доминикан Амурская область (Россия)	Грузовой поезд, состоящий из 70 цистерн с нефтепродуктами	Из-за обрыва контактных проводов сошли с рельсов и опрокинулись 17 цистерн с нефтью. 13 из них загорелись. Поездной бригаде удалось отцепить горящие цистерны и отогнать основной состав на безопасное расстояние.	Пострадавших и погибших не было
2013	Лак-Мегантик (Канада)	Грузовой поезд, состоящий из 70 цистерн с сырой нефтью	Из-за неисправности ручного тормоза потерпел крушение поезд. Цистерны оторвались от локомотива и сошли с рельсов в центральной части города. Серия из шести мощных взрывов. Пожар.	47 чел. погибло, 1,5 тыс. чел. эвакуировано
2013	Станция Белая Калитва Ростовской области (Россия)	Грузовой поезд с нефтепродуктами	Сошел с рельсов локомотив, за ним 51 цистерна с нефтепродуктами, в т.ч. с пропаном. Взрыв, затем пожар.	Эвакуировано 2,7 тыс. человек, госпитализировано – 30 чел.

Анализируя пожары и взрывы, происходящие на ЖДТ, можно выделить их основные причины [8, 16]:

1) старение, износ, отступления от норм содержания и допускаемые неисправности объектов и подвижного состава, техники и оборудования железнодорожного транспорта;

2) нарушения при обращении грузов, а именно при подготовке, маркировке, приеме, погрузочно-разгрузочных работах, в оформлении перевозочных документов;

3) нарушения в поездной и маневровой работе, например, несоблюдение порядка закрепления подвижного состава на станциях и правил маневров;

4) столкновения поездов с автотранспортом на железнодорожных переездах;

5) допускаемые ошибки в работе, аварии и крушения, приводящие к сходу и опрокидыванию подвижного состава или тары с их повреждением, разгерметизацией и т. д.

Развитие пожаров на подвижном составе ЖДТ имеет ряд отличий от пожаров на стационарных объектах в частности, по способам инициирования события или по возможности одновременного развития событий на различных объектах [8, 14, 33-36]. Пожары могут привести к возникновению большого ущерба, что обусловлено характерными особенностями современного ЖДТ: большая масса подвижного состава (масса грузового поезда составляет 3–4 тыс. т); наличие большого количества ОГ (в т. ч. легковоспламеняющихся жидкостей (ЛВЖ), горючих жидкостей (ГЖ), самовозгорающихся веществ и материалов); высокая скорость подвижного состава (до 100 км/ч для грузового поезда); протяженный экстренный тормозной путь (до 1 000 м); наличие опасных участков дорог в пути следования (тоннели, мосты и т.д.); использование тока высокого напряжения (до 30 кВ); влияние человеческого фактора (например, ошибки диспетчеров); большое количество путей и железнодорожных маршрутов, проходящих в непосредственной близости населенных участков.

1.2.3 Перевозка опасных грузов на железнодорожном транспорте

ОАО «РЖД» перевозит большое количество грузов (Рисунки 1.4, 1.5), среди которых сотни миллионов тонн ОГ, на них приходится около 35 % от общего числа грузовых перевозок, и эта величина постоянно растёт [36].

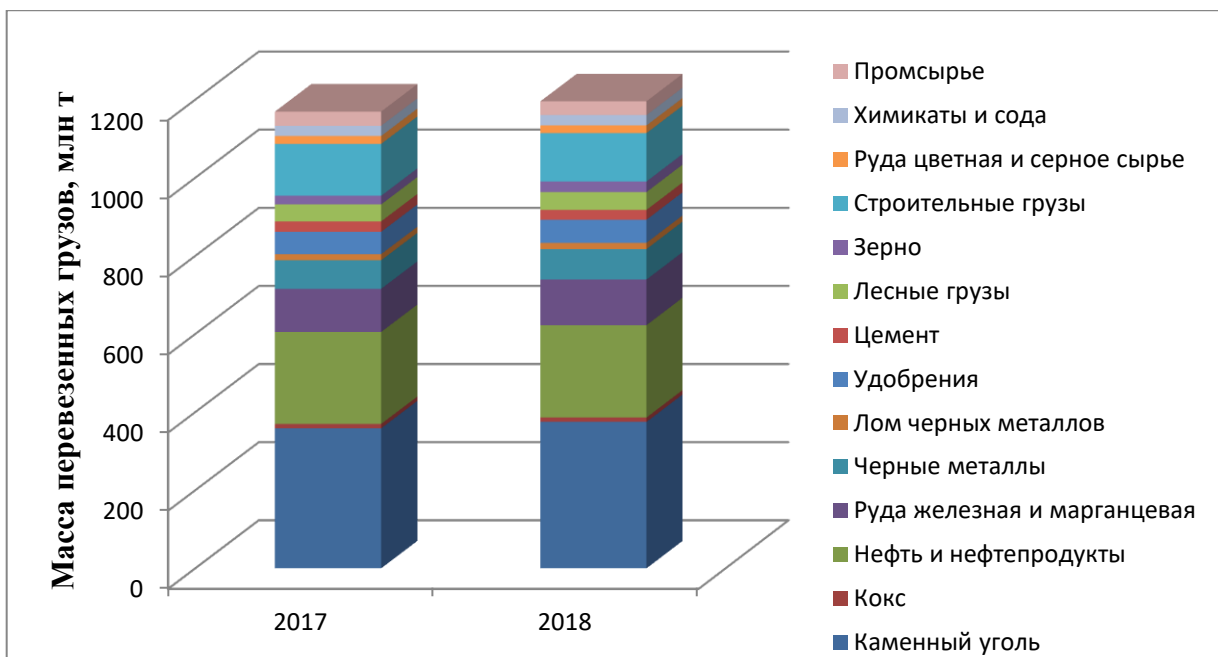


Рисунок 1.4 – Масса перевезенных грузов ОАО «РЖД» за 2017 и 2018 год [16]

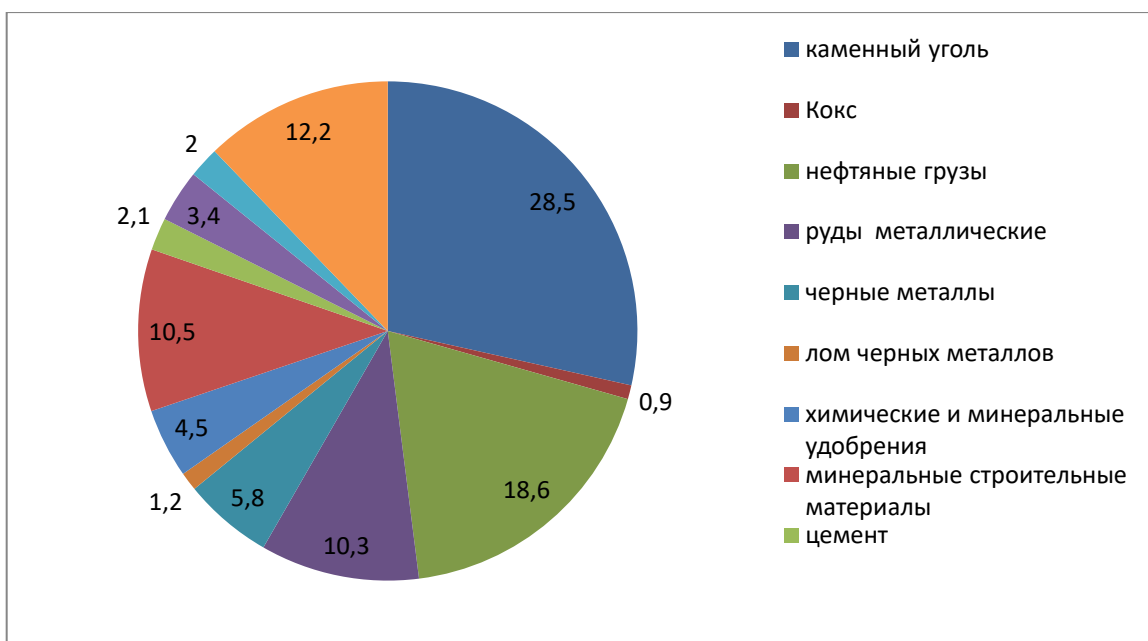


Рисунок 1.5 – Структура перевозок отдельных видов грузов ЖДТ общего пользования [13]

Классификация ОГ производится в зависимости от вида и степени их опасности и установлена ГОСТ 19433-88 [37]. Классификация и общие требования безопасности к вредным веществам, содержащимся в отходах

производства, сырье, полупродуктах, продуктах, при их производстве, применении и хранении определены в ГОСТ 12.1.007-1976 [38]. При этом пожарная опасность вредных веществ не учитывается. Различные требования к одним и тем же веществам, обращающимся на производстве, и в процессе их перевозки ЖДТ определяет трудности в создании единого нормативно-методического обеспечения в области ПБ и препятствует эффективному межведомственному взаимодействию ГПС МЧС России и ВПО ЖДТ.

Современные изменения национальной экономики связаны с увеличением энергетической эффективности процессов и производств. Рост количества и качества потребляемой энергии обусловлен внедрением новых технологий, увеличением масштабов производства, количеством перевозимых грузов энергетического назначения.

Нефть и нефтепродукты являются неотъемлемой частью современного мира, они применяются в различных отраслях промышленности и на транспорте, они занимают второе место в структуре перевозок ОАО «РЖД». По данным Межведомственной комиссии по экологической безопасности России, примерно 30% аварийных ситуаций на железнодорожном транспорте связано с обращением нефтепродуктов [39]. Актуальными остаются вопросы, связанные с обеспечением безопасности доставки таких ОГ, уменьшением вероятности возникновения и масштабов техногенных ЧС.

Ввод в действие ряда нефтепроводов и ограничение объемов добычи вызвало некоторое снижение железнодорожных перевозок нефти в 2010 - 2016 годах, однако в 2017 г. за счет активных тарифных мер и работы с грузоотправителями ОАО «РЖД» удалось минимизировать сокращение погрузки нефтеналивных грузов [35].

Структура перевозки нефтяных грузов ОАО «РЖД» в 2017 году представлена на Рисунке 1.6.

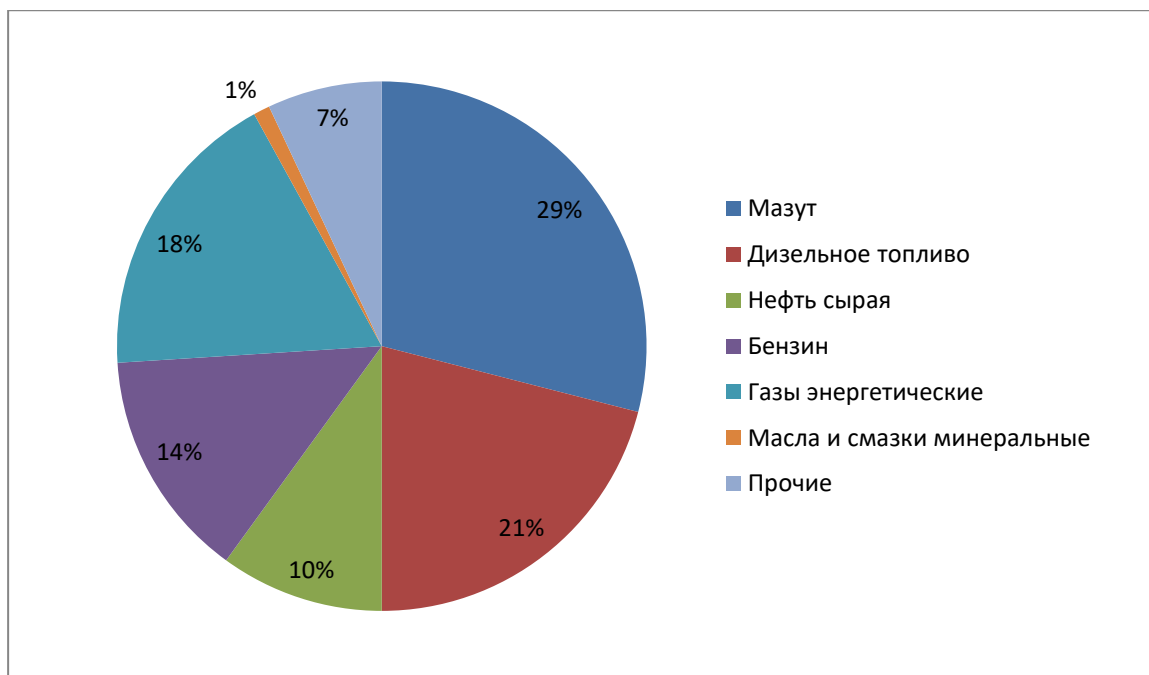


Рисунок 1.6 – Структура перевозки нефти и нефтепродуктов ОАО «РЖД» [34, 36]

Доля нефтяных грузов по технологии собственных поездных формирований от общего объема перевозок составляет более 14,5% [35, 40, 41], основной объем доставок производится на экспорт.

В настоящее время ускоренными темпами развивается мировая индустрия сжиженных газов. Эксперты прогнозируют значительное увеличение добычи и использования газа, газовая промышленность станет «лидером структурного совершенствования мирового энергетического баланса» [28].

Многие страны мирового сообщества не могут обеспечить свои потребности за счет внутренних запасов энергоресурсов. Значительное расстояние районов добычи газа от рынков сбыта обуславливает необходимость рассмотрения различных вариантов транспортировки. Необходимо создание транспортных мощностей, расширение существующих газотранспортных коридоров, диверсификация маршрутов транспортировки газа [42].

Широкое применение криогенных технологий получения сжиженного природного газа (СПГ) и сжиженных углеводородных газов (СУГ) явилось существенным нововведением в решение мировых проблем энергопотребления [43], и упростило транспортировку энергоресурсов в виде сжиженных газов.

Приблизительно 30-35% СПГ транспортируется в сжиженном состоянии [43], что возможно осуществлять различными видами транспорта, в том числе и ЖДТ.

Сжиженное состояние газа является термодинамически неустойчивым и обуславливает повышенный риск возникновения ЧС. Проблемы обеспечения пожаровзрывобезопасности (ПВБ) при обороте на транспорте СУГ и СПГ остаются нерешенными. Практически отсутствует нормативное обеспечение ПВБ процессов перевозки таких грузов [44], что не согласуется со значительным увеличением объемов их перевозок.

Характер технологии перемещения и хранения веществ устанавливается, в первую очередь, исходя из свойств данного вещества [45].

Снижение пожарных рисков, связанных с перевозкой ОГ и обеспечение безопасности функционирования ЖДТ рассматривается как одна из приоритетных задач его развития [12, 35].

Анализируя пожарную опасность при обращении нефтепродуктов, учитывая специфику процессов, важно отметить, что пожары, происходящие на таких объектах, являются наиболее сложными и часто перерастают в ЧС.

На основании проведенного анализа статистических данных, определены сценарии развития пожаров и взрывов, происходящих при обращении нефтепродуктов (Рисунок 1.7), с помощью таксономического анализа сгруппированы техногенные риски от таких пожаров и взрывов по сценарию развития.

Первое место в процентном соотношении занимают пожары, связанные с проливом нефти и нефтепродуктов. Они приводят к значительному материальному ущербу, что обусловлено разветвленностью коммуникационных сетей, насыщенностью оборудованием и установками прилегающей территории. «Огненный шар» и «пожар-вспышка» являются менее распространенными сценариями развития пожаров.

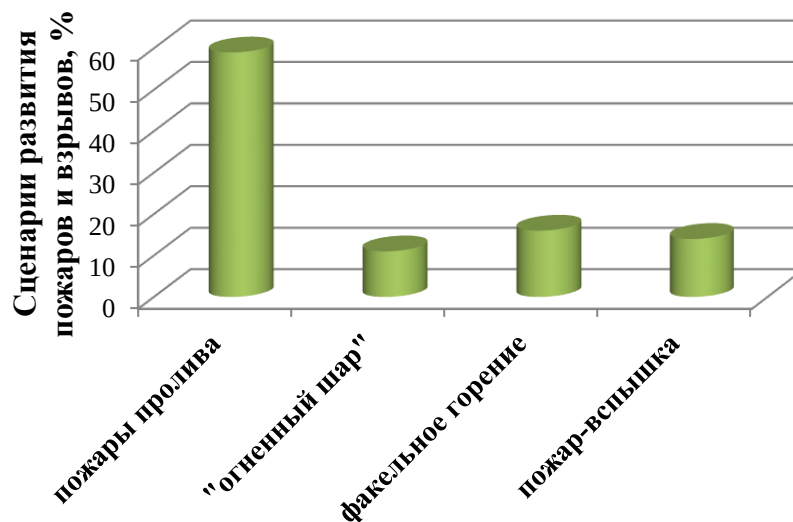


Рисунок 1.7 – Процентное соотношение сценариев развития пожаров и взрывов при обращении нефтепродуктов в РФ в период с 2006 по 2017 гг.

Факторы, обуславливающие взрывопожарную опасность при обращении нефтепродуктов, представлены на Рисунке 1.8. Неудовлетворительное состояние основных производственных фондов, изношенность оборудования и подвижного состава усиливает действие основных факторов опасности, что широко рассматривается в научной литературе.



Рисунок 1.8 – Факторы, определяющие взрывопожарную опасность при обращении нефтепродуктов

В рамках настоящего исследования установлено процентное соотношение взрывов и пожаров в зависимости от объектов возникновения при обращении нефти и нефтепродуктов в странах Европейского Союза (ЕС) (Рисунок 1.9) и РФ (Рисунок 1.10).

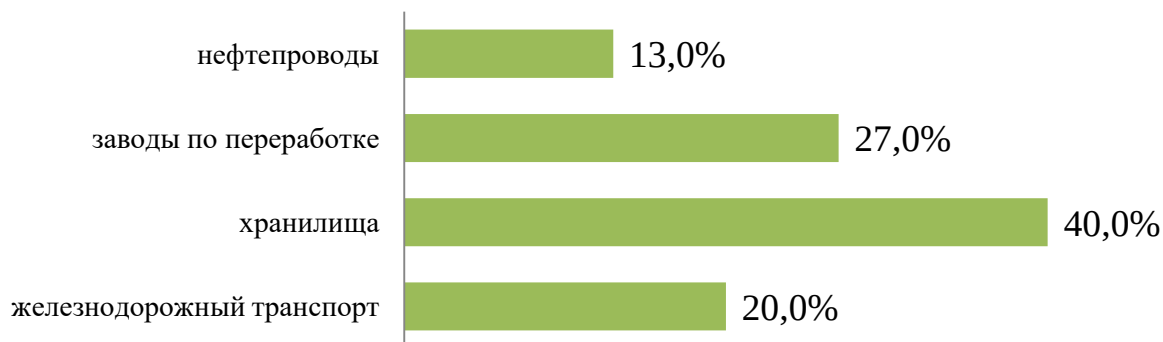


Рисунок 1.9 – Процентное соотношение объектов возникновения пожаров и взрывов при обращении нефтепродуктов в странах ЕС



Рисунок 1.10 – Процентное соотношение взрывов и аварий по объектам возникновения при обращении нефтепродуктов в РФ (обобщенные данные за 2010-2017 гг.)

В РФ основными объектами возникновения пожаров при обращении нефтепродуктов являются резервуары нефтебаз (34% от общего объема), наименьшая доля пожаров (3% от общего объема) приходится на объекты

железнодорожного транспорта. Аналогичная ситуация в отношении нефтебаз наблюдается в странах ЕС, объекты железнодорожного транспорта занимают второе место, что соответствует специфике развития нефтяной отрасли стран ЕС. Небольшое количество собственных мощностей по переработке нефти в большинстве стран ЕС, место ЕС в нефтяной промышленности (в большинстве случаев ЕС выступает как импортер нефтепродуктов) и специфика доставки нефтепродуктов для потребителя определяет такое соотношение объектов возникновения пожаров.

Выявление и ранжирование причин взрывов и пожаров на объектах обращения нефтепродуктов показало: в РФ 67% связано с воспламенением паровоздушных смесей от источника зажигания; ремонтные работы – 14%; ошибки персонала – 10%, самовозгорание отложений – 4%, самовоспламенение паровоздушной смеси – 2%, другие причины – 1%. Взрывопожарная ситуация осложняется несоблюдением требований в отношении обеспечения необходимых противопожарных разрывов, непринятием своевременных мер, направленных на защиту от прогрева и выброса горячей нефти из резервуаров и цистерн [35]. Открытое пламя и высокая температура при пожаре может воздействовать на соседние железнодорожные цистерны с ЛВЖ и ГЖ, в результате может вспыхивать промасленный слой на их поверхности. Неплотности и неисправности запорной арматуры на цистернах с ЛВЖ, ГЖ и сжиженными углеводородными газами приводят к возгоранию паров над горловинами цистерн, а также газов над избыточными клапанами.

Наиболее распространенными источниками зажигания при обращении нефтепродуктов в РФ являются разряды статического электричества, фрикционные и электрические искры и пирофорные отложения (Рисунок 1.11). Большая часть источников зажигания возникает при проведении ремонтных работ и технического обслуживания.



Рисунок 1.11 – Процентное соотношение взрывов и пожаров при обращении нефтепродуктов в зависимости от источников зажигания

Самыми распространенными причинами взрывов и пожаров при обращении нефтепродуктов в странах ЕС являются возгорание паров, стихийные природные явления и человеческий фактор (Рисунок 1.12).

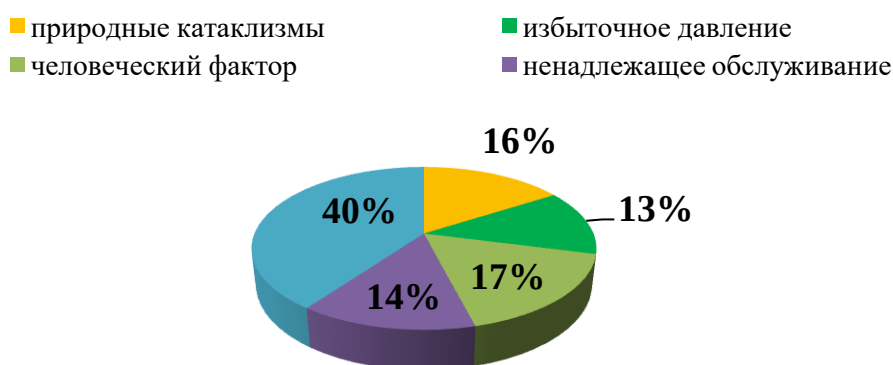


Рисунок 1.12 – Причины взрывов и пожаров при обращении нефтепродуктов в ЕС

При перевозке самовозгорающихся ОГ необходим строгий учет их физико-химических и пожароопасных свойств. Снижение рисков ЧС при транспортировке таких грузов осуществляется предъявлением особых требований к маркировке, таре, подвижному составу. В литературе отмечается, что

существующие в настоящее время методы определения класса опасности самовозгорающихся грузов «допускают возможность завышения или занижения их опасности» [46] и, как следствие, непринятие адекватных мер обеспечения безопасности.

На железнодорожном транспорте назрела необходимость в решении ряда актуальных проблем, связанных с обеспечением безопасности, в том числе и пожарной. При проектировании, строительстве и эксплуатации железнодорожных объектов эти вопросы выдвинулись на первый план [12, 14, 15].

Глобализация рынка транспортных услуг, структурные изменения отечественной экономики, проведение реформы ЖДТ требуют поиска новых научно обоснованных путей обеспечения необходимого уровня ПБ.

1.2.4 Организация деятельности по обращению с отходами на железнодорожном транспорте

Обращение с отходами производства и потребления (накопление, использование, обезвреживание, транспортирование, размещение) является одним из актуальных проблемных вопросов, без решения которого невозможно обеспечить безопасность. С одной стороны, количество отходов неуклонно растет, с другой стороны, ужесточаются требования законодательства РФ в области обращения с отходами. В Федеральном классификационном каталоге отходов (ФККО) [47] учитываются практически все виды отходов, образующихся на предприятиях.

В процессе хозяйственной деятельности железнодорожного транспорта образуется более 600 наименований отходов всех классов опасности (Таблица 1.3), часть из которых специфична для данной отрасли. Проблема отходов на железнодорожном транспорте стоит достаточно остро [48, 49].

Таблица 1.3 – Распределение отходов железнодорожного транспорта по классам опасности [48,49]

Класс опасности	Отходы предприятий железнодорожного транспорта	Основные способы обращения с отходами
I – чрезвычайно опасные	Отработанные лампы (люминесцентные и ртутные)	Демеркуризация на специализированных предприятиях
II – высокоопасные	Отработанные аккумуляторные кислоты и щелочи	Регенерация, нейтрализация
III – умеренно опасные	Отработанные деревянные шпалы; нефтесодержащие отходы	Временное хранение на предприятиях, частичное сжигание на специализированных установках и др.
IV – малоопасные	Твердые коммунальные отходы, металлолом, золошлаковые отходы и др.	Депонирование на полигонах, применение в качестве вторичного сырья
V – практически неопасные		

Классы опасности отходов устанавливаются либо по ФККО [47], либо расчетным или экспериментальным методом [50]. Опасные свойства отходов определяются в соответствии с требованиями приложения III к Базельской конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением [51].

Наибольшее количество отходов на железнодорожном транспорте относится к IV-V классу опасности [49]. Отходы 1-3 классов составляют незначительную часть от общей массы. Однако, захоронение отходов 1-3 класса вместе с твердыми коммунальными отходами (ТКО) на городских свалках и полигонах не допускается. По мнению авторов [48, 49], умеренно опасные отходы III класса опасности являются наиболее проблемными, так как для них отсутствуют технологии обезвреживания и утилизации, применяемые в промышленных масштабах. Отходы IV-V класса опасности допускаются к захоронению вместе с ТКО на общегородских свалках и полигонах. Удаление ТКО, как элемент жизнеобеспечения, является важной задачей, решение которой создает условия для устойчивого развития.

Бытовые отходы не всегда требовали специального обращения и утилизации, они легко перегнивали и выступали естественным элементом

жизненного цикла природной среды. Развитие промышленности, особенно химических производств, стало причиной скачкообразного качественного изменения структуры отходов, что произошло в конце XIX – начале XX веков. Возникла необходимость утилизации ТКО.

Наиболее общими сведениями о ТКО являются данные об их морфологическом составе, на основании которых возможны оценка и прогноз других показателей [52-54].

Морфологический состав ТКО крупных городов был проанализирован по данным работ [54-56] и выявлены тенденции, которые следует учитывать при долгосрочном прогнозировании состава ТКО.

Происходит исчезновение металлов, что связано со снижением металлоемкости продукции и извлечением данной фракции на стадии контейнерной площадки. Значительная часть продуктов выбрасывается в упаковках. В перспективе ожидается рост доли пищевых отходов с увеличением доходов населения и развитием сетевых супермаркетов, увеличение количества полимеров, упаковки и текстиля.

Выделяют следующие стратегии управления отходами:

1. Захоронение на полигонах [48, 49, 57]. Большое количество нелегальных свалок и приближение официальных полигонов к населённым пунктам приводят к ухудшению экологической обстановки и риску возникновения ЧС. В крупных городах проблема вывоза и утилизации ТКО стоит особенно остро [58].

Министерство экологии и природопользования Московской области приводит следующие данные: около 60 млн. т ТКО ежегодно образуется в России, из них 11,7 млн. т (около 20 %) – в столичном регионе. Около 3 млн. тонн ТКО ежегодно образуется в Санкт-Петербурге. Стремительный рост количества отходов определяет необходимость поиска эффективных возможностей утилизации и снижения их опасности для человека и окружающей среды.

Мусорные полигоны вокруг столицы и других крупных городов перегружены. На них нередко происходят пожары [59]. Так, например, в ноябре 2011 г. зафиксирован пожар на полигоне ТКО на Волхонском шоссе в

Ленинградской обл., в июне 2013 г. – на городской свалке в Челябинске, в мае 2018 г. – на территории закрытого полигона ТКО «Съяново-1» Серпуховского р-на, в июне 2018 г. – на мусорном полигоне "Непейно" в Дмитровском р-не Московской обл., в январе 2019 г. – в поселке Ивановка под Читой.

Захоронение отходов является самым дешевым относительно других вариантов, однако ведет к ухудшению экологической обстановки, увеличению риска возникновения ЧС, в том числе связанных с пожарами. Разнообразие морфологического состава отходов, концентрация кислорода и продуктов разложения, влажность, температура, наличие катализаторов, различие условий на полигоне оказывает существенное влияние на процессы самовозгорания, воспламенения и самонагрева твердых отходов. При захоронении отходов в зависимости от времени и места эти факторы сильно варьируются и трудно поддаются контролю из-за структуры свалок или неоднородности твердых отходов [57, 59].

Последствия пожаров могут выходить за пределы мусорных свалок и могут наносить огромный урон. Они представляют собой серьезную угрозу для окружающей среды вследствие попадания в атмосферу продуктов неполного сгорания, таких как угарный газ, диоксины, фураны.

2. Сжигание отходов с использованием отходящего тепла для выработки электроэнергии [56, 60, 61]. ТКО образуются в крупных городах, т.е. там, где тепловая и электрическая энергия наиболее востребована, и имеют гарантированное предсказуемое возобновление [62].

В настоящее время в России функционирует около 40 мусоросжигательных заводов [63], на которых сжигается приблизительно 2,4% ТКО; в Англии, США эта величина составляет 10 %; в Австрии, Италии, Франции, Германии – 20-40 %; в Бельгии, Швеции – 48-50 %; Японии – 70 %; Дании, Швейцарии – 80 % [57].

Такая переработка сопровождается загрязнением атмосферного воздуха, например, оксидами азота, диоксинами, нафталинами, ароматическими углеводородами, негативно влияющими на здоровье населения и состояние окружающей среды. Происходит образование золы и шлака и возникает проблема

их утилизации. Высокая стоимость и негативное отношение населения к строительству мусоросжигательных заводов также ограничивает использование такого способа утилизации отходов.

3. Биологические методы переработки (биоконверсия): аэробная и анаэробная утилизация органических отходов [55, 57, 64]. При анаэробном разложении органических компонентов выделяется биогаз, который в дальнейшем можно сжигать для получения энергии. Процесс осуществляется в условиях полигонного захоронения ТКО. Эта технология является одним из наиболее экономически эффективных вариантов устранения отходов [57]. Однако этот процесс является длительным (до 100 лет), наибольшее количество биогаза выделяется в первый год и затем убывает по экспоненциальному закону. При этом состав биогаза нестабилен и может содержать токсичные вещества [55].

4. Термохимическая конверсия отходов, предполагающая газификацию и пиролиз, с помощью которых происходит разложение органических отходов и образуется синтез-газ. Данная технология может быть использована для переработки больших количеств ТКО, однако она является дорогой с точки зрения строительства и эксплуатации таких объектов [57, 65].

5. Переработка отходов способом сортировки с выделением вторичного сырья находится на начальной стадии внедрения. Утилизируются в качестве вторичного сырья стекло, лом, черные и цветные металлы, т.е. отходы, которые характеризуются высоким уровнем ликвидности. Пластмасса, бумага, картон и алюминиевые банки, составляющие, по оценкам специалистов, более 40 % ТКО, захораниваются на полигонах [57].

На сегодняшний день более 80-85% отходов депонируются на полигонах и свалках [55, 65]. Для решения проблем, связанных с обращением отходов, внедряется проект по вывозу мусора из крупных городов по железной дороге. Точный график перевозок, возможность применения универсальных контейнеров, относительно низкая себестоимость определяет преимущества использования железнодорожного транспорта для этих целей. В комитете по экологии считают, что если выработанная система перевозок ТКО оправдает себя в столичном

регионе, то ее можно будет использовать по всей стране. Сегодня ОАО «РЖД» готово перевозить отходы из столицы на специально подготовленные участки, однако вопросы обеспечения пожарной безопасности таких перевозок не проработаны.

Наиболее частыми происшествиями, связанными с обращением ОГ железнодорожным транспортом, являются пожары [66]. Планирование мероприятий по обращению и тушению пожаров отходов IV-V класса опасности на ЖДТ должно основываться на адекватных данных об их составе и свойствах.

Энергетический потенциал горючих веществ оценивается величиной теплоты сгорания. Существуют экспериментальные и расчетные методы ее определения [67-69]. ТКО, с одной стороны, это топливо, сопоставимое по теплоте сгорания с торфом и некоторыми марками бурых углей [65], с другой стороны, им присущи пожароопасные свойства, что должно быть учтено при их утилизации и перевозке железнодорожным транспортом.

1.3 Управление пожарными рисками на железнодорожном транспорте

1.3.1 Анализ методических подходов к процессу управления рисками

В литературе по управлению рисками, широко обсуждается определение понятия «риск», так как действия по снижению рисков зависят от правильной постановки цели. Многие авторы отмечают отсутствие систематизации при рассмотрении категорий и понятий, относящихся к риску. Например, в работе [70] отмечается, что «...хотя понятие рискологии уже вошло в научный оборот, обобщающего труда, попытки подойти к теме не частнопрактически, а системно и алгоритмически выверено пока нет», «...необходимы обще концептуальные представления...».

Риск рассматривается как возможная опасность неудачи [71], вероятность или частота поражающих воздействий [71], ожидаемый ущерб [72], вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, имуществу, окружающей среде,

жизни или здоровью животных и растений с учетом тяжести этого вреда [72], количественная мера опасности [73], возможность нежелательных последствий [73], потенциальная опасность реализации событий с нанесением вреда [74], мера возможной опасности и последствий ее реализации [75], возможность (вероятность) наступления опасного (нежелательного) события [75, 76].

Под риском понимается возможная опасность потерь, которая является следствием деятельности человека или явления природы [77]. Риск может рассматриваться как вероятность возникновения убытков и недополучения доходов, потери ресурсов [78-81].

Изучать обстоятельства, при которых возникает риск, его факторы и учитывать их в процессе принятия и реализации решений необходимо для уменьшения негативных последствий или избежания риска. В этом случае можно отметить положительные стороны риска, который вынуждает человека изучать явление и искать возможности уменьшения негативных последствий.

Большинство из определений риска направлено на негативные стороны, опуская возможность положительного исхода. Это было подвергнуто критике за ограничение возможных взглядов [82] и предложено, например, вместо термина «проектный риск», использовать термин «неопределенность проекта [83].

При изучении риска необходимо обратить внимание, что последствия риска воспринимаются как неожиданные и риск определяется как возможность получения неожиданного результата при принятии решения в условиях неопределенности [84]. Понятие риска в этом случае объединяет три взаимосвязанных термина: рисковое событие; последствия риска; отношение к риску.

Обобщая сказанное, можно выделить наиболее популярные концепции риска: риск как опасность или угроза; риск как возможность; риск как неопределенность [85].

При дальнейшем рассмотрении мы будем рассматривать риск ЧС как меру опасности, сочетающую вероятность возникновения ЧС и ее последствия [85], что хорошо согласуется с определением пожарного риска как меры «возможности

реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей» [86].

Риски могут изменяться во времени в зависимости от различных факторов, действий и обстоятельств. Изучив влияние отдельных факторов на величину риска, можно осуществлять целенаправленное воздействие на них, то есть управлять риском.

Невозможно все риски, связанные с объектом защиты, свести к нулю [83, 86, 87]. Объяснение этому дается Н.Н. Брушлинским в [87] и связывается с неполнотой и относительностью научных знаний об опасностях и рисках и ограниченными экономическими и инженерно-техническими возможностями общества. Необходимо стремиться уменьшить риск до такого уровня, который общество примет на данном этапе своего развития.

Управление риском – разработка комплекса мероприятий (инженерно-технического, экономического, социального и иного характера), позволяющих снизить значения данного риска до допустимого уровня [85, 87].

Мероприятия по управлению риском включают меры, направляемые на отказ от риска, передачу риска, снижение риска и принятие риска «на себя».

Управление рисками – неотъемлемая часть эффективного управления, которое предполагает наличие культуры, процедур и структур, направленных на реализацию потенциальных возможностей при обеспечении контроля над негативными факторами [84].

В литературе много внимание уделено проектным рискам [88], цель управления которыми «улучшить осуществление проектов посредством систематического выявления, оценки и управления связанных с проектом рисков» определена в работе [89].

Процесс управления рисками обычно структурирован в виде цикла с обратной связью с отдельными этапами, которые касаются, например, определения структуры риска, его оценки, мер реагирования [84, 85, 87]. Планирование процессов управления рисками и их масштаб разрабатывается отдельно для каждого опасного объекта. Его можно выделять как отдельную

стадию до начала фактического сдерживания риска [88]. Этапы управления рисками подробно изложены в работах [83, 88-91].

В целом, для процессов управления рисками существует общее изложение содержания процесса. В общих чертах, риск должен быть идентифицирован, оценены его размеры и приняты ответные меры реагирования. Однако детализация и распределение мероприятий по этапам может варьироваться [86, 92]. Принятые меры могут изменить ситуацию, и могут потребоваться дальнейшие действия по управлению риском. Отмечается, что точность процесса управления рисками может быть скорректирована в зависимости от сложности задачи [93, 94]. Для удобства обсуждения, будем использовать простой процесс управления рисками: идентификация риска, его оценка и реагирование на риск.

Идентификация рисков является ключевым этапом реагирования на риски, приоритетной задачей [95]. В процессе деятельности могут возникать не установленные риски, в них, по мнению авторов [96] заключается наибольшая опасность, так как выявленные риски можно контролировать. Около 25% рисков могут быть неизвестны, поэтому в центре внимания должно быть предотвращение неспособности определить какой-либо важный риск, и недопущение чрезмерно раннего ограничения ключевых рисков [97].

Типичные средства идентификации рисков: обзоры документации, мозговой штурм, размышления, метод Дельфи, проведение опросов, метод экспертных оценок, SWOT-анализ, контрольные листы, методы анализа предположений и построение диаграмм, таких как диаграммы потоков данных. Наряду с системным анализом процессов и продукции могут быть использован исторический подход, групповое принятие решений (расходящееся и сходящееся мышление) и т.д. В процессе идентификации необходимо рассмотреть возможные опасности, порождаемые новыми технологиями и событиями [83].

Помимо поиска рисков, они должны быть классифицированы и основные меры реагирования изложены на этапе идентификации [89]. Это необходимо, так как реакции на риски могут привести к возникновению "вторичных рисков", т.е. новых рисков из-за ответных действий. Возможность возникновения новых

рисков через ответные действия подразумевает, что изучение процессов риска должно быть интеракционным.

После идентификации опасностей необходимо оценить их уровень и возможные последствия [85]. Оценка рисков используется для классификации рисков и их последствий [98], она определяется с достаточной точностью, чтобы можно было принимать решения об относительной важности рисков. Точность оценки зависит от необходимости и имеющихся данных. Каждый выявленный риск должен быть оценен, для чего используются качественные и количественные методы [84, 85, 90].

Цель качественного анализа заключается в относительно быстрой оценке последствий и вероятности рисков, которые были выявлены. Методы качественного анализа рисков имеют дело в основном с понятиями и их свойствами. Типичными инструментами для качественного анализа являются вероятность риска и последствия риска в качественном выражении, такие, как матрица риска, основанная, например, на экспертных суждениях [99], вероятность и относительная шкала воздействия на основе ценностей организации. Существуют принципы и процедуры, объединяющие несколько качественных методов оценки риска. Например, процедура исследования опасностей (и работоспособности) (англ. «Hazard and operability studies, HAZOP») [85, 100].

Типичным результатом является общее ранжирование выявленных рисков, приоритетность рисков и выявление новых рисков, например, для количественной оценки и определение альтернативных вариантов [101]. Используются контрольные перечни рисков, регистры рисков, инструменты оценки рисков на основе ранжирования степени тяжести риска, также можно использовать базы данных рисков [102].

Количественный анализ риска может обеспечить дальнейший шаг в оценке риска и точность, если доступны хорошие численные данные или они могут быть получены. Естественно, объем необходимых ресурсов и продолжительность анализа может значительно увеличиться по сравнению с качественным анализом. Количественные показатели – численные значения рисков чрезвычайных

ситуаций [86] предпочтительнее, так как позволяют выполнять различные математические операции, строить математические модели.

Вероятностное ранжирование рисков достаточно просто, при наличии соответствующей статистической информации [89]. Однако получение необходимых точных входных данных может представлять проблему, особенно в малосерийных и уникальных изделиях и технологиях. С вероятностной точки зрения, переменные риска являются стохастическими и могут динамически меняться с течением времени [102]. Распространенным способом оценки рисков является определение вероятности (P) и ущерба – количественных последствий (I) для каждого выявленного риска и сравнение их произведений [87,103-105].

$$R = P \times I \quad (1.1)$$

Высокий риск воздействия может иметь очень низкую вероятность. Однако на практике очень часто некоторые риски неприемлемы, невзирая на неопределенную низкую вероятность и должны быть смягчены в любом случае. В работе [89] подвергнута критике позиция [105], заключающаяся в использовании произведений вероятности и ущерба в качестве меры риска, когда набор рисков сравнивают друг с другом. Вместо этого предлагается судить о вероятности и ущербе отдельно [89, 106-110], ссылаясь на такие проблемы, как случайность, повторяемость, человеческие ошибки при расчете, неопределенность, невежество, изменение знаний во времени.

Далее, если информация о вероятности риска не доступна, практической альтернативой является изучение факторов, влияющих на риск.

После выявления и оценки рисков требуется принять меры, чтобы уменьшить риск, либо вероятность риска, либо его последствия (воздействие), или оба показателя. Реагирование на пожарный риск, связанный, например, с предотвращением возгорания, стремится в основном к снижению вероятности. Напротив, реагирование на возникшие пожары главным образом имеет цели снижения последствий. В [89, 90] обсуждают «предупреждающие» и «реагирующие» альтернативы. Упреждающие меры реагирования часто

разрабатываются при планировании, а ответные воздействия могут быть частью отдельного планирования, например, на случай ЧС.

В работе [100] предлагается следующая практика реагирования – это избежание, передача к третьей стороне, снижение путем уменьшения вероятности и воздействие на риск и, наконец, планирование действий при возможных чрезвычайных ситуациях. Авторы [85] отмечают, что мероприятия по управлению рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий могут предусматривать мероприятия, направленные на отказ от риска; на передачу риска; принятие риска; снижение риска. В [111] выделяются стратегии планирования и реагирования. Для негативных рисков возможны четыре основные стратегии: избежание, передача, смягчение и принятие.

Меры реагирования, которые необходимо разработать, варьируются от простых до сложных, в зависимости от характера риска и необходимости профилактических мер и планов реагирования на ЧС. Известен циклический характер планирования мер управления риском [89].

Когда меры реагирования разработаны, необходимо их внедрение и мониторинг изменений рисков. В [83] этот этап называется контроль риска. В динамично развивающейся обстановке изменения происходят постоянно, и управление рисками должно этому следовать. Изменения влияют на риски, их взаимодействие и тем самым их смягчение. Автор [112] различает проактивную работу (т.е. недопущение пожара) и действия по тушению пожаров.

На основании литературных данных по управлению рисками, можно сказать, что существуют типовые альтернативы в методах идентификации рисков и методах их оценки. Однако для их реализации необходимо детальное изучение рисков.

1.3.2 Анализ методов управления пожарными рисками на железнодорожном транспорте

В работе [113] управление пожарным риском представлено как структурированный подход к выявлению пожарной опасности, рассмотрению Последствий и вероятностей неблагоприятных событий, сравнения вариантов управления, оценки вытекающих последствий выбора и обоснование мер реагирования.

В общем контексте термин «безопасность» может означать свободу от опасности; «риск» можно трактовать как возможность или шанс встречи с опасностью [114]. В [113] дается определение пожарного риска как «потенциал для осуществления нежелательных, неблагоприятных последствий для жизни, здоровья, имущества и окружающей среды», определение пожарного риска как «меры возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей» закреплено в Техническом регламенте «О требованиях пожарной безопасности» [24]. Эти определения относятся только к негативной стороне риска, тогда как существует немного практически осуществимых «перспектив» или положительный риск, что также необходимо отметить.

Определение пожарной опасности сочетает возможность возникновения пожара и его последствия [24, 113, 115]. Цели управления пожарным риском – предотвратить вред людям и имуществу могут быть достигнуты либо через управление рисками возникновения пожара или через управление рисками последствий пожара в случае неспособности предотвратить пожар. Можно выделить основные направления для управления пожарными рисками. Упреждающие (превентивные) – управление рисками возникновения пожара и значительная часть подготовки для снижения последствий пожаров. Реактивное управление рисками во время пожаров.

Различные термины были использованы в литературе для того чтобы описать риск пожара, который включает факторы, относящиеся к возникновению

горения и последствиям пожаров: «переменные, влияющие на безопасность жизни и эвакуацию» [116], «источники зажигания» [117], «необходимые компоненты для зажигания» [118], и «необходимые условия пожара» [105]. Эти термины охватывают общие «причины пожаров» [119]. Приведенные выше термины были обобщены как факторы, способствующие возникновению пожара, подчеркивающие сложные взаимодействия людей, организационные и технические вопросы, которые присутствуют в их деятельности.

Для ущерба от пожаров были использованы такие термины, как «последствия» [109, 113], «воздействие» [109] и «потери» [113]. Термин «последствия» употребляется наиболее часто.

Для определения вероятных сценариев возникновения и развития пожаров и управления пожарными рисками используется метод логических деревьев событий [120-126]. Исходная информация для построения деревьев заключается в изучении системной динамики.

Согласно [24, 127] система обеспечения пожарной безопасности объекта защиты включает в себя систему предотвращения пожара, систему противопожарной защиты, комплекс организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. Целью ее создания является предотвращение пожара, обеспечение безопасности людей и защита материальных ценностей от пожара.

Дерево концепций пожарной безопасности (Рисунок 1.13) построено из двух альтернативных вариантов управления пожарным риском и его можно использовать как основу для построения новых деревьев с количественными моделями, в которых заключено более полное представление о путях распространения огня и процессах загорания [116, 123].

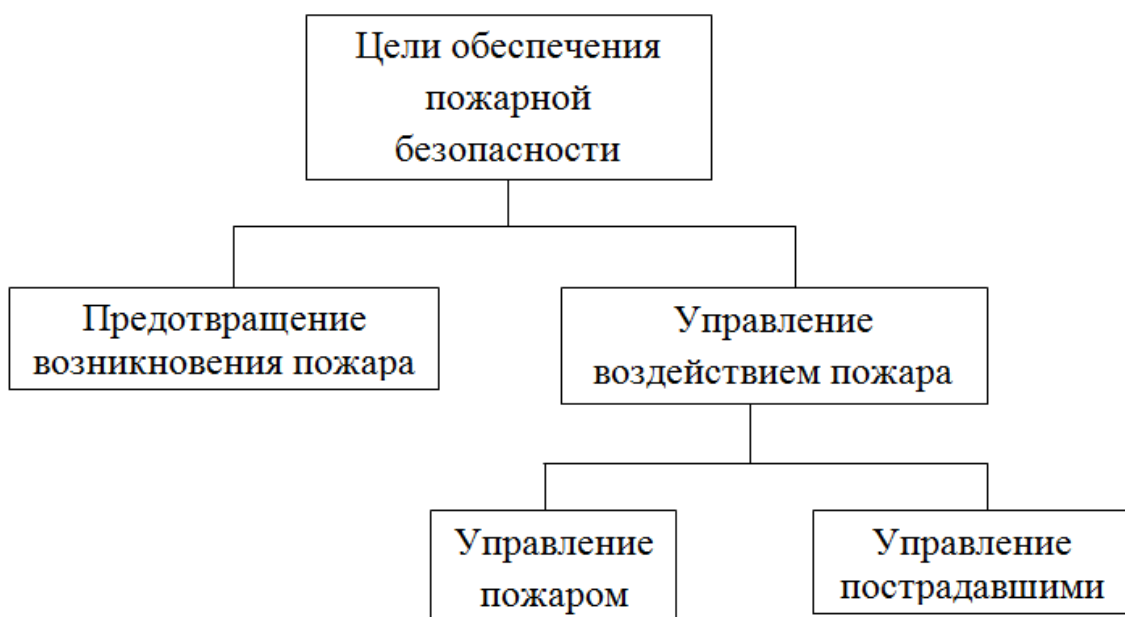


Рисунок 1.13 – Основные ветви дерева концепций пожарной безопасности [120]

Пожарными рисками обеих ветвей можно управлять с помощью простого процесса: выявление, оценка рисков и реагирование. Возникновение пожаров может быть идентифицировано как нежелательная комбинация трех необходимых элементов: источник зажигания, кислород (окислитель) и горючее [128]. Существуют и более сложные модели горения [129], но они встречаются реже. Упрощение не учитывает таких факторов, как реакции самовозгорания и разложения, которые, по мнению [130-134], не вызывают значительного количества пожаров в целом. С упрощениями [134] возникновение пожара можно рассматривать как функцию количества горючего материала, доступа достаточного количества кислорода и наличия источника зажигания [121, 135, 136].

Следует отметить, что пожарные риски в целом в литературе часто рассматриваются с точки зрения нормальной работы систем, например, здание или производственная установка с рабочими системами обеспечения безопасности и обученный персонал.

Простая таксономия рисков возгорания и реагирования на них могут быть основаны на контроле источников энергии (тепла) и горючей среды (Рисунок

1.14). Это применяется в большинстве пожаров, где достаточно кислорода для горения, и влияние управления на обогащенную кислородом атмосферу опущено.

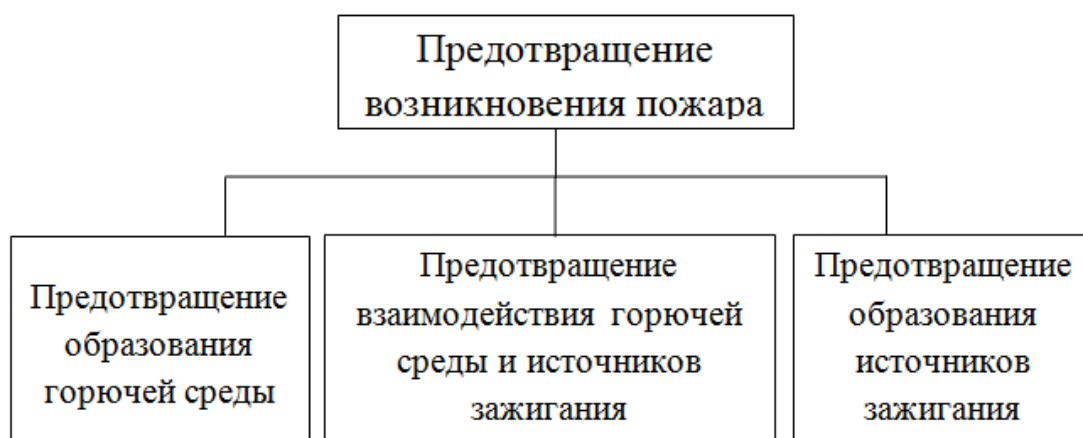


Рисунок 1.14 – Типы реагирования на пожарный риск в ветви предотвращения возникновения пожара [120, 112]

В трудах Я.С. Киселева [137-139] предлагается вместо источника зажигания использовать термин теплофизические условия возникновения горения, что позволяет учитывать два режима возникновения горения: самопроизвольное и вынужденное.

Другая ветвь дерева на Рисунке 1.16 иллюстрирует необходимость управления последствиями установившегося пожара либо путем непосредственного управления пожаром (например, тушение), либо путем максимально возможной защиты подвергшихся воздействию пожара лиц и имущества.

Важной стороной пожарного риска является безопасность людей и имущества в установившемся пожаре, что зависит, например, от размещения и количества пассажиров на транспорте, особенностей конструкции, наличия средств эвакуации, средств обнаружения, сигнализации, тушения и дымоудаления [116]. В работе [120] используется простая таксономия ответов в области «управлении воздействие пожара» (Рисунки 1.13, 1.15, 1.16).

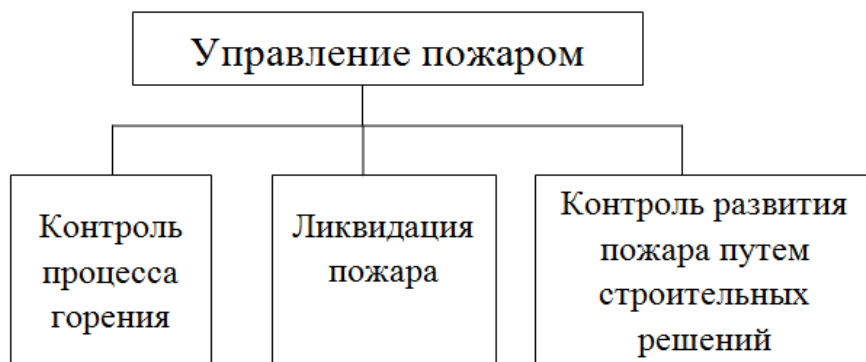


Рисунок 1.15 – Варианты типов реагирования в ветви «управление пожаром» [120]

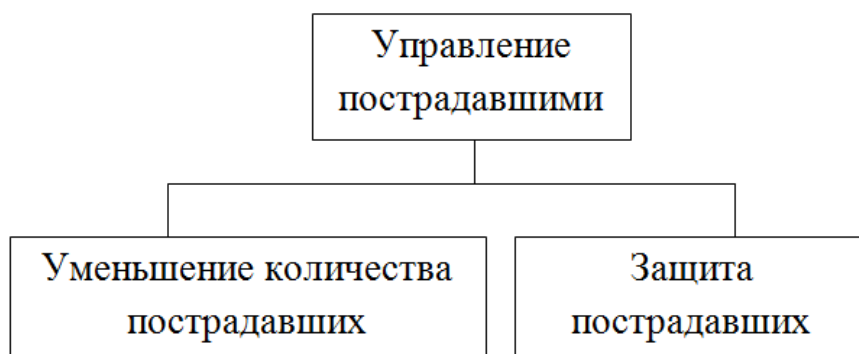


Рисунок 1.16 – Альтернативы реагирования в ветви «управление пострадавшими» [120]

Таксономию, описанную с помощью Рисунков 1.13-1.16, можно использовать в качестве исходной информации для идентификации и оценки пожарного риска, а также выявления мер реагирования на пожары. Для классификации мер реагирования, последствия [117, 118] для пострадавших были разделены на три группы: человеческие потери при пожаре, материальный ущерб и вторичный ущерб.

В процессе истории развития управления пожарными рисками идентификация рисков расширяется в соответствии с негативными последствиями. Это привело к формированию общих сведений о рисках, связанных с источниками зажигания и горючими материалами [117, 118, 121, 122,

133, 140-144]. Знание факторов, способствующих зажиганию необходимо для определения рисков возникновения пожара и рисков, связанных с реагированием.

Официальная оценка пожарного риска имеет свои корни в страховых обзорах 19 века [113]. Целью оценки является уточнение и ранжирование альтернатив снижения рисков. Watts J. и Hall J. классифицировали методы оценки пожарного риска на 4 категории: 1) качественные методы проверочных листов в области пожарного риска и изложение фактов, 2) количественные методы, 3) индексирование пожарного риска и 4) вероятностные методы. Количественные оценки можно уточнить, проводя имитационное и стохастическое моделирование. Подход, при котором некоторые числовые данные используются для оценки опасностей и характеристик безопасности в эмпирических сравнительных показателях может обеспечить компромисс между усилиями и точностью. Эти методы называются индексированием пожарного риска (или безопасности), оценочными списками, числовой классификацией или оцениванием [143-146]. Различные уровни точности количественной оценки необходимы, поскольку стоимость и сложность оценки сопоставляется с ее точностью [85, 135].

Цель вероятностного анализа пожарного риска – обеспечить всестороннее представление об уровне риска: опасности и их частота оцениваются количественно. Частоты и вероятности событий могут быть оценены, например, обобщением экспертных суждений, логических деревьев и анализом надежности [85, 104, 131, 136]. Необходимые факты можно получить из литературы или полевых исследований. Такой подход требует знаний о вероятности возгорания, вероятности развития пожара и количественной оценки последствий [87].

Причины пожаров рассмотрены в работах [17, 4, 97, 109, 124, 125, 141, 147-156]. Например, серьёзную пожарную и экологическую опасность представляют выбросы паров нефтепродуктов из дыхательных систем резервуаров [152, 153]. Распространению пожара при перевозке нефтепродуктов способствует стабилизация горения на дыхательной арматуре и проникновение пламени в негорящий резервуар или цистерну через огнепреграждающие устройства. Причиной является выход нефтепродуктов через дыхательные устройства и их

воспламенение [28, 154, 155]. Одним из важнейших направлений обеспечения пожарной безопасности является ограничение распространения пожара по технологическому оборудованию и коммуникациям [24]. В литературе [155] отмечается, что примерно 24 % пожаров резервуаров с нефтепродуктами становятся групповыми (т.е. распространение пожара происходит на два и более резервуара).

Риски в целом связаны с ущербом людям и имуществу, а также с тяжестью последствий и во многом зависят от размеров пожара и его масштабов [113]. Действия по тушению пожаров и защите людей хорошо представлены в литературе и могут быть применены к конкретным случаям [141, 158-161]. Проектные решения для обеспечения пожарной безопасности и снижающие риск пожара подробно рассмотрены в литературе [116, 117, 128, 135, 147-149, 162-164].

В литературе также были найдены меры реагирования на пожарные риски, относящиеся к организационным мероприятиям. Основные меры связаны с организацией управления рисками и безопасностью персонала [118]. Важность аудитов, обследований и инспекций в мониторинге пожарной безопасности в производственных процессах признается в работах [119, 121, 124, 165]. Поскольку персонал играет ключевую роль в предотвращении пожара, проведении первых действий по тушению, должно осуществляться регулярное обучение и тренировки по пожарной безопасности [15, 165].

Меры по управлению пожарным риском изложены в общей литературе по пожарной безопасности и в специальной литературе, относящейся к ЖДТ, и представлены в Таблицах 1.4-1.6. Правила ПБ на ЖДТ приведены в [166].

Таблица 1.4 – Факторы, способствующие возникновению горения, и меры реагирования, рассмотренные в литературных источниках

Факторы, способствующие возникновению горения	Меры реагирования	Ссылка
1) Поджог	1. Автоматическое подавление	88, 116, 117, 128, 131
	2. Хорошее освещение	88
	3. Охрана помещений и территорий	88
	4. Уборка помещений и территорий	88
	5. Ограниченный доступ в помещения, к подвижному составу, депо, и т.д.	147
2) Самовоспламенение	1. Соблюдение правил погрузки, хранения и перевозки пожароопасных веществ и материалов	141
	2. Управление погрузкой, хранением и перевозкой несовместимых химических веществ	141
3) Электрические явления	1. Статическое электричество: применение заземляющих устройств на объектах ЖДТ	167, 168
	2. Применение антистатических присадок	88, 169, 170
	3. Соблюдение скоростей погрузки и выгрузки	28, 171
	4. Применение молниезащиты	88, 168
4) Электрические системы	1. Контроль за повреждением электрических сетей и электрооборудования	88, 141, 150
	2. Обеспечение защиты от перегрева в электрических системах	88, 168
	3. Систематическое обслуживание и контроль электрооборудования, аппаратуры и электросетей	141, 147, 168
	4. Контроль за исправностью автоматических установок и средств, предназначенных для ликвидации пожаров в электроустановках и кабельных помещениях	17, 147
	5. Проверка перегрева электрооборудования	138, 147, 168
	6. Предотвращение искрения	138, 147, 168
	7. Правильное проектирование, монтаж и обслуживание электрических сетей и оборудования	147
	8. Правильная установка временных электрических систем	147
	9. Выключение электроприборов, когда они не используются	147
	10. Использование взрывозащищенных приборов и оборудования	147-150, 171, 172
5) Взрывы, например, пыли, взрывчатых веществ, газов,	1. Предотвращение утечек газа и скоплений пыли	28, 171
	2. Применение взрывозащищенного оборудования	147-150, 171, 172

Продолжение таблицы 1.4

Факторы, способствующие возникновению горения	Меры реагирования	Ссылка
паров	3. Ограничения при хранении пожаровзрывоопасных материалов	28, 171
	4. Особые меры предосторожности в отношении взрывчатых веществ	141, 172
	5. Соблюдение мер безопасности при транспортировке, погрузке и выгрузке	28, 147
	6. Использование дыхательной арматуры и огнепреградителей на грузовом подвижном составе	28, 173-196
6) Пожарная нагрузка	1. Предотвращение накопления горючих веществ в конструкциях и пылевых облаках	28
	2. Исключение горючих растворителей для очистки и склейки	147
	3. Контроль за пожаровзрывоопасными материалами	28, 171
	4. Своевременная уборка территорий производственных и бытовых отходов, мусора, опавших листьев и т.д.	147
	5. Снижение риска воспламенения нефтепродуктов	28, 41, 124, 152-155
	6. Установка систем аварийного отключения подачи жидкостей и газов	28, 171
	7. Ограничение постоянной и временной пожарной нагрузки	147, 151-155
	8. Обслуживание газораспределительных систем	28, 171
	9. Одоризация газов для обнаружения утечки	143, 167, 197
	10. Соблюдение мер безопасности при заправке	88, 171
	11. Удаление горючих временных конструкций	147
	12. Вывоз горючих отходов	88
	13. Ограниченное использование и хранение пожаровзрывоопасных материалов	88, 171
	14. Соблюдение мер безопасности при погрузке (выгрузке) пожаровзрывоопасных веществ и материалов	28, 147
	15. Соблюдение мер безопасности при хранении пожаровзрывоопасных веществ и материалов	88, 152, 153, 155
	16. Использование негорючих строительных материалов, мебели и украшений	147
	17. Использование неискрящих инструментов вблизи взрывопожароопасных материалов	138
	18. Соблюдение правил техники безопасности при обращении с жидким топливом или смазочными маслами	147

Продолжение таблицы 1.4

Факторы, способствующие возникновению горения	Меры реагирования	Ссылка
	19. Соблюдение правил перевозки грузов	28, 147
	20. Соответствие требованиям упаковки ОГ	15, 28, 141
7) Трение	1. Техническое обслуживание вращающихся механизмов, например шестерен, подшипников	138
	2. Проверки перегрева оборудования	147
8) Отопление, сушка и тепловая обработка	1. Правильное хранение около приборов отопления	198,199
	2. Функциональная защита от перегрева оборудования	138
	3. Обслуживание воздуховодов и систем отопления	172,173
	4. Соблюдение правил пожарной безопасности при использовании обогревательных систем	198,199
9) Горячая поверхность и открытое пламя	1. Предотвращение работы с открытым пламенем, защитные меры	171
	2. Тепловая изоляция горячих поверхностей от горючих материалов	138
10) Огневые работы	1. Отключение газа и электричества, когда они не используются	171, 200
	2. Эффективные методы проведения огневых работ	200
	3. Системы обнаружения пожара	147, 148, 200
	4. Системы контроля пожароопасных отходов	88, 200
	5. Измерение концентрации газа перед огневыми работами	88, 200
	6. Система разрешения огневых работ	88, 200
	7. Карточки и экзамены по безопасности проведения огневых работ	15, 88, 165
	8. Контроль за проведением огневых работ	88, 200
	9. Инструкции по проведению огневых работ в особых условиях, например, в цистернах	88, 200
	10. Меры предосторожности при заправке	88, 200
	11. Систематическое обслуживание газовых систем	88, 200
	12. Обучение	88, 140-142, 165
	13. Использование защитных покрытий	88
	14. Использование неискрящих инструментов вблизи пожароопасных материалов	88, 138
	15. Использование альтернативных методов огневых работ	88
11) Процессы окраски	1. Правильное хранение и использование краски, растворителей и отходов	88, 201

Продолжение таблицы 1.4

Факторы, способствующие возникновению горения	Меры реагирования	Ссылка
	2. Меры предосторожности при огневых работах, очистке, вентиляции	88, 201
	3. Правильное заземление	88, 201
	4. Использование искробезопасного оборудования	88, 201
12) Оборудование	1. Обслуживание оборудования	147, 149
	2. Изоляция искрообразующего оборудования от горючего	138, 171
	3. Изоляция топливных линий высокого давления	171
	4. Обслуживание искрящего оборудования и оборудования, вызывающего пламя.	138
	5. Обслуживание вращающегося оборудования	138
	6. Безопасное расположение компрессоров	88, 171
	7. Безопасная парковка автомобилей	88, 171
	8. Соблюдение мер безопасности при использовании автотранспортных средств	88, 171
13) Испытания техники	1. Правильная работа систем	171
	2. Испытания пожарной сигнализации, систем обнаружения, сообщения и пожаротушения	17, 171
14) Курение	1. Обучение пожарной безопасности	15, 17, 164
	2. Проверки	119, 121, 150, 164, 202
	3. Запрещение курения вне специально отведенных мест	15, 147, 165. 203
15) Прочие	1. Исключение зажигания ударом и ударным воздействием путем выбора материалов и инструментов	138, 147
	2. Предотвращение загорания систем освещения	188. 147

Таблица 1.5 – Последствия пожаров и меры реагирования

Последствия пожаров	Меры реагирования	Ссылка
1) Человеческие жертвы	1. Освобождение путей эвакуации	144, 127-129, 202
	2. Оповещение	147, 171
	3. Наличие противопожарных преград	147
	4. Обеспечение необходимой огнестойкости конструкций	88, 147
	5. Соблюдение требований к материалам, конструкциям, оборудованию	88, 147, 171
	6. Системы раннего обнаружения, подачи сигнала тревоги и тушения	147, 171

Продолжение таблицы 1.5

Последствия пожаров	Меры реагирования	Ссылка
	7. Обеспечение устойчивости зданий и сооружений при пожарах	88, 171
	8. Построение маршрутов эвакуации и поддержание их в рабочем состоянии	88, 171
	9. Нахождение противопожарных дверей всегда в закрытом состоянии	88, 147
	10. Дымовая вентиляция	88, 147
	11. Тренировки процесса эвакуации	17, 140-144, 147
	12. Обзоры рисков для персонала и культура безопасности	202, 203
	13. Обучение технике безопасности, инструктажи	15, 165, 203, 204
	14. Достаточная огнетушащая способность	147
	15. Достаточная квалификация персонала в вопросах безопасности	203, 204
	16. Использование систем автоматического обнаружения и тушения	148, 171
	17. Использование переносных огнетушителей всеми сотрудниками	17, 148, 171
2) Прямой материальный ущерб от пожара	1. Наличие стационарных и мобильных систем пожаротушения вблизи рабочих мест	17, 88
	2. Предотвращение задымления и ущерба от воды при тушении	148
	3. Избежание обрушения конструкций	88, 171
	4. Высокое быстродействие с помощью переносных огнетушителей	148
	5. Создание добровольных пожарных дружин и пожарно-технических комиссий	88, 148
	6. Возможность обнаружения пожара, оповещения и тушения	120, 148, 171
	7. Обеспечение работоспособности мобильных и стационарных систем пожаротушения	17, 171
	8. Хорошая связь с пожарной охраной	17, 147
	9. Сокращение времени прибытия пожарных и спасателей	205-208
	10. Достаточное количество пожарных насосов, рукавных подключений, давления и запаса воды	88, 171
	11. Достаточный запас воды для подачи в помещения, обеспечение требуемого напора и расхода	88, 171
	12. Использование быстрого обнаружения и тушения	205-209
3) Косвенный ущерб	1. Избежание утечки информации резервированием	210

Продолжение таблицы 1.5

Последствия пожаров	Меры реагирования	Ссылка
	2. Избежание потери продукции быстрым тушением	205-208
	3. Избежание задержки поставок клиентам путем создания резервного фонда	210-212
	4. Предотвращение ущерба окружающей среде ограничением распространения	210-212
	5. недопущение распространения пожара на соседние вагоны, поезда, здания и т.д.	28, 147
	6. Обеспечение необходимого напора и расхода воды для целей пожаротушения	17, 147, 171

Таблица 1.6 – Организационные мероприятия при управлении пожарным риском

Организационные мероприятия по управлению пожарными рисками	Меры реагирования	Ссылка
Организационные процессы по управлению пожарными рисками	1. Разработка критериев проектирования ПБ	88, 213, 214
	2. Аудиты, обследования и инспекции	119, 121, 124, 164, 168, 202, 215, 216
	3. Организация пожарной охраны	17, 20-23, 147, 171, 216, 217
	4. Обучение персонала пожарной безопасности	15, 17, 147, 164, 167
	5. Включение пожарной безопасности в контракты	15, 17, 88, 164, 165
	6. Подготовка персонала к управлению риском и безопасностью	15, 124, 138, 165
	7. Надзор за опасными работами	88, 200, 217
	8. Систематическое управление пожарными рисками	35, 38, 73, 85, 87, 99, 203

1.3.3 Совершенствование дыхательной арматуры и огнепреграждающих устройств как направление снижения пожарного и экологического риска при железнодорожных перевозках нефтепродуктов

В настоящее время для ограничения распространения пожаров на резервуарах и цистернах, перевозящих нефтепродукты, широко используются сухие огнепреградители [218], действие которых основано на гашении пламени в

узких каналах, через которые свободно проходит горючая смесь, что обусловлено тепловыми потерями из зоны реакции к стенкам канала.

Рассматриваются классификации огнепреградителей в зависимости от различных признаков, например, типа пламегасящего элемента; времени сохранения работоспособности при воздействии пламени [218, 219].

Наиболее часто в России применяют кассетные сухие огнепреградители, пламегасящим элементом которых является кассета, состоящая из намотанных на стержень плоской и гофрированных лент. Отмечается сравнительно невысокая огнестойкость таких устройств [155].

Огнепреградители устанавливаются вместе с дыхательными и предохранительными клапанами на резервуарах с нефтепродуктами, железнодорожных цистернах и в других местах, где есть вероятность возникновения горения. Однако при выходе нефтепродукта через дыхательные устройства и его воспламенении с последующей стабилизацией горения на дыхательной арматуре может происходить проникновение пламени через огнепреграждающие устройства в негорящий резервуар [155]. Нами были рассмотрены технические решения, предназначенные для снижения риска возникновения таких пожаров [173-196, 219-222].

- применение металлических сеток с диаметром ячейки меньше критического. Этот эффект используется при установке сеточных огнепреградителей на дыхательную арматуру аппаратов с жидкостями. Преимуществами сеточных огнепреградителей являются простота обслуживания и монтажа, невысокая стоимость, доступность. Однако они обладают рядом недостатков: низкая механическая устойчивость сеток, быстрый прогрев и прогорание, ограниченность использования;

- использование огнезащитных экранов, состоящих из одной или нескольких металлических сеток, покрытых вспенивающимися от теплового воздействия покрытиями, обеспечивающими полное перекрытие ячеек сетки. Применение таких покрытий существенно увеличивает стоимость;

- установка сеток или сеточных пакетов обработанных вспенивающимися огнезащитными красками, погружением в жидкость. Недостатком данного способа является то, что сетка изначально погружена в жидкость, а при возникновении пожара внутри емкости для установления расстояния между жидкостью и сеткой нужно или слить часть жидкости в аварийную емкость, или поднять сетку. В обоих случаях это затруднительно на движущейся цистерне, так как требует вмешательство человека;

- применение насадочных огнепреградителей, к недостаткам которых можно отнести: сложность изготовления насадки (прорезание винтовых канавок или образование винтовой линии, имеющей в сечении, перпендикулярном винтовой линии, профиль типа круга, многоугольника и т.д.); невысокая химическая и термическая стойкость насадки из полимерных материалов;

- использование дыхательных клапанов, содержащих огнепреградитель, отличающихся сложностью конструкции, обслуживания, затрудненным доступом к кассете огнепреградителя и нерешенностью проблемы утечки паров в атмосферу; устойчивая работа клапана и срок службы его деталей зависят от динамических нагрузок, которые создают движущиеся части клапана.

Эффективность тушения зависит от материала, из которого изготовлены сетки, это определяется допустимым тепловым воздействием на огнепреградитель и устойчивостью к воздействию ударной волны. К такому материалу предъявляются определенные требования: жесткость, прочность, термостойкость, безопасность. Эффективность применения материалов для защиты от пожаров рассмотрена в работах [223-226]. Для тушения пожаров класса В средства тушения должны обладать способностью длительное время выдерживать высокую температуру, иметь низкую теплопроводность и непроницаемость для пламени.

Снижение пожарного риска при эксплуатации железнодорожных цистерн, перевозящих нефтепродукты, может быть обеспечено совершенствованием дыхательной арматуры и огнепреграждающих устройств. Основные направления: уменьшение утечек паров нефтепродуктов в атмосферу; повышение защиты

резервуаров и цистерн от взрыва и пожара; увеличение надежности; упрощение конструкции дыхательного клапана; повышение огнестойкости огнепреградителя.

1.4 Эксергетический метод как инструмент исследования технических систем и процессов

Для исследования технических систем и процессов в настоящее время все большее применение находит эксергетический метод термодинамического анализа, центральным понятием которого является понятие эксергии. Преимущества рассматриваемого метода определяются возможностью учитывать реальные условия протекания процессов, от которых зависит способность получения максимальной полезной работы.

Современное определение эксергии дано в Справочнике по наилучшим доступным технологиям (НДТ) как «максимальная работа, которую может совершить макроскопическая система при квазистатическом переходе из заданного состояния в состояние равновесия с окружающей средой (эксергия процесса положительна), или та минимальная работа, которую необходимо затратить на квазистатический переход системы из состояния равновесия с окружающей средой в заданное состояние (эксергия процесса отрицательна)» [227].

В 1968 году понятие эксергии сформулировали Я. Шаргут и Р. Петела [228].

При определении эксергии объектами изучения являются рассматриваемая система, окружающая среда и внешние объекты в окружающей среде, которые могут быть источниками или приемниками энергии. Различают обратимое и необратимое взаимодействие системы с окружающей средой. Полученная работа в идеальном обратимом процессе равна уменьшению эксергии. При рассмотрении реального процесса работа всегда будет меньше убыли эксергии, вследствие потерь эксергии. То есть, при необратимом взаимодействии системы и окружающей среды, протекающем с увеличением энтропии, эксергия системы уменьшается. Сравнение свойств энергии и эксергии приведено в Таблице 1.7.

Таблица 1.7 – Сравнение свойств энергии и эксергии

Свойства	Энергия	Эксергия
Зависимость от параметров системы	Зависит	Зависит
Зависимость от параметров окружающей среды	Не зависит	Зависит
Диапазон значений	Величина не может быть равно нулю	Может быть равна нулю при совпадении параметров системы и окружающей среды
Подчинение закону сохранения энергии	Подчиняется, уничтожаться не может	Подчиняется только в случае обратимых процессов, в реальных процессах может уничтожаться полностью или частично
Возможность преобразования одних форм энергии в другие по условиям второго закона термодинамики	Для обратимых и необратимых процессов преобразование ограничено	Для обратимых процессов преобразование не ограничено

Энергия связана с фундаментальными свойствами материи, эксергия – частное понятие, оно характеризует пригодность энергии в данных условиях окружающей среды, параметры которой независимы от воздействия рассматриваемой системы [229].

Термин «эксергия» был введен югославским ученым З. Рантом [230] в 1956 году по предложению Р. Планка. Он образован из двух частей: от греческого слова *ergon* – работа, сила и приставки *ex*, означающей «из», «вне», буквально «работа извне». Термин близок к другим родственным терминам – энтальпия, энтропия, энергия. С введением эксергии в термодинамику возникло понятие «окружающая среда», описываемое через ее температуру, давление и состав. Возможность выполнения работы при переходе к равновесному состоянию обеспечивается наличием двух систем, находящихся в разных состояниях.

Разработка основ эксергетического метода была начата еще во второй половине XIX века. Дж. Гиббс впервые ввел определение функции, позволяющей найти максимальную работу системы и окружающей среды [231]. В 1889 году вышла работа профессора лионского университета Ж. Гюи [232, 233]. Однако уровень развития техники того времени не требовал подробной разработки

эксергетического метода. Дальнейшее развитие рассматриваемый метод получил в трудах А. Стодолы (1898 год) [233]. Однако до 30-х годов XX века этот метод термодинамического анализа в технике не использовался. Его широкому применению способствовали работы Д. Кинана [234], и Ф. Бошняковича [235], В.М. Бродянского [229, 233, 236], Я. Шаргута [228].

Наиболее последовательно эксергетический метод рассматривается в работах советских ученых, в первую очередь В.М. Бродянского, в работах польских (Я. Шаргут, Р. Петела и др.) и немецких ученых (В. Фатчер и др.) [228, 229, 233, 236, 237]. Большой вклад в развитие эксергетического метода и значительное расширение сферы его применения внесли также российские и зарубежные ученые Г. Вам, П. Грассман, А. И. Андрищенко, Д. П. Гохштейн, Е. И. Янговский и др.

В последние годы повышение энергетической эффективности процессов и производств рассматривается как одна из основных задач обеспечения устойчивого развития национальной экономики. Эксергетический метод является перспективным методом повышения энергетической эффективности и прогностической достоверности [227], что определяет к нему высокий интерес. Эксергетический метод применяется в исследованиях эффективности процессов химической технологии [238-242], разделения смесей [243-245], паросиловых и холодильных установок, процессов сжатия и расширения рабочего тела [246-247], металлургических процессов, излучения, сжигания топлива, теплообмена [239; 248-252], циклов совместного получения тепла и холода, вихревых труб [253-255], в биотехнологии [256], термотрансформаторов, термоэлектрических батарей, дисперсных систем [257, 258]. Отдельные исследования посвящены выявлению зависимостей между теплотой сгорания и эксергией, например, для угля [259], пластмассовых отходов [260].

В литературе широко обсуждается вопрос о эксергетических методах анализа при проведении технико-экономических расчетов и создания высокоэффективных энерготехнологических систем в химической технологии [230, 233, 261-265].

В современных исследованиях понятие эксергии связывают с «правилом трех «Э»: эффективность, экономичность, экологическая целесообразность [266]. Эксергетический анализ позволяет сравнивать между собой любые виды энергии с учетом их качественной неравноценности энергетического или производственного объекта, прогнозировать объем энергии, определять степень его безотходности как по материальному, так и по термодинамическому балансу, эффективность по веществу и энергии [233].

Проведение эксергетического анализа направлено на получение максимальной полезной работы, совершаемой системой. Его объектом могут быть технологические процессы, технико-экономические системы, отрасли промышленности, а также прогнозирование термодинамических процессов для различных систем [227, 238-266].

Эксергия рассматривается как мера отклонения параметров состояния термодинамической системы от условий окружающей среды. Она отражает как ресурсный потенциал данной термодинамической системы, возможность ее использования, так и изменения, которые могут произойти в окружающей среде, опасность системы [266]. Возможны три вида взаимодействий с окружающей средой [266, 267]:

- термическое (температурный потенциал) – источник вторичного тепла или теплового загрязнения;
- деформационное (потенциал – разница давлений), – например, работа расширения газов в двигателях внутреннего сгорания (контролируемое использование) и взрыв (неконтролируемое);
- химическое (химический потенциал) – использование сырьевых и топливных ресурсов, источник химического загрязнения.

Использование ресурсов и выброс отработанных продуктов оказывают существенное влияние на окружающую среду. Это влияние соотносится с содержащимся в них количеством эксергии и позволяет применить понятие эксергии для оценки уровня вмешательства в окружающую среду и определения возможностей его минимизации. Для анализа функционирования различных

энергоиспользующих и энергопреобразующих систем, на основе балансов массы и энергии, составляется их эксергетический баланс, который может быть выражен уравнением [266]:

$$E_{\text{вых}} = E_{\text{вх}} - (D_{\text{внеш}} + T_0 \Delta S) \quad (1.2)$$

где $E_{\text{вых}}$ – эксергия целевого выхода системы;

$E_{\text{вх}}$ – эксергия входа системы;

$D_{\text{внеш}}$ – внешние потери эксергии в системе;

T_0 – абсолютная температура окружающей среды (среды отсчета), К;

ΔS – изменение энтропии потока в конечном и начальном состояниях.

Аналитическое уравнение (1.2) может быть проиллюстрировано схемой, представленной на Рисунке 1.17.

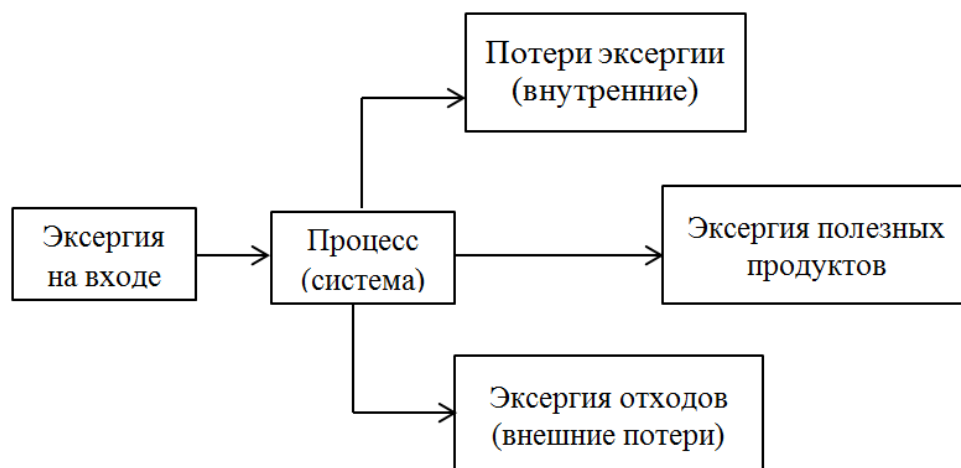


Рисунок 1.17 – Схема эксергетического баланса системы (процесса) [266]

В технических системах потери эксергии условно делят на две группы: внутренние и внешние. Внутренние потери эксергии связаны с необратимостью процессов, происходящих внутри системы, их уменьшение направлено на сокращение материальных затрат на приобретение ресурсов [267].

Внешние потери связаны с теплообменом. Например, потери на трение в подшипниках, потери с охлаждающей водой, уходящими газами, утечками рабочего тела и т. д. входят в эту группу [233].

Степень термодинамического совершенства системы непосредственно

зависит от интенсивности ее взаимодействия с окружающей средой, которая выражается, с одной стороны, количеством изымаемых из нее материальных и энергетических ресурсов (в основном, невозобновляемых), с другой стороны мерой интенсивности потоков вещества и энергии (с точки зрения внешних эксергетических потерь).

ЖДТ признан в мире одним из энергетически эффективных и экологически чистых видов транспорта – по удельным показателям потребления энергии и выбросов загрязняющих веществ на единицу перевозочной работы [266]. Однако транспортные системы, и железнодорожный транспорт в том числе, можно рассматривать как крупные энергетические комплексы, которые используют большое количество топливно-энергетических ресурсов и оказывают негативное воздействие на окружающую среду и человека. ЖДТ потребляет до 6 % производимого нашей стране дизельного топлива, около 90 % от этого количества расходуется на тягу поездов [268]. Кроме того, ЖДТ осуществляются перевозки большого количества опасных грузов, в том числе топливно-энергетического назначения.

Анализу эффективности использования энергоресурсов на транспорте, оценке негативного воздействия транспортных систем на окружающую среду посвящено большое количество исследований. Эксергетический метод получил применение для исследования транспортных систем в различных странах, например, в Англии, Турции, Китае, Канаде, Италии, Иране [269-275]. Эти исследования практически не затрагивают вопросов пожарной безопасности.

Кроме того, вопросы энергосбережения, охраны окружающей среды и пожарной безопасности зачастую рассматриваются отдельно друг от друга. Это приводит к тому, что в обеспечении пожарной безопасности остается недооцененной необходимость активных мероприятий, определяющих инновационное развитие, совершенствование и модернизацию технологий и оборудования.

Необходим системный подход к оценке энергоресурсов и технологий, сочетающий оценку эффективности, экономичности, экологической и пожарной безопасности.

1.5 Применение наилучших доступных технологий на объектах железнодорожного транспорта

На сегодняшний день велико отставание России в области технологий от развитых европейских стран. Переход на новый технологический уровень производства, обеспечивающий высокий уровень экологической и промышленной и пожарной безопасности, необходимо проводить поэтапно в сроки, сопоставимые с теми, которые потребовались странам Западной Европы для введения жестких экологических стандартов. Такой подход позволит осуществить переход на новый технологический уровень промышленного производства без социальных потрясений и нанесения большого ущерба интересам предприятий [276].

Термин «наилучшие доступные технологии» (НДТ, «Best available techniques») был введен Директивой Европейского Совета от 24.09.1996 г. 96/61/ЕС «О комплексном контроле и предотвращении загрязнения», которая впоследствии была заменена Директивой 2008/1/ЕС от 15 января 2008 г. «О комплексном предупреждении и контроле загрязнений».

В настоящий момент наднациональной нормативно-правовой основой в ЕС в данном вопросе является Директива № 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета Европы «О промышленных выбросах/сбросах (о комплексном предупреждении и контроле загрязнений)» от 24 ноября 2010 г. [277]. При этом за каждой страной ЕС сохраняется право установления своих подходов в определении критериев.

В российском законодательстве этот термин появился в Федеральном Законе «Об охране окружающей среды» [278].

Применение НДТ направлено на комплексное предотвращение или минимизацию негативного воздействия на окружающую среду (ОС), способствует повышению эффективности использования сырья и энергоэффективности производства. Согласно ст. 17 [278] в области наилучших доступных технологий осуществляется государственная поддержка в

соответствии с законодательством РФ. НДТ являются ориентиром в области экономических льгот, поэтому они должны быть четко определены и официально признаны, государство должно быть заинтересованно во внедрении НДТ. Опираясь на совокупность положений Закона, можно определить область применения НДТ в отечественной практике охраны ОС [279]. Например, для действующих объектов это технологическое нормирование, разработка планов природоохранных мероприятий; установка нормативов допустимого воздействия на ОС; выдача разрешения на эксплуатацию объекта.

Совершенствование отечественной системы нормирования техногенного воздействия должно быть направлено на предотвращение или уменьшение воздействия на ОС при сокращении трудовых, временных, финансовых затрат на подготовку, утверждение и контроль нормативов воздействия [279].

Основные положения Директивы Европейского парламента и Совета 2010/75/ЕС реализованы в Стандарте [280], который устанавливает основные термины, применяемые в области НДТ, дает определения этих терминов.

Зарубежные специальные технические справочники по НДТ (BREF) содержат опробованные в различных странах и получившие практическое подтверждение своей эффективности технологии.

В 2017 г. в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации [281], и распоряжением Правительства РФ [282] был утвержден поэтапный график создания в 2015-2017 годах справочников НДТ. За этот период был разработан 51 справочник, 39 из них являются отраслевыми («вертикальными») и содержат НДТ и технологические показатели (уровни эмиссий), 12 – межотраслевыми (горизонтальными), не включающими технологические показатели НДТ, как, например, Справочник [227].

Однако в России существует проблемы, препятствующие либо замедляющие введение и широкое использование НДТ: недостаточное нормативное правовое регулирование, экономическое стимулирование и государственная поддержка предприятий, внедряющих НДТ, финансовые трудности.

В РФ очень низкий процент производств, использующих НДТ. Например, в энергетической промышленности он составляет 10%; в нефтегазовой – 20%. Среднемировой уровень производств, применяющих НДТ, в энергетическом комплексе составляет 60%, в нефтегазовом – 40% [283]. Такая существенная разница свидетельствует о неэффективности и энергозатратности российских производств.

Непринятие мер, по прогнозам экспертов, может привести к дальнейшему ухудшению как экономической, так и экологической ситуаций в России.

В условиях, когда на предприятия оказывается постоянное административное и общественное давление с требованием снижения уровня загрязнений, необходимо определить и внедрить экономически эффективные технологии для каждой из отраслей, оказывающей специфическое вредное воздействие на окружающую среду, и уже на основании собранных данных определять достижимые требования [284]. Для создания равновесия между требованием минимизировать загрязнение и реальными техническими возможностями должно быть предусмотрено применение механизма расчёта показателей воздействия на основе НДТ.

Для организации обмена информацией между государствами – членами и представителями отраслей промышленности, участвующими в реализации Директивы № 2010/75/ЕС, создано Европейское бюро по интегрированному контролю и предотвращению загрязнений (European IPPC Bureau), которое организует данный обмен информацией и выпускает перечни НДТ (BAT reference documents – BREFs).

BREFs не предписывает использование технологий, либо конкретные уровни выбросов, служит ориентиром, индикатором, который позволяет принимать обоснованные решения и разрешать спорные вопросы.

Одним из наиболее важных следствий применения этого механизма в странах Евросоюза, помимо общего снижения объёма выбросов, является ускоренное технологическое развитие. Выше указанные механизмы в странах

Евросоюза действуют не напрямую, а имплементируются через национальное законодательство.

Необходимо отметить, следующие преимущества применения механизма НДТ: не устанавливаются единые для всех жёсткие нормы; конкретные нормы указываются в индивидуальном разрешении, системно контролируются и ужесточаются; учитываются интересы всех заинтересованных сторон с помощью создания механизма общественных консультаций, снижается уровень загрязнения на предприятиях, при этом сохраняется их экономическая эффективность; осуществляется стимулирование ускоренного технологического развития.

В Российской Федерации действует стандартизированная методология определения НДТ, которая основана на оценке и отборе технологий (методов, способов) предотвращения и контроля промышленных эмиссий. В России НДТ не имеют обязательной юридической силы, но уровни эмиссий, соответствующие НДТ создают основу для установления условий экологических разрешений и законодательно обязательны для соблюдения промышленными предприятиями [284].

В России переход к нормированию воздействий на ОС на основе принципа НДТ – это переход действующей системы индивидуального нормирования (ПДВ, ПДС, размещение отходов и др.) к комплексному определению воздействия субъекта хозяйственной деятельности на окружающую среду, с выдачей единого комплексного разрешения на определенный срок.

Российский подход к НДТ, как ожидается, окажет положительное влияние на состояние ОС, обеспечив снижение негативного воздействия промышленных предприятий [284].

Следует отметить, что процесс реализации новой политики НДТ начался только в 2018 году, и пока сложно делать выводы, однако уже сейчас выявлены следующие ограничения: 1) сжатые сроки разработки ИТС, что может сказаться на их качестве; 2) недостаток исходной информации [284].

ЖДТ признан одним из экологически эффективных видов транспорта в мире (Рисунок 1.18), что обеспечивается широким использованием электрической

тяги. Наблюдается постоянное снижение количества сбросов и выбросов. Энергетическая эффективность железнодорожного транспорта в несколько раз выше автомобильного [285].

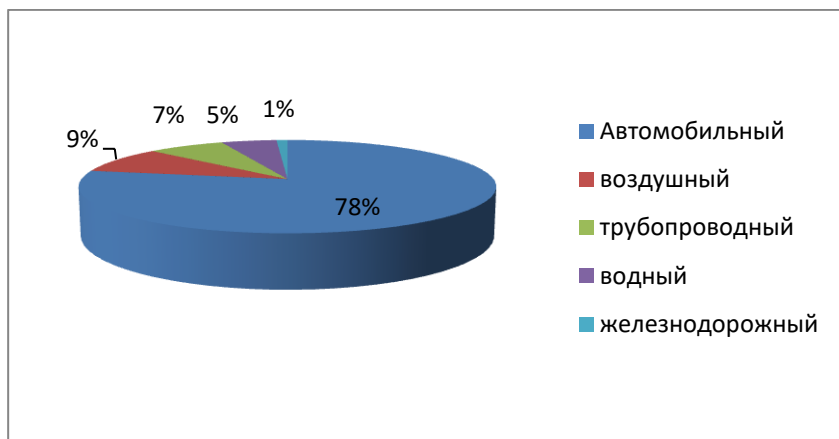


Рисунок 1.18 – Негативное воздействие видов транспорта на окружающую среду [285]

Однако многие предприятия ЖДТ не отвечают современным экологическим требованиям и создают серьёзные локальные проблемы с загрязнением ОС. Это относится, например, к проблеме отходов, выбросам нефти и нефтепродуктов при «больших» и «малых» дыханиях. Для решения этих вопросов необходима эффективная организация природоохранной деятельности, в том числе и на основе НДТ [286].

Одним из путей решения проблем, связанных с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух, является использование подвижного состава, «не имеющего испарений или утечек при перевозке опасных грузов, пылеобразования при перевозке сыпучих грузов, проливов на железнодорожное полотно нефтепродуктов» [285].

Показатели природоохранной деятельности ОАО «РЖД» прямо зависимы от различных факторов, как-то крупные катастрофы техногенного, социального и природного характера. Дополнительные капиталовложения на мероприятия по предупреждению их негативных последствий значительно влияют на успешную реализацию Экологической стратегии [286].

Необходимо сформировать фонд, содержащий официально признанные наилучшими с позиций их эколого-экономической эффективности и применяемые в различных странах, технические приемы, способы, методы, и технологии.

1.6 Анализ методических подходов к организации технологического аудита

Аудит – систематический, независимый и документируемый процесс получения свидетельств аудита и объективного их оценивания с целью установления степени выполнения согласованных критериев аудита [287].

Может проводиться внутренний аудит (аудит первой стороны), внешний аудит (аудит второй и третьей стороны) [287].

Первоначально целью аудита являлся анализ бухгалтерской отчетности и внутренний финансовый контроль. В настоящее время он рассматривает различные аспекты деятельности организации и направлен на помощь менеджменту в выявлении и оценке рисков, выработке мероприятий, направленных на управление риском и повышение эффективности систем и процессов.

При организации аудита используются следующие подходы [287-292]:

1) аудит рассматривается как ревизия, фокусируется на выявлении ошибок и злоупотреблений, а не на рисках и поиске возможностей по улучшению существующих систем и процессов. Это существенно ограничивает его роль;

2) аудит рассматривается как финансовый, занимается подтверждением финансовой отчетности дочерних компаний, филиалов и организации в целом, что существенно сужает его сферу воздействия на процессы, происходящие внутри организации, недостаточному использованию его потенциала;

3) аудит оценивает всю систему внутреннего контроля в различных областях, сосредотачивается на рисках, их влиянии на достижение целей компании.

Необходимо разделять задачи по созданию и совершенствованию системы контроля и проверке эффективности ее функционирования [292]. Аудит следует

рассматривать как часть процесса управления, встроенную в повседневную деятельность организации, неэффективно представление аудита как функции контролирующего подразделения. Специфика внедрения аудита существует на каждом уровне развития предприятия.

Основные проблемы организации аудита на ЖДТ [292-296]: недостаточная теоретическая проработка вопросов в области методологии и организации аудита; недостаток нормативно-правовых документов по регулированию деятельности аудиторов и невысокий уровень их профессионализма; экономия средств на проведение аудита; существование не выявленных рисков; слабая заинтересованность сторон; неэффективность процедуры; ограниченность информации.

Аудиторы должны обладать как профессиональными навыками и знаниями, так и знаниями специфических особенностей организации; занимать активную позицию в процессе управления рисками, осуществлять постоянный мониторинг рисков и их выявление [292-296]:

Понятие «технологический аудит» включает в себя экспертную оценку действующих (действующего производства или его отдельных подразделений) или проектируемых (от уровня операционной технологии обработки детали до уровня проектируемых производств) технологических решений и разработку рекомендаций по комплексу организационно-технических мероприятий, необходимых для повышения конкурентоспособности рассматриваемых технологических решений (производств) [296, 297].

Можно выделить три направления технологического аудита:

1. Приведение технологии в соответствие с современным уровнем развития научно-технического прогресса.
2. Замена или модернизация оборудования (техническое перевооружение).
3. Обеспечение надежности работы оборудования и необходимого профессионального уровня кадров.

Это мероприятие проводится для оптимизации основных критериев технологического совершенства промышленного объекта: ресурсосбережения

(или материалоотдачи); фондоотдачи; энергосбережения; экологической и промышленной безопасности.

При разработке и проведении технологического аудита на ЖДТ необходимо учитывать влияние различных технологий на наиболее важные экономические и экологические показатели, применение современных научно-технических достижений [296, 297].

Задачами пожарного аудита является оценка технологического потенциала предприятия в контексте обеспечения пожарной и промышленной безопасности, результатом аудита является подготовка комплекса организационных и технических мероприятий по модернизации и развитию новых технологий для обеспечения требуемого уровня пожарного риска на предприятии [298].

Наличие разработанной функциональной методики технологического аудита, в сочетании с элементами пожарного аудита объектов ЖДТ позволит получить объективную, достоверную информацию об объекте, определить его соответствие его требованиям нормативных документов, разработать мероприятия по улучшению технологий и достижению минимального технологического риска, повышению возможностей производственных и перевозочных процессов.

Одним из механизмов обеспечения надежного, эффективного и безопасного функционирования объектов ЖДТ рта является проведение эффективного технологического аудита, основанного на знаниях о НДТ, применение современного технологического оборудования, технических средств автоматизации и механизации процессов и др.

1.7 Организация тушения пожаров на объектах железнодорожного транспорта

Тушение пожаров и проведение связанных с ними аварийно-спасательных работ (АСР) на объектах защиты ЖДТ осуществляют силы и средства гарнизона пожарной охраны в соответствии с расписанием выездов. Порядок привлечения

сил и средств для тушения пожаров на объектах защиты определяет ГПС МЧС России [25].

Для решения стоящих перед обществом хозяйственных, общественных, технических задач, задач по обеспечению безопасности и ликвидации пожаров, необходима рациональная организованная деятельности людей. Существование большого количества различных организаций определяет необходимость их классификации [299].

Основой выделения и обоснования класса организаций послужила классификация системных объектов, предложенная русскими философами И. Блаубергом, В. Садовским и Ю. Эдиным [300].

В естественных науках выделяют организации неживой и живой материи (природы), свойством которых является наличие связей между элементами [301].

Особое место занимают организации общества, к классификации которых существуют различные подходы.

1. Подход, основанный на применении организационно-формальных критериев [302, 303].

2. Функциональный подход, в рамках которого организации изучаются в зависимости от функций, реализуемых в обществе, предложенный американским социологом Т. Парсонсом [304].

3. Социально-психологический подход, в котором в основу классификации организаций положены складывающиеся в них социально-психологические отношения.

4. Конфигурационный подход, предложенный канадским ученым Г. Минцбергом [301], основанный на выделении базисных частей и представлении организации как структурированной коалиции участников, при этом доминирование какой-либо части, определяет тип организации.

В литературе рассматриваются и другие возможности классификации организаций [305-307].

Наличие общих свойств у различных видов организаций позволяет использовать единую методологию их построения [308]. Наиболее

перспективным, на наш взгляд, является рассмотрение организаций с позиций тринитарной парадигмы и изучение понятия «система» как совокупности понятий «организация», «структура», «система». Системы можно рассматривать как совокупности целей, структуры и законов (понятий, положений, норм), в соответствии с которыми создаются и функционируют организации, что является перспективным методом решения вопросов, связанных с совершенствованием организационной структуры ГПС МЧС России и повышением эффективности ее деятельности [309, 310].

Человек планирует и осуществляет действия, что определяет сущность организации. Наличие самоорганизации рассматривается как необходимое условие формирования, сохранения, развития и использования сознания и множества представлений об окружающем мире [311].

При познании целесообразно применять сформулированный Р. Баранцевым на основе тринитарной парадигмы принцип «неопределенности – дополнения – совместности» (НДС) [309, 312]. Он основывается на следующих положениях: каждая пара элементов в целостной триаде находится в отношении дополнения, третий задает меру совместности, является и их способом существования (модусом), и генерализованным посредником. Полная определенность (абсолютизация) любой компоненты разрушает целостность триады. Принцип НДС определяет основу для выявления механизма синтеза целостных образований, определяет минимальную ячейку синтеза.

Система имеет новые качества (свойства), отличные от свойств элементов, из которых она состоит [313, 314].

Организации можно рассматривать как объект «коммуникативного мира» – понятия, введенного английским ученым Г. Бейтсоном. В работе [315] отмечается, что на одинаковые воздействия организации проявляют разные реакции, они не имеют четкой локализации, что увеличивает сложность изучения закономерностей их построения и развития.

При изучении организаций необходимо правильно понимать понятия организованности и упорядоченности. Взаимное расположение элементов

характеризует упорядоченность, организованность рассматривается как внутренняя характеристика организации.

Определяя организацию как множество с нефиксированной мощностью, формируемое подобными элементами, подразумевают, что именно эта единая система – условие существования и стратегия развития организации, определяющая совокупность единых для всех элементов моделей мировосприятия и деятельности.

Представление о системе является фундаментом учения об организации. Рассматривающие систему в данном аспекте теории построены на аксиоматических постулатах. В отличие от своих предшественников Ю.А. Урманцев выводит общую теорию систем формально-логически, опираясь на такие понятия-категории, как существование, множество объектов, достаточность, единство, единое [316].

Система – это множество объектов-систем, построенное по отношениям r множества отношений $\{R\}$, законам композиции z множества законов композиции $\{Z\}$ из «первичных» элементов m множества $\{M\}$, выделенного по основаниям a множества оснований $\{A\}$ из универсума U . При этом множества $\{Z\}$, $\{Z\}$ и $\{R\}$, $\{Z\}$ и $\{R\}$ и $\{M\}$ могут быть и пустыми.

Возможно сформулировать законы композиции различными способами: в виде формул, таблиц (например, система Д. Менделеева), графов и т.д., описать вербально.

Для решения сложных проблем в современном обществе создаются организационно-финансовые системы (ОФС). Объединяя находящиеся в их распоряжении трудовые, материальные и финансовые ресурсы, распределяя их по подразделениям, ОФС обеспечивают общность целей структурных составляющих и совместное использование их временных, информационных и финансовых ресурсов за счет единого административного органа управления [308, 312, 317]

Анализ существующих альтернатив и выбор оптимальной позволяет сформировать необходимую систему. Аналитические методы, как правило, применяются в отсутствии аналога. Это функциональное моделирование,

параметрическое моделирование, программно-целевой метод, системный подход. Именно два последних – программно-целевой метод и системный подход [318, 319] – нашли широкое применение в деятельности подразделений и служб МЧС России.

Программно-целевой метод основан на построении «дерева целей» - ставя определенные цели, их достижение соотносят с комплексом конкретных согласованных действий. Т.о., по сути, мы формируем комплексную целевую программу [320, 321], но успешная её реализация будет обеспечена только конкретной системой управления, обеспечившей грамотную постановку задач исполнителям и контроль их выполнения.

Обладая рядом достоинств, метод имеет недостаток – некоторую методическую незавершенность, из-за которого эффективность его высока для решения достаточно изученных проблем. «Нет единой точки зрения исследователей на основополагающие понятия программно-целевого планирования и управления, соотношение плана (в его традиционной форме) и целевой комплексной программы» [322].

Системный подход [323, 324] рассматривает новые по сравнению со свойствами образующих элементов. Например, способность достигать новую цель, и решить новую проблему. Системный подход предполагает необходимость установки границы системы, ее преобразования и перевода в необходимое состояние.

Описанные подходы и методы применяются в основном для совершенствования уже существующих систем.

Можно выделить три этапа построения ОФС: теоретическое выявление из среды объекта управления; получение объектом научного признания; появление у объекта субъекта управления [319, 325, 326]. В организационной структуре органов управления объект первичен, а управляющая система вторична. Система управления, являясь элементом базиса, настоятельно требует внедрения новейших достижений науки об управлении, поскольку речь идет об её эффективности.

А. А. Модин [327] считает, что непосредственное влияние на существующие системы управления, их разработку и модернизацию оказывают в первую очередь свойства управляемых объектов, далее – характер научных основ управления и особенности применяемых технических средств.

Появление новых опасностей и угроз, увеличение количества и масштабов ЧС, изменение перечня и объема возложенных задач определяет необходимость совершенствования и развития системы МЧС России. Растет потребность в СИС оперативного реагирования, увеличении их мобильности, развитии системы мониторинга и прогнозирования и т.д.

В основу совершенствования системы МЧС России должны быть положены принципы, присущие ОФС [328], среди которых необходимость разрешения определенной проблемы общества и оценка эффективности функционирования. Определена последовательность построения ОФС «проблема → объект управления → субъект управления»;

– синтез системы управления необходимо осуществлять с учетом последних достижений науки об управлении.

Большое количество ОФС функционирует в любом развитом обществе, однако им не всегда уделяется достаточно внимания, что отличает их от технических систем [1-5; 329-333].

В решении проблем организации и управления ОФС при советской власти наука практически не применялась, управление являлось прерогативой государства и его принципы оставались бюрократическими [334].

Отправной точкой для создания методологии построения ОФС явилось развитие кибернетики. А. А. Богданов, являющийся основоположником теории управления социальными объектами, отмечал, что «организаторский труд, по-видимому, представляет собой исторически самую раннюю форму сложного (квалифицированного) труда вообще» [цит. по 330].

Сократить число неэффективных систем позволит разработка новых механизмов построения ОФС. Существует необходимость и возможность разработки универсальной методологии создания ОФС, что определяется 1)

наличием общих свойств, позволяющих классифицировать ОФС; 2) применением методов создания систем управления программно-целевого типа; 3) использованием методов общей теории управления, системного анализа и имеющегося опыта построения ОФС [317, 321, 335].

Применение методов математического моделирования позволит достичь наиболее значимых результатов, которые будет определяться правильностью построения модели и полнотой отражения ее взаимодействий с внешней средой [336-338]. Относительность понятия модели определяется влиянием на ее создание субъективного фактора.

Построение модели объекта является общим этапом в решении задач управления, прогнозирования, установления механизмов процессов и явлений.

Этапы создания математической модели объекта исследования заключаются в следующем: определение модели, т.е. выявление вида зависимости входных и выходных параметров; оценка модели для определения меры различия параметров выхода и их прогноза; проверка адекватности и подтверждение реалистичности модели. В настоящее время второй и третий этапы достаточно формализованы, сложность, как правило, вызывает первый этап [338-339].

Правильный выбор модели зависит от степени изученности объекта, «степени искаженности» информации и объема этой информации [309, 329].

В литературе широко обсуждается теория управления и ее основные понятия [340-342]. Сложность становления и развития теории управления заключается в том, что она находится на стыке наук (технических, общественных и естественных), что требуется их совместного использования при решении практических задач [309].

Идеология управления начала интенсивно развиваться примерно в пятидесятые годы 20 века [330, 342]. С тех пор она претерпела существенные изменения, касающиеся оценки роли управления, принципиальных представлений о процессе управления, что обусловлено многими причинами, основополагающими являются два принципиальных положения.

1) Управление рассматривается как атрибут взаимодействующих организаций. Управление имеет вполне сформированную структуру и методологию [343]. Цели управления достижимы, когда они отражают реально возможное функционирование организации.

2) Управление рассматривается как принятие решений. Исходя из предполагаемых механизмов творческого (продуктивного) мышления, были предложены и реализованы такие методы управления, как ситуационное интегрированные системы автоматизированного управления, экспертные системы (ЭС), организации с искусственным интеллектом и т.д. [344–351].

В системах управления может достигаться высокая степень автоматизации принятия решений, однако при этом существуют некоторые ограничения.

Мышление человека принято считать речевым, т.е. некоторой акцией или процессом, который контролируется сознанием. В процессе рассуждений, инструментом выражения которых является естественный язык, человек ставит задачу, формулирует цели и решает ее. Естественный язык обладает принципиальной полнотой описания и его целесообразно выбрать как язык описания задач управления.

Человеком могут быть использованы следующие виды выводов: дедукция, индукция и откровение (озарение).

Определены возможности проведения дедуктивного вывода лингвистическими средствами. Дедукция в человеке регулируется сознанием и, следовательно, языковым выражением, что определяет возможность полная автоматизации принятия решений.

Опираясь на общепринятые методологические основы научного познания, в литературе предлагается следующая точка зрения: индуктивный вывод выражается несколькими категориями, среди которых интуиция и аналогия занимают противоположные позиции. Аналогия контролируется сознанием, следовательно, она лингвистически выражаема.

Однако мышление человека не всегда является речевым. Интуиция – акт, не контролируемый сознанием, неосознанным актом также является вывод как

откровение. Если регулируемый сознанием вывод выражаем языком, возможно принятие решения полностью автоматизировать.

При осуществлении управления сложными системами во главу угла ставится реализация их программ, целей и задач, обеспечение структурированности и работоспособности системы, что может обеспечить только взаимодействие двух адекватных друг другу по сложности элементов – управляемой и управляющей организаций. Управление организацией требует обязательной интеллектуальной поддержки.

Информационная поддержка лица, принимающего решения (ЛПР), является целью функционирования системы управления ГПС МЧС России. Усиление интеллектуальных возможностей человека может быть обеспечено созданием компьютерных интегрированных интеллектуальных информационно-советующих и экспертных систем [352-359]. Эти системы базируются на совокупности теорий, концепций, принципов и методов, технологий, приемов и рекомендаций по принятию решений [330, 360-362].

Принятие решений руководителем подразделения ГПС МЧС России обусловлено рядом особенностей: зачастую неполная или недостоверная информация при выполнении задачи в условиях повышенного риска и неопределенности, многообразие и сложность различных экзогенных и эндогенных факторов. При этом необходимо остановить свой выбор именно на эффективном решении проблемы [363, 364].

Условия, возникающие при тушении пожаров, требуют принятия компетентных решений в сложной, быстро изменяющейся обстановке, что представляет собой достаточно трудную задачу, решение которой осложняется дефицитом времени, ресурсов и зависит от квалификации ЛПР. Создание и применение в практической деятельности подразделений ГПС МЧС России интегрированных интеллектуальных систем принятия решений, основанных на теории и принципах гибридного и искусственного интеллекта, методах математического моделирования, анализа и обработки данных определяется как актуальная задача современных исследований.

Выводы по главе 1

1. Одним из основных видов транспорта является железнодорожный. Велика его стратегическая роль в общей транспортной системе Российской Федерации. Одной из важнейших проблем развития является недостаточный уровень безопасности ЖДТ. «Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года» определяет необходимость повышения безопасности его функционирования, что рассматривается как важнейший государственный приоритет, «ключевой момент, являющийся критическим для дальнейшего социально-экономического роста страны».

2. Пожары на объектах ЖДТ являются мощным дестабилизирующим фактором для экономики страны. Анализ показал, что более половины пожаров, происходящих на подвижном составе ЖДТ, связаны с перевозкой грузов.

Развитие пожаров на подвижном составе ЖДТ имеет ряд отличий от пожаров на стационарных объектах в частности, по способам инициирования, по возможности одновременного развития событий на различных объектах. Несмотря на устойчивое снижение количества пожаров, наблюдается рост приходящегося на один пожар материального ущерба, который в 2017 году увеличился практически в 2 раза по сравнению с 2012 годом. Следует отметить недостаточную системность при прогнозировании возможных сценариев развития пожаров.

3. В настоящее время более 35 % от общего числа грузовых перевозок приходится на опасные грузы. Следует признать недостаточным методическое обеспечение прогнозирования пожарной опасности ОГ, что особенно остро проявляется при расширении номенклатуры перевозимых грузов и необходимости определения их класса опасности. Актуальными при обеспечении пожарной безопасности остаются проблемы самовозгорания. Отмечается, что современные методы определения класса опасности самовозгорающихся грузов допускают возможность завышения или занижения их опасности.

4. Большое количество нелегальных свалок и приближение официальных полигонов к населённым пунктам приводят к ухудшению экологической обстановки и риску возникновения ЧС. В крупных городах проблема вывоза и утилизации ТКО стоит особенно остро.

В процессе функционирования ЖДТ образуется порядка 600 наименований отходов всех классов опасности, проблема их утилизации стоит достаточно остро. В Экологической стратегии ОАО «РЖД» определена необходимость «сокращения накопленных объемов отходов за предыдущие годы хозяйственной деятельности».

Обеспечение пожарной безопасности вывоза ТКО из Москвы, Санкт-Петербурга и других крупных городов по железной дороге на отдаленные полигоны требует рассмотрения и учета пожароопасных свойств ТКО как железнодорожных грузов.

5. Выход нефтепродуктов через дыхательные устройства в атмосферу отрицательно влияет на состояние окружающей природной среды, может способствовать развитию пожаров при перевозке таких грузов и переходу горения на соседние цистерны. По статистике, около 24 % пожаров резервуаров с нефтепродуктами переходят в групповые. Современные конструкции огнепреграждающих устройств имеют ограниченную огнестойкость и возможно проникновение пламени в негорящую цистерну.

В «Экологической стратегии ОАО «РЖД» определено, что одним из путей решения проблем, связанных с выбросами загрязняющих веществ в атмосферный воздух, является использование подвижного состава, «не имеющего испарений или утечек при перевозке опасных грузов, пылеобразования при перевозке сыпучих грузов, проливов на железнодорожное полотно нефтепродуктов».

Снижение пожарного и экологического риска при эксплуатации железнодорожных цистерн с нефтепродуктами может быть обеспечено совершенствованием дыхательной арматуры и огнепреграждающих устройств по следующим основным направлениям: уменьшение (прекращение) утечек паров нефтепродуктов в атмосферу; повышение защиты цистерн от взрыва и пожара;

увеличение надежности; упрощение конструкции дыхательного клапана; повышение огнестойкости огнепреградителя.

6. Повышение энергетической эффективности процессов и производств в настоящее время рассматривается как одна из основных задач обеспечения устойчивого развития национальной экономики. Следует отметить разрозненность и несогласованность между собой подходов к обеспечению энергоэффективности, повышению экологической и пожарной безопасности процессов.

Железнодорожный транспорт признан в мире одним из энергетически эффективных и экологически чистых видов транспорта – по удельным показателям потребления энергии и выбросов загрязняющих веществ на единицу перевозочной работы.

Однако, транспортные системы, и ЖДТ в том числе, можно оценить как крупные энергетические комплексы, которые используют большое количество топливно-энергетических ресурсов и оказывают негативное воздействие на окружающую среду и человека. ЖДТ потребляет до 6 % производимого нашей стране дизельного топлива, около 90 % от этого количества расходуется на тягу поездов.

Эксергетический метод является перспективным методом повышения энергетической эффективности и прогностической достоверности. В современных исследованиях понятие эксергии связывают с «правилом трех «Э»: эффективность, экономичность, экологическая целесообразность.

Анализу эффективности использования энергоресурсов на транспорте, оценке негативного воздействия транспортных систем на окружающую среду посвящено большое количество исследований, которые практически не затрагивают вопросов пожарной безопасности. Необходим системный подход к оценке энергоресурсов и технологий, сочетающий оценку эффективности, экономичности, экологической и пожарной безопасности.

7. Не в полной мере обеспечивается приоритет предупреждения пожаров по отношению к реагированию на его последствия. Одним из механизмов

обеспечения надежного, эффективного и безопасного функционирования транспорта является проведение результативного технологического аудита, основанного на знаниях о НДТ. Необходима проработка вопросов в области методологии и организации аудита, совершенствование его процедур; повышение ответственности и заинтересованности сторон в регулировании «узких мест»; наличие и выполнение определенного регламента и установленных правил аудиторской деятельности; своевременное обеспечение необходимой, объективной информацией; проведение обоснованной оценки деятельности аудита.

8. Принятие компетентных решений в сложной, быстро изменяющейся обстановке при тушении пожаров на ЖДТ представляет собой серьезную в методологическом и организационном плане проблему, особенно в условиях дефицита времени и ресурсов, возникающих при ликвидации пожаров и связанных с ними ЧС на транспорте. Решения принимаются на основе личного опыта руководителя тушения пожара (РТП).

Существующая практика принятия таких решений не в полной мере предусматривает взаимосвязь с технологиями перемещения веществ, их термодинамическими характеристиками, условиями рассеивания в атмосфере и негативным влиянием на человека и окружающую среду при распространении как самих веществ, так и продуктов их сгорания, что препятствует интеграции специфических для пожаров методологических подходов в новую информационную среду.

Отличающиеся требования безопасности к одним и тем же веществам в процессе их обращения на производстве и при транспортировке ЖДТ создает трудности в создании единого нормативно-методического обеспечения в области ПБ и препятствует эффективному межведомственному взаимодействию ГПС МЧС России и ФГП ВО ЖДТ.

Совершенствование системы управления, а именно внедрение технологий поддержки и принятия решений, использование систем мониторинга и прогнозирования, информационных технологий и информационного обеспечения,

эффективное межведомственное взаимодействие определяет основные направления стратегического развития подразделений ГПС МЧС России и ФГП ВО ЖДТ.

Необходимы системные меры для устранения недостаточной проработанности методических подходов, направленных на повышение эффективности и качества межведомственного взаимодействия в области предупреждения и тушения пожаров на объектах ЖДТ. Рассмотренные проблемы перспективно решать, основываясь на понимании организационной системы как совокупности целей, структуры и законов (понятий, положений, норм).

9. Системное рассмотрение вопросов обеспечения ПБ с учетом всего комплекса выявленных проблем позволит создать адекватные динамично меняющимся условиям функционирования ЖДТ принципы принятия решений по управлению пожарным риском.

Проведенный анализ и сформулированные на его основе выводы послужили основанием для определения цели и задач диссертационного исследования, которые изложены во введении.

2 Концептуальные основы обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов

2.1 Основные направления обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов

Концепция построения системы обеспечения пожарной безопасности на железнодорожном транспорте направлена на управление пожарным риском; ее рассмотрение следует проводить по следующим основным направлениям (Рисунок 2.1).

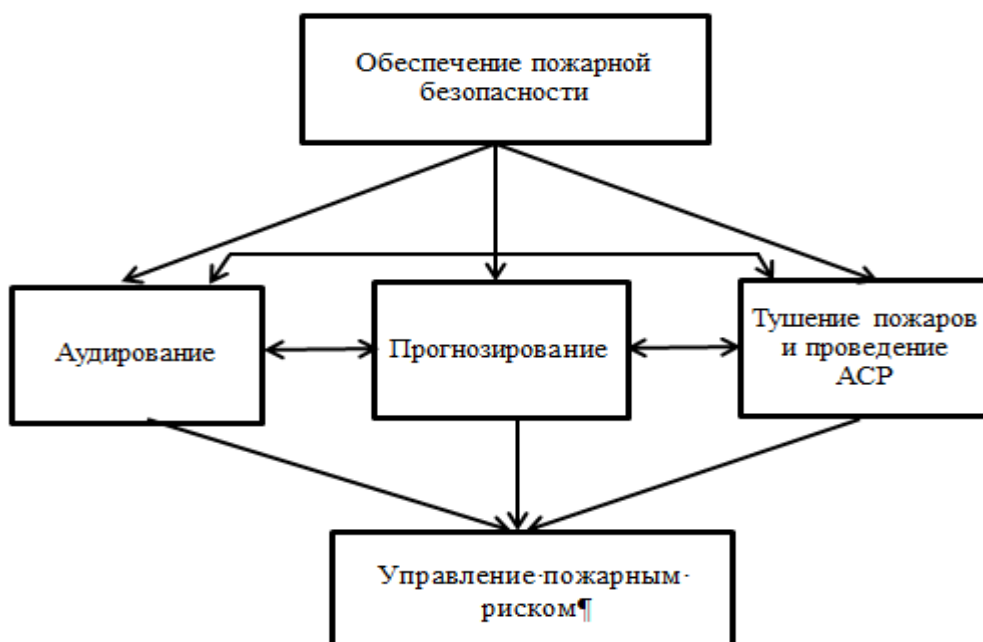


Рисунок 2.1 – Основные направления обеспечения ПБ при железнодорожных перевозках опасных грузов

Основой управления является принятие решений. Методология любой теории, и теории принятия решений в том числе, основывается на совокупности концепций и принципов, которые формируют определенную стандартную форму подхода к проблемной ситуации – парадигму теории [365, 366].

Концепцию (от лат. *conceptio* – «понимание») будем рассматривать как обобщенную систему взглядов на рассматриваемый объект или явление, подход к восприятию и изучению этого объекта. Любая концепция должна иметь теоретическую базу, методологическую основу и методическое обеспечение, в противном случае ее нельзя эффективно использовать на практике.

Субъект в его теоретической (познавательной, методологической, исследовательской, дидактической и т.п.) или практической деятельности руководствуется принципами (от лат. *principium* – «основополагающая идея»). Взаимосвязь концепций и принципов, которыми оперирует методология теории управления, отражена с помощью иерархической структуры (Рисунок 2.2).

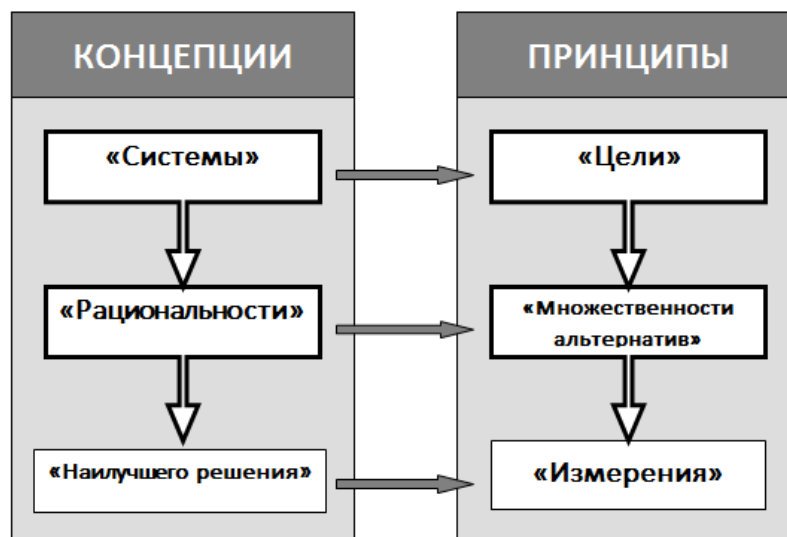


Рисунок 2.2 – Структура концепций и принципов теории принятия решений

Концепция отражает представления о единстве мира, о всеобщей связи и взаимной обусловленности процессов и явлений материального мира. Стремясь к достижению цели, люди приводят в действие активные ресурсы (например, людей, технику, денежные средства), создают и разрывают связи между различными объектами, изменяют понятия и представления, что порождает как желаемый полезный эффект, так и неожиданные последствия, которые могут не только способствовать решению проблемы, но и вредить ему.

При выработке решений ключевую позицию занимает цель предстоящих действий [365]. В методологическом плане принцип цели напрямую следует из концепции организации. Концепции и принципы являются не шаблоном, а опорой для творческого начала в управлении [330].

Термин «парадигма» (от греч. *paradeigma* – «пример, образец для подражания») введен американским ученым Т.С. Куном для обозначения указанной совокупности предпосылок, вытекающей из набора принципов, а также постановок задач и основных методов их решения американский ученый [339]. Парадигма есть понятие историческое. Она является ориентиром при выборе проблем и одновременно моделью (образцом) решения исследовательских задач [330].

Парадигма эмоциональных решений основывается на опыте решения практических задач, интуиции и воле руководителя, что используется при тушении пожаров и ликвидации ЧС. Ее достоинства заключаются в простоте и оперативности выработки единоличного решения, когда необходимо быстрое реагирование, не требуется доказывать правильность действий, проблема не является уникальной, опыта и интуиции достаточно для выработки удовлетворительного решения.

Однако рост масштабов и сложности задач, возложенных на ГПС МЧС России, требуют снижения возможных ошибок в выборе наилучшего решения. Принципы парадигмы рациональных решений предполагают моделирование реальной ситуации, всестороннее измерение связанных с ней результатов достижения целей. Применение рассмотренных принципов позволяет существенно снизить ошибки в принятии решений.

На глубокий анализ слабо структурированных проблем, четкую формулировку измеримых целей и задач, определение формальных критериев достижения целей, на декомпозицию исходной проблемы и делегирование полномочий на нижестоящие уровни выработки решений главным образом ориентирована парадигма рациональных решений. Ее применение позволяет

научно обосновать и обеспечить и формальную непротиворечивость решений, предопределить которые изначально невозможно.

Основная задача состоит в совершенствовании структурирования проблемы для правильной постановки вопросов и применения формальных методов только в случае необходимости. При этом для правильного воспроизведения интересов лиц, вовлеченных в данную проблему, следует включать в рассмотрение ценности и суждения.

2.1.1 Каскадный характер развития техногенных пожаров на объектах железнодорожного транспорта

Пожары и связанные с ними ЧС наносят огромный ущерб, размеры которого увеличиваются по мере развития цивилизации, что связано с ростом численности и благосостояния людей, освоением новых территорий, ростом городов, развитием производства и т.д. При определенных условиях одна ЧС может повлечь за собой другую.

В ряде сложных ситуаций возможно развитие особо неблагоприятного сценария развития событий, обусловленного как несовершенством систем защиты, так и ошибками в действиях персонала. Как правило, в таких случаях поражающие факторы аварии, выходя за пределы аварийного объекта, провоцируют вовлечение новых опасностей в дальнейшую стадию развития аварии.

Такое развитие аварийной ситуации называют каскадным, в зарубежной практике – «эффект домино», который сопровождается такими событиями, как образование огненного шара, взрыв облака большой массы топливно-воздушной смеси, т.е. наиболее серьезными и неблагоприятными.

В странах ЕЭС законодательно определена обязательность учета «эффекта домино». Директива Севезо III «О контроле крупных аварий, связанных с опасными веществами, изменяющая и впоследствии отменяющая Директиву 96/82/ЕС Совета ЕС» принята в 2012 году. Предприятия, где существует риск

возникновения «эффекта домино», обязаны вести учет видов и последствий такого развития событий, отражая их в программах предотвращения крупных аварий, в системах управления безопасностью, в Safety Report (Отчет о безопасности – аналог деклараций промышленной безопасности) и в планах ликвидации аварии [366].

Аварии на ЖДТ могут развиваться по сложному сценарию, включающему разные типы развития событий, таких как пожары, взрывы, выбросы опасных веществ. Например, железнодорожные аварии (столкновения, сходы с рельсов и т.д.) могут являться как причиной, так и следствием пожаров, взрывов или выбросов опасных веществ. В свою очередь, выбросы, пожары, взрывы, могут быть взаимосвязаны и инициировать друг друга.

При возникновении и тушении пожара на ЖДТ наносится ущерб окружающей среде:

- при горении опасных грузов выделяются летучие токсичные вещества, например, диоксины, хлороводород, диоксиды серы, азота, оксид углерода и т.д.;
- вода, применяемая как огнетушащее вещество, при контакте с раскаленными веществами превращается в пар, насыщается вредными веществами, которые в виде атмосферных осадков попадают в водоемы;
- при горении потребляется значительное количество кислорода, необходимого живым организмам;
- горение опасных грузов может спровоцировать мощный взрыв, наносящий термические поражения и способствующий переносу токсичных вещества на большие расстояния.

Такие аварии на ЖДТ, как правило, имеют катастрофические последствия с большими человеческими жертвами. Например, ЧС, произошедшая в июле 2013 г. в г. Ляк-Мегантик (Канада) (Таблица 1.2). Из опасного района эвакуировано более 1,5 тыс. чел., 47 чел. погибли. Процесс обеззараживания территории занял почти год, так как вылилось более 6000 тон нефти [367].

Можно представить примеры последовательности развития случайных событий на ЖДТ, происходящих при перевозке нефтепродуктов:

- утечка нефтепродуктов из железнодорожной цистерны – разлив нефтепродуктов – возгорание – перегрев резервуара – взрыв – разлет осколков;
- аварийное истечение и неконтролируемое распространение продуктов выброса – образование горячей струи, факела или облака аварийно-опасной смеси – воздействие облака на незащищенные объекты либо инициирование его интенсивного физико-химического превращения внешним источником – токсическое заражение объектов или воспламенение и (или) взрыв – термическое, осколочное поражение близлежащих объектов – образование, распространение и разрушительное воздействие вторичных факторов – причинение ущерба людям, материальным ценностям и природным ресурсам.

Дерево событий возникновения ЧС при перевозке пожаровзрывоопасных грузов представлено на Рисунке 2.3.

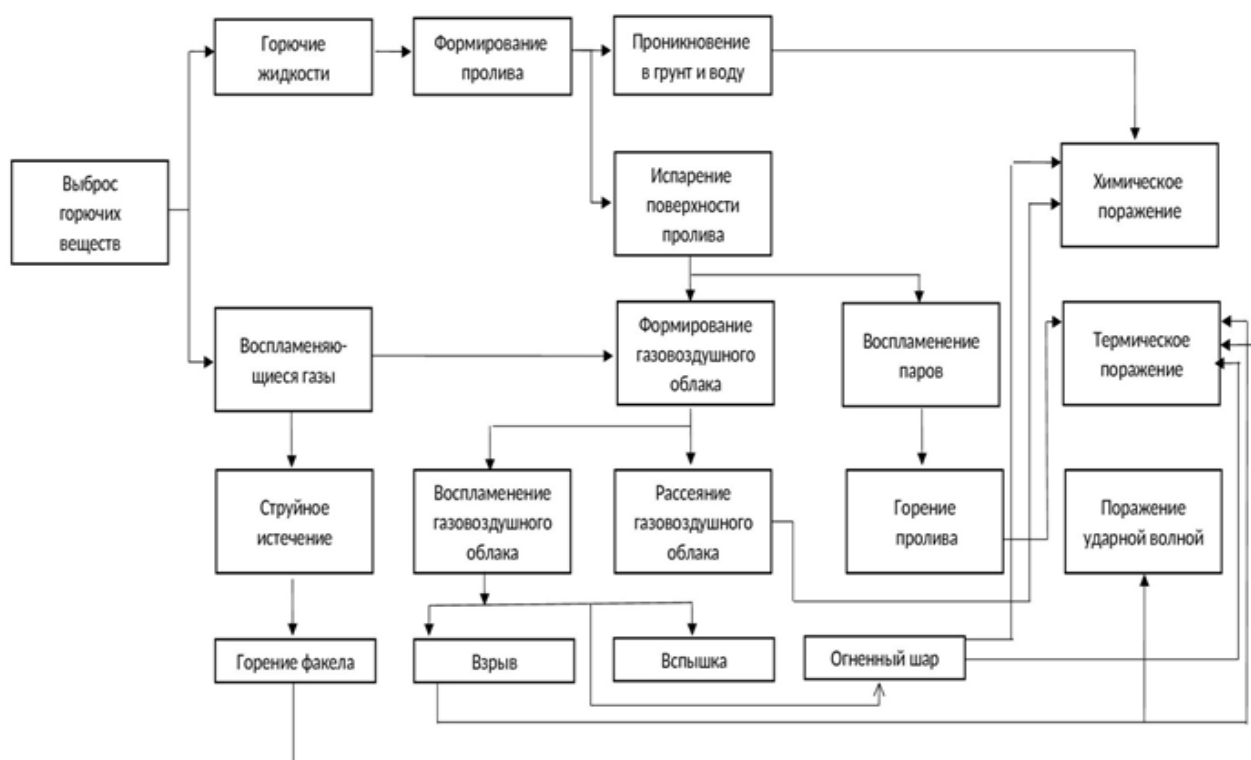


Рисунок 2.3 – Дерево событий возникновения ЧС при перевозке пожаровзрывоопасных грузов

Каскадное развитие ЧС определяется тем, что возникшая ЧС, порождает новую, отличающуюся от инициирующей по характеру источника возникновения.

При каскадном развитии ЧС изменяется характер источника их возникновения. ЧС природного, техногенного, биолого-социального характера могут инициировать друг друга. В результате такого развития событий резко увеличиваются негативные последствия для населения, окружающей природной среды, возрастают материальные потери.

Инициировать каскадное развитие ЧС могут не только техногенные чрезвычайные ситуации, к такому сценарию могут привести природные явления и ЧС, например, ураганы, смерчи и т.д. Как природные, так и техногенные ЧС могут стать причиной возникновения биосоциальных ЧС, при которых «в результате возникновения источника биолого-социальной чрезвычайной ситуации на определенной территории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, существования сельскохозяйственных животных и произрастания растений, возникает угроза жизни и здоровью людей, широкого распространения инфекционных болезней, потерь сельскохозяйственных животных и растений» [368]. Биосоциальные в свою очередь могут порождать техногенные и природные ЧС.

Каскадный характер ЧС на железнодорожном транспорте можно представить в виде треугольника, изображенного на Рисунке 2.4. Стрелками показаны возможности перехода различных ЧС.

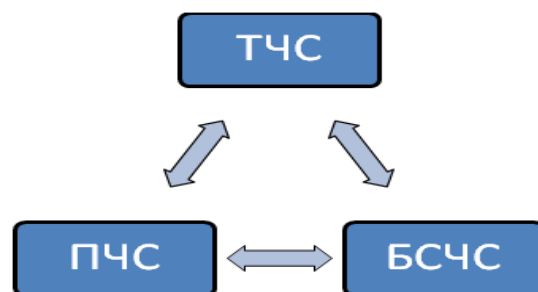


Рисунок 2.4 – Модель каскадного развития ЧС на транспорте

ТЧС – техногенные ЧС; ПЧС – природные ЧС; БСЧС – биосоциальные ЧС

Одной из причин каскадного развития ЧС при обращении ЛВЖ – нефтепродуктов на ЖДТ является сброс паров в процессе дыхания в атмосферу. Это вызывает загрязнение воздушной среды, определяет возможность воспламенения паров от источника зажигания. В случае отказа огнепреградителя прогнозируется проскок пламени в газозоудное пространство и возникновение горения внутри цистерны. Интенсивность испарения ЛВЖ в соседних цистернах при воздействии теплового излучения увеличивается и при отсутствии системы сбора и утилизации паров, влечет за собой загрязнение окружающей среды и дальнейшее развитие аварии по каскадному пути [366].

Достоверные методики количественной оценки риска каскадного развития аварии на сегодняшний день отсутствуют [366], что приводит к вынужденной необходимости качественного учета каскадного развития аварий, основанного на количественном анализе уже последствий разрушения единичной емкости. Такой ход процесса может привести к существенному увеличению значений риска и, следовательно, должен учитываться при разработке документации. Возможность каскадного развития аварии на объекте определяется попаданием в зону разрушений соседнего оборудования [366].

Заблаговременное прогнозирование неблагоприятного сценария развития событий позволяет выбрать тактику предупреждения или ограничения последствий в случае его реализации.

В процессе принятия мер безопасности, в том числе при анализе риска и экспертизе проектной документации необходимо учитывать возможность каскадного развития аварии [366].

Управление рисками пожаров на транспорте требует разработки научно обоснованных методов прогнозирования и снижения вероятности каскадного развития ЧС, направленных на

- 1) выявление и обоснование критериев оценки обращающихся веществ и материалов с точки зрения возможности возникновения каскадных пожаров;
- 2) анализ условий возникновения и распространения пожара;

3) оценку пожарного риска и разработку эффективных мероприятий по его снижению;

4) прогнозирование параметров развития и тушения пожаров и управление действиями пожарных подразделений.

2.1.2 Проведение аудирования на объектах железнодорожного транспорта

Одной из основных тенденций устойчивого развития национальной экономики и недопущения каскадного развития ЧС является эксплуатация и разработка техники и технологий, отвечающих требованиям энергетической, экономической, промышленной, экологической и пожарной безопасности.

При проведении технологического аудита выделяют его следующие аспекты:

1. Приведение техники и технологии в соответствие с современным уровнем развития научно-технического прогресса.

2. Замена или модернизация оборудования (техническое перевооружение).

3. Обеспечение надежности работы оборудования,

4. Обеспечение объекта квалифицированными кадрами.

Технологический аудит включает в себя экспертную оценку действующих технологических решений (производства или его отдельных подразделений) или проектируемых технологических решений (от уровня операционной технологии обработки детали до уровня проектируемых производств), разработку рекомендаций по комплексу организационно-технических мероприятий, необходимых для повышения конкурентоспособности рассматриваемых технологических решений (производств) и оценку экономической эффективности предлагаемых решений.

Существует две области применения технологического аудита: отраслевой, т.е. технологический аудит конкретного вида промышленности; агрегатный, т.е. аудит узлов, оборудования, применяемых в различных отраслях.

Целью технологического аудита является улучшение критериев технологического совершенства промышленного объекта: ресурсосбережение (или материалоотдача); фондоотдача; энергосбережение; обеспечение экологической; промышленной и пожарной безопасности.

Анализ изученных существующих теоретических материалов по методикам технологического аудита позволил выделить отдельную методику технологического аудирования, учитывающую НДТ [227, 280-283], специфику эксплуатации объекта и необходимые затраты. Следует отметить, что все существующие документы в области наилучших доступных технологий, не содержат положений в области обеспечения пожарной и промышленной безопасности.

Применение экологического аудита позволяет разработать решения, направленные на минимизацию негативного воздействия на ОС. Использование методики, учитывающей широкий круг опасностей, возникающих при эксплуатации объектов, предложенной Пильновым Г. А. [396], дает возможность учесть влияние профессиональной подготовки инженерно-технических работников (ИТР) и «человеческого фактора» на уровень промышленной и пожарной безопасности объектов транспорта.

Обзор современного состояния проблемы аудита показал, что необходима методика, позволяющая выявить «узкие» места функционирования объектов транспорта и предложить эффективные инновационные решения по их устранению. Эта методика (Рисунки 2.5, 2,6) получила название комплексного технологического аудирования [370].

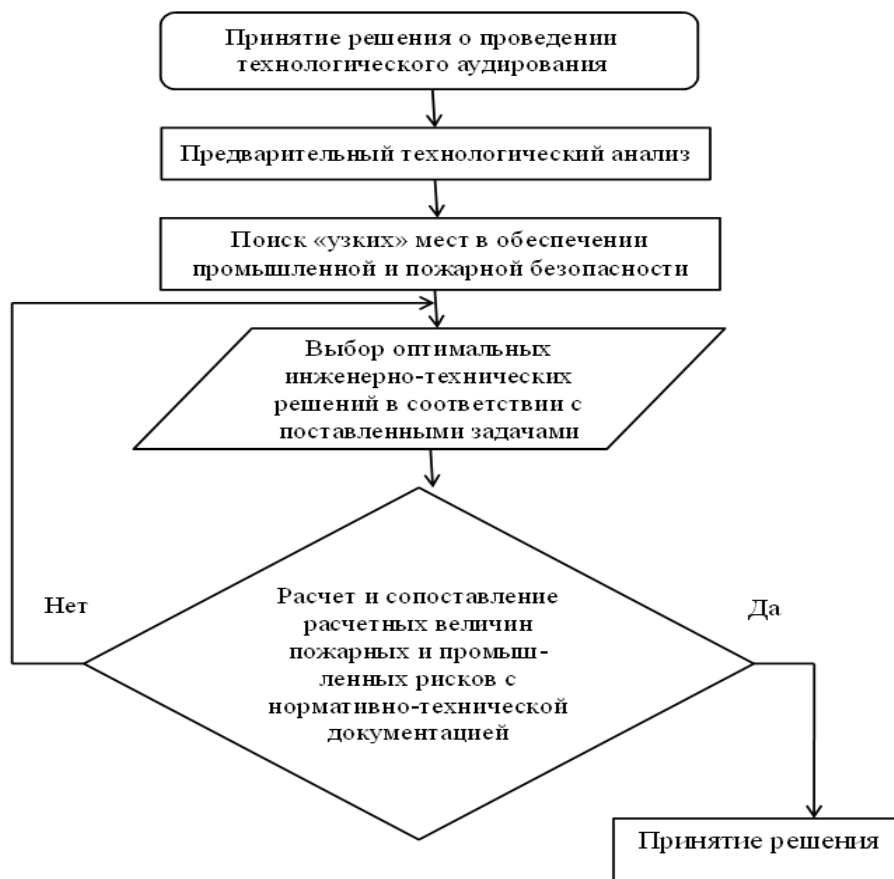


Рисунок 2.5 – Блок-схема процедуры комплексного технологического аудирования



Рисунок 2.6 – Структурно-логическая схема процедуры комплексного технологического аудирования для управления рисками в обеспечении ПБ на ЖДТ

Таким образом, опираясь на преимущества существующих методик технологического аудита, методик по расчету пожарных рисков [125, 371], можно создать новую, сочетающую наилучшие решения, методику комплексного технологического аудирования объектов ЖДТ для управления их промышленной и пожарной безопасностью путем минимизации пожарных рисков при возникновении ЧС, сочетающую возможности поиска и выбора технологий, оборудования, конструкционных материалов, повышение качества профессиональной подготовки и снижения влияния «человеческого фактора». Применение методики комплексного технологического аудирования способствует снижению вероятности каскадного развития ЧС на ЖДТ.

2.1.3 Прогностическая оценка возможности возникновения и развития пожаров на основе теплофизических и эксергетических условий возникновения горения

Совокупность элементов пожара: источник зажигания, окислитель и горючее вещество является основным условием возникновения горения. Система предупреждения пожаров опирается на две составляющие «пожарного треугольника» – горючее и источник зажигания, так как в большинстве случаев присутствует достаточное количество воздуха для начала пожара. Я.С. Киселев [138] указывает на некорректность термина «источник» (родник), «зажигание» (физическое явление). Однако этот термин используется в нормативной, справочной и другой литературе.

Различают два режима возникновения горения: «самопроизвольное» (самовозгорание, самовоспламенение, самопроизвольный взрыв) и «вынужденное зажигание (зажигание)». Зажигание является предельным случаем самопроизвольного горения. Критическая температура окружающей среды T_0 становится температурой зажигания T_z , а критическая температура самовоспламенения вещества или материала T_{CB} – температурой горения T_r [137-139].

В ГОСТ 12.1.044 – 2018 [372] даются следующие определения: «самовозгорание – резкое увеличение скорости экзотермических процессов в веществе, приводящее к возникновению очага горения»; «самовоспламенение – резкое увеличение скорости экзотермических объемных реакций, сопровождающихся резким увеличением температуры вещества на 50°C и выше (по отношению к температуре окружающей атмосферы), и/или пламенным горением, и/или взрывом».

Самопроизвольное возникновение горения внутри скопления дисперсного или пористого материала называется самовозгоранием. Рассматриваемый процесс заканчивается тлением (беспламенным горением) или проходит через стадию тления. При самовоспламенении возникает пламенное горение в паро- и газообразной среде, без стадии тления [138].

В [138] указывается, что в отличие от самовозгорания, при самовоспламенении температурные зависимости скорости тепловыделения характеризуются большими значениями энергии активации (100-200 кДж/моль). Отличия самовозгорания от возгорания представлены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Отличия процессов возгорания и самовозгорания

Характеристический признак	Возгорание	Самовозгорание
Первоначальный очаг горения	Вблизи высокотемпературного источника теплоты, воздействующего на горючую среду.	Внутри самонагревающейся горючей массы вследствие ее саморазогрева
Определяющий фактор	Величина теплового импульса	Условия концентрации тепла
Температура	Температура источника зажигания выше температуры самовозгорания материала	Температура источника зажигания ниже температуры самовозгорания материала, но больше температуры самонагревания материала
Величина периода индукции	Секунды, минуты	Часы, дни, месяцы
Распределение температуры по толщине материала	Более высокие температуры создаются на периферии материала, тепло распространяется вглубь его массы	Более высокие температуры создаются в глубине материала, тепло распространяется к периферии

Самопроизвольный разогрев горючей твердой среды достаточно часто является причиной пожаров при транспортировке веществ, материалов и изделий. Например, анализ пожаров на грузовом железнодорожном подвижном составе за 2013-2018 гг. показал, что самовозгорание грузов является одной из наиболее вероятных причин пожаров и составляет около 30 % от общего количества пожаров.

Горение веществ и материалов в воздухе инициируется окислительными процессами, которые в свою очередь обусловлены переходами электронов. Для объединения неспаренных электронов кислорода (акцептора) с электронами окисляемого материала (донора) необходимо преодолеть энергетический барьер активации, что осуществляется с использованием различных механизмов.

В газовой фазе энергетический барьер активации преодолевается за счет соударения молекул. В реакцию вступают только те молекулы, энергия которых больше энергии активации.

Твердые вещества и материалы имеют другой механизм окисления, который протекает в две стадии: 1) молекулы кислорода адсорбируются на поверхности материала; 2) образуются химические связи между валентными электронами твердого материала и адсорбированного кислорода. Для спаривания электронов донора и акцептора необходимо также преодолеть активационный барьер.

Горение является нелинейным явлением. К его существенным изменениям приводят даже небольшие возмущения, внесенные в процесс горения. Скорость процесса тепловыделения растет по экспоненциальной зависимости, скорость теплоотвода увеличивается прямо пропорционально при возрастании температуры. При равенстве скоростей этих процессов возникают критические условия.

При температурах ниже критических, процессы самонагрева протекают достаточно медленно и не приводят к возникновению горения. При температурах выше критических, наблюдается ускоряющийся саморазогрев, приводящий к горению или взрыву.

Я.С. Киселевым [138] показано, что наличие горючей среды и источника зажигания является необходимым, но не достаточным условием возникновения горения. Процессы возникновения и распространения горения определяются не только химическими свойствами горючих веществ, но и их физическим состоянием. Горение возникает и распространяется при определенных физических условиях. Понятие «источника зажигания» как инициатора горения является недостаточным. Для характеристики его зажигающей способности необходим учет физических условий возникновения и развития горения.

Я.С. Киселев предлагает дополнить «пожарный треугольник» (горючее вещество, окислитель, источник зажигания) еще одним понятием – теплофизические условия возникновения горения (ТФУ), которое для профилактики пожаров является «более важным, чем инициатора горения» [138].

Развивая теорию Я. С. Киселева, автором данной работы в соавторстве с Хайдаровым А.Г., Ивахнюком Г.К., Ковалем Д.Н. в работе [367] предложено включить в «пожарный треугольник» еще одну составляющую – эксергетическую, что представлено на Рисунке 2.7.



Рисунок 2.7 – Место эксергии в «пожарном треугольнике»

Эксергетическим методом позволяет комплексно рассматривать вопросы энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте; дает возможность выявить связи термодинамических характеристик с технико-экономическими, экологическими

показателями и провести оценку пожаровзрывоопасности обращающихся на железнодорожном транспорте веществ и материалов. Преимущества применения эксергетического метода анализа, включающие аспекты пожарной безопасности, представлены на Рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Преимущества использования эксергетического метода анализа

Использование эксергетического метода определяется его универсальностью и возможностью преодоления методологических проблем при необходимости учета различных показателей в единой системе. На основании эксергетических показателей можно проводить прогностическую оценку пожарной опасности веществ, обращающихся на железнодорожном транспорте. Эксергетический анализ является перспективным методом повышения энергетической эффективности и прогностической достоверности [367].

Поток событий в случае пожара на железнодорожном транспорте показан на Рисунке 2.9.



Рисунок 2.9. – Поток событий в случае пожара на железнодорожном транспорте

Большинство загораний подавляются локально с небольшим ущербом, но периодически они переходят в крупные пожары и связанные с ними чрезвычайные ситуации. Ущерб в таких случаях может быть значительным и необходимо широкомасштабное тушение с участием ГПС МЧС России.

2.1.4 Методологические аспекты организации систем управления подразделениями пожарной охраны

Рассмотрение подразделений ГПС МЧС России и ФГП ВО ЖДТ как ОФС будем осуществлять с позиций совместного рассмотрения триады понятий структура-система – организация.

Делая акцент на профилактику и предотвращение пожаров, ГПС МЧС России осуществляет тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ, спасение людей и имущества.

Многоструктурность ГПС МЧС России определяется рядом факторов, в частности необходимым временем реагирования, пожарной опасностью объектов, тяжестью последствий от пожаров, и обусловлена основной целью – организация

управление пожарными рисками. В структуру органов входят пожарные депо, пожарно-технические центры, учебные заведения, научно-исследовательские институты, лаборатории и т.д., пожарные, сотрудники.

Деятельность ГПС МЧС России, ФГП ВО ЖДТ, организация пожарной безопасности в РФ регулируется целой системой нормативно-правовых актов, в основе которой Федеральный закон «О пожарной безопасности» и Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

ОФС создается и функционирует в результате взаимодействия трех основных понятий: «время – деньги – информация» [309; 373].

Управленческая деятельность в системе ГПС МЧС России и ФГП ВО ЖДТ включает решение большого количества разнообразных задач, включая организацию и осуществление сложных мероприятий по подготовке операций и руководству боевыми действиями пожарных подразделений при тушении пожаров. Совершенствование управленческой деятельности определяется глубиной внедрения и использованием теоретических механизмов принятия решений, применением современных методов прогнозирования.

Развитие организации как системы в целом должно удовлетворять определенным принципам, наложение на ОФС современных требований динамичного управления должно обеспечивать ее изменение как жизнеспособной и развивающейся системы [309; 373, 374]. Возрастание открытости ОФС является необходимым условием проведения ее радикальных изменений.

Такая постановка задачи требует теоретического переосмысления направлений совершенствования ОФС, формирования концепции и целевых программ их комплексного развития; практического использования инструментария для решения задач по выбору, достижению и поддержанию эффективных методов функционирования.

Принципиальные положения адаптации ОФС к современным условиям, системный подход и оптимизация вырабатываемых решений являются методологическими основами концепции. Необходимо оценить возможности системы в области обнаружения и быстрого целенаправленного изменения в

сложных и быстро меняющихся внешних условиях, Обоснованные управленческие решения следует принимать, опираясь на факты и оптимальные значения параметров.

Методическое обеспечение формирует инструментарий выбора, достижения и поддержания эффективных вариантов организации системы. Составной частью инструментария является система нормативов, с помощью которой устанавливаются и регламентируются важнейшие показатели управленческой деятельности ОФС, осуществляется процесс практической оценки и рассмотрения условий организации ОФС, эффективности ее деятельности.

Одним из блоков методического обеспечения ОФС является система автоматической организации управления. Информационный подход к функционированию жизнеспособных и развивающихся систем становится основным в процессах управления ОФС. Для принятия оптимальных управленческих решений необходима своевременная полная и достоверная информация, которая позволяет понять сущность процесса, определить общие направления происходящих изменений. Она может быть получена с использованием аналитических программ, при этом необходимо последовательно выполнить следующие задачи: анализ, прогнозирование и оптимизация [376, 377]. Необходимость предвидения вероятностного исхода событий определяется как одна из актуальных задач [378].

Аналитические методы не являются единственным универсальным средством, нерешенность проблемы формализации знаний ограничивает их применение.

Ситуационное моделирование позиционируется как главный компонент управления [377], использование которого позволяет оценить ответную реакцию на управляющие воздействия.

Особенности моделирования ОФС, как объектов управления, будем рассматривать с позиций кибернетического подхода.

Часть окружающего мира (ОФС), поведение которой будем рассматривать, определим как объект управления и покажем его взаимодействие со средой (остальной частью окружающего мира) (Рисунок 2.10).

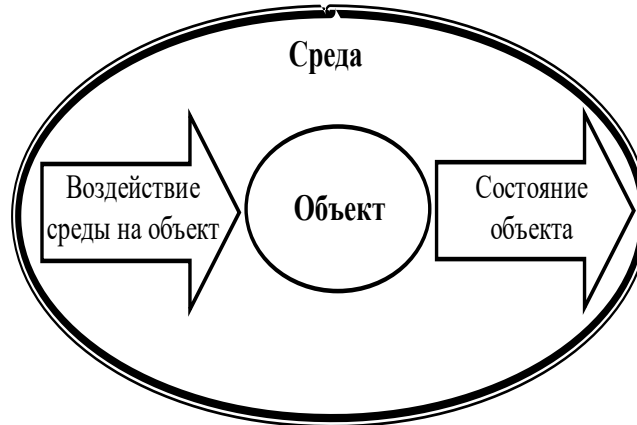


Рисунок 2.10 – Схема взаимодействия объекта со средой [309]

Субъект управления формируется в результате выбора объекта и определяется задачами (целями) этого выбора (Рисунок 2.11).

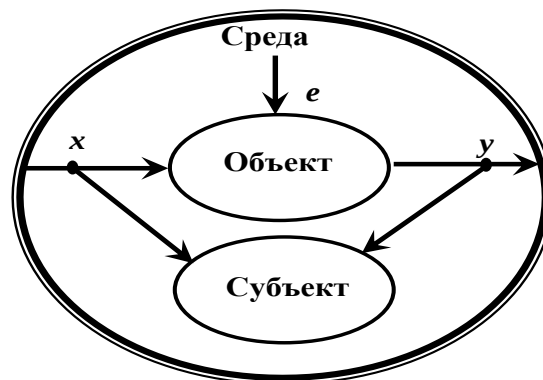


Рисунок 2.11 – Схема взаимодействия субъекта со средой и объектом

Примем, что y – состояния объекта, представляющие интерес для субъекта, x – контролируемые (измеряемые) входные параметры, e – не подлежащие контролю воздействия. Предположим, что между введенными переменными и субъектом реализуется причинно-следственная связь. В большинстве случаев субъекта интересует функционирование объекта с точки зрения реализации одной из трех задач: прогнозирование состояния объекта на

выходе, управление объектом, установление механизма процессов (явлений), происходящих внутри объекта.

Субъект функционирует в той же среде, что и объект и способен воспринимать состояние $\vec{X}$ среды (Рисунок 2.11). При этом на него оказывает влияние состояние $\vec{y}$ объекта. В случае соответствия состояния $\vec{y}$ требованиям субъекта, необходимость в управлении отсутствует.

Пусть субъект имеет возможность произвольно изменить определенное число компонентов вектора $\vec{X}$; обозначим их как $\vec{X}_y$, оставшиеся компоненты – как $\vec{X}_n$, при этом должно выполняться условие $\vec{X} = \vec{X}_y \cup \vec{X}_n$. Такое воздействие является управлением, оно необходимо при неудовлетворенности субъекта состоянием объекта.

Примем допущение, что субъект всегда способен формулировать свою цель $\vec{Z}^*$, которая представляет совокупность требований, предъявляемых субъектом к состоянию объекта.

Выявить состояние цели $\vec{Z}^*$ в объекте представляется возможным только по его собственному состоянию $\vec{y}$, поэтому это состояние требуется описать, используя язык целей субъекта. Речь в данном случае идет о выполнении преобразования $\vec{Z} = \Psi(\vec{y})$. Если субъект для формулирования своих целей использует язык состояний объекта, то $\vec{Z} = \vec{y}$. В этом случае равенство $\vec{Z} = \vec{Z}^*$, говорит о том, что состояние объекта соответствует целям субъекта. При $\vec{Z} \neq \vec{Z}^*$ цели субъекта не реализованы в объекте, что определяет необходимость управления, сущность которого математически можно описать соотношением $\vec{x}_y = V(\vec{I}, \vec{Z}^*)$ где V – алгоритм управления, $\vec{I} = \langle \vec{x}, \vec{y} \rangle$ – информация о состояниях и входах объекта. Однако реализация подобного алгоритма возможна, если установлен характер количественных связей между $\vec{x}$ и $\vec{y}$, т. е. построено математическое описание поведения объекта.

Этапы управления объектом: задание (выявление) целей управления, выявление объекта управления, построение модели объекта управления, синтез управления и его реализация.

Выбор модели объекта прогнозирования (управления) представляет собой задачу, решение которой зависит от объема и достоверности исходной информации, степени изученности объекта.

Подразделения ГПС МЧС России и ФПП ВО ЖДТ, участвующие в ликвидации пожаров, могут встретиться с обстановкой, когда применение сил и средств ограничено. Например, отсутствуют требуемые ресурсы для пожаротушения, существует угроза жизни участников ликвидации пожара, возникновение одновременно нескольких пожаров и т.д.

При проведении боевых действий на РТП возложены обязанности по принятию решений, обоснованность которых определяется, чаще всего, только его опытом, полученным при тушении пожаров и ликвидации ЧС. Для принятия правильного управленческого решения РТП должен обладать подробной информацией, которая может быстро меняться во времени.

Факторы, сопровождающие процесс принятия управленческого решения РТП: недостаточная структурированность проблем на пожаре; неопределенность динамических условий; неопределенность целей; недостаточность обратной связи; временные ограничения; наличие угрозы пожарным; необходимость соблюдения баланса между личным выбором и организационными нормами и целями.

Разработка ситуационной модели управления подразделениями пожарной охраны позволит осуществить формализацию целей управления, структурирование и обобщение ситуаций и определяет возможности создания универсальных моделей решения задач управления.

Предварительная оценка управляющих решений может быть осуществлена с помощью причинной модели прогнозирования. Рассматривая проблему прогнозирования с позиций экспертной технологии, осуществляемой при непосредственном участии ЛПР [375], можно определить некоторые стороны и

задачи экспертной оценки и прогнозирования. Появляется возможность выявить основные принципы, определяющие действенность процедур прогнозирования, выделить факторы, оказывающие существенное влияние на их практическую значимость и разработать эффективные инженерные методики лингвистического прогнозирования, что даст уверенность ЛПР в успешном функционировании подразделения в нештатной ситуации.

2.2 Анализ состояния пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД»

На сегодняшний день в Российской Федерации существует ряд монополистов, среди которых ОАО «РЖД» – монополист в области железнодорожных перевозок РФ. Компания входит в мировую тройку лидеров железнодорожных компаний, что определяется огромными объемами грузовых и пассажирских перевозок; высокими финансовыми рейтингами; наличием квалифицированных специалистов во всех областях железнодорожного транспорта; большой научно-технической базой; проектными и строительными мощностями; значительным опытом международного сотрудничества.

Поэтому в качестве объекта, в отношении которого выполнялось исследование, была выбрана Компания ОАО «РЖД», для которой проблемы безопасности являются особенно актуальными, их решение определяет возможность устойчивого развития как национальной, так и мировой экономики.

Статистические данные по количеству пожаров, причинам их возникновения, распределению по объектам определены для ОАО «РЖД». Они являются репрезентативными и позволяют обобщить результаты и выработать научно-методические основы управления пожарным риском на железнодорожном транспорте.

2.2.1 Общее положение по пожарам в ОАО «РЖД»

В 2018 году на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» зарегистрировано 74 пожара, в 2017 году – 104. Как и в 2017 году, гибели работников Компании, не допущено [379].

Из общего количества в 2018 году зарегистрировано пожаров:

- 48 случаев (64,86 %), на подвижном составе, прямой материальный ущерб составил 30,8 млн. рублей;
- 26 случаев (35,14 %), на стационарных объектах, прямой материальный ущерб составил 8,8 млн. рублей.

Общий прямой материальный ущерб от пожаров составил 39,6 млн. рублей (в 2017 году 93,6 млн. рублей). Общий ущерб в 2018 году снизился. Однако анализ данных, предоставленных ОАО «РЖД» показывает стабильное увеличение приходящегося на 1 пожар материального ущерба, который в 2017 году вырос практически в 2 раза по сравнению с 2012 годом.

Таксономия пожаров в ОАО «РЖД» приведена на Рисунке 2.12.

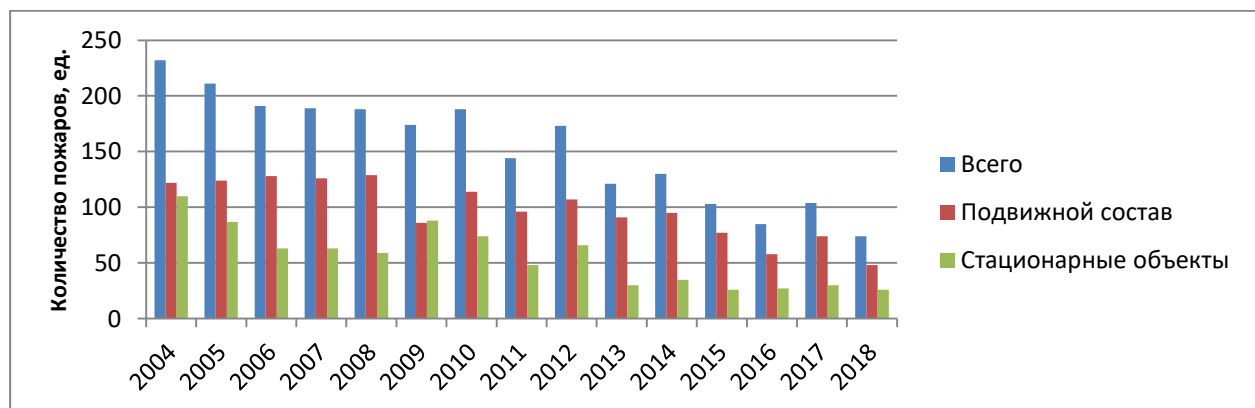


Рисунок 2.12 – Таксономия пожаров в ОАО «РЖД» за 2004-2018 гг.

Количество пожаров на объектах и подвижном составе прочих организаций, пользующихся инфраструктурой железнодорожного транспорта, составило 7 случаев в 2018 году и 14 случаев в 2017 году.

Распределение пожаров, произошедших на железнодорожном транспорте, приведено на Рисунке 2.13.

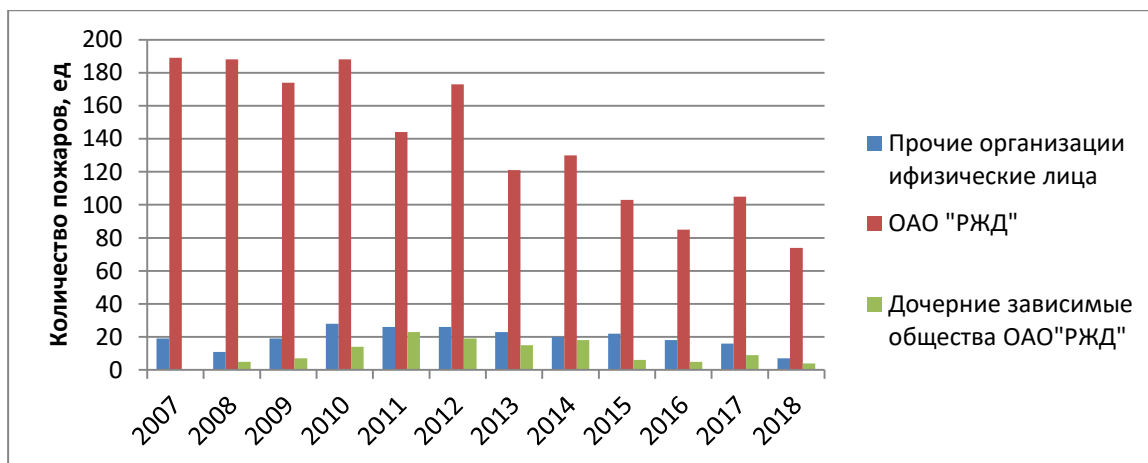


Рисунок 2.13 – Количественное распределение пожаров, произошедших на ЖДТ

Как видно из рисунка 2.13, большая часть пожаров происходит на объектах ОАО «РЖД».

2.2.2 Пожары на подвижном составе ОАО «РЖД», дочерних зависимых обществ ОАО «РЖД» и сторонних организаций

Распределение пожаров по видам подвижного состава

Эксплуатация тягового подвижного состава – 37 пожаров в 2018 году и 56 пожаров в 2017 году;

в вагонах электропоездов – 3 пожара (2018 год) и 7 пожаров (2017 год);

в специальных вагонах и специальных машинах – 6 пожаров (2018 год) и 11 пожаров (2017 год);

2 пожара произошло в грузовых вагонах (в 2017 пожаров не произошло).

Всего на подвижном составе дочерних зависимых обществ «ОАО РЖД» (далее – ДЗО «ОАО РЖД») в 2018 году произошло 3 пожара (в 2017 году – 6 пожаров):

- ОАО «ФПК» – 3 случая (в 2017 году – пожаров не зарегистрировано);
- ОАО «РЕФСЕРВИС» – пожаров, как и в 2017 году не произошло;
- ОАО «ТрансКонтейнер» – пожаров не произошло (в 2017 году – 2);
- прочие ДЗО ОАО «РЖД» – пожаров не произошло (в 2017 году – 4).

В грузовом подвижном составе сторонних организаций – 6 пожаров за 2018 год и 7 пожаров за 2017 год.

Пожары на тяговом подвижном составе

В 2018 году на тяговом подвижном составе произошло 37 пожаров, из которых 16 на электровозах и 21 на тепловозах. В 2017 году - 24 и 32 пожара соответственно.

Распределение пожаров по сериям тепловозов и электровозов представлено на Рисунке 2.14 а, б соответственно.

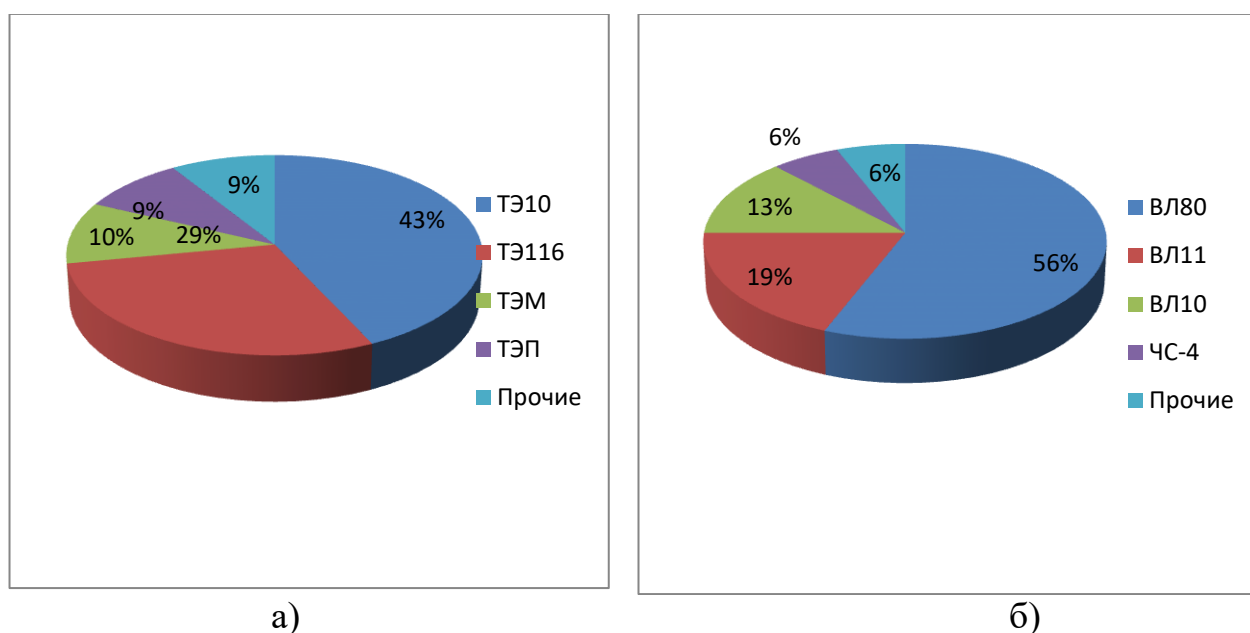


Рисунок 2.14 – Распределение пожаров по сериям
а) тепловозов; б) электровозов

Основные причины пожаров на тепловозах (2018 – 21 пожар, 2017 – 32 пожара, 2016 – 36 пожаров) и электровозах (2018 – 16 пожаров, 2017 – 24 пожара) представлены на Рисунке 2.15 а, б соответственно.

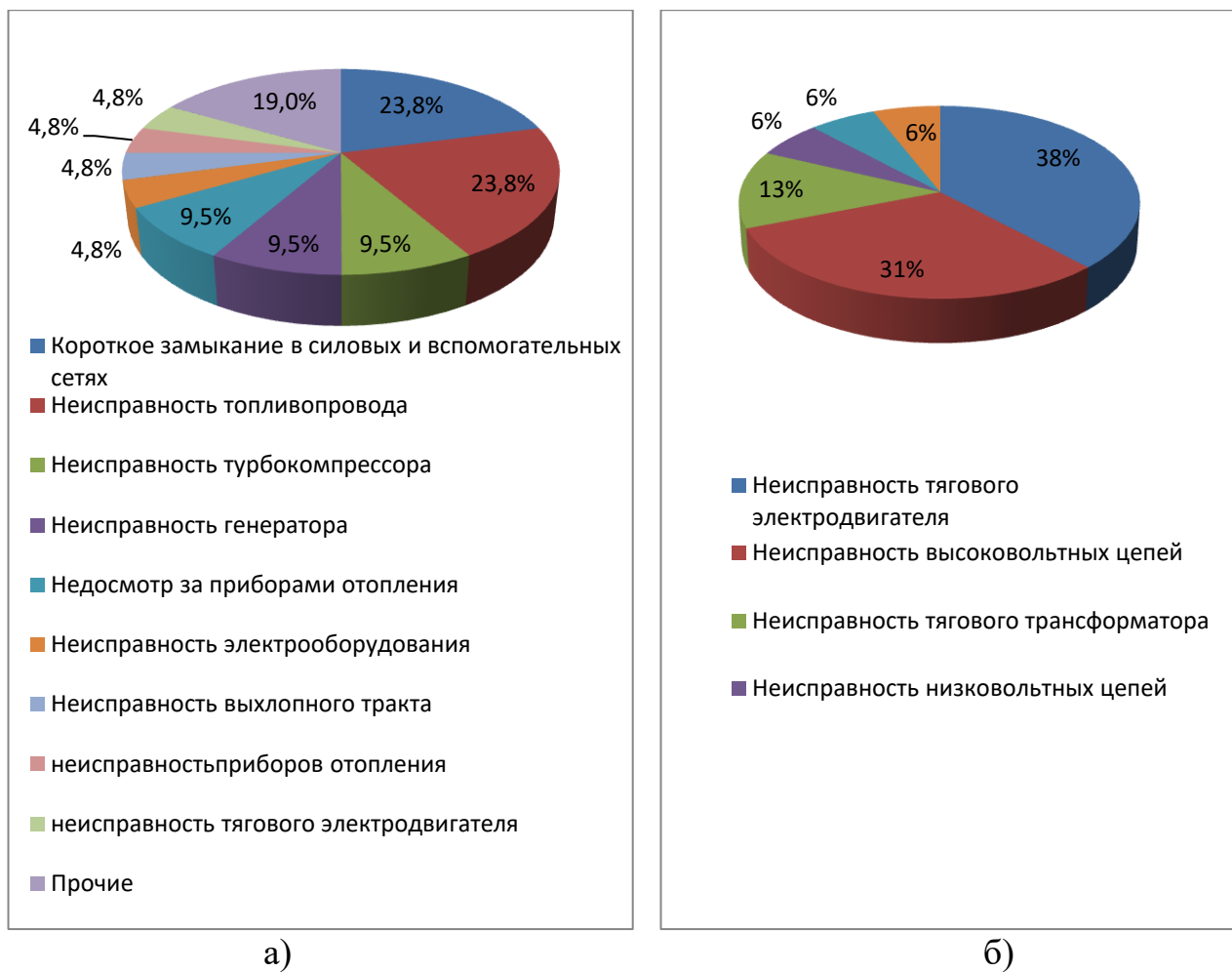


Рисунок 2.15 – Распределение причин пожаров на
а) тепловозах; б) электровозах

Распределение пожаров на железнодорожном подвижном составе по ответственности представлено на Рисунке 2.16.

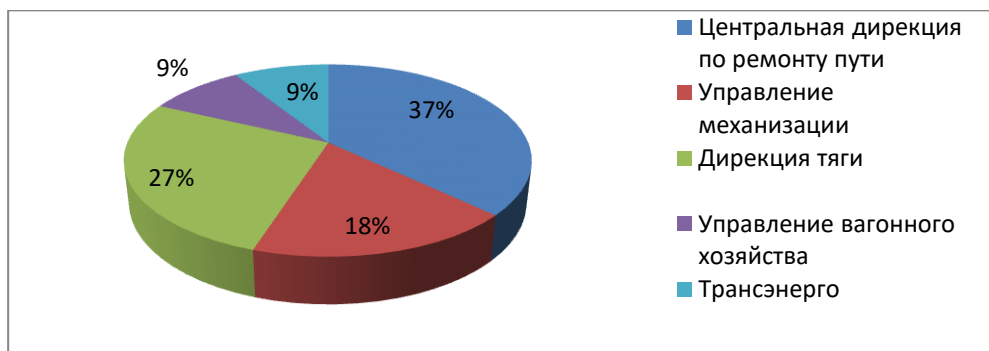


Рисунок 2.16 – Распределение пожаров на железнодорожном подвижном составе
по ответственности

Пожары на электропоездах

Причинами 3 пожаров на электропоездах в 2018 году (7 пожаров в 2017 г.) были: неосторожное обращение с огнем неустановленными лицами – 1, короткое замыкание электрооборудования – 1, неисправность системы электроотопления – 1.

Пожары в грузовом подвижном составе

В 2018 году произошли 2 пожара в грузовом подвижном составе ОАО «РЖД» (в 2017 году пожаров не зарегистрировано). 3 пожара произошли в подвижном составе ДЗО ОАО «РЖД» и 6 в подвижном составе сторонних организаций. Анализ пожаров за 2013 – 2018 гг. позволил сделать выводы о наиболее вероятных причинах пожаров (Рисунок 2.17).

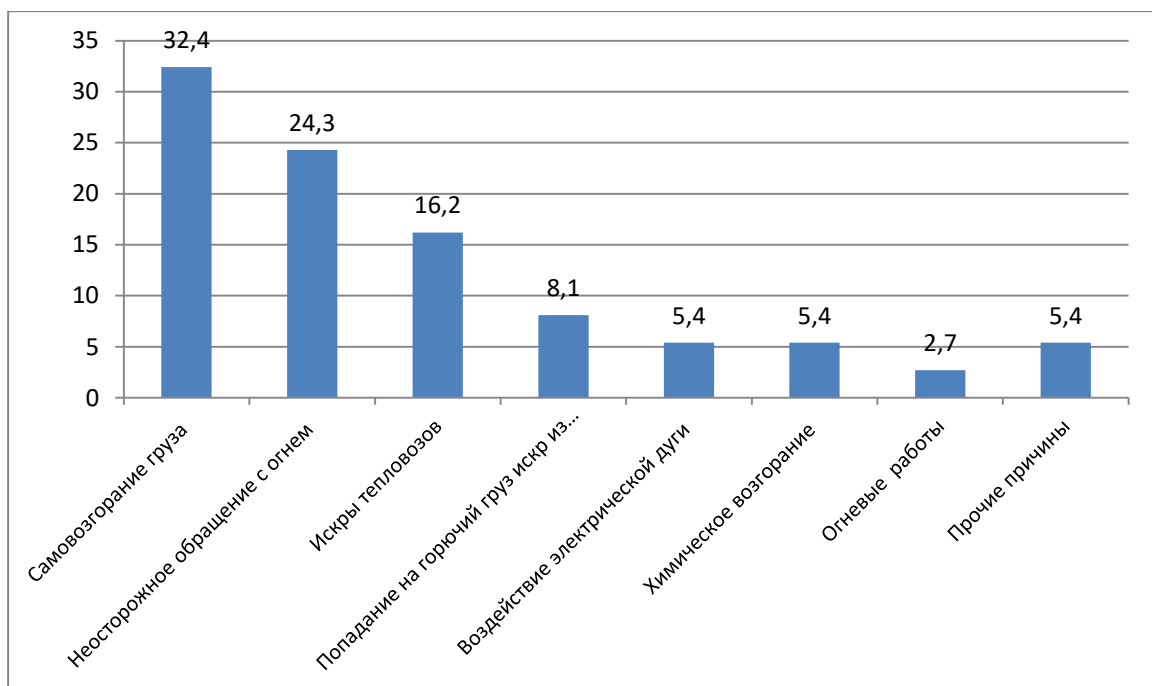


Рисунок 2.17 – Процентное распределение причин пожаров в грузовом подвижном составе

Пожары на специальном подвижном составе

К специальному подвижному составу относятся спецвагоны и спецмашины, общее число пожаров на которых составило в 2018 году – 6, в 2017 году – 11.

Распределение причин пожаров на специальном железнодорожном подвижном составе представлено на Рисунке 2.18.

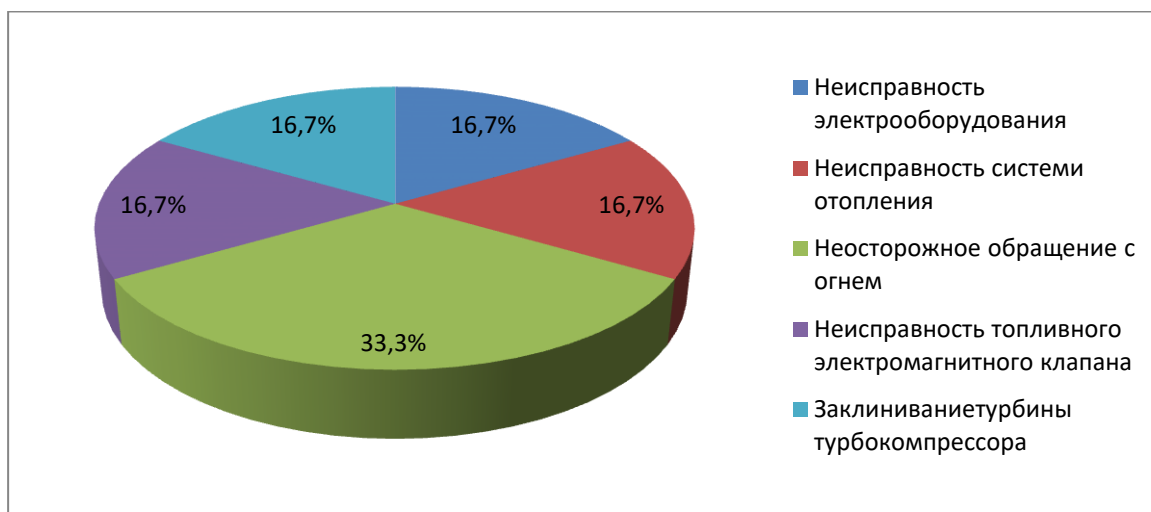


Рисунок 2.18 – Распределение причин пожаров на специальном железнодорожном подвижном составе

На специальном подвижном составе более трети пожаров происходит вследствие неосторожного обращения с огнем.

2.2.3 Пожары на стационарных объектах ОАО «РЖД»

В 2018 году количество пожаров на стационарных объектах ОАО «РЖД» незначительно снизилось – 26 пожаров (2017 – 30).

Из 26 пожаров, зарегистрированных на стационарных объектах ОАО «РЖД», 6 произошло в служебных зданиях, 6 – в служебно-технических, 5 – в производственных, 5 – в прочих, 2 – в общественных, 1 – в складских, 1 – в жилых.

Причины возникновения пожаров на стационарных объектах представлены на Рисунке 2.19.

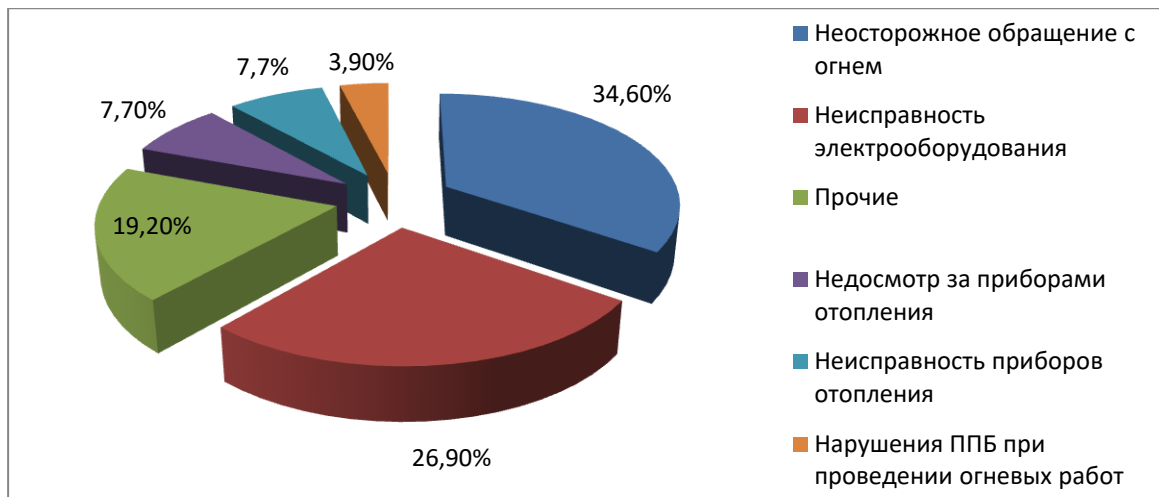


Рисунок 2.19 – Причины возникновения пожаров на стационарных объектах

На стационарных объектах более трети пожаров происходит вследствие неосторожного обращения с огнем.

2.2.4 Основные показатели пожаров и их последствий

Наблюдаемые частоты:

1. Частота возникновения пожаров в целом (7-11 пожаров каждый месяц в 2017 г. и 5-8 пожаров ежемесячно в 2018 г., из них 2/3 пожаров на подвижном составе (из которых более половины связаны с перевозкой грузов) и 1/3 пожаров на стационарных объектах; чрезвычайные ситуации фиксируются на каждые 10 пожаров.

2. Основными факторами, способствующими возникновению и развитию пожара, являются: неосторожное обращение с огнем; электрические явления; электрические системы; отопительное и нагревательное оборудование; технологические системы; процессы самовозгорания; поджоги; огневые работы; искры; аварии, внешние воздействия природного и техногенного характера; ошибки людей, запаздывание, бездействие персонала в штатных и нештатных ситуациях, несанкционированные действия.

3. Типичными горючими материалами являются перевозимые и складированные грузы, в том числе и нефтепродукты, материалы, используемые при ремонте и строительстве, шпалы, производственные и бытовые отходы и др.

4. Одним из основных факторов в управлении пожарным риском является поведение людей, так как они могут инициировать и ликвидировать пожары. При постановке вопроса о последствиях пожаров, необходимо принимать во внимание, что в случае неправильных действий даже небольшое возгорание может развиваться в крупный пожар.

5. К причинам, связанным с внешними воздействиями природного и техногенного характера относятся: аварии на транспорте, например, столкновение с автомобильным транспортом, опрокидывание и т.д.; грозовые разряды и разряды статического электричества; смерчи, ураганы; разливы рек; снежные заносы и аномальное понижение (повышение) температуры воздуха; попадание подвижного состава или стационарных объектов в зону действия поражающих факторов аварий, происшедших на соседних объектах; преднамеренные действия (диверсия).

6. Из трех основных категорий последствий (человеческие, материальные и вторичные повреждения) вторичные повреждения были признаны наименьшими.

Оценка последствий пожаров – человеческие и материальные убытки: потеря жизни (в 2017, 2018 гг. не зафиксировано); нарушение здоровья; прямой материальный ущерб.

Вторичные расходы, такие как задержки движения и расходы на страхование.

Термины наблюдаемые частоты, основные факторы, способствующие зажиганию, последствия отражают смешанную количественно-качественную информацию, которая может быть использована для оценки пожарного риска.

Большинство загораний подавляются локально с небольшим ущербом, но периодически они переходят в установленные пожары и чрезвычайные ситуации, где широкомасштабное тушение с участием пожарных необходимо, а урон может быть значительным.

Несмотря на устойчивое снижение количества, в РФ наблюдается рост приходящегося на один пожар материального ущерба, который в 2017 году увеличился практически в 2 раза по сравнению с 2012 годом. Возникновение большого материального ущерба определяется особенностями современного ЖДТ, повышенную угрозу создает близость транспортной инфраструктуры к промышленным предприятиям и жилой застройке.

2.3 Анализ осуществления профилактики пожаров в ОАО «РЖД»

Анализ составлен на основании статистических сведений с использованием интегрированной автоматизированной системы мониторинга обстановки и пожарной безопасности ФГП ВО ЖДТ России [380]. Сведения о количестве нарушений требований пожарной безопасности по классам на стационарных объектах представлены в Таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Сведения о количестве нарушений требований пожарной безопасности по классам за 2018 год

Класс требований пожарной безопасности	Количество нарушений	
	Ед.	%
Лестницы, выходы и пути эвакуации людей	2367	5,14
Огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций, ограничение распространения пожара за пределы очага	2532	5,50
Первичные меры пожарной безопасности, организационные вопросы и обеспечение деятельности пожарных подразделений	19202	41,72
Первичные средства пожаротушения	7380	16,03
Пожарная безопасность зданий и сооружений	789	1,71
Противопожарное водоснабжение	1409	3,06
Противопожарное обучение, инструктажи, учения и тренировки	1122	2,44
Системы автоматического пожаротушения, пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией людей	4545	9,87
Системы коллективной защиты и спасения, средства индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара и самоспасания	17	0,04
Системы противодымной защиты, вентиляции и кондиционирования	171	0,37
Электрооборудование, электроустановки, электросети	6493	14,11
Итого	46027	100,00

При рассмотрении количества нарушений требований ПБ учтены все стационарные объекты без полосы отвода. Учтены нарушения из предписаний и приостановок и только нарушения, имеющиеся в классификаторе. Результаты проверок, не поставленных на контроль, или при отсутствии показателя дирекции (департамента) в разделе «Учет объектов» не приведены.

Из Таблицы 2.3 видно, что наибольшее количество нарушений соответствует классам «Первичные меры пожарной безопасности, организационные вопросы и обеспечение деятельности пожарных подразделений» (41,72 %), «Первичные средства пожаротушения» (16,03 %) и «Электрооборудование, электроустановки, электросети» (14,11 %). Данные по распределению долей нарушений указанных классов на дорогах ОАО «РЖД» представлены в Таблице 2.3.

Анализируя данные, представленные в [380] можно сделать вывод, что по классам «лидирующие» позиции по количеству нарушений занимают: лестницы, выходы и пути эвакуации людей – Свердловская железная дорога (9,52 % относительно % показателей всех дорог); огнестойкость и пожарная опасность строительных конструкций, ограничение распространения пожара за пределы очага – Южно-Уральская (9,84 %); первичные меры пожарной безопасности, организационные вопросы и обеспечение деятельности пожарных подразделений – Дальневосточная железная дорога (7,60 %); первичные средства пожаротушения – Красноярская (11,12 %); пожарная безопасность зданий и сооружений – Калининградская (21,81 %); противопожарное водоснабжение – Горьковская (8,84 %); противопожарные инструктажи, учения и тренировки – Московская (17,27 %); системы автоматического пожаротушения, пожарной сигнализации, оповещения и управления эвакуацией людей – Южно-Уральская (16,03 %); системы коллективной защиты и спасения, средства индивидуальной защиты людей от опасных факторов пожара и самоспасания – Красноярская (45,95%); системы противодымной защиты, вентиляции и кондиционирования – Северная (917,3 %); электрооборудование, электроустановки и электросети – Свердловская (11,07 %).

Таблица 2.3 – Процентное распределение нарушений требований ПБ на дорогах по классам

Территория	Нарушение требований ПБ по классу «Первичные меры пожарной безопасности, организационные вопросы и обеспечение деятельности пожарных подразделений»			Нарушение требований ПБ по классу «Первичные средства пожаротушения»			Нарушение требований ПБ по классу «Электрооборудование, электроустановки, электросети»			Количество нарушений по всем видам
	Ед.	%	Доля % нарушений относительно % показателей всех дорог	Ед.	%	Доля % нарушений относительно % показателей всех дорог	Ед.	%	Доля % нарушений относительно % показателей всех дорог	
ОКТ	1539	40,21	6,81	511	13,35	5,49	720	18,81	9,40	3699
КЛНГ	72	35,29	5,98	40	19,61	8,07	39	19,12	9,55	202
МОСК	2379	41,79	7,08	954	16,76	6,89	556	9,77	4,88	5302
ГОРЬК	757	33,78	5,72	368	16,42	6,76	344	15,35	7,67	2144
СЕВ	1604	39,49	6,69	694	17,09	7,03	620	15,26	7,62	3836
С-КАВ	1555	36,46	6,18	545	12,78	5,26	406	9,52	4,76	3544
Ю-ВОСТ	1509	39,56	6,70	513	13,45	5,53	187	4,90	2,45	3016
ПРИВ	572	34,73	5,89	267	16,21	6,67	208	12,63	6,31	1626
КБШ	2128	35,28	5,98	633	10,49	4,32	981	16,26	8,12	5509
СВЕРД	1373	30,94	5,24	526	11,85	4,88	983	22,15	11,07	4069
Ю-УР	554	26,06	4,42	233	10,96	4,51	244	11,48	5,73	1730
З-СИБ	676	36,29	6,15	407	21,85	8,99	206	11,06	5,52	1465
КРАС	903	34,43	5,83	709	27,03	11,12	184	7,01	3,51	2400
В-СИБ	765	40,26	6,82	276	14,53	5,98	130	6,84	3,42	1440
ЗАБ	1124	40,70	6,90	210	7,60	3,13	191	6,92	3,45	2480
ДВОСТ	1692	44,86	7,60	494	13,10	5,39	484	13,10	6,54	3565
Всего	19202	41,72	100,00	7380	16,03	100,00	6493	14,11	100,00	46027

Количество не устраненных замечаний по предписаниям, выданным ФГП ВО ЖДТ РФ за 2018 год, составляет 48,38 % [380].

Выводы по главе 2

1. Новая концепция обеспечения пожарной безопасности направлена на управление пожарным риском, ее рассмотрение следует проводить по следующим основным направлениям:

1) комплексное технологическое аудирование для управления промышленной и пожарной безопасностью объектов ЖДТ путем минимизации пожарного риска, сочетающее независимую оценку пожарного риска; выявление «узких» мест в обеспечении ПБ; и разработка эффективных инновационных решений, направленных на снижение и минимизацию пожарной риска;

2) прогнозирование с целью выявления и обоснования критериев оценки пожарной опасности грузов ЖДТ, условий возникновения горения и параметров развития пожаров. Как инструмент прогнозирования рассмотрен эксергетический анализ;

3) эффективность тушения пожаров на ЖДТ определяется успешным межведомственным взаимодействием подразделений ГПС и ВПО ЖДТ, что рассмотрено с позиций совершенствования организации систем управления в пределах предлагаемой концепции. Ее основой является единство понятий структура-система-организация в процессе использования подразделениями, привлекаемыми для ликвидации пожаров, общих временных, информационных и технических ресурсов.

Формирование рассмотренных направлений реализуется в три этапа: 1) получение и обоснование данных, формулировка основных положений; 2) проведение исследований и расчетов, включая обоснование основных теоретических положений, выбор мероприятий и сценариев, разработка процедур и методик; 3) принятие соответствующих управленческих решений. Основной целью применения концепции является управление пожарными рисками, основывающееся на принятии решений.

Решающим аргументом для принятия решения служит логически непротиворечивая, полная и количественно подтвержденная система

доказательств. Осуществляется поиск различных вариантов, выработка альтернатив для решения проблемы, их рациональное сравнение, на основании которого вырабатывается наиболее предпочтительное решение, направленное на управление рисками.

2. В качестве имитационного объекта, в отношении которого выполнялось исследование применимости методологии, была выбрана Компания ОАО «РЖД» – монополист в области железнодорожных перевозок РФ. Для ОАО «РЖД» проблемы безопасности являются особенно актуальными, их решение определяет возможность устойчивого развития как национальной, так и мировой экономики.

Таксономический анализ пожаров в ОАО «РЖД» за 2004-2018 гг. показывает снижение общего количества пожаров на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД». Несмотря на снижение числа пожаров в 2018 году, их количество остается высоким, при этом около 2/3 пожаров происходят на подвижном составе (более половины из которых связаны с перевозкой грузов) и 1/3 – на стационарных объектах; на каждые 10 пожаров фиксируются ЧС, приблизительно 30 % которых имеют каскадный характер развития. Растет ущерб, приходящийся на один пожар.

5. Анализ нарушений требований пожарной безопасности по классам в ОАО «РЖД» по всем территориям показал, что наибольшее количество нарушений соответствует классам «Первичные меры пожарной безопасности, организационные вопросы и обеспечение деятельности пожарных подразделений» (41,42%), «Первичные средства пожаротушения» (16, 02 %) и «Электрооборудование, электроустановки, электросети» (14,11%).

Количество не устраненных замечаний по предписаниям, выданным ФГП ВО ЖДТ РФ за 2018 год, составляет 48,38 %.

3 Обоснование, организация и проведение технологического аудирования как метода управления пожарными рисками на железнодорожном транспорте

3.1 Анализ существующих методик аудита

Стандарт ГОСТ Р ИСО 19011-2012 [287] определяет руководящие указания по управлению программой аудита, планированию и проведению аудита системы менеджмента, раскрывает вопросы компетентности и оценивания аудиторов. Настоящий документ не устанавливает требований, его указания являются гибкими и содержат только общие положения.

Нами проведено сопоставление эффективности и возможностей различных методик аудита, для чего использованы основные положения и методология системного анализа.

Экологическое аудирование (экологический аудит) – его основные принципы, задачи, алгоритм и схемы определены в приказе Госкомэкологии России от 30.03.98 г. №181 «Об экологическом аудировании в системе Госкомэкологии России» [381], а также в стандартах серии ГОСТ Р ИСО серии 14000 [382].

Стандарт [382] является базовым стандартом системы экологического менеджмента (СЭМ). Он принципиально отличается от предыдущей версии:

- обновленная схема документа; единая структура, общая терминология и базовые принципы для всех систем менеджмента позволяют органично внедрять несколько стандартов в систему управления компании, без противоречий и нестыковок;

- изменения в стандарте требуют учитывать внешние и внутренние факторы деятельности организации, которые определяют ее стратегическое развитие и влияют на результативность ее СЭМ. Регулярный мониторинг изменений и анализ действия факторов окружения организации, позволяют

заранее оценить риски и возможные последствия; определить способы реагирования при наступлении событий;

- роль лидерства выходит на новый уровень, высшее руководство компании выступает гарантами результативности СЭМ;

- развитие концепции процессного подхода, ориентация на риски, возможности и действия, предпринимаемые при наступлении определенных событий; проактивная позиция по выявлению рисков и поиску возможностей.

Такой подход позволяет исключить или минимизировать угрозы окружающей среде. Вводится цикл «планируй – делай – проверяй – действуй»; изменение стратегии коммуникаций, активный обмен информацией, значимой для СЭМ; систематический поиск возможностей улучшения.

Цель применения НДТ заключается в предотвращении или минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Внедрение НДТ способствует повышению эффективности использования сырья и энергоэффективности производства. Среди справочников по НДТ Росстандартом утверждены:

ИТС 9-2015 Обезвреживание отходов термическим способом (сжигание);

ИТС 17 -2016 Размещение отходов производства и потребления;

ИТС 46- 2017 «Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов)»;

ИТС 48-2017 «Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности» [227].

Необходимо отметить, что все существующие документы в области НДТ не содержат положений, касающихся обеспечения пожарной и промышленной безопасности.

В справочнике [227] отмечается, что перспективным методом повышения энергетической эффективности и прогностической достоверности является эксергетический анализ. С помощью эксергетического анализа можно количественно оценить потери эксергии на каждом этапе процесса, определить направления для совершенствования и сравнить различные пути протекания процесса.

Эксергетический анализ может быть использован как при разработке нового, так и при рассмотрении уже существующего процесса. Эксергетическая эффективность позволяет оценить степень совершенства изучаемого процесса.

Эксергия может быть рассмотрена как междисциплинарная концепция [383, 384], объединяющая понятия энергии, окружающей среды и устойчивого развития, которое невозможно без обеспечения пожарной безопасности (Рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Междисциплинарный треугольник эксергии

Для решения вопросов, связанных с рациональным использованием энергии, эксергетический анализ является перспективным инструментом. Его использование позволяет обоснованно принимать меры по увеличению энергоэффективности и уменьшению негативного влияния промышленных процессов на окружающую среду.

Необходимо сформировать фонд, содержанием которого является информация о технических приемах, способах и методах, применяемых на опасных производственных объектах стран Европы (справочники *Best available techniques – BAT*) и России, и официально признанных наилучшими с позиции их эколого-экономической эффективности. Необходима разработка экономических механизмов поддержки системы технологического нормирования на основе НДТ.

Анализ существующих методик технологического аудита позволил выделить методику технологического аудита, предложенную Г.А. Пильновым и

другими [296], где рекомендуется учет влияния профессиональной подготовки кадров. Обучение рассматривается как одно из средств передачи технологии. Определяются следующие инструменты, используемые на этапе визитов в компанию:

- блок – схема организации – навыки – наличие ресурсов;
- удовлетворение работой – достижения;
- собрания – знание направлений деятельности компании / выпускаемой продукции;
- работа в команде/ управление проектами;
- непрерывность образования/обучения;
- продвижение по службе/ развитие /составление списка.

Проведение аудитов является одним из процессов системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья (БТиОЗ) [385]. В организации должна быть разработана, внедрена и выполнена процедура(ы) проведения аудита, которая устанавливает:

1) требования к планированию и проведению аудита, отчетности о его результатах, сохранению записей; ответственность лиц, участвующих в этой деятельности, и требования к их компетентности;

2) критерии аудита, область и методы проведения, периодичность.

Организация должна обеспечить, компетентность лиц, которые могут повлиять на БТиОЗ, что определяется образованием, подготовкой (обучением) или наличием опыта. Необходимо выявить связанные с рисками и системой менеджмента БТиОЗ потребности, провести и оценить результативность подготовки (обучения) персонала [382].

Система управления охраной труда (СУОТ) является частью интегрированной системы менеджмента предприятий ЖДТ и применяется для разработки и осуществления политики и управления рисками компании в области охраны труда. Требования по организации и проведению контроля соблюдения требований охраны труда в ОАО «РЖД» установлены в [386].

Проведенный анализ и сопоставление эффективности методик различных видов аудита, применяемых на опасных производственных объектах: методики BAT (Best Available Techniques), НДТ, экологического, технологического аудита; позволили предложить оригинальную методику комплексного технологического аудирования на объектах и подвижном составе ЖДТ, позволяющую выявлять «узкие» места их функционирования и предложить эффективные инновационные решения по их устранению (Рисунок 3.2).

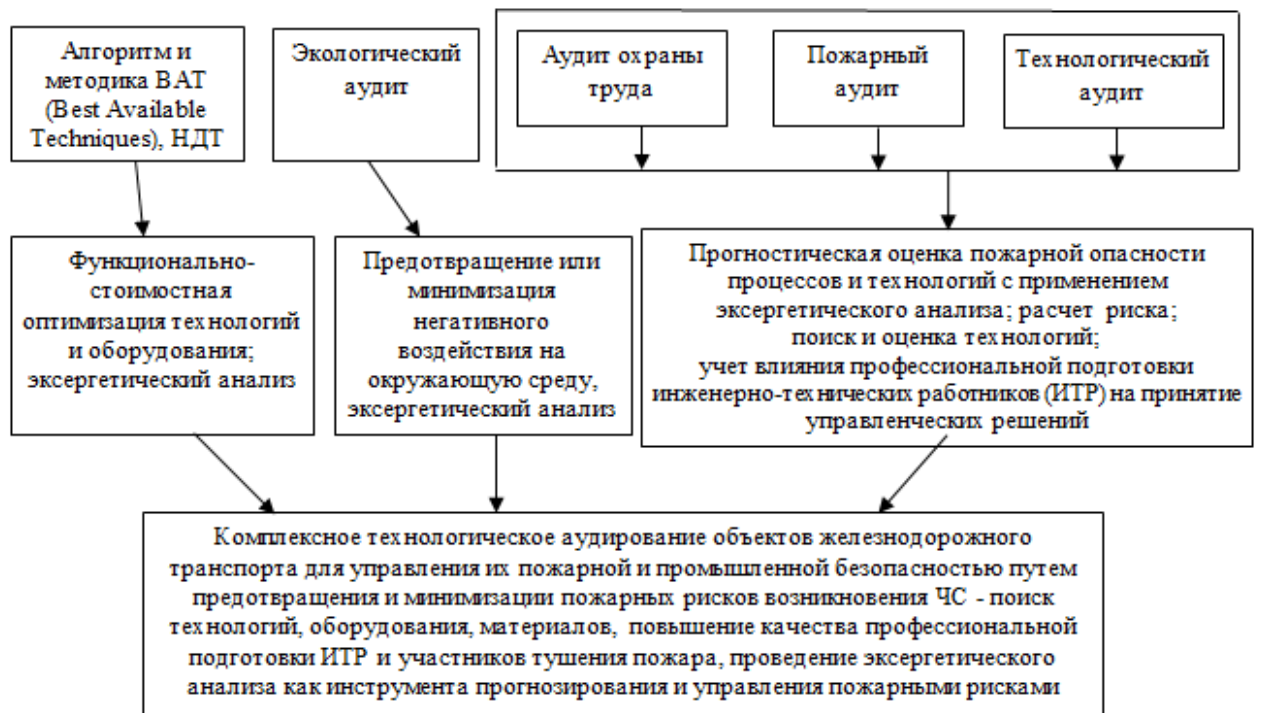


Рисунок 3.2 – Структурно-логическая схема комплексного технологического аудирования для управления ПБ объектов и подвижного состава ЖДТ

Эксергетический анализ может быть рассмотрен как элемент, объединяющий различные виды аудита в единый процесс.

3.2 Организация и проведение внутреннего аудирования системы управления пожарной безопасностью

3.2.1 Область применения аудирования, его цели, задачи, принципы, назначение

Система управления пожарной безопасностью (СУПБ) является составной частью корпоративной системы управления в ОАО «РЖД» и направлена на обеспечение пожарной безопасности объектов защиты ОАО «РЖД» [387].

Основной целью СУПБ является обеспечение условий для недопущения возникновения и развития пожара, воздействия опасных факторов пожара на людей и имущество [387].

Основными задачами СУПБ являются: организация деятельности по предотвращению пожаров; разработка и внедрение комплекса мер противопожарной защиты; разработка и внедрение организационно-технических мероприятий по обеспечению ПБ [387].

Комплексное технологическое аудирование может быть рассмотрено как один из процессов СУПБ.

Основными целями аудирования являются:

- оценка эффективности функционирования СУПБ;
- оценка соответствия процессов и механизмов управления СУПБ на объекте корпоративной политике, целям, нормативным документам;
- определение элементов СУПБ, требующих улучшения;
- улучшение показателей ПБ, совершенствование СУПБ в целом;
- поиск технологий, оборудования, материалов, проведение эксергетического анализа как инструмента прогнозирования и управления пожарными рисками, повышение качества профессиональной подготовки ИТР и участников тушения пожара и разработка эффективных инновационных решений по устранению выявленных недостатков, ответственных за возникновение и развитие ЧС.

Аудирование проводят по всем основным элементам СУПБ в соответствии с разработанными программами. В ходе аудирования оценивается:

- соответствие организации работ по управлению ПБ в проверяемом подразделении требованиям нормативных документов;
- соблюдение работниками требований законов и иных нормативных правовых актов РФ, стандартов и нормативных отраслевых документов в области ПБ;
- выполнение мероприятий, предусмотренных программами по повышению уровня ПБ, пунктами коллективного договора, соглашениями, касающимися вопросов обеспечения ПБ;
- выполнение мероприятий по ранее проведенным аудитам, проверкам и т.д.;
- проведение расследований и учет несчастных случаев, связанных со взрывами и пожарами на объектах и подвижном составе железнодорожного транспорта, в соответствии со статьями 229-231 Трудового кодекса РФ [388] и Положением об особенностях расследования несчастных случаев в организации, соблюдение Порядка учета пожаров и их последствий [389];
- организация профилактической работы в области обеспечения ПБ;
- выполнение предписаний и постановлений органов МЧС России, других мероприятий по обеспечению ПБ;
- обеспечение работников средствами защиты;
- наличие в проверяемых подразделениях инструкций по ПБ, своевременность их пересмотра;
- своевременность проведения обучения по ПБ, проверок знаний требований ПБ и всех видов инструктажа по ПБ работников, а также порядок допуска их к работе;
- организация работ по оценке и управлению пожарными рисками и влиянию человеческого фактора на возникновение пожаров, взрывов, ЧС и полученный ущерб;
- организация и проведение работ по вводу режимов управления ПБ, в зависимости от состояния СУПБ;
- учет, анализ загораний и пожаров;

- состояние производственных и вспомогательных помещений, территорий, подвижного состава с точки зрения соблюдения противопожарного режима;
- правильность расходования средств, выделенных на выполнение мероприятий по улучшению ПБ;
- своевременность проведения проверок и обследований состояния зданий, сооружений, территорий, подвижного состава на соответствие их требованиям ПБ;
- наличие и состояние систем оповещения, тушения пожаров, первичных средств пожаротушения;
- соответствие содержания зданий, помещений и территорий требованиям ПБ;
- обеспечение работающих исправным и качественным инструментом;
- наличие требований ПБ в комплектах технологической документации;
- соблюдение требований ПБ при работе с электрическими приборами.

Основу организации комплексного технологического аудирования должны быть положены следующие принципы:

- Принцип единообразия: аудирование осуществляется по единой официально установленной процедуре (Протоколу), что обеспечивает его упорядоченность, однозначность и сопоставимость;
- Принцип документированности: проведение аудирования документируется, обеспечивая возможность хранения и сравнения информации о фактическом состоянии проверяемого объекта;
- Принцип предупредительности: проведение аудирования планируется, персонал проверяемого подразделения заранее уведомляется о цели, области, времени и методах проведения для наиболее полной подготовки к аудированию и исключения возможности уклонения персонала от предоставления всех требуемых данных;
- Принцип регулярности: аудирование проводится с определенной периодичностью, с тем, чтобы все процессы СУПБ и все подразделения были

предметом постоянного анализа и оценивания со стороны руководителей всех уровней управления ОАО «РЖД».

По результатам аудирования определяют возможности и пути улучшения СУПБ, а при выявлении несоответствий, разрабатываются корректирующие действия, которые должны быть устранены в запланированный срок. Предлагаются эффективные инновационные решения по устранению выявленных нарушений.

Для обеспечения объективной оценки и выявления возможностей для дальнейшего улучшения процесса управления ПБ на объектах железнодорожного транспорта целесообразно проводить комплексное технологическое аудирование независимыми по отношению к объекту аудиторами. Оно позволяет:

- оценивать работу по совершенствованию СУПБ;
- отслеживать количество пострадавших при пожарах и уровень тяжести последствий, эффективность работы по снижению этих показателей и их количественное сравнение с предшествующими периодами;
- определять проблемные вопросы и устанавливать приоритетность действий по совершенствованию СУПБ;
- оценивать качество проводимых на объекте аудитов первой стороны.

Основу проведения аудирования должны составлять принципы, изложенные в [287]: этичное поведение; беспристрастность; профессиональное прилежание; независимость; подход на основе фактов, обеспечивающий достижение надёжных и воспроизводимых заключений аудирования при его систематическом поведении.

3.2.2 Порядок проведения технологического аудирования объектов железнодорожного транспорта для управления их пожарной безопасностью путем минимизации пожарных рисков

Программа комплексного технологического аудирования объектов ЖДТ для управления их пожарной безопасностью путем предотвращения и

минимизации пожарных рисков возникновения ЧС действует применительно к СУПБ, направлена на обеспечение постоянного совершенствования, оценку ее эффективности, ориентирована на поиск технологий, оборудования, материалов, повышение качества профессиональной подготовки ИТР и участников тушения пожара. Экспертный анализ рассматривается как инструмент прогнозирования и управления пожарными рисками.

Объектами в аудировании СУПБ являются: подразделения аппарата управления; филиалы и структурные подразделения.

Различают плановое и внеплановое аудирование СУПБ ОАО «РЖД».

Основные этапы процесса проведения аудирования СУПБ предусматривают:

- подготовку к проведению, которая предшествует непосредственной деятельности на объекте;
- работу на объекте;
- завершение аудирования, что включает разработку отчета по результатам аудирования и инновационных решений, направленных на минимизацию пожарного риска.
- проведение итогового совещания;
- разработку и согласование плана корректирующих действий и внедрения предлагаемых инновационных мероприятий, сроки их реализации;

При подготовке к проведению аудирования осуществляется

- выбор и назначение руководителя, его заместителя и членов группы аудиторов (за 15 календарных дней до даты начала проведения аудирования);
- запрос документов для предварительного ознакомления и анализа (за 10 календарных дней до даты начала проведения аудирования);
- разработка (корректировка, дополнение) Протокола аудирования СУПБ применительно к специфике (технологии) работы объекта аудирования;
- согласование плана-графика и организационных деталей проведения аудирования на объекте (за 10 календарных дней до даты начала проведения аудирования);

– изучение передовых технологий, принятых решений, направленных на предотвращение и минимизацию пожарных рисков возникновения ЧС; оценка возможности и эффективности их применения на объектах и подвижном составе ЖДТ.

Рекомендуемы порядок проведения аудирования на объекте:

1) Проведение вводного совещания руководителем группы аудирования с руководством проверяемого объекта и другими заинтересованными лицами, где устанавливаются объем и задачи внутреннего аудирования; проводится представление членов команды аудиторов с указанием их функций; определяется использование основных выводов предыдущего аудирования в текущем процессе; подтверждается график и сроки проведения аудирования на объекте; определяется порядок взаимодействия руководителя группы аудиторов и руководителей объекта.

2) Ознакомление с объектом, включающее прохождение вводного инструктажа по охране труда и ПБ, изучение информации, получаемой на вводном совещании и касающейся общего представления об объекте (размеры объекта, расположение участков и т.д.).

3) Сбор фактов для формирования выводов и разработки рекомендаций по результатам аудирования, что предполагает индивидуальные интервью с руководителями и работниками объекта (информация о мнениях и представлениях работников), изучение документации (документальная информация), наблюдение на рабочих местах (информация физического характера). Для получения общего впечатления о реализации СУПБ на практике аудиторы проводят сбор фактов по косвенной информации (например, оценивают отношение и нравственную позицию персонала к вопросам обеспечения ПБ).

Должна быть собрана репрезентативная информация, позволяющая обосновать выводы по оценке соответствия объекта требованиям ПБ, оценить эффективность функционирования СУПБ и разработать предложения по устранению несоответствий и предложить решения, направленные на предотвращение и минимизацию пожарных рисков.

4) Анализ и оценка аудирования является результатом обработки полученной информации. Оценка соответствия СУПБ производится по сформулированным в Протоколе аудирования вопросам. Принципы оценки:

- полнота описания и документирования предмета вопроса (стандарты предприятия, документированные процедуры и руководящие документы, инструкции, технологические процессы, приказы и распоряжения);
- эффективность и результативность применения предмета вопроса в практической деятельности объекта;

Вопрос Протокола аудирования не оценивается в случае неприменимости предмета вопроса на данном объекте. Рассматриваемые вопросы получают оценку 10, 8, 6, 4, 2, 0 баллов или «н/о» (не оценивается), которая выставляется каждым членом группы и заносится в Протокол аудирования. Оценка соответствия требованиям проводится на основании методики, изложенной в Приложение А, Таблицы А1-А3. Вопрос нельзя оценить десятью баллами, если хотя бы в одном Протоколе по нему выставлена оценка менее 10.

Все требования, рассмотренные в «тест-вопросах» должны быть выполнены. Их невыполнение или неполное выполнение оценивается 0 и результат внутреннего аудирования будет считаться отрицательным вне зависимости от того, выполнило ли проверяемое подразделение остальные требования. Данное подразделение ставится на особый контроль и назначается повторное аудирование.

Оценка результатов аудирования проводится с целью формирования комплекса корректирующих действий, направленных на дальнейшее совершенствование практики и методов управления ПБ. Выводы по результатам аудирования должны соответствовать как государственным, так и внутренним требованиям по ПБ и учитывать лучшую практику в области ПБ. Выводы, которые должны быть изложены по существу, быть беспристрастными, объективными и убедительными, необходимо четко документировать.

На основании анализа предварительных выводов группа аудиторов должна определить ключевые проблемы, на которые указывают общие характеристики или тенденции. Выводы должны быть понятны руководству объекта.

5) Классификация статуса несоответствий.

Выделяют закрытые (корректирующие действия проведены в процессе проведения аудирования), новые (не выявлены в процессе предыдущих аудирований), повторные (выявлены в ходе предыдущего аудирования, однако корректирующие действия не проведены)

6) Определение категории несоответствий:

1. требования государственных нормативных документов; требования нормативных актов МЧС в области обеспечения ПБ;

2. требования политики и стандартов компании;

3. указания / наблюдения. Они касаются необязательных практик или программ, однако об их существовании необходимо уведомить руководство объекта, так как они могут впоследствии оказать влияние на соответствие государственным нормативным или корпоративным требованиям; привести к материальной ответственности (например, связаны с загрязнением окружающей среды); указывают на неспособность системы следовать надлежащей практике эксплуатации (например, повторные или многочисленные происшествия)

4. локальный факт, требующий внимания, но не включенный в письменный отчет об аудировании;

5. рекомендованная практика – корректирующее действие или программа корректирующих действий, которая вносится в отчет в качестве отдельного приложения, но при выставлении общего балла за аудирование не учитывается.

Классификация несоответствий, принадлежащих одновременно к нескольким категориям, осуществляется по категории более высокого уровня.

В рекомендациях целесообразно предложить и обосновать эффективные инновационные решения, направленные на предотвращение и минимизацию пожарных рисков, например, применение наилучших доступных технологий, оборудования.

7) Составление рекомендаций. Правильной расстановке приоритетов по корректирующим действиям способствует распределение рекомендаций в соответствии с уровнями:

Уровень 1. Действия, имеющие высший приоритет, вследствие возможности создания серьезного риска для работников, населения и др., либо приведения к уголовной или гражданской ответственности.

Уровень 2. Приоритетные действия, не вошедшие в Уровень 1, но выходящие за рамки единичного случая или случайной ситуации.

Уровень 3. Действия, относящиеся к организационным, к отдельному случаю или случайной ситуации.

8) Форма Отчета об аудировании представлена в Приложение А, Таблицы А4, А5.

9) Проведение заключительного совещания с руководителями по окончании внутреннего аудирования для доведения информации о выводах аудирования, формирования единого понимания выявленных фактов, что является основой для подготовки своевременных и необходимых корректирующих действий по улучшению ситуации. Руководству проверяемого объекта передается копии отчета о проведенном аудировании и подготовленной презентации с выводами аудирования и предлагаемыми инновационными решениями.

После завершения аудирования на проверяемом объекте в установленный срок разрабатывается и утверждается план, в котором указываются корректирующие действия, сроки и лица, ответственные за выполнение (Приложение А, Таблица А6). За выполнением плана корректирующих действий руководитель объекта осуществляет постоянный контроль и о его результатах информирует руководителя команды аудиторов, и вышестоящего начальника.

Возможен перенос контрольной даты корректирующего действия (но не более одного раза) Уровней 2 и 3 на более поздний срок при соответствующем обосновании и согласовании с руководителем группы аудирования. Перенос даты завершения корректирующих действий по выводам Уровня 1 не допускается.

Продление сроков фиксируется в документе, который должен содержать: рекомендацию (оригинальный текст отчета об аудировании); корректирующее действие (план мероприятий); первоначальный срок исполнения; сводные данные о ходе работ; описание действий, необходимых для завершения работ; причины переноса и предполагаемый срок исполнения; промежуточные механизмы контроля; подписи лица, ответственного за корректирующие действия и руководителя объекта, дата подписания.

Анализ эффективности комплексного технологического аудирования.

Профильный департамент (управление) ведет учет и анализ проведенных аудирований, охваченных аудированием структурных подразделений и полученных при этом оценок, эффективности предлагаемых мероприятий.

Руководители региональных дирекций, охваченных внутренним аудированием, один раз в квартал рассматривают результаты проведенных внутренних аудирований, выполнение корректирующих мероприятий, принимают необходимые меры по устранению несоответствий с докладом в соответствующую центральную дирекцию.

В анализе эффективности внутренних аудирований отражается соблюдение следующих положений:

- соответствие числа запланированных и проведенных аудирований;
- выполнение программы по подготовке аудирований;
- опыт и профессионализм аудиторов;
- анализ работы объектов по планированию и проведению аудирований;
- анализ соблюдения независимости проведения аудирований;
- качество отчетов о результатах внутренних аудирований и фактические сроки их предоставления;
- качество составления планов корректирующих действий и их выполнение;
- качество отчетов о выполнении корректирующих действий и фактические сроки их предоставления;

– меры, направленные на своевременное и качественное выполнение корректирующих действий, принимаемые руководителями объектов.

В отчете об оценке качества исполнения программы внутренних аудитов указываются сильные стороны программы, области, требующие улучшения, определяются рекомендации по совершенствованию процесса аудирования. Основные стадии процесса проведения комплексного технологического аудирования представлены на Рисунке 3.3.

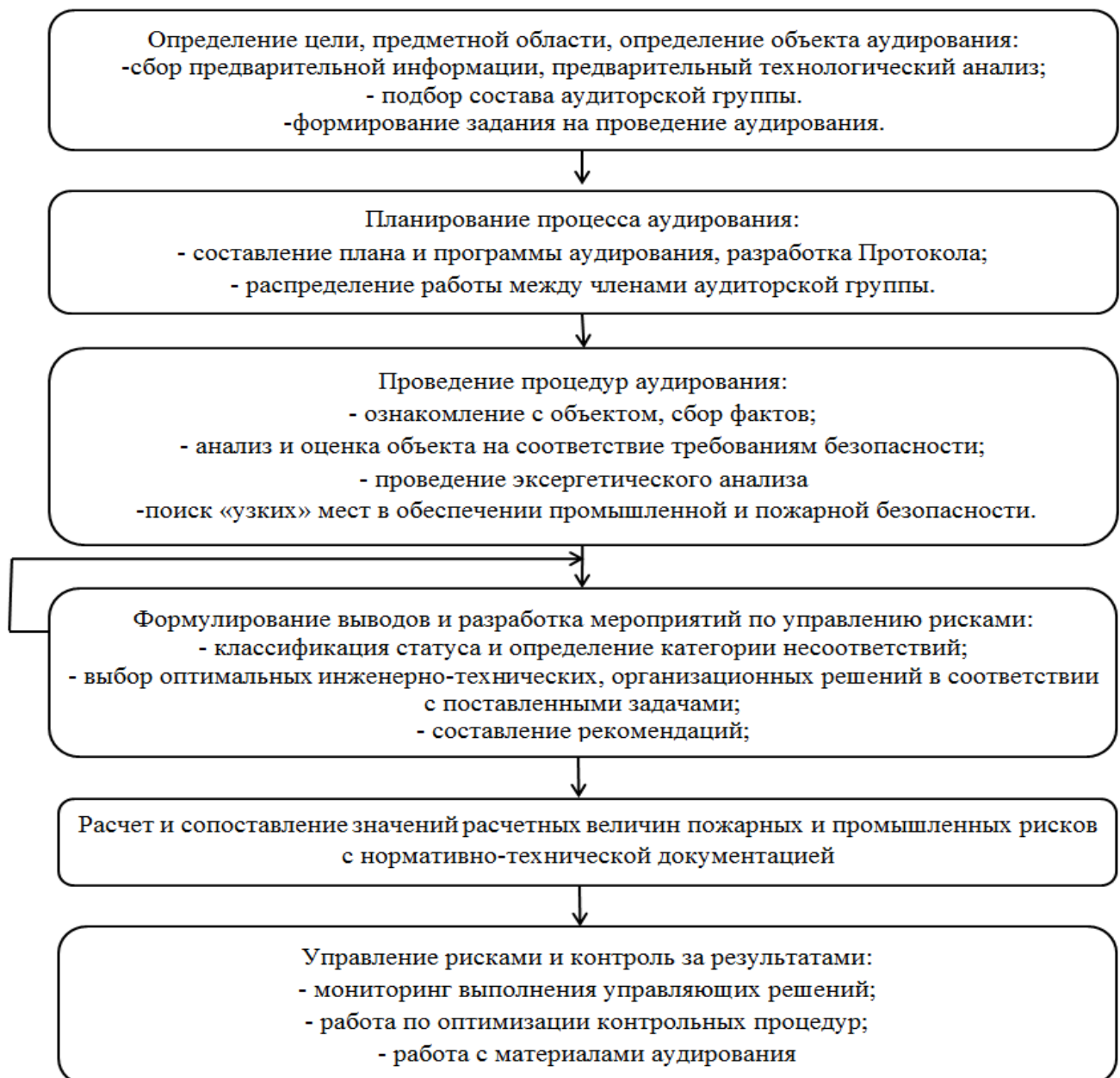


Рисунок 3.3 – Основные стадии проведения комплексного технологического аудирования

Полный цикл комплексного технологического аудирования на объектах и подвижном составе железнодорожного транспорта для управления их ПБ начинается на стадии определения предметной области и выбора объектов аудирования и заканчивается осуществлением процессов управления пожарными и промышленными рисками и контроля результатов. Внедрение инновационных решений, направленных на устранение несоответствий, предотвращение и минимизацию рисков, является наиболее актуальным.

Выводы по главе 3

1. На основании проведенного анализа и сопоставления эффективности методик различных видов аудита, применяемых на опасных производственных объектах (методики ВАТ (Best Available Techniques), экологического, технологического аудита) разработана оригинальная методика комплексного технологического аудирования на объектах и подвижном составе ЖДТ для управления их пожарной безопасностью. Ее применение позволит не только выявлять «узкие» места функционирования объектов, но и предлагать эффективные инновационные решения, направленные на их устранение, предотвращение и минимизацию рисков ЧС, связанных с пожарами.

2. Программа комплексного технологического аудирования объектов ЖДТ для управления их ПБ путем предотвращения и минимизации пожарных рисков возникновения ЧС действует применительно к СУПБ, направлена на обеспечение ее непрерывного совершенствования, оценивает эффективность данной системы на основе выборочного анализа соответствия требованиям, ориентирована на поиск технологий, оборудования, материалов, повышение качества профессиональной подготовки ИТР и участников тушения пожара, проведение эксергетического анализа как инструмента прогнозирования и управления пожарными рисками.

3. Разработана процедура проведения комплексного технологического аудирования объектов ЖДТ для управления их ПБ путем предотвращения и минимизации пожарных рисков.

4. Предложено введение эксергетического анализа как инструмента прогнозирования и управления рисками в процедуру аудирования.

4 Эксергетический анализ как инструмент прогнозирования и управления пожарными рисками при перевозке пожароопасных грузов на железнодорожном транспорте

4.1 Методология расчета и прогнозирования эксергии

Эксергия системы (материального потока) разделяется на ряд составляющих (Рисунок 4.1).

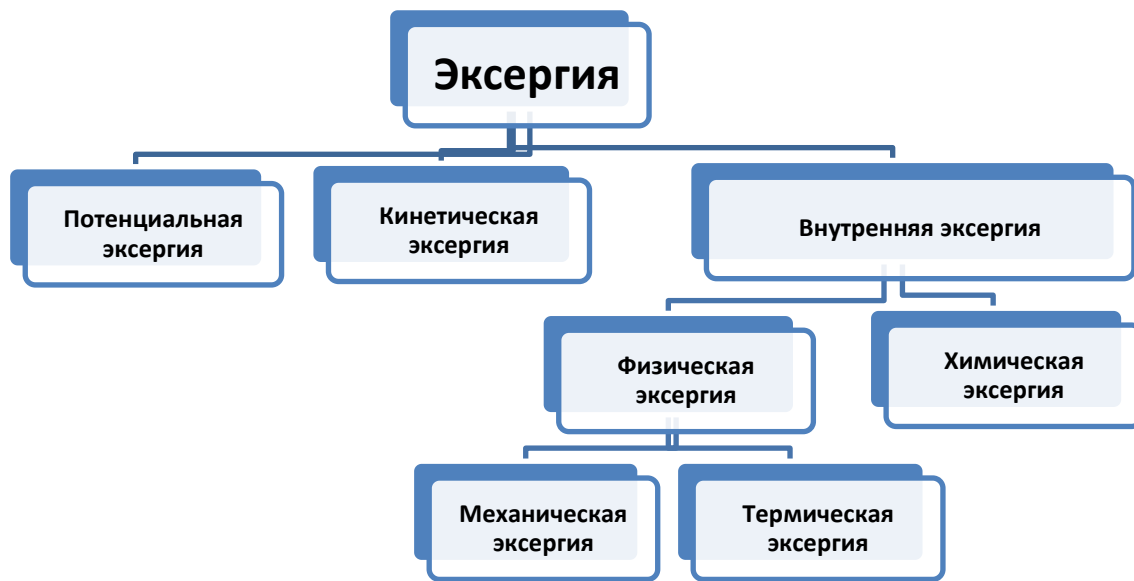


Рисунок 4.1 – Составляющие эксергии

Уравнение для определения значения эксергии может быть записано:

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}} + E_{\text{ф}} + E_{\text{х}}, \quad (4.1)$$

где $E_{\text{п}}$, $E_{\text{к}}$, $E_{\text{ф}}$, $E_{\text{х}}$ – потенциальная, кинетическая, физическая и химическая составляющие эксергии соответственно.

Для большинства реальных технических систем кинетическая и потенциальная составляющие в формуле (4.1) малы и поэтому не имеют практического значения, за исключением таких объектов, как, например, гидроэлектростанции, использующие потенциальную эксергию воды. В настоящем исследовании рассмотрены физическая и химическая составляющие эксергии (Рисунок 4.2).

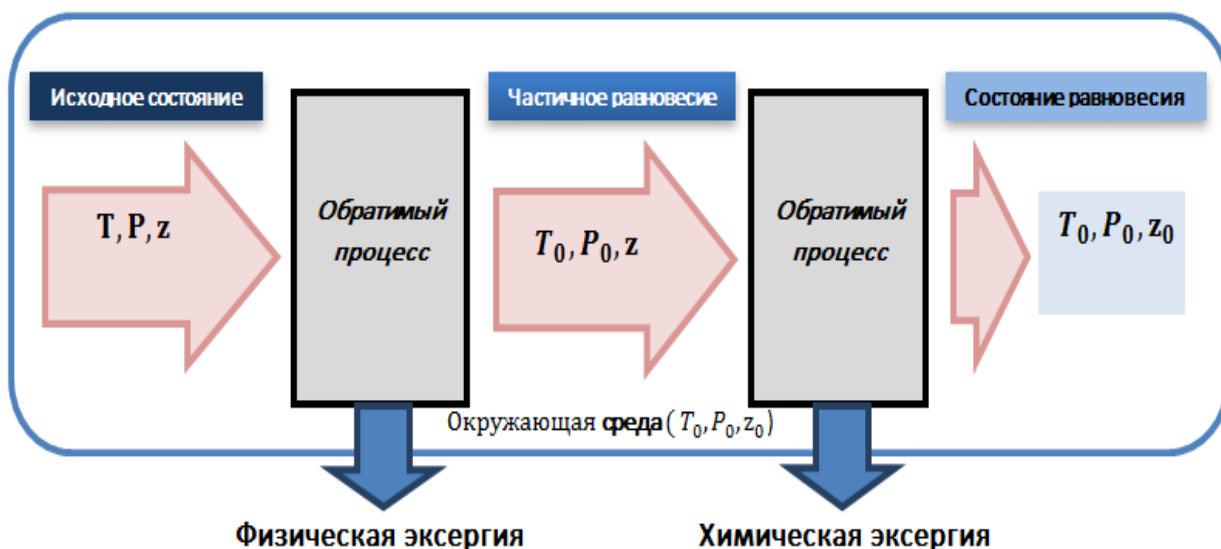


Рисунок 4.2 – Общая концепция определения физической и химической эксергии

Для расчета эксергии введём три фундаментальных состояния [390]:

- ✓ «текущее состояние системы» (исходное состояние) – это исходное состояние анализируемой системы, которое описывается ее температурой, давлением и составом (T, P, z);
- ✓ «состояние частичного равновесия», определяемое условием, что температура и давление системы равны температуре и давлению окружающей среды (T_0, P_0, z);
- ✓ «состояние равновесия (покоя)», определяющееся полным термодинамическим равновесием между системой и окружающей средой. Температура, давление и состав системы соответственно равны температуре, давлению и составу окружающей среды (T_0, P_0, z_0), значение работоспособности системы (эксергии) равно нулю.

4.1.1 Принципы расчета физической и химической эксергии

При обратимом физическом процессе, включающем тепловые и механические взаимодействия с окружающей средой, физическую эксергию можно представить как максимальное количество работы, получаемое в процессе

перехода из текущего состояния к состоянию равновесия с окружающей средой (Рисунок 4.3).

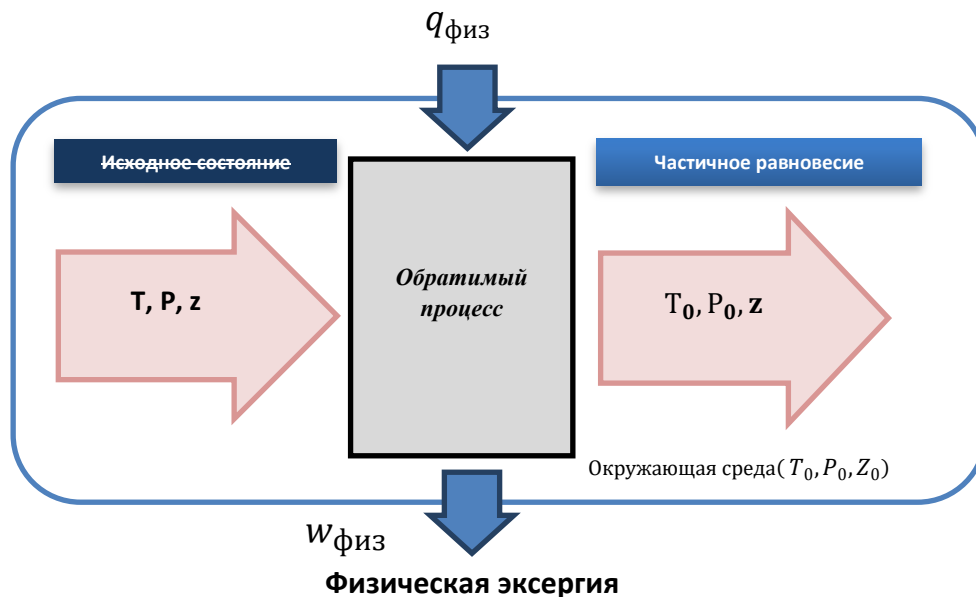


Рисунок 4.3 – Расчет физической составляющей

Первый закон термодинамики для расчета физической эксергии:

$$h(T, P, z) - h(T_0, P_0, z) + q_{\text{физ}} - w_{\text{физ}} = 0,$$

где $q_{\text{физ}}$ – молярная физическая теплота, Дж/моль;

$w_{\text{физ}}$ – молярная работа, Дж/моль;

h – молярная энтальпия, Дж/моль.

Применив второй закон термодинамики получаем:

$$s(T, P, z) - s(T_0, P_0, z) + \frac{q_{\text{физ}}}{T_0} = 0,$$

где s – молярная энтропия, Дж/(моль·К)

Физическая эксергия может быть записана как:

$$e_{\text{физ}} = w_{\text{физ}} = h(T, P, z) - T_0 s(T, P, z) - [h(T_0, P_0, z) - T_0 s(T_0, P_0, z)] \quad (4.2)$$

Как видно из уравнений, представленных выше, на значение эксергии не влияют абсолютные значения энтальпии и энтропии, а важно их изменение.

Физическую эксергию можно выразить суммой термической и механической эксергии (Рисунок 4.4). Индекс ΔP обозначает механическую

составляющую физической эксергии, ΔT – термическую составляющую физической эксергии. Для определения этих составляющих вводится промежуточное состояние (T_0, P) [391]. При этом термическая эксергия получается при переходе от T до T_0 , при давлении P_0 , а механическая эксергия при переходе от P до P_0 .

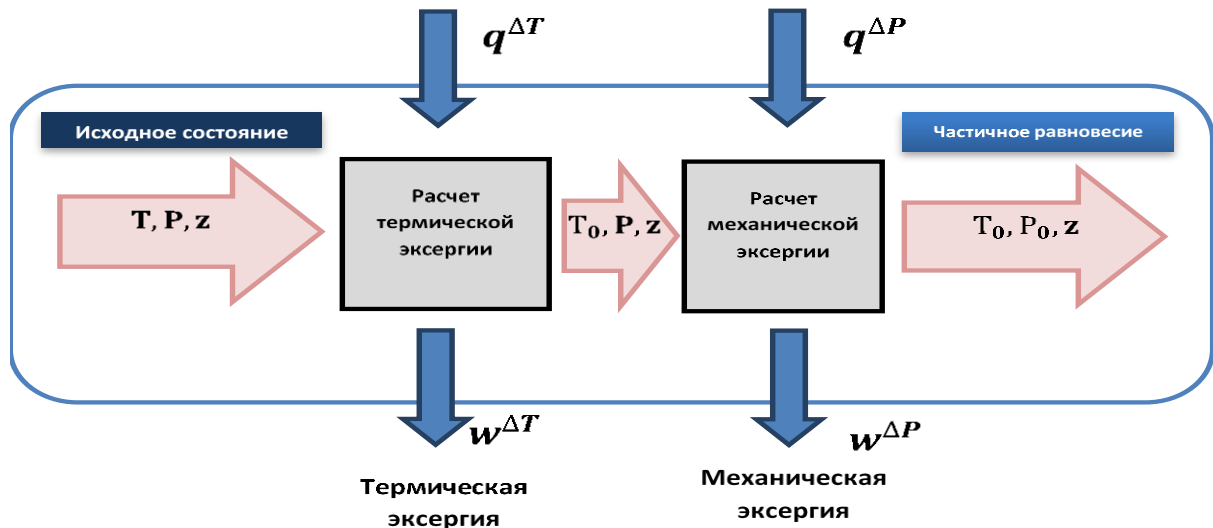


Рисунок 4.4 – Термическая и механическая эксергии

В результате для термической составляющей эксергии получим:

$$e^{\Delta T} = w^{\Delta T} = h(T, P, z) - T_0 s(T, P, z) - [h(T_0, P, z) - T_0 s(T_0, P, z)] \quad (4.3)$$

Для механической составляющей эксергии:

$$e^{\Delta P} = w^{\Delta P} = h(T_0, P, z) - T_0 s(T_0, P, z) - [h(T_0, P_0, z) - T_0 s(T_0, P_0, z)] \quad (4.4)$$

В этом случае сумма термальной и механической составляющей равна:

$$e_{\text{физ}} = e^{\Delta T} + e^{\Delta P} \quad (4.5)$$

Можно заметить, что эти две составляющие будут отличаться, если в качестве промежуточного состояния выбрать точку (T, P_0)

Химическая эксергия определяется как работа, которую можно получить в обратимом процессе при переходе системы из состояния частичного равновесия к состоянию равновесия с окружающей средой при T_0, P_0 . Химическая эксергия связана с достижением равенства химических потенциалов между соответствующими компонентами системы и окружающей среды [392].

Для оценки химической эксергии потока, свойства веществ, составляющих этот поток, должны быть соотнесены со свойствами веществ в окружающей среде. Такие вещества называют эталонами (Рисунок 4.5).

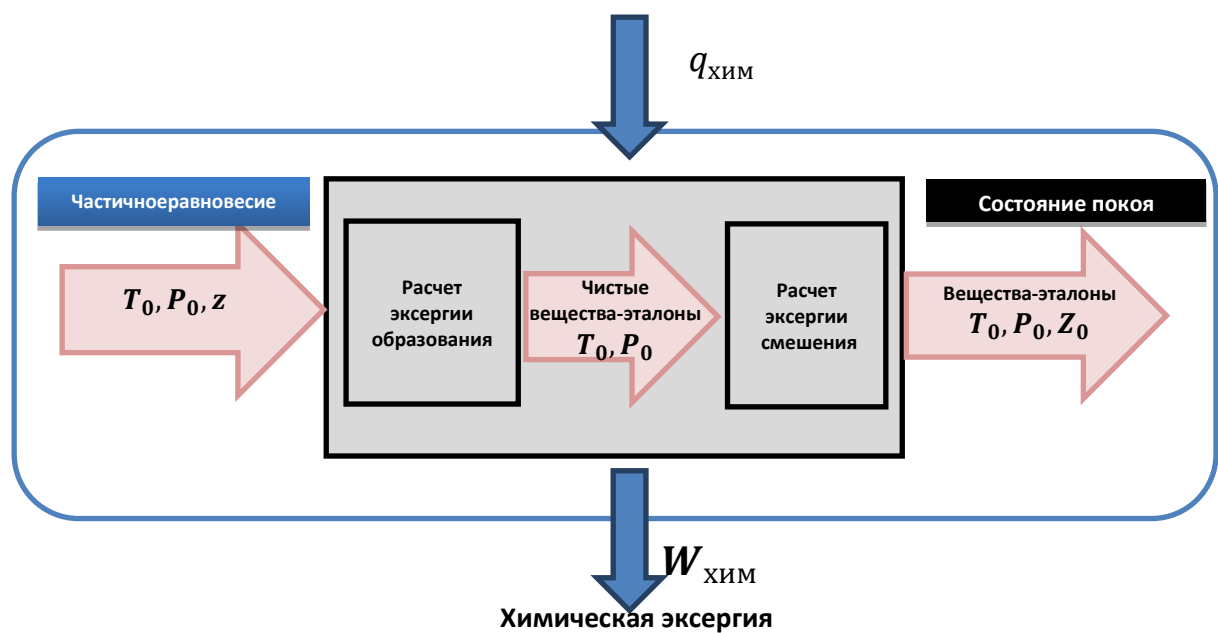


Рисунок 4.5 – Расчет химической составляющей эксергии

Рассмотрим два варианта расчета химической эксергии:

- исследуемое вещество является одним из эталонных веществ (например, CO_2 , присутствующий в атмосфере), расчет его химической эксергии соответствует максимальной работе в процессе перехода к состоянию равновесия с окружающей средой;
- рассматриваемое вещество не является веществом-эталонном, для вычисления эксергии требуется смоделировать обратимую химическую реакцию преобразования исходного вещества в одно или несколько чистых веществ-

эталонов. Затем концентрация полученных веществ приводится к их концентрации в окружающей среде.

Выразим химическую эксергию $e_{\text{хим}}$, для состояния «окружающей среды» при (T_0, P_0) :

$$e_{\text{хим}}(T_0, P_0, z) = h(T_0, P_0, z) - T_0 s(T_0, P_0, z) - \frac{1}{n} \sum_i^{N_c} \left[\sum_{j=1}^{N_{\text{ref},i}} n_{j,i} [h_j(T_0, P_0, z_0) - T_0 s(T_0, P_0, z_0)] \right] \quad (4.6)$$

где n – молярный расход потока, моль/с;

$n_{j,i}$ – молярный расход j -ого вещества-эталоны сгенерированного i -ым веществом потока, моль/с;

$N_{\text{ref},i}$ – количество веществ-эталонов для i -ого вещества потока;

N_c – общее количество веществ потока;

Я. Шаргут [392] для упрощения вычисления эксергии ввел понятие молярная стандартная химическая эксергия $e_{\text{хим},i,0}$ – это молярная химическая эксергия чистых компонентов в газовом состоянии при (T_0, P_0) .

Тогда:

$$e_{\text{хим},i,0} = h_{i,0}(T_0, P_0) - T_0 s_{i,0}(T_0, P_0) - \sum_{j=1}^{N_{\text{ref},i}} \frac{n_{i,j}}{n_i} [h_j(T_0, P_0, z_0) - T_0 s(T_0, P_0, z_0)] \quad (4.7)$$

Стандартная химическая эксергия может быть определена для отдельных компонентов и входящих в их состав элементов. Для заданной стандартной химической эксергии отдельного элемента $e_{\text{хим},j,0}$, стандартная химическая эксергия для i -ого вещества может быть рассчитана по формуле:

$$e_{\text{хим},i,0} = \Delta G_{f,0} + \sum_{j=1}^{N_{\text{el},i}} n_{i,j} e_{\text{хим},j,0}, \quad (4.8)$$

где $\Delta G_{f,0}$ – поток стандартной энергии Гиббса образования вещества, Вт.

Впервые таблица со значениями стандартной химической эксергии для веществ-эталонов была предложена Я. Шаргутом [393] и впоследствии обновлена Р. Риверо [394].

В работе [390] автором настоящей работы совместно с А.Г. Хайдаровым рассмотрены различные ситуации при расчете химической эксергии многофазных потоков, используя формулы (4.6) - (4.8).

Для газообразной смеси веществ

$$e_{\text{хим}} = \sum_{i=1}^{N_c} y_i (e_{\text{хим},i,0} + RT_0 \ln(y_i)).$$

Для смеси жидкостей

$$e_{\text{хим}} = \sum_{i=1}^{N_c} x_i (e_{\text{хим},i,0} + \Delta G_{f,\text{cond},0} + RT_0 \ln(\gamma_i x_i)),$$

где y, x – концентрация i -го вещества в газообразной и жидкой фазе соответственно;

$\Delta G_{f,\text{cond},0}$ – поток стандартной энергии Гиббса конденсации.

Для смеси жидкой и газообразных фаз

$$e_{\text{хим}} = (1 - \omega) \left[\sum_{i=1}^{N_c} x_i \cdot (e_{\text{хим},i,0} + \Delta G_{f,\text{cond},0} + RT_0 \ln(\gamma_i x_i)) \right] + \\ + \omega \cdot \left[\sum_{i=1}^{N_c} y_i \cdot (e_{\text{хим},i,0} + RT_0 \ln(y_i)) \right],$$

где ω – коэффициент пара (vapourratio).

Для смеси жидких фаз

$$e_{\text{хим}} = \omega_1 \cdot \left[\sum_{i=1}^{N_c} x_{1,i} \cdot (e_{\text{хим},i,0} + \Delta G_{f,\text{cond},0} + RT_0 \ln(\gamma_i x_{1,i})) \right] + \\ + (1 - \omega_1) \cdot \left[\sum_{i=1}^{N_c} x_{2,i} \cdot (e_{\text{хим},i,0} + \Delta G_{f,\text{cond},0} + RT_0 \ln(\gamma_i x_{2,i})) \right],$$

где ω_1 – концентрация компонента в жидкой фазе.

Для смеси жидких и газообразных фаз

$$e_{\text{хим}} = (1 - \omega) \left[\omega_1 \left[\sum_{i=1}^{N_c} x_{1,i} \cdot (e_{\text{хим},i,0} + \Delta G_{f,\text{cond},0} + RT_0 \ln(\gamma_i x_{1,i})) \right] + \right. \\ \left. + (1 - \omega_1) \cdot \left[\sum_{i=1}^{N_c} x_{2,i} \cdot (e_{\text{хим},i,0} + \Delta G_{f,\text{cond},0} + RT_0 \ln(\gamma_i x_{2,i})) \right] \right] + \\ + \omega \left[\sum_{i=1}^{N_c} y_i \cdot (e_{\text{хим},i,0} + RT_0 \ln(y_i)) \right]$$

4.1.2 Методика расчета эксергии с использованием программы HYSYS

Для моделирования процессов, связанных с авариями при транспортировке опасных грузов, нами была использована программа HYSYS, включающая

различные методы расчета термодинамических свойств и обеспечивающая надежные результаты для расчетов смесей углеводородов, используемых в нефтехимической и химической промышленности. Вместе со стандартными пакетами свойств нами предложен программный комплекс, представляющий собой совокупность взаимосвязанных программных модулей для проведения эксергетического анализа, встроенный в программный пакет HYSYS с помощью технологии Active X [395, 396]. Последовательность расчета эксергии представлена на Рисунке 4.6.



Рисунок 4.6 – Последовательность расчета эксергии в программе HYSYS

Тестирование методики расчета эксергии проведено с использованием данных из источников [391, 397-399].

Пример 1. Смесью газов. Исходный поток представлен смесью воздуха и СО при $P=2,1$ бар и $T=125^{\circ}\text{C}$. Этот поток является газообразным как при рассматриваемых, так и при стандартных условиях. Молярная доля воздуха –

0.85, монооксида углерода – 0.15. Массовый расход воздуха 0.5 кг/с. Результаты расчета в программе HYSYS представлены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты расчета химической и физической эксергии смеси газов

	HYSYS, кВт	Ali Ghannadzadeh [399], кВт	Kotas [391], кВт	Погрешность, % Ali Ghannadzadeh	Погрешность %, Kotas
Химическая эксергия	697,0	697,7	698,4	0,10	0,20
Физическая эксергия	38,85	38,30	38,90	1,42	0,12

Отклонения значений эксергии могут быть вызваны рядом причин. Например, использование различных таблиц стандартной химической эксергии, или применением различных моделей для расчётов параметров.

Пример 2. Природный газ. Исходные данные для расчета представлены в Таблице 4.2. Этот поток находится в газообразном состоянии как при заданной температуре и давлении, так и при стандартных условиях.

Таблица 4.2 – Исходные данные для расчета эксергии природного газа и потока жидкость/газ

Природный газ		Жидкость/газ	
Параметр	Значение	Параметр	Значение
Массовый расход (кмоль/ч)	500	Молярный расход (моль/с)	1000
Молярная доля N ₂	0,001	Молярная доля H ₂ O	0,22
Молярная доля H ₂ S	0,01544	Молярная доля N ₂	0,75
Молярная доля CO ₂	0,02835	Молярная доля CO ₂	0,02
Молярная доля CH ₄	0,8982	Молярная доля NO	0,005
Молярная доля C ₂ H ₆	0,03098	Молярная доля CO	0,005
Молярная доля C ₃ H ₈	0,01479	T (°C)	150
Молярная доля i-C ₄ H ₁₀	0,0059	P (атм)	1
Молярная доля n-C ₄ H ₁₀	0,003	Модель	Соав-Редлих- Квонг
Молярная доля i-C ₅ H ₁₀	0,001		
Молярная доля n-C ₅ H ₁₀	0,0005		
Молярная доля H ₂ O	0,00086		
T (K)	303,15		
P (кПа)	6200		

Результаты расчетов эксергии представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Значения физической и химической эксергии для природного газа

	HYSYS, kW	(Farzad Abdollahi Demneh [398] kW	Отклонение, %
Химическая эксергия	120377,0	118437,1	1,6
Физическая эксергия	1372,7	1376,5	0,3

Пример 3. Жидкость/газ. Исходные данные для расчета приведены в Таблице 4.2. Результаты расчета представлены в Таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты расчета эксергии для потока жидкость/газ

Автор, ссылка	Физическая эксергия, кВт	Химическая эксергия, кВт	Эксергия смешения, кВт	Итоговая эксергия, кВт	Отклонение от HYSYS, %
Hinderlink [397]	2532,0	3123,0	-1678,0	3977,0	6,10
Farzad Abdollahi- Demneh [398]	1287,4	2446,3	Отдельно не рассчитывается	3733,7	0,39
Ali Ghannadzadeh [399]	Не приводится	Не приводится	Не приводится	3746,8	0,04
HYSYS	2488,4	2946	-1686	3748,4	-

Рассматривая пример № 3, необходимо отметить, что не все авторы эксергию смешения рассчитывают отдельно, они включают ее в состав химической эксергии, что несколько затрудняет сравнение отдельных компонентов эксергии, анализ возможен только по итоговому значению.

Отклонение значений эксергии, приведенных различными авторами, обусловлено следующими причинами:

- 1) выбором программного обеспечения, что определяет незначительные отличия в составе потоков (Таблица 4.5).
- 2) применением таблиц с различными значениями стандартной химической эксергии.

Таблица 4.5 – Сравнение состава потока при T_0, P_0

	HYSYS		ProSimPlus		Aspen Plus	
Фаза	Жидкость	Пар	Жидкость	Пар	Жидкость	Пар
Мольные доли						
H ₂ O	1,00	0,0309	1,00	0,0310	1,00	0,0227
N ₂	0,00	0,9318	0,00	0,9317	0,00	0,9398
CO ₂	0,00	0,0248	0,00	0,0248	0,00	0,0251
NO	0,00	0,0062	0,00	0,0062	0,00	0,0063
CO	0,00	0,0062	0,00	0,0062	0,00	0,0063

Значения химической и физической эксергии, выполненные в программе HYSYS, имеют незначительные отклонения от результатов, полученных другими авторами. Текущее состояние и перспективы развития информационных технологий, а в частности возможности использования распределенных многопроцессорных вычислительных мощностей позволяют проводить расчеты с довольно высокой точностью.

4.2 Категорирование веществ по способам хранения и перемещения

Для изучения явлений, связанных с процессами перемещения веществ, воспользуемся диаграммой состояния. Для упрощения будем рассматривать однокомпонентную систему, изменяющую свое состояние без химического превращения (Рисунок 4.7).

Кривые фазового равновесия показывают: АВ – соотношение между давлением пара и температурой для твердой фазы, ВС – соотношение между давлением пара и температурой для жидкой фазы. Точка С соответствует «критической температуре», выше которой вещество не может находиться в жидком состоянии. Точка С соответствует «критическому» давлению: при таком давлении еще сохраняется возможность сжижения газообразной фазы. В рассматриваемой точке физические свойства (плотность, вязкость, удельная энтальпия, и др.) жидкой и газообразной фаз имеют одинаковые значения, скрытая теплота парообразования (конденсации) равна нулю.

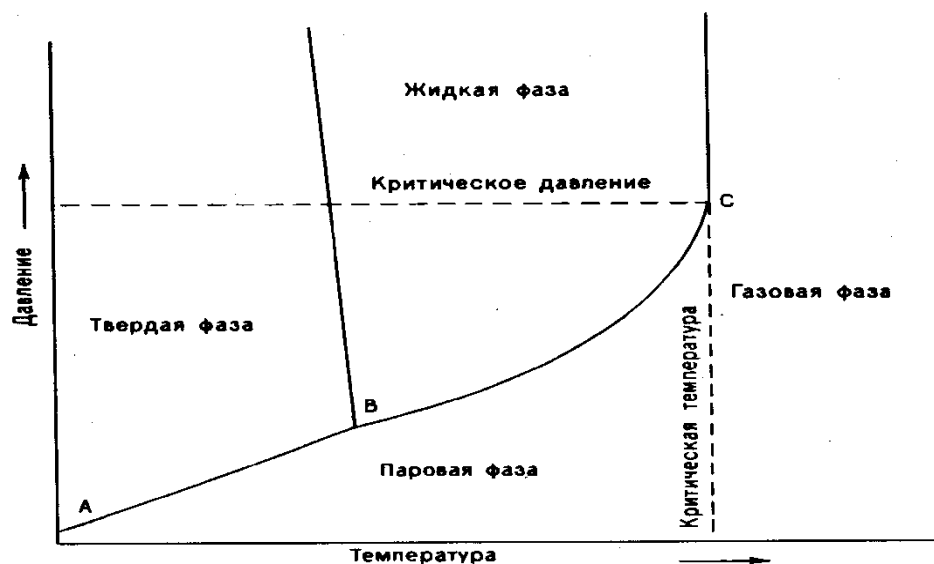


Рисунок 4.7 – Диаграмма состояния вещества

Газообразная фаза имеет подфазу, называемую «паровой», которая лежит области температур ниже критической и для перевода в жидкую фазу ее необходимо только сжать. Газообразная фаза, находящаяся выше критической температуры, не имеет специального названия. В XIX веке считали, что такие газы (к ним относили кислород и азот) могут быть сжижены только с помощью повышения давления и названы «постоянными» («перманентными»), что было обусловлено значительным превышением рабочих температур по отношению к критическим [45]. В настоящее время такие газы успешно сжижаются с использованием процессов предварительного охлаждения газа до температур меньше критических.

В современной литературе термины «пар» и «газ» не всегда используются в строго установленном значении этих слов, что не совсем удобно. Например, сжиженный нефтяной газ (СНГ) фактически является сжиженным нефтяным паром. Сжиженный природный газ (СПГ) – это газ. Кроме того, под взрывом парового облака может подразумеваться и взрыв горючего газа, например, метана [45].

Основой для определения характера технологии перемещения веществ являются свойства рассматриваемого вещества (определяемых диаграммой состояния) в диапазоне температур окружающей среды.

В соответствии с [45], по способам хранения и перемещения все вещества могут быть разделены на четыре основные категории:

1) газы – вещества, у которых температура кипения $T_{\text{кип}}$ ниже критической температуры $T_{\text{кр}}$; $T_{\text{кр}}$ ниже температуры окружающей среды $T_{\text{окр}}$:

$$T_{\text{кип}} < T_{\text{кр}} < T_{\text{окр}}. \quad (4.9)$$

Вещества, подобные «перманентным» газам и находящиеся в жидком виде часто называют «криогенными веществами», среди которых наиболее важным с точки зрения основных опасностей является СПГ. В эту категорию попадают атмосферные газы, например, азот, кислород. Перемещение веществ этой категории основывается на их сжижении. Их поведение при аварийном разливе зависит от интенсивности подвода тепла от окружающей среды.

2) пары - вещества, у которых $T_{\text{кр}}$ выше, а $T_{\text{кип}}$ ниже $T_{\text{окр}}$:

$$T_{\text{кип}} < T_{\text{окр}} < T_{\text{кр}}. \quad (4.10)$$

Для получения сжиженного газа эти вещества достаточно только сжать. К ним относятся хлор, аммиак, СНГ, пропан, бутан. Их характеризует способность к «мгновенному испарению» - при разгерметизации оборудования часть жидкости мгновенно испаряется, а другая охлаждается до $T_{\text{кип}}$ при атмосферном давлении. Могут образовываться паровые облака, которые составляют значительную часть проблем в области основных химических опасностей. Такие вещества транспортируются и хранятся под давлением при окружающей температуре, однако могут транспортироваться и храниться их в охлажденном состоянии.

3) жидкости и твердые вещества – у которых критическое давление выше атмосферного: $T_{\text{кип}} > T_{\text{окр}}$.

Некоторые жидкие вещества могут входить как во вторую, так и в третью категорию в зависимости от температуры окружающей среды. Например, в холодную погоду при атмосферном давлении бутан – жидкость ($T_{\text{кип}} = -0,5^{\circ}\text{C}$), при температуре более $-0,5^{\circ}\text{C}$ – пар. В эту категорию попадают вещества, находящиеся при окружающей температуре в твердом состоянии.

Наиболее опасными из них считаются взрывчатые вещества и вещества, находящиеся в воздухе в диспергированном виде.

4) вещества, содержащиеся при повышенных температурах.

Распределение нефтяных грузов по категориям при температуре окружающего воздуха 20°C представлено в Приложение Б, Таблица Б1. Значения критических температур веществ и температур кипения определены по данным [400-402].

4.3 Эксергетический подход к оценке пожарной опасности нефтяных грузов железнодорожного транспорта

4.3.1 Исследование и оценка зависимостей показателей пожарной опасности нефтяных грузов от химической эксергии

Энергетический потенциал горючих веществ оценивается величиной теплоты сгорания. Ее можно определить экспериментально и расчетными методами. Данные о теплоте сгорания используют при расчете пожарной нагрузки и категорировании помещений по взрывопожарной и пожарной опасности [403].

Используя значения, представленные в Приложении Б, Таблица Б1, нами была установлена зависимость между химической эксергией, $e_{\text{хим}}$ и низшей теплотой сгорания $Q_{\text{н}}$ углеводородов, являющихся компонентами газообразного и жидкого топлива, (Рисунок 4.8). Результаты изложены в работе [367]. Значения $Q_{\text{н}}$ были определены по Справочнику [404], $e_{\text{хим}}$ – по литературным источникам [405-407].

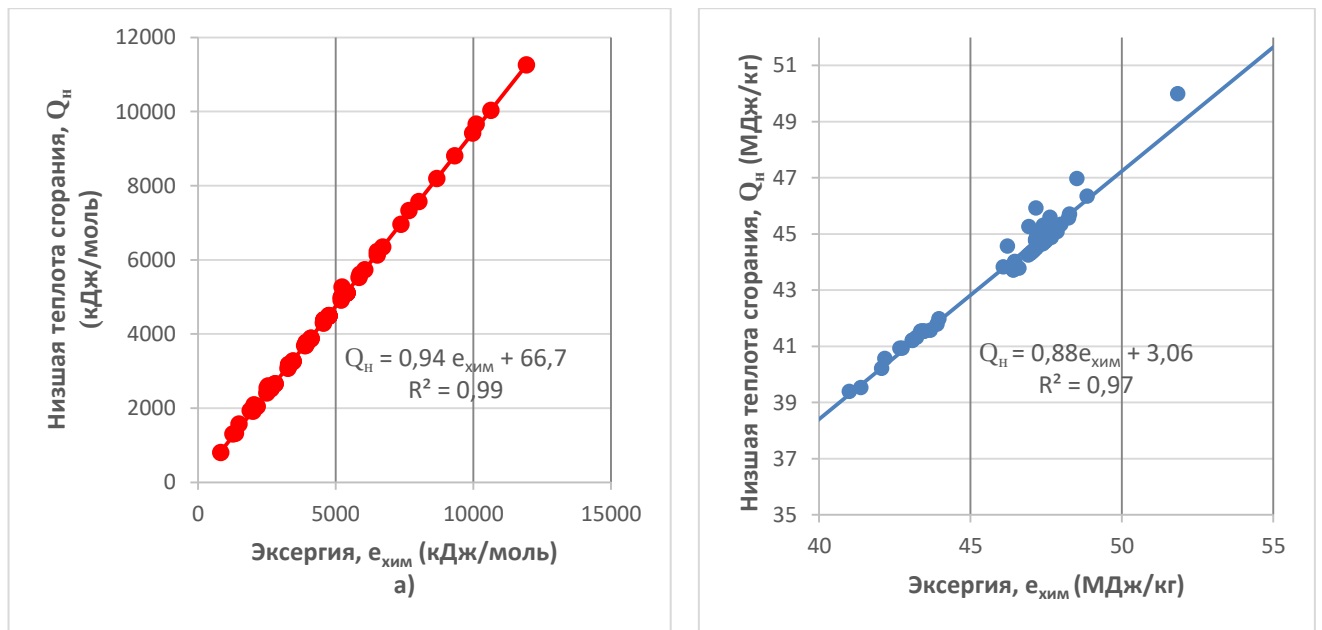


Рисунок 4.8 – Зависимость значений Q_H и $e_{хим}$ выраженных в кДж/моль (а); МДж/кг (б) для углеводородов

Значения Q_H варьируются от 802.0 (метан) до 11263.0 кДж/моль (н-октадекан), при этом e_x изменяется от 831,7 (метан) до 11937,4 кДж/моль (н-октадекан).

$$Q_H = 0,937e_x + 66,7 \quad (831,7 \leq e_x \leq 11937,4)$$

Максимальная относительная погрешность при этом составляет 6%. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,999$.

Проверку значимости моделей регрессии проводили с использованием F-критерия Фишера (формула 4.11):

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \times \frac{(n-m-1)}{m}, \quad (4.11)$$

где m – количество факторов в уравнение регрессии,

n – число значений.

Степени свободы $k_1 = m$; $k_2 = (n - m - 1)$.

В рассматриваемом уравнении $n=72$; $m=1$. Подставляя данные в формулу 4.11 получаем:

$$F = \frac{0,999^2}{1-0,999^2} \times \frac{72-1-1}{1} = 34930.$$

При уровне значимости 0,05 табличное значение $F_{табл} = 3,98$. $F \gg F_{табл}$,

что свидетельствует о статистической значимости коэффициента детерминации и уравнения регрессии.

Были найдены зависимости между химической эксергией и показателями пожаровзрывоопасности веществ – компонентов топлив, обращающихся на железнодорожном транспорте. Результаты опубликованы в работах [367,408].

Значения температуры вспышки используются при определении степени опасности грузов. ЛВЖ относятся к третьему классу опасных грузов.

Подкласс 3.1. – ЛВЖ с температурой вспышки ($T_{всп}$) менее минус 18°C ,

подкласс 3.2. – $18^{\circ}\text{C} \leq T_{всп} < 23^{\circ}\text{C}$,

подкласс 3.3. – $23^{\circ}\text{C} \leq T_{всп} \leq 61^{\circ}\text{C}$ в закрытом тигле [37].

$T_{всп}$ может быть определена по стандартам [372, 409, 410]. $T_{всп}$ не является постоянным физико-химическим свойством испытуемых веществ или материалов, ее значения, найденные экспериментальным путем, зависят от аппаратного оформления, методики определения и могут иметь значительный разброс [411]. Кроме того, экспериментальные значения температуры вспышки найдены не для всех веществ. Основным назначением рассматриваемого показателя пожаровзрывоопасности во многих странах является его применение в качестве критерия при классификации воспламеняющихся жидкостей на ЛВЖ и ГЖ. В ГОСТ 12.1.044-2018 [372] изложены методы экспериментального определения температуры вспышки в закрытом и открытом тигле. Методы расчета и прогнозирования данного показателя являются предметом современных исследований.

Нами проанализирована связь между температурой вспышки для углеводородов различных классов и их химической эксергией (Рисунки 4.9, 4.10). С увеличением химической эксергии (кДж/кг) температура вспышки алканов уменьшается.

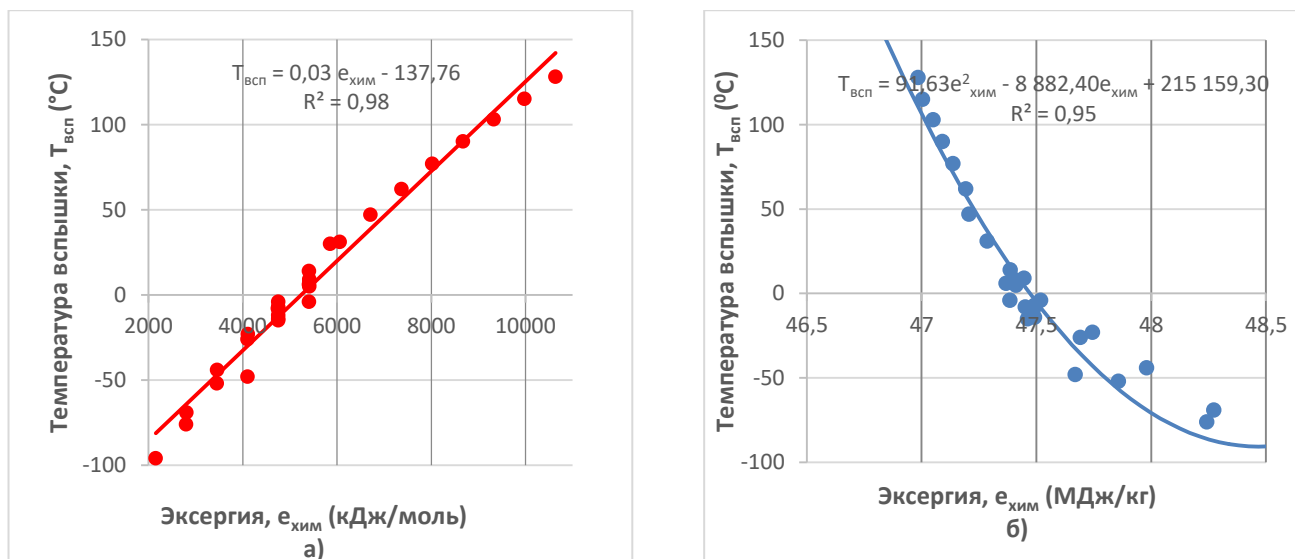


Рисунок 4.9 – Зависимость $T_{\text{всп}}$ от $e_{\text{хим}}$

На Рисунке 4.10 представлена зависимость температуры вспышки от химической эксергии для углеводородов, включающих классы алканов, алкенов, алкинов и карбоциклических соединений, построенная по данным Приложения Б, Таблица Б1. Как видно их графика, коэффициент детерминации $R^2 = 0,86$.

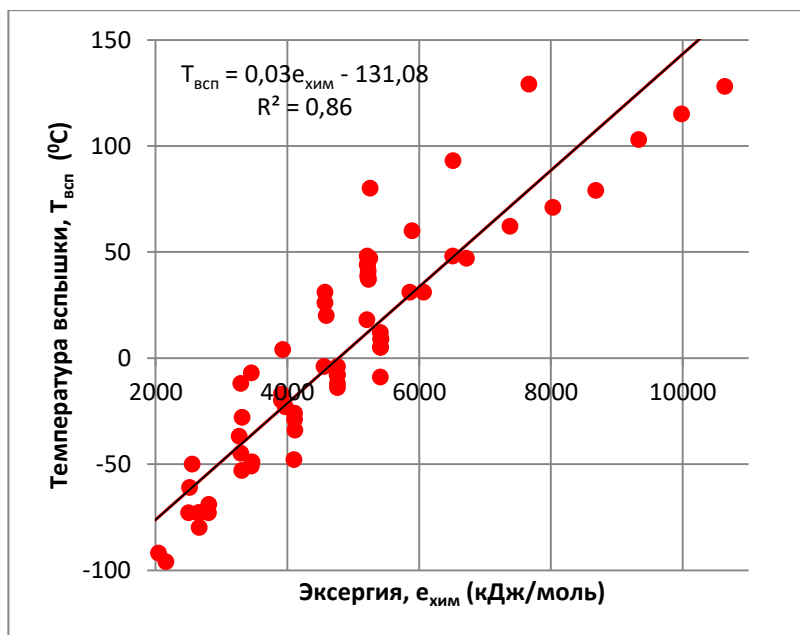


Рисунок 4.10 – Зависимость $T_{\text{всп}}$ от $e_{\text{хим}}$ для углеводородов

Важным показателем пожаровзрывоопасности являются концентрационные

пределы распространения (КПР) пламени. Они определяются экспериментально и расчетным путем. Существование пределов распространения пламени является фундаментальным свойством горючих смесей. КПР применяют при определении размеров взрывоопасных зон, расчете и обосновании взрывоопасных концентраций веществ внутри технологического оборудования, при определении категории помещений по взрывопожарной и пожарной опасности. Зависимость концентрационных пределов распространения пламени от величины химической эксергии для алканов представлена на Рисунке 4.11. Увеличение эксергии (Рисунок 4.11, б) приводит к увеличению области распространения пламени.

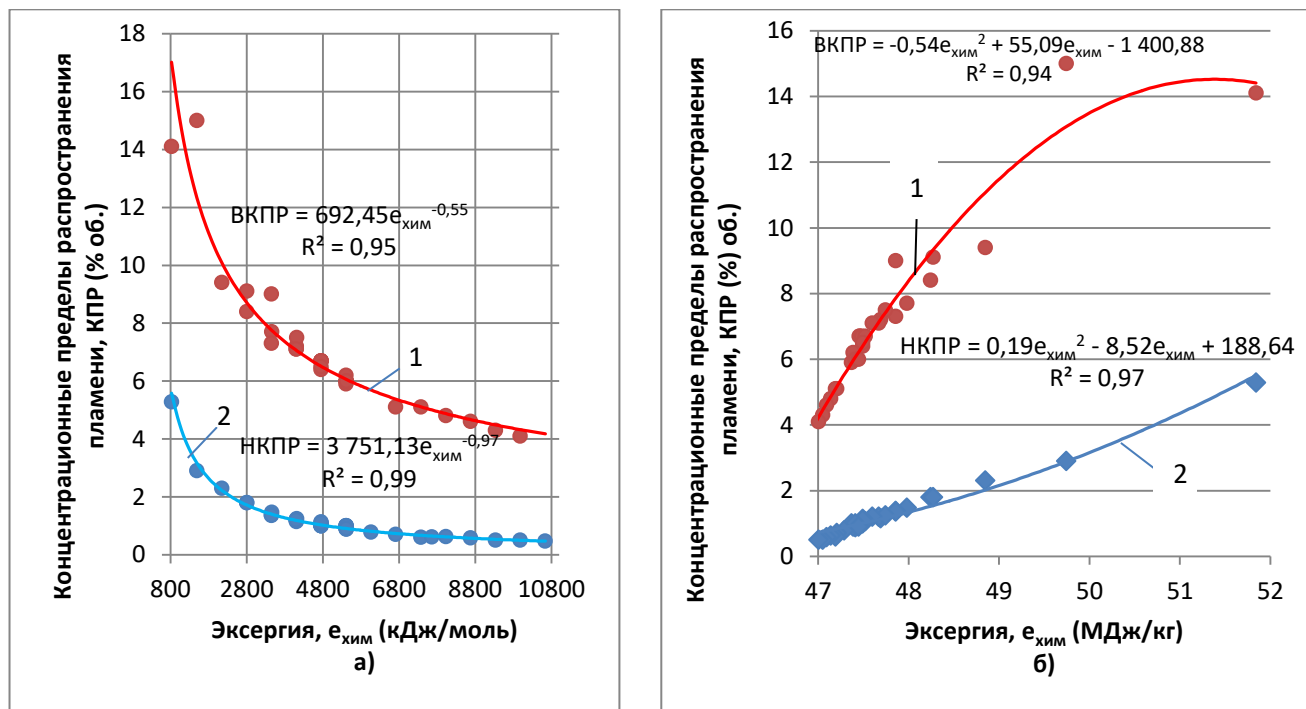


Рисунок 4.11 – Зависимость КПР от $e_{\text{хим}}$ для алканов

1 – VKPR; 2 – НКПР

Еще одним важным показателем пожаровзрывоопасности веществ являются температурные пределы распространения пламени (ТПР). Их учитывают при расчёте пожаровзрывобезопасных температурных режимов работы технологического оборудования; при оценке аварий, связанных с проливом горючих и легковоспламеняющихся жидкостей; при расчете КПР. Зависимость температурных пределов распространения пламени от величины удельной

химической эксергии для алканов приведена на Рисунке 4.12.

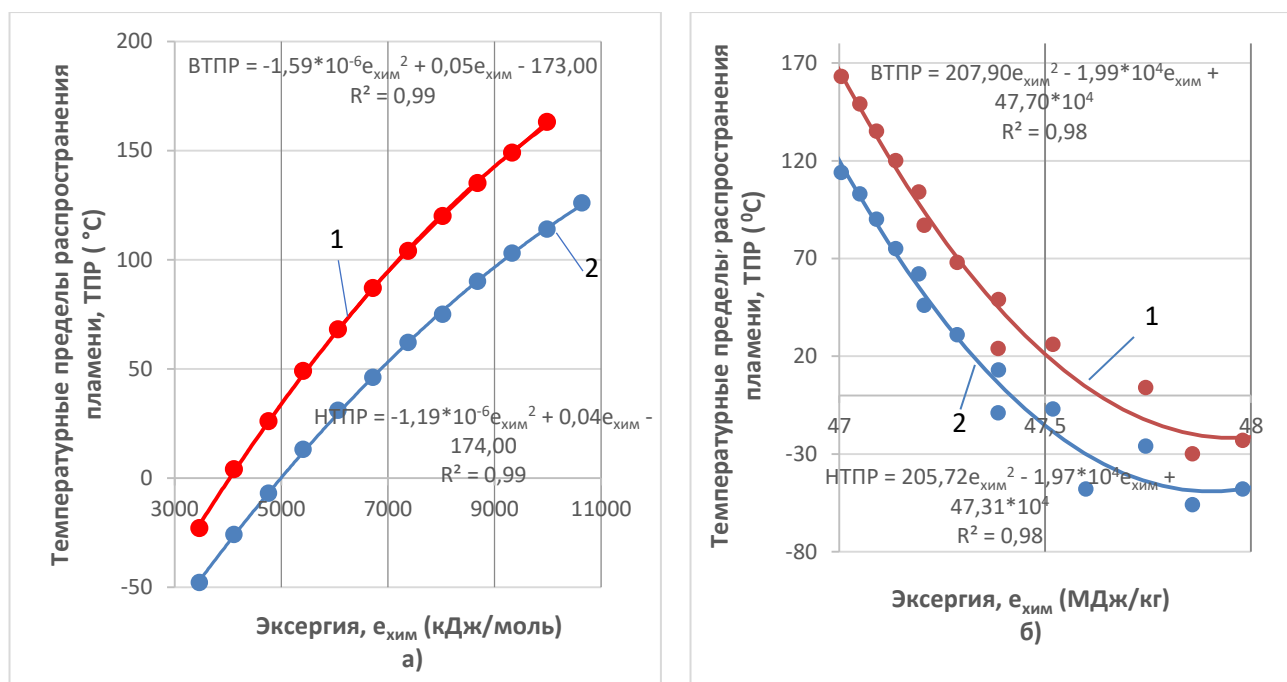


Рисунок 4.12 – Зависимость ТПР от $e_{\text{хим}}$ для алканов, выраженная в кДж/моль (а); МДж/кг (б)
1 – ВТПР; 2 – НТПР

Важным показателем пожаровзрывоопасности веществ является температура самовоспламенения ($T_{\text{св}}$), значения которой применяются для выбора типа взрывозащищенного оборудования, разработки мероприятий по обеспечению пожарной безопасности технологических процессов, включают в стандарты и технические условия на вещества.

Были установлены зависимости между эксергией и $T_{\text{св}}$ для компонентов топлив-алканов, обращающихся на ЖДТ (Рисунок 4.13).

Изменение $T_{\text{св}}$ в гомологическом ряду алканов имеет сложный характер, но подчиняется общей закономерности: увеличение длины цепи сопровождается снижением $T_{\text{св}}$ (до C_8 - C_{10}), затем небольшим увеличением [404]. Подобную тенденцию имеет изменение температуры самовоспламенения в зависимости от эксергии. При увеличении числа углеводородных атомов в цепи эксергия

(кДж/моль) растет, $T_{\text{св}}$ сначала уменьшается, затем наблюдается небольшое увеличение (Рисунок 4.13, а).

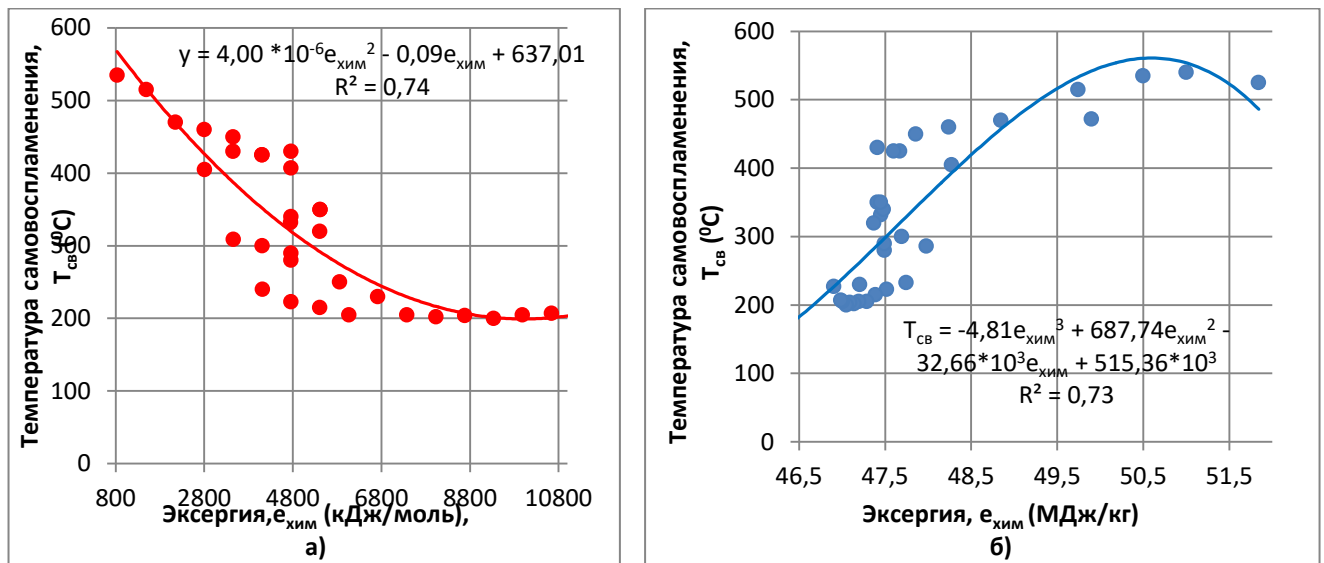


Рисунок 4.13 – Зависимость $T_{\text{св}}$ от $e_{\text{хим}}$ для алканов

1 – ВТПР; 2 – НКПР

В Таблице 4.6 представлены регрессионные уравнения, полученные для расчета показателей пожарной опасности веществ – компонентов жидких и газообразных топлив, применяемых и преревозимых на железнодорожном транспорте.

Таблица 4.6 – Регрессионные уравнения для расчета показателей пожарной опасности компонентов жидких и газообразных топлив

№ п/п	Показатель	Уравнение регрессии*	R^2
Алканы			
1.	Твсп	$T_{\text{всп}} = 0,03 e_{\text{хим}} - 137,76$	0,98
2.	НКПР	$\text{НКПР} = 3751,13 e_{\text{хим}}^{-0,97}$	0,99
3.	ВКПР	$\text{ВКПР} = 692,45 e_{\text{хим}}^{-0,55}$	0,95
4.	НТПР	$\text{НТПР} = -1,19 \cdot 10^{-6} e_{\text{хим}}^2 + 0,04 e_{\text{хим}} - 174,00$	0,99
5.	ВТПР	$\text{ВТПР} = -1,59 \cdot 10^{-6} e_{\text{хим}}^2 + 0,05 e_{\text{хим}} - 173,00$	0,99
6.	$T_{\text{св}}$	$T_{\text{св}} = 4,00 \cdot 10^{-6} e_{\text{хим}}^2 - 0,09 e_{\text{хим}} + 637,01$	0,74

Продолжение таблицы 4.6

№ п/п	Показатель	Уравнение регрессии*	R^2
Алканы и циклоалканы			
7.	Т _{всп}	$T_{всп} = -1,35 \cdot 10^{-6} e_{хим}^2 + 0,04 e_{хим} - 171,00$	0,99
8.	НКПР	$НКПР = 5628,00 e_{хим}^{-1,02}$	0,99
9.	ВКПР	$ВКПР = 1030,00 e_{хим}^{-0,60}$	0,97
10.	НТПР	$НТПР = -6,27 \cdot 10^{-7} e_{хим}^2 + 0,03 e_{хим} - 135,00$	0,99
11.	ВТПР	$ВТПР = -5,85 \cdot 10^{-7} e_{хим}^2 + 0,03 e_{хим} - 113,00$	0,99
12.	Т _{св}	$T_{св} = 6,83 \cdot 10^{-6} e_{хим}^2 - 0,11 e_{хим} + 632,00$	0,75
Ароматические			
13.	Т _{всп}	$T_{всп} = -1,46 \cdot 10^{-6} e_{хим}^2 + 0,04 e_{хим} - 130,00$	0,93
14.	НКПР	$НКПР = 2,88 \cdot 10^{-8} e_{хим}^2 - 5,24 \cdot 10^{-4} e_{хим} + 2,90$	0,98
15.	ВКПР	$ВКПР = 1,94 \cdot 10^{-7} e_{хим}^2 - 2,58 \cdot 10^{-3} e_{хим} + 14,20$	0,81
16.	НТПР	$НТПР = -4,94 \cdot 10^{-6} e_{хим}^2 + 0,07 e_{хим} - 189,00$	0,96
17.	ВТПР	$ВТПР = -3,58 \cdot 10^{-6} e_{хим}^2 + 0,06 e_{хим} - 157,00$	0,93
Карбоциклические (циклоалканы и ароматические)			
18.	Т _{всп}	$T_{всп} = 7,25 \cdot 10^{-6} e_{хим}^2 + 0,10 e_{хим} - 276,00$	0,79
19.	НКПР	$НКПР = 4,08 \cdot 10^{-8} e_{хим}^2 - 6,93 \cdot 10^{-4} e_{хим} + 3,40$	0,70
20.	ВКПР	$ВКПР == 3,31 \cdot 10^{-7} e_{хим}^2 - 4,08 \cdot 10^{-3} e_{хим} + 18,30$	0,76
21.	НТПР	$НТПР = -0,58 \cdot 10^{-6} e_{хим}^2 + 0,04 e_{хим} - 143,00$	0,74
22.	ВТПР	$ВТПР = -0,92 \cdot 10^{-6} e_{хим}^2 + 0,04 e_{хим} - 133,0$	0,72
Углеводороды (алканы, алкены, алкины, карбоциклические)			
23.	Т _{всп}	$T_{всп} = 0,03 e_{хим} - 131,08$	0,86
24.	Q _H	$Q_H = 0,94 e_x + 66,70$	0,99

Примечание: *- $e_{хим}$ представлена в кДж/моль.

Проверка значимости моделей регрессии, проведенная с использованием F-критерия Фишера по формуле 4.11 показала, что $F > F_{табл}$, что свидетельствует о статистической значимости коэффициентов детерминации и уравнений регрессии, представленных в Таблице 4.6.

Низкое значение $R^2=0,37$ и $F < F_{табл}$ получено для температуры самовоспламенения ароматических соединений, что связано с недостаточным

объемом данных по рассматриваемому показателю. Поэтому уравнения регрессии для расчета $T_{св}$ для ароматических углеводородов в Таблице 4.6 не приведены.

Вследствие расширения спектра обращающихся веществ и материалов экспериментальное определение показателей пожаровзрывоопасности часто затруднительно, поэтому используют расчетные методы их определения. Найдены зависимости между химической эксергией и показателями пожаровзрывоопасности веществ, являющихся компонентами топлив, обращающихся на железнодорожном транспорте.

4.3.2 Классификация опасных грузов по эксергетическому показателю

Проанализировав химические, физические и пожароопасные свойства веществ – грузов железнодорожного транспорта, соотнеся их с химической эксергией [46; 400–404, 409–412], принимая во внимание, что 1) низшая теплота сгорания условного топлива составляет 29,3 МДж/кг, 2) невзрывоопасные вещества при значении $Q_n \leq 2,1$ МДж/кг можно отнести к негорючим [412]; 3) минимальное значение теплоты сгорания, при котором вещества и материалы могут сгорать без дополнительного топлива составляет примерно 3,35 МДж/кг [54] предлагается принять следующую классификацию веществ по эксергетическому показателю (Таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Классификация грузов по эксергетическому показателю

Группа горючести	Значение химической эксергии, $e_{хим}$, МДж/кг	Значение эксергетического показателя	Характеристика	Класс
негорючие	$e_{хим} < 3$	$P_э < 0,1$	Негорючие	Э0
трудногорючие	$3 \leq e_{хим} < 15$	$0,1 \leq P_э < 0,5$	Вещества и материалы с низким значением эксергетического показателя	Э1
горючие	$15 \leq e_{хим} < 30$	$0,5 \leq P_э < 1$	Вещества и материалы со средним значением эксергетического показателя	Э2
	$e_{хим} \geq 30$	$P_э \geq 1$	Вещества и материалы с высоким значением эксергетического показателя	Э3

Расчет эксергетического показателя проводили по формуле:

$$P_э = \frac{e_{хим}}{30}, \quad (4.12)$$

где $e_{хим}$ – химическая эксергия груза, МДж/кг;

30 – минимальная химическая эксергия груза, относящегося к классу Э3, Дж/кг.

Нефть и нефтепродукты относятся к категории Э3, т.е. вещества и материалы с высоким значением эксергии.

Для нефтяных грузов класса Э3 были сопоставлены значения эксергии, класс опасных грузов, определенный по ГОСТ 19433-88 [37], температуры кипения и вспышки (Приложение Б, Таблица Б1). В ходе проведенного анализа были сделаны следующие выводы и предложения:

- 1) пары имеют большее значение эксергии (кДж/моль), чем газы;
- 2) ЛВЖ с низкими температурами кипения (менее 35⁰С) в процессе перевозки могут перейти в парообразное состояние; они обладают высокими значениями эксергии. С учетом условий перевозки присвоить им класс опасности 2 и рассматривать как пары (например, 3-метил-1-бутен; пентен-1); предлагаемые классы опасности представлены в Приложении Б, Таблица Б1. Соотношения класса опасных грузов и эксергии нефтепродуктов приведены на Рисунке 4.14.
- 3) из рассмотренных веществ к 4 классу опасных грузов относится только одно вещество – нафталин, поэтому относительно изменения эксергии данного класса веществ выводы будут сделаны в дальнейшем при рассмотрении твердых веществ и материалов;
- 4) определение класса опасных грузов с учетом эксергии рекомендуется проводить по Таблице 4.8.

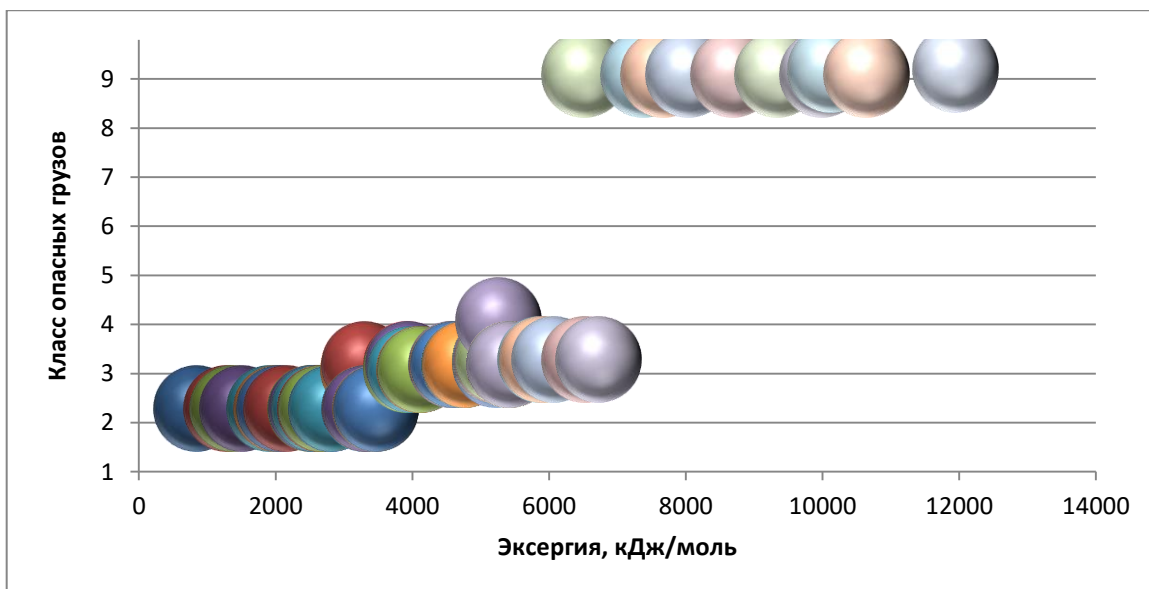


Рисунок 4.14 – Соотношения класса опасных грузов и эксергии нефтепродуктов

Таблица 4.8 – Критерии отнесения нефтяных грузов к классу, подклассу

Номер		Наименование подкласса	Эксергия		$T_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	$T_{\text{всп}} (\text{з.т.}), ^\circ\text{C}$
Класс	Подкласс		кДж/моль	Мдж/кг		
2	2.3	Газ	≤ 1500	≥ 30	≤ 35 $T_{\text{кип}} < T_{\text{кр}} < T_{\text{окр}}$	-
	2.3	Пар	$1000 < e_{\text{хим}} \leq 3500$	≥ 30	≤ 35 $T_{\text{кип}} < T_{\text{окр}} < T_{\text{кр}}$	-
3	3.1	ЛВЖ	3200	≥ 30	> 35	$T_{\text{всп}} < -18$
	3.2		$< e_{\text{хим}}$			$-18 \leq T_{\text{всп}} < 23$
	3.3		≤ 6700			$23 \leq T_{\text{всп}} \leq 61$
9	9.1	ГЖ и горючие твердые вещества	> 5000	≥ 30	-	$61 < T_{\text{всп}} \leq 90$

В аварийной карточке [413, 414] необходимо указать класс в соответствии с эксергетическим показателем. В характеристику опасного груза в целях его классификации либо реклассификации необходимо включить значение эксергетического показателя и отнести рассматриваемый груз к соответствующему классу (Приложение В).

При ликвидации пожаров обязательно предусмотреть мероприятия по защите соседних объектов и предотвращения каскадного развития ЧС.

Предлагаемый эксергетический подход позволяет комплексно проводить энергоэкологическую оценку и определение пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте. Кроме того, он дает возможность выявить связи термодинамических характеристик с технико-экономическими, экологическими показателями и провести оценку пожаровзрывоопасности обращающихся на железнодорожном транспорте веществ и материалов.

Использование эксергетического подхода определяется его универсальностью и возможностью преодоления методологических проблем при необходимости учета различных показателей в единой системе. Полученные зависимости позволяют ранжировать обращающиеся на железнодорожном транспорте вещества топливно-энергетического назначения по показателям их энергетической эффективности и пожарной опасности.

4.3.3 Эксергетическая оценка пожарной опасности перевозок сжиженных газов на железнодорожном транспорте

СПГ (Liquefied Natural Gas, LNG) – криогенная жидкость, не имеющая запаха и цвета, в основном состоящая из метана, может содержать небольшие количества этана, пропана, бутана, азота и других компонентов природного газа [415]. По классификации В.К. Маршалла [45], СПГ относится к веществам первой категории – «перманентным» газам. Температура кипения СПГ при атмосферном давлении находится в диапазоне от -167°C до -157°C в зависимости от компонентного состава, критическая температура составляет $-82,0^{\circ}\text{C}$ (Приложение Б, Таблица Б1).

Охлажденный до -162°C природный газ, хранится и транспортируется в сжиженном виде. При сжижении объем СПГ уменьшается в 600 раз, что облегчает его хранение и обеспечивает возможность транспортировки на большие расстояния. Однако, при авариях на транспорте, сопровождающихся разливом СПГ, его объем возрастает в 600 раз. Примеры СПГ различных составов приведены в Таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Примеры составов сжиженного природного газа [415]

Свойства при температуре кипения при нормальном давлении	СПГ-1	СПГ-2	СПГ-3
Молярная доля, %:			
N ₂	0,13	1,79	0,36
CH ₄	99,80	93,90	87,20
C ₂ H ₆	0,07	3,26	8,61
C ₃ H ₈	-	0,69	2,74
Изо -C ₄ H ₁₀	-	0,12	0,42
н-C ₄ H ₁₀	-	0,15	0,65
C ₅ H ₁₂	-	0,09	0,02
Молекулярная масса, г/моль	16,07	17,07	18,52
Температура кипения, °C	-161,9	-166,5	-161,3
Плотность, кг/м ³	422	448,8	468,7
Объем газа, получаемый из 1 м ³ СПГ при 0°C и 101,35 кПа, м ³ /м ³	588	590	568
Высшая теплота сгорания, МДж/м ³	37,75	38,76	42,59

Поведение СПГ при разлитии определяется интенсивностью подвода тепла от окружающей среды. При испарении СПГ образуется газ, первоначально имеющий плотность, превышающую аналогичный показатель окружающего воздуха, вследствие его низкой температуры. При прогреве плотность снижается, облако медленно поднимается вверх, оно достаточно долго может дрейфовать в атмосфере. Высокая влажность атмосферного воздуха способствует конденсации паров воды при смешивании с холодными парами СПГ и разогреванию смеси. Выделяют две фазы процесса рассеяния облака СПГ: гравитационное опускание и рассеивание, однако четкой границы между ними не существует.

СНГ (Liquified Petroleum Gas, LPG) относится ко второй категории по классификации Маршалла [45]. Только сжатие необходимо для сжижения таких веществ. В жидком состоянии они относятся к очень важной категории сжиженных газов. Следует отметить, что в России в нормативной литературе не применяется термин СНГ. Сжиженный пропан, бутан и их смеси со времен СССР называют сжиженными углеводородными газами (СУГ) [28, 416] Примеры составов СУГ приведены в Таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Примеры составов СУГ [416]

Состав	Массовая доля, %	
	СУГ - 1	СУГ - 2
Пропан	85±10	50±10
Непредельные углеводороды (C ₂ H ₄ , C ₃ H ₆ , C ₄ H ₈)	Не более 6	Не более 6
CH ₄ , C ₂ H ₆	Не нормируется	Не нормируется
Сумма углеводородов C ₄ и выше	Не нормируется	Не нормируется
Массовая доля серы и сернистых соединений	0,01	0,01
в том числе H ₂ S, не более	0,003	0,003

СУГ относятся к насыщенным кипящим жидкостям, обладающим способностью к "мгновенному испарению", которое происходит, когда в системе, содержащей жидкость, находящуюся в равновесии со своими парами, понижается давление. С увеличением температуры внешней среды до критической температуры компонентов газа, давление насыщенных паров резко возрастает. Критические температуры пропана и бутана составляют – 96,8°C; – 152,3°C соответственно [45]. Испаряясь, 1 л СУГ образуется около 270 л газа. При разгерметизации оборудования и понижении давления часть жидкости мгновенно испаряется, что обусловлено разностью упругости насыщенных паров вещества в емкости и парциального давления в воздухе, а оставшаяся охлаждается до температуры кипения при атмосферном давлении. Паровые облака, образующиеся в процессе «мгновенного испарения», составляют значительную часть проблем в области основных химических опасностей.

В целом технологии СПГ менее опасны, чем технологии СУГ [28]. Это объясняется физическими свойствами СПГ, в состав которого входит, в основном, метан – легкий газ, имеющий относительную плотность по воздуху 0,55, что при возникновении утечки способствует его рассеиванию. Пары СУГ тяжелее воздуха, находятся у поверхности земли (относительная плотность по воздуху пропана составляет 1,52). Природный газ имеет более высокую $T_{св}$, минимальную энергию зажигания по сравнению с пропаном и бутаном. Природный газ имеет

более высокий НКПР, поэтому при утечке требуется его большая концентрация для возникновения горения. СПГ обладает более низкими значениями нормальной скорости распространения пламени и максимального давления взрыва, чем СУГ (Таблица 4.11).

Таблица 4.11 – Основные показатели пожаровзрывоопасности газов

Газы	$T_{св},$ °C	Мин. энергия зажигания, МДж	КПР, % об.	Норм. скорость распространения пламени, м/с	Макс. давление взрыва, кПа
Метан	535	0,28	5,28-14,1	0,34	706
Пропан	470	0,25	2,3-9,4	0,39	843
Бутан	405	0,25	1,8-9,1	0,45	843

Однако обращение сжиженных газов, в т.ч. и СПГ, несет потенциальную опасность, особенно при утечке рассматриваемых продуктов. Причины утечек можно разделить на две группы: внутренние повреждения (например, неисправность предохранительных клапанов, ошибки персонала) и внешние (например, стихийные бедствия, транспортные катастрофы). Внешние опасности носят более случайный характер и труднее поддаются контролю и оценке.

Значения эксергии были рассчитаны с помощью программного комплекса [396] и приведены на Рисунке 4.15 и в Таблице 4.12. Параметры окружающей среды: $T_0 = 20^\circ\text{C}$ и $p_0 = 101,3$ кПа. За параметры системы принимали: 1) температуру T ($^\circ\text{C}$) и давление, p (кПа), соответствующие условиям перевозки сжиженных газов; 2) $T=0^\circ\text{C}$ и $p=101,3$ кПа – усреднённые условия, при которых происходит смешение газа с воздухом и образование взрывоопасных концентраций в случае разлива сжиженных газов при их транспортировке.

	Unit	LNG-1	LNG-1 OUT	LNG-2	LNG-2 OUT	LNG-3	LNG-3 OUT	LPG-1	LPG-1 OUT	LPG-2	LPG-2 OUT	Benzene
Vapour Fraction		0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
Temperature	C	-162	1511,915	-162	1423,829	-162	1315,002	0	1786,002	0	1896,74	1000
Pressure	kPa	101,325	101,325	101,325	101,325	101,325	1600	101,325	1600	101,325	101,325	101,325
Molar Flow	kgmole/h	3600	53600,6	3600	53600,56	3600	53600,52	3600	107077,3	3600	107595,2	3600
Mass Flow	kg/h	57845,81	1498366	61459,68	1501980	66686	1507206	160938,8	3041976	176010,6	3057038	281196
Std Ideal Liq Vol Flow	m ³ /h	192,8943	1790,418	196,8195	1798,678	207,4314	1814,213	315,7631	3675,784	333,3724	3707,13	318,7477
Heat Flow	kJ/h	-3,4E+08	-3,4E+08	-3,4E+08	-3,4E+08	-3,6E+08	-3,6E+08	-4,2E+08	-4,2E+08	-4,5E+08	-4,5E+08	9,19E+08
Liquid Fraction		1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
Light Liquid Fraction		1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0
Heavy Liquid Fraction		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vap Frac on a Mass Basis		0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
Vap Frac on a Volume Basis		0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1
Molar Volume	m ³ /kgmole	0,031597	146,496	0,032303	139,2687	0,033903	130,3396	0,083581	168,9854	0,088379	178,0714	104,4627
Actual Volume Flow	m ³ /h	113,7486	7852272	116,2919	7464882	122,0525	6986269	300,8899	18094498	318,165	19159625	376065,7
Power	kW	-95108,9	-95222,3	-95102,6	-95215,9	-98962,8	-99076,2	-115907	-116134	-125508	-125735	255185,2
Actual Gas Flow	ACT_m3/h	<empty>	7852272	<empty>	7464882	<empty>	6986269	<empty>	18094498	<empty>	19159625	376065,7
Actual Liquid Flow	m ³ /s	0,031597	<empty>	0,032303	<empty>	0,033903	<empty>	0,083581	<empty>	0,088379	<empty>	<empty>
Liq Vol Flow @Std Cond	m ³ /h	84907,63	1263756	84888,81	1263917	84837,22	1264083	314,5373	2524463	331,3467	2536215	318,518
Std Gas Flow	STD_m3/h	85119,97	1267356	85119,97	1267355	85119,97	1267354	85119,97	2531782	85119,97	2544027	85119,97
Molecular Weight		16,06828	27,95427	17,07213	28,02172	18,52389	28,11924	44,70522	28,40916	48,89183	28,41241	78,11
Mass Density	kg/m ³	508,5407	0,190819	528,4948	0,201206	546,3714	0,215738	534,8759	0,168116	553,2054	0,159556	0,747731
Std Ideal Liq Mass Density	kg/m ³	299,8835	836,8806	312,2642	835,0465	321,4847	830,7769	509,682	827,5721	527,97	824,6374	882,19
Molar Density	gmole/m ³	31,64873	0,006826	30,95658	0,00718	29,4955	0,007672	11,96451	0,005918	11,31488	0,005616	0,009573
Average Liquid Density	gmole/m ³	18,66307	29,93748	18,29087	29,79998	17,35514	29,54478	11,40095	29,13046	10,79874	29,02384	11,2942
Liq Mass Density @Std Cond	kg/m ³	0,681279	1,185645	0,724002	1,188353	0,786047	1,192331	511,6683	1,205	531,1976	1,205354	882,8262
Molar Heat Capacity	J/kgmole	72,76931	39,33632	73,69749	39,16747	76,15465	39,21986	110,909	42,24399	115,8514	43,91162	229,6262
Molar Enthalpy	kJ/kgmole	-95108,9	-6395,46	-95102,6	-6395,03	-98962,8	-6654,3	-115907	-3904,49	-125508	-4206,94	255185,2
Mass Enthalpy	kJ/kg	-5919,05	-228,783	-5570,63	-228,217	-5342,44	-236,646	-2592,7	-137,438	-2567,06	-148,067	3266,998
Molar Entropy	J/kgmole	-61,1524	220,6109	-61,8151	218,7887	-66,3189	216,8226	82,51674	228,1333	83,44438	231,1904	178,1028
Mass Entropy	kJ/kg-C	-3,80579	7,891848	-3,62082	7,807828	-3,58018	7,710828	1,845797	8,030272	1,706714	8,136953	2,280154
Thermal Conductivity	W/m-K	0,295501	0,095171	0,29532	0,095082	0,293	0,093719	0,107537	0,094078	0,102708	0,089556	0,117059
Viscosity	cP	57007371	0,069572	3,43E+08	0,067047	3,1E+10	0,063668	0,130434	0,077783	0,155718	0,080344	0,03172
Surface Tension	dyne/cm	33,63774	<empty>	34,20826	<empty>	35,39654	<empty>	9,922567	<empty>	10,75196	<empty>	<empty>
Specific Gravity rel Air	rel_to_air	<empty>	0,965139	<empty>	0,967467	<empty>	0,970834	<empty>	0,980844	<empty>	0,980956	2,696796
Watson K		19,49295	6,541449	18,93191	6,55044	18,84515	6,590131	14,6328	6,715342	14,31408	6,778685	9,727698
Kinematic Viscosity	cSt	1,12E+08	364,5985	6,49E+08	333,2276	5,68E+10	295,1159	0,243858	462,6735	0,281483	503,5437	42,42198
Cp/Cv		1,325471	1,267968	1,305397	1,269443	1,24473	1,26899	1,572594	1,245014	1,522325	1,233543	1,037726
Pressure specification		1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Flow rate specification		1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
Comp Mole Frac (CO)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comp Mole Frac (Methane)		0,998	0	0,939	0	0,872	0	0	0	0	0	0
Comp Mole Frac (Oxygen)		0	0,052507	0	0,060432	0	0,069432	0	0,026795	0	0,012647	0
Comp Mole Frac (Hydrogen)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comp Mole Frac (Nitrogen)		0,0013	0,746348	0,0179	0,747463	0,0036	0,746503	0	0,747124	0	0,743528	0
Comp Mole Frac (Methanol)		***	***	***	***	***	***	***	***	***	***	***
Comp Mole Frac (CO2)		0	0,067029	0	0,063067	0	0,058567	0	0,096224	0	0,105179	0
Comp Mole Frac (H2O)		0	0,134069	0	0,126144	0	0,117143	0	0,127535	0	0,136119	0
Comp Mole Frac (Ethane)		0,0007	4,70E-05	0,0326	0,00219	0,0861	0,005783	0	0	0	0	0
Comp Mole Frac (Propane)		0	0	0,0069	0,000463	0,0274	0,00184	0,861724	0	0,554367	0	0
Comp Mole Frac (i-Butane)		0	0	0,0012	0,006-05	0,0042	0,000282	0,069222	0	0,370112	0	0
Comp Mole Frac (n-Butane)		0	0	0,0015	0,000101	0,0065	0,000437	0	0	0	0	0
Comp Mole Frac (i-Pentane)		0	0	0,0009	6,04E-05	0,0002	1,34E-05	0	0	0	0	0
Comp Mole Frac (n-Pentane)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Comp Mole Frac (Propene)		0	0	0	0	0	0	0,021247	0,000714	0,023237	0,000777	0
Comp Mole Frac (Ethylene)		0	0	0	0	0	0	0,031871	0,001072	0,034856	0,001166	0
Comp Mole Frac (1-Butene)		0	0	0	0	0	0	0,015936	0,000536	0,017428	0,000583	0
Comp Mole Frac (Benzene)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Object is Ignored in Calculations		Not Ignored	Not Ignored	Not Ignored	Not Ignored	Not Ignored	Not Ignored	Not Ignored	Not Ignored	Not Ignored	Not Ignored	Not Ignored
User Variables (Chemical Exergy J)		830566,5	5638,099	854206,5	77478,6	942003,7	219812,4	2176005	150162,4	2369098	166113,1	3301300
User Variables (Physical Exergy N)		52682,5	514528,2	52927,97	473992,6	53610,96	427331,7	5313,366	1332057	4662,898	1473428	108497,4
User Variables (Total Exergy N)		883249	520166,3	907134,5	551471,2	995614,7	647144,1	2181318	1482219	2373761	1639541	3409797
User Variables (Chemical Exergy)		830566,5	378,674	854206,5	5203,732	942003,7	14763,37	2176005	5048,546	2369098	5557,937	3301300
User Variables (Physical Exergy)		39,40788	35644,27	40,3803	32937,34	42,70629	29855,25	80,81145	45279,68	87,87001	49826,5	108497,4
User Variables (Total Exergy)		830606	36022,94	854246,9	38141,07	942046,4	44618,63	2176086	50328,23	2369186	55384,44	3409797
User Variables (Physical Exergy Thermal)		39,40788	530701,4	40,3803	490397,4	42,70629	444507,6	80,81145	1346769	87,87001	1489175	108497,4
User Variables (Physical Exergy Mechanical)		0	8,130352	0	8,204693	0	8,289007	0	16,36243	0	16,27935	0,002167
Phase Higher Heating Value (Overall)	kJ/kgmole	884039,6	5571,129	907464,2	10325,21	996918,7	19945,39	2232899	9651,749	2426175	10394,57	3294000
Phase Lower Heating Value (Overall)	kJ/kgmole	802097,6	67,16054	824529,7	4754,607	908066,4	13977,36	2069506	4157,876	2250768	4525,372	3170970
Phase Mass Higher Heating Value (Overall)	kJ/kg	55017,69	199,2944	53154,7	368,4717	53818	709,3147	49947,18	339,7407	49623,31	365,8461	42171,3
Phase Mass Lower Heating Value (Overall)	kJ/kg	49918,07	2,402514	48296,81	169,6758	49021,37	497,0745	46292,27	146,3568	46035,67	159,2745	40596,21

Рисунок 4.15. – Результаты расчета характеристик СПГ и СУГ и продуктов их сгорания

Таблица 4.12 – Значение эксергии сжиженных углеводородных газов и продуктов их сгорания

Эксергия, кДж/моль	СПГ-1		СПГ-2		СПГ -3		СУГ -1		СУГ - 2	
	Исх. состав	Продукты сгорания	Исх. состав	Продукты сгорания	Исх. состав	Продукты сгорания	Исх. состав	Продукты сгорания	Исх. состав	Продукты сгорания
	T= -162 ⁰ C, p=101,325 кПа						T= 0 ⁰ C, p=1600 кПа			
Химическая	830,57	5,64	854,21	77,48	942,00	219,81	2176,01	150,16	2369,10	166,11
Физическая	17,39	169,79	17,47	156,40	17,69	141,02	5,31	1332,08	4,66	1473,43
Суммарная	847,95	175,43	854,21	233,88	959,69	360,83	2181,32	1482,22	2373,76	1639,54
	T= 0 ⁰ C, p=101,325 кПа						T= 0 ⁰ C, p=101,325 кПа			
Химическая	830,57	0,38	854,21	5,20	942,00	14,76	2176,01	5,05	2369,10	5,56
Физическая	0,039	35,64	0,040	32,94	0,043	29,86	0,080	45,28	0,088	49,83
Суммарная	830,61	36,02	854,25	38,14	942,05	44,62	2176,09	50,33	2369,19	55,39

Анализ данных, представленных в Таблице 4.12, позволяет сделать следующие заключения:

- физическая эксергия исходных веществ значительно меньше их химической эксергии. Значения физической эксергии уменьшаются в процессе распространения СНГ и СУГ при авариях (за счет прогрева облака СПГ и уменьшения давления СУГ до атмосферного);

- физическая эксергия продуктов сгорания значительно увеличивается по сравнению с физической эксергией исходных веществ. Например, физическая эксергия продуктов сгорания СПГ и СУГ возрастает в 500-900 раз по сравнению с исходными веществами при параметрах системы T=0⁰C, p=101,325 кПа. Это объясняется значительным повышением температуры при горении;

- физическая эксергия продуктов сгорания уменьшается при рассеивании;
- продукты сгорания несут тепловую нагрузку (определяется физической эксергией) и загрязнение окружающей среды (определяется химической эксергией)

эксергией).

Зависимость физической эксергии от температуры для СПГ и СУГ представлена на Рисунке 4.16.

При разгерметизации оборудования физическая эксергия СПГ снижается быстрее, чем СУГ. Точка резкого падения физической эксергии соответствует температурам кипения рассматриваемых продуктов при атмосферном давлении. При температуре 20°C физическая эксергия СПГ и СУГ равна нулю вследствие совпадения параметров системы с параметрами окружающей среды. Физическая эксергия продуктов сгорания СУГ выше физической эксергии продуктов сгорания СПГ, что объясняется более высокой температурой горения нефтяных газов.

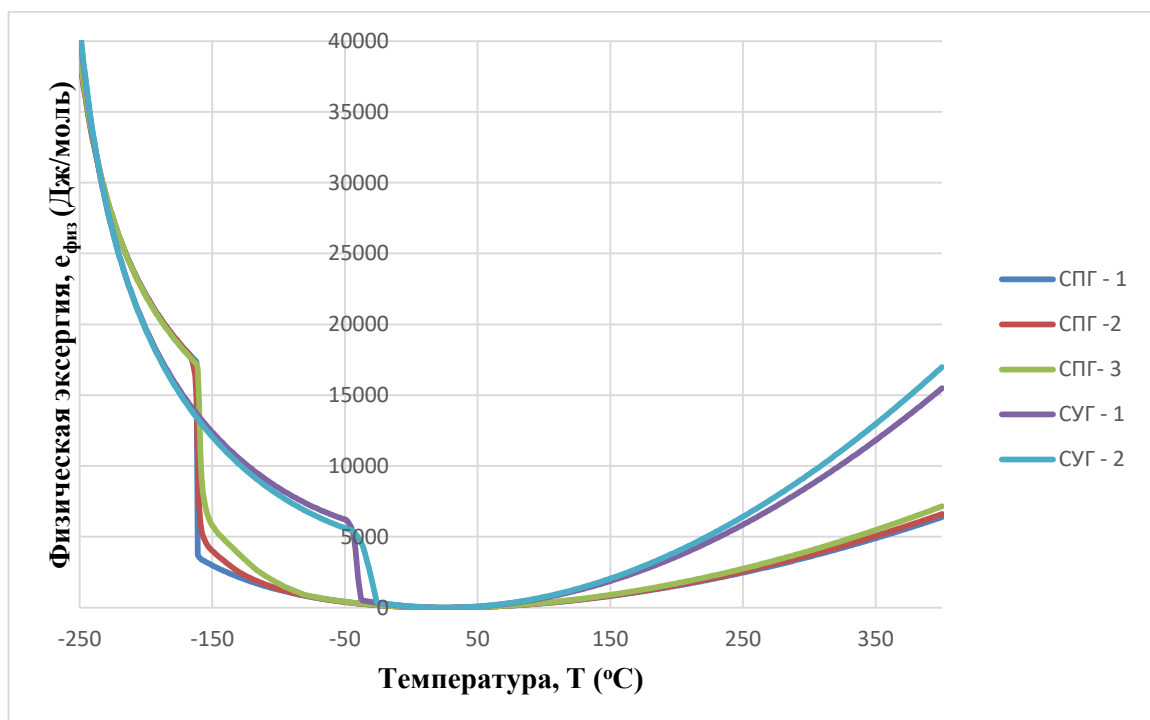
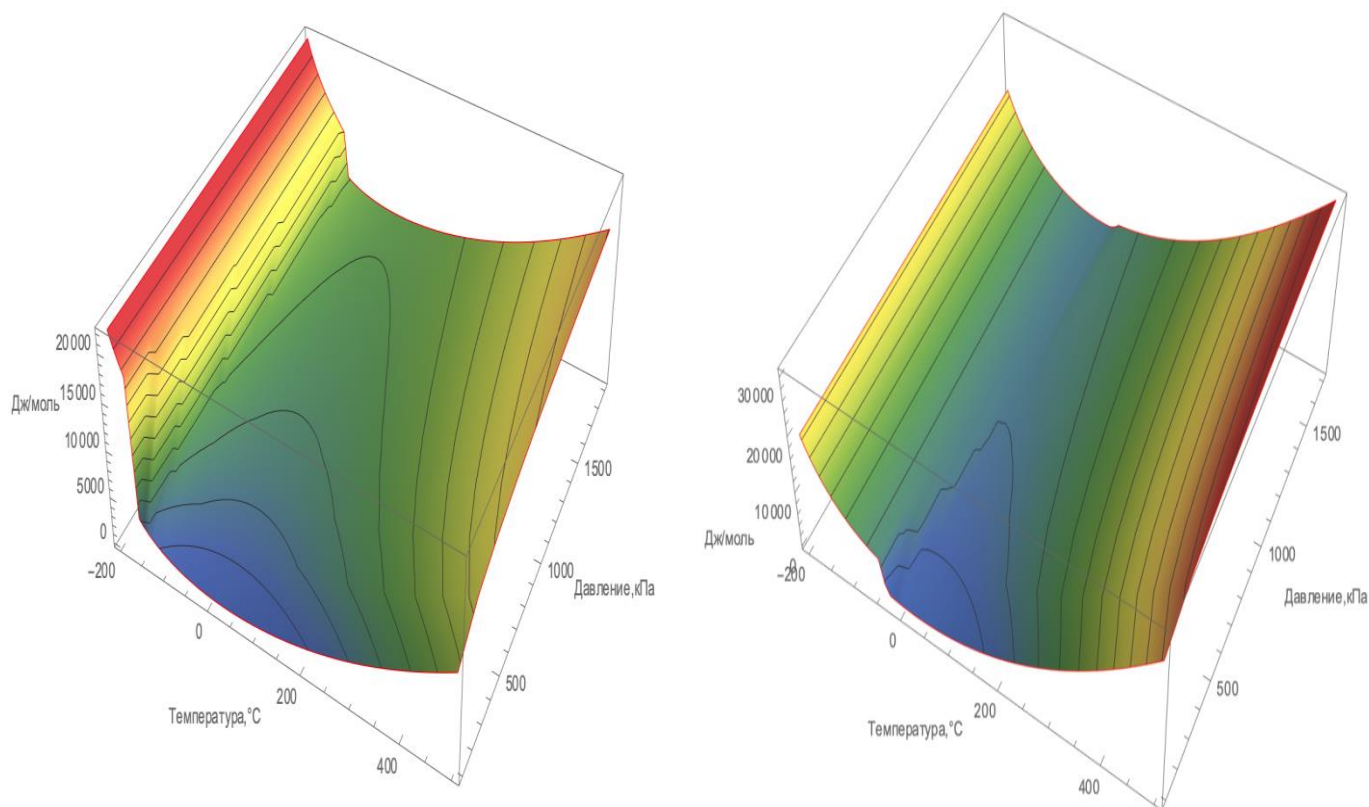


Рисунок 4.16 – Зависимость физической эксергии от температуры для СПГ и СУГ

Выполнено моделирование изменения физической эксергии при одновременном изменении температуры и давления [395], что показано на Рисунке 4.17.



а)

б)

Рисунок 4.17 – Зависимость физической эксергии (Дж/моль) сжиженных газов от температуры и давления

а) СПГ; б) СУГ

Исходная химическая эксергия СУГ примерно в 2,5-3 раза выше, чем эксергия СПГ. В связи с незначительным вкладом физической эксергии при параметрах системы $T = 0^\circ\text{C}$ и $p = 101,3 \text{ кПа}$, суммарная эксергия СУГ при рассматриваемых условиях также в 2,5-3 раза выше эксергии СПГ (Рисунок 4.18).

Теплота сгорания, характеризующая процессы горения с энергетической стороны, является наиболее важной теплотехнической характеристикой горючего вещества. Удельная теплота сгорания входит в перечень показателей, необходимых для оценки пожарной опасности веществ [24].

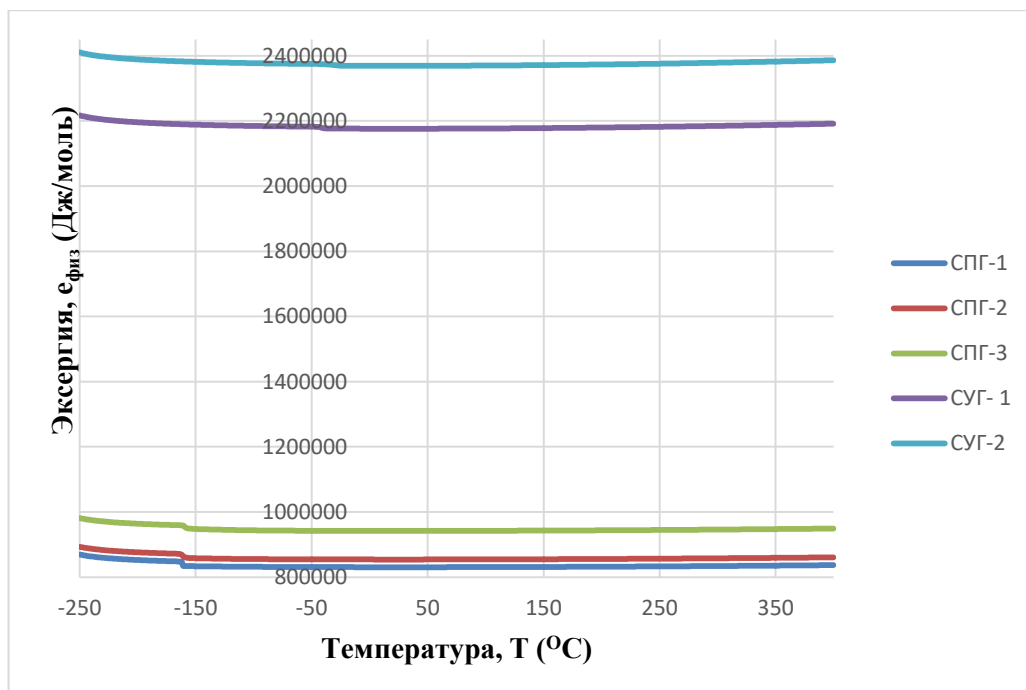


Рисунок 4.18 – Зависимость суммарной эксергии СПГ и СУГ от температуры при параметрах системы $T=0\text{ }^{\circ}\text{C}$, $p=101,3\text{ кПа}$

Расчеты, выполненные в программе HYSYS, позволили получить значения теплоты сгорания и температуры горения для СПГ и СУГ (Таблица 4.13), более высокие значения указанных показателей принадлежат СУГ.

Таблица 4.13 – Значения удельной теплоты сгорания и температуры горения для СПГ и СУГ

Наименование показателя	СПГ-1	СПГ-2	СПГ-3	СУГ-1	СУГ-2
Высшая теплота сгорания, кДж/моль	884,040	907,464	996,919	2232,899	2426,175
Низшая теплота сгорания, Дж/моль	802,098	824,530	908,066	2069,506	2250,768
Температура горения, $^{\circ}\text{C}$	1544,9	1457,8	1351,0	1799,9	1910,6

Зависимость между значениями высшей теплоты сгорания СУГ и СПГ эксергией представлена на Рисунке 4.19.

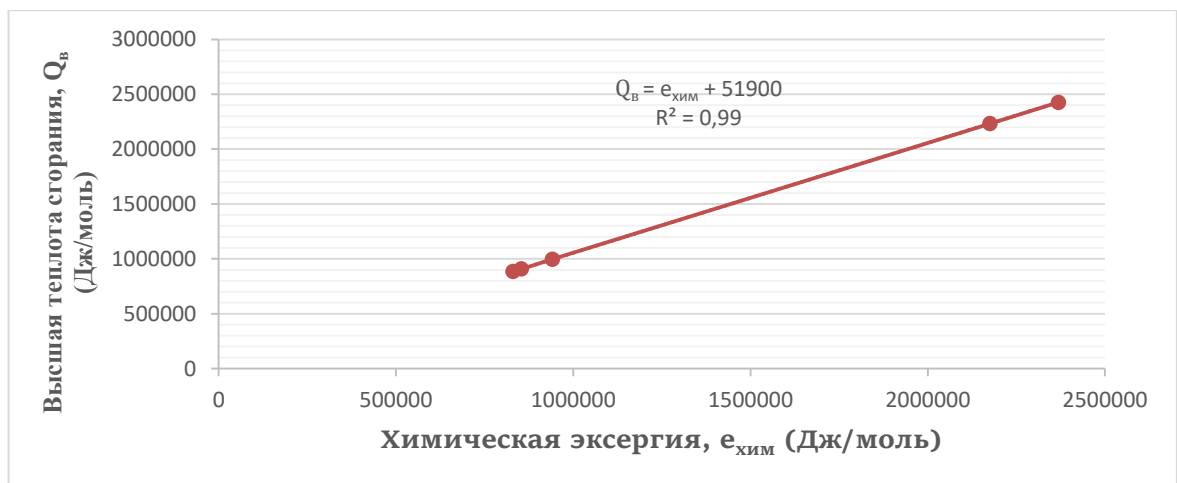


Рисунок 4.19. – Зависимость значений химической эксергии и высшей теплоты сгорания для СУГ и СПГ

Применение эксергетического метода к оценке перевозок сжиженных углеводородных газов позволяет с одной стороны, оценить энергетическую эффективность использования сжиженных газов, с другой – их пожарную опасность при доставке потребителям.

4.4 Эксергетическая оценка склонности грузов к самовозгоранию

Различают два режима возникновения горения: «самопроизвольное возникновение горения» (самовозгорание, самовоспламенение) и «вынужденное зажигание (зажигание)» [137-139].

В работе [417] автором настоящей работы в соавторстве с Хайдаровым А.Г. определены эксергетические условия теплового самовозгорания пористых и дисперсных полимерных материалов и изделий при их перевозке на железнодорожном транспорте. По классификации Маршалла [45] они относятся к третьей категории веществ. В качестве исследуемых были выбраны термореактивные полимерные материалы (при повышении температуры термопласты плавятся и не способны к самовозгоранию) и проведена эксергетическая оценка самовозгорания крилевой, рыбной, травяной, ржаной, шламовой, кормовой муки, дрожжей, хлопка, сена, древесных опилок, торфа, древесно-волоконистых плит (ДВП), гетинакса.

Для расчета температуры самонагрева использовали модель, предложенная Я. С. Киселевым, которая отличается от модели Д.А. Франк-Каменецкого [418] тем, что теплоотвод от наиболее нагретого элемента к окружающей среде полагается линейным. Для учета неоднородности температурного поля скопления самонагревающегося материала Я.С. Киселевым введен критерий неравномерности нагрева, отсутствующий в модели Н.Н. Семенова [419].

Основные формулы, по которым осуществлялся по методу Я.С. Киселева:

$$\frac{E}{RT_B^2} \cdot Z \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT_B^2}\right) = \Pi_0, \quad (4.13)$$

где E – энергия активации, Дж/моль;

Z – предэкспоненциальный множитель адиабатической скорости самонагрева, К/с;

$R = 8,314$ Дж/(моль*К) – универсальная константа, значение равно произведению константы Больцмана на число Авогадро;

$T_с$ – критическая температура самовозгорания вещества (материала), К;

Π_0 – темп охлаждения, с⁻¹.

Правая часть уравнения (4.13) – производная адиабатической скорости самонагрева P_+ по температуре (темп самонагрева) при температуре T_B , обозначим ее P_T^* .

$$\frac{E}{RT_B^2} \cdot Z \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT_B^2}\right) = P_T^* \quad (4.14)$$

В критических условиях темп охлаждения равен темпу самонагрева.

Допуская линейность теплоотвода наиболее нагретого элемента самонагревающегося материала к окружающей среде:

$$T_0^K = T_B - R \cdot T_B^2 / E, \quad (4.15)$$

где T_0^K – критическая температура окружающей среды, при которой возможно самонагревание, К.

Из формулы (4.15) найдем:

$$T_B = 0,5 \left(\frac{E}{R} - \sqrt{\frac{E^2}{R^2} - \frac{4 \cdot E \cdot T_0^K}{R}} \right) \quad (4.16)$$

Для неподвижного скопления материала:

$$\Pi_0 = \frac{\psi \cdot \alpha \cdot F}{p \cdot V \cdot C_p}, \quad (4.17)$$

где ψ – критерий неравномерности нагрева;

α – коэффициент теплоотдачи, (Вт/(м²*К));

C_p – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг*К);

p – насыпная плотность, кг/м³;

F – площадь внешней поверхности скопления, контактирующей с окружающей средой, м²;

V – объем скопления, м³.

$$\Psi = \frac{n \cdot \lambda}{\alpha \cdot R_x + n \cdot \lambda}, \quad (4.18)$$

где n – относительный температурный градиент, для плоскости, неограниченного цилиндра, сферы, куба, конечного цилиндра равен соответственно 2,38; 2,71; 3,01, 2,29, 2,50 [136];

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м*К);

R_x – определяющий размер скопления.

Критический размер для неподвижного слоя продуваемого материала:

$$R_x = \frac{n \cdot \lambda}{\alpha} + \sqrt{\left(\frac{n \cdot \lambda}{\alpha}\right)^2 + \frac{i \cdot n \cdot \lambda}{P_T^* \cdot C_p \cdot p}}, \quad (4.19)$$

где i – коэффициент формы скопления материала, $i = 1; 2; 3$ для формы скопления параллелепипед. Цилиндр и шар соответственно.

Критическая высота продуваемого слоя H определяется по формуле:

$$H = \frac{C_B \cdot \rho_B \cdot \gamma_B}{P_T^* \cdot C_p \cdot p}, \quad (4.20)$$

где ρ_B – плотность воздуха, кг/м³;

γ_B – скорость продувания воздуха через слой материала, м/с;

C_B – удельная теплоемкость воздуха, Дж/ (кг*К).

Так как энергия активации и предэкспоненциальный множитель не являются константами, они связаны между собой изопараметрическим компенсационным уравнением:

$$E = E' + R \cdot T_c (\ln Z - \ln Z'), \quad (4.21)$$

где T_c – температура компенсации, К;

E' – изокINETическая энергия активации, равная 22000 Дж/моль;

Z' – изокINETический предэкспонент, равный 10 К/с.

Выражая предэкспоненциальный множитель, получим:

$$Z = \exp(\ln Z' + \frac{E/R - E'/R}{T_c}). \quad (4.22)$$

Анализируя формулы (4.13)–(4.22), можно констатировать, что условия самовозгорания определяются следующими факторами: температурой; кинетическими параметрами процесса самонагрева (энергия активации, предэкспоненциальный множитель); теплофизическими свойствами материалов (теплоемкость, теплопроводность, насыпная плотность), подвергающихся самонагреванию; формой и геометрическими размерами скопления материала; условиями теплообмена с окружающей средой.

Как было отмечено выше, физическая эксергия выражает потенциальную возможность совершения работы системой в связи с отличием ее давления и температуры от давления и температуры окружающей среды. Оценим условия самовозгорания с помощью физической эксергии и найдем закономерности ее изменения.

Расчеты физической эксергии $e_{\text{физ}}$ осуществляли с использованием методики, предложенной в [420]. При равенстве давлений внутри скопления вещества и в окружающей среде:

$$e_{\text{физ}} = C_p [(T - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T}{T_0} \right)], \quad (4.23)$$

где T – температура нагрева вещества, К.

Необходимые исходные данные для расчета условий теплового самовозгорания (энергию активации, температуру компенсации, насыпную плотность, температуру тления и т.д.) определяли по [137-139, 404, 421-424].

В расчетах принимали $R_x = 1,35$ м (половина борта грузового железнодорожного вагона). Исходные данные и результаты расчета приведены в Приложении Б, Таблица Б2.

Эти параметры стали основой при построении зависимостей эксергии от энергии активации при $T=T_{\text{тл}}$ (Рисунок 4.20, а) и $T=T_{\text{св}}$ (Рисунок 4.20, б).

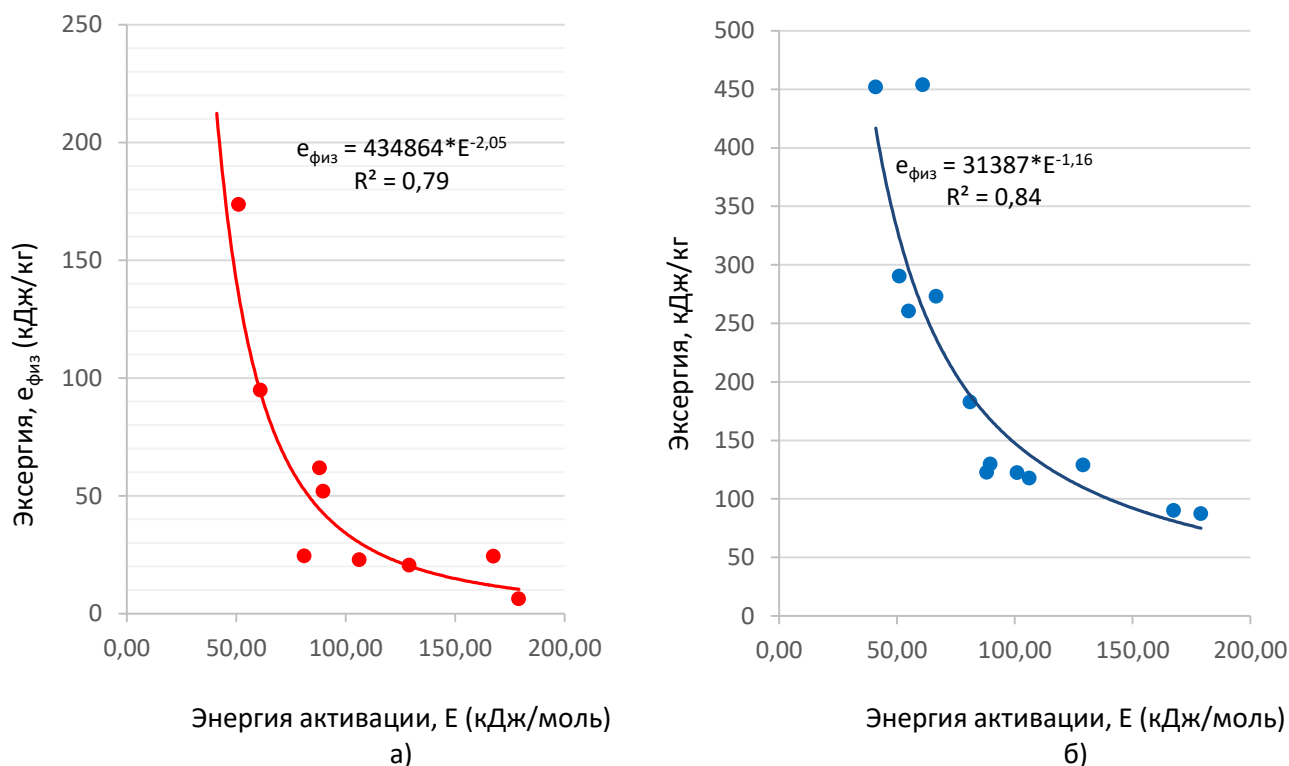
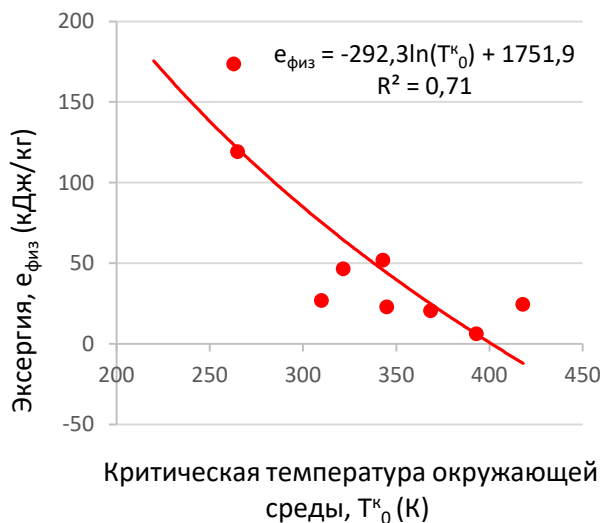


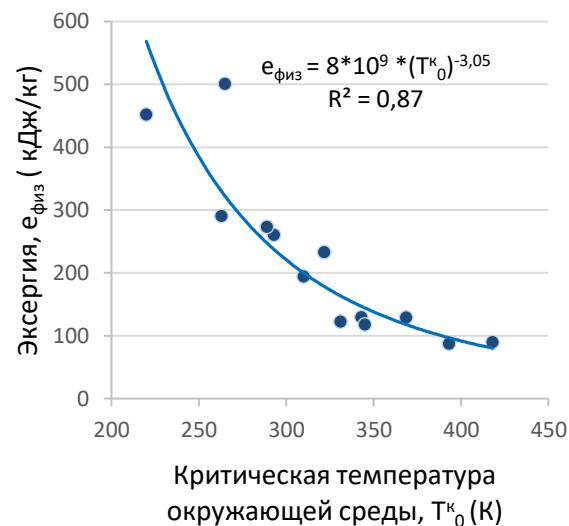
Рисунок 4.20 – Зависимость физической эксергии от энергии активации, при $T=T_{\text{тл}}$ (а), при $T=T_{\text{св}}$ (б)

Зависимости эксергии самовозгорающихся пористых и дисперсных материалов и изделий от энергии активации при $T=T_{\text{тл}}$ и $T=T_{\text{св}}$ описываются степенными функциями. Как следует из графиков (Рисунок 4.21, а, б), с уменьшением энергии активации, физическая эксергия увеличивается, возрастает склонность веществ и материалов к самовозгоранию.

Зависимость эксергии от критической температуры окружающей среды $T_0^{\text{к}}$ (Рисунок 4.21) указывает, что снижение критической температуры окружающей среды, при которой возможно самовозгорание материала, сопровождается увеличением его физической эксергии.



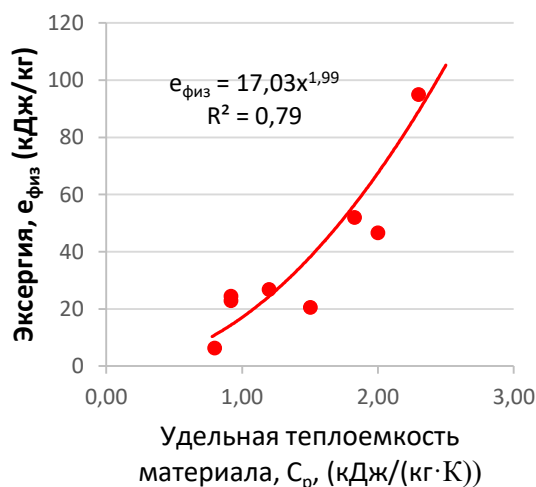
а)



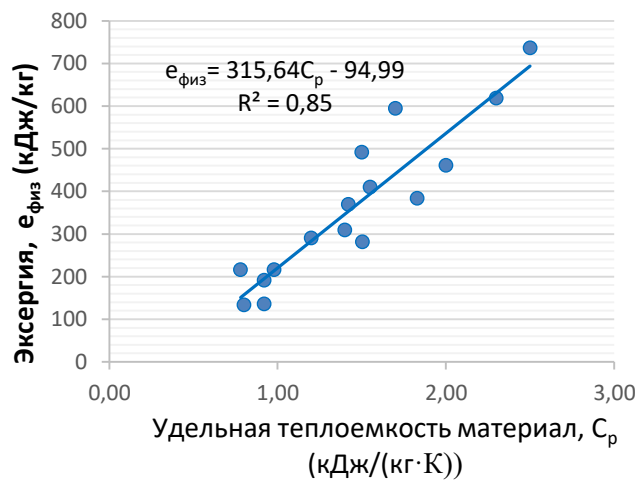
б)

Рисунок 4.21 – Зависимость физической эксергии от критической температуры окружающей среды, при $T=T_{\text{тл}}$ (а), при $T=T_{\text{св}}$ (б)

Зависимости физической эксергии пористых и дисперсных полимерных материалов и изделий, способных к самовозгоранию, от теплоемкости показывают, что с увеличением теплоемкости материала, физическая эксергия возрастает (Рисунок 4.22). Если принять, T постоянной величиной, например, $T=600^\circ\text{C}$, то получаем линейную зависимость эксергии от теплоемкости материала (Рисунок 4.22, б).



а)



б)

Рисунок 4.22 – Зависимость физической эксергии от теплоемкости самонагревающихся материалов, при $T=T_{\text{тл}}$ (а), при $T=600^\circ\text{C}$ (б)

Проверка значимости моделей регрессии, проведенная с использованием F-критерия Фишера по формуле 4.11 показала, что $F > F_{\text{табл}}$, что свидетельствует о статистической значимости коэффициентов детерминации и уравнений регрессии, представленных на Рисунках 4.20-4.22.

Соотношение между физической эксергией и коэффициентом теплопроводности представлено на Рисунке 4.23.

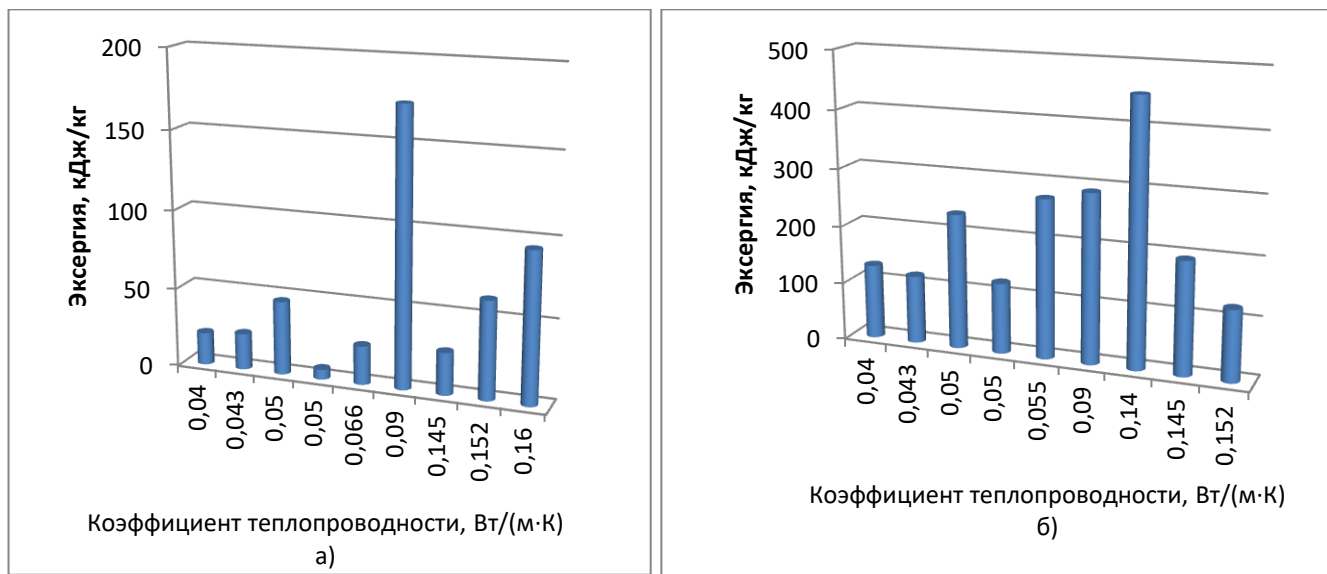


Рисунок 4.23 – Соотношение между физической эксергией и коэффициентом теплопроводности, при $T=T_{\text{тл}}$ (а), при $T=T_{\text{св}}$ (б)

Еще одним физическим параметром, который оказывает влияние на возможность теплового самовозгорания, является влажность горючего материала. Теплопроводность влажного вещества, материала, изделия, не реагирующего с водой, будет зависеть от теплопроводности воды, для которой при 20°C коэффициент теплопроводности $\lambda=0,598$ Вт/(м·К). Для сравнения воздух при тех же условиях имеет коэффициент теплопроводности $\lambda=0,0252$ Вт/(м·К). Поэтому повышение влажности способствует возрастанию теплопроводности материала и росту темпа охлаждения. Уменьшение склонности к самовозгоранию может быть связано с комкованием порошков в процессе их увлажнения, снижающее их

удельную поверхность и количество активных центров реакции окисления. Эти процессы приводят к уменьшению физической эксергии веществ и материалов.

Однако, при самовозгорании, например, углеродных материалов, их способность адсорбировать пары воды из воздуха на начальной стадии процесса приводит к выделению тепла. При поглощении из воздуха 0,01 г воды выделяется 22,6 Дж тепла, что способствует подъему температуры до 65-70°C [404]. При такой температуре реакция окисления угля становится основным источником тепловыделения.

При микробиологических причинах самовозгорания, к которому склонны главным образом продукты растительного происхождения, насыщение влагой может способствовать активизации жизнедеятельности бактерий, что также ведет как к ускорению тепловыделения, так и к возрастанию температуры, и как следствие, росту эксергии. Например, при влажности сена 14 % жизнедеятельность бактерий замедлена, при 17 % она увеличивается в 40 раз, при 20,4% – в 250 раз [425].

Анализируя полученные зависимости, можно сделать выводы, что физическая эксергия зависит от:

- энергии активации – с уменьшением энергии активации возрастает эксергия и склонность веществ и материалов к самовозгоранию;
- от критической температуры окружающей среды, с увеличением которой эксергия падает. При этом склонность к самовозгоранию уменьшается.
- от теплоемкости самонагревающихся материалов – с увеличением данного показателя эксергия увеличивается. При этом уменьшается темп охлаждения (формула 4.17) и склонность к самовозгоранию растет;
- эксергия практически не зависит от коэффициента теплопроводности самонагревающихся материалов. Однако увеличение коэффициента теплопроводности влияет на критический размер для неподвижного скопления материала. Рост λ сопровождается ростом R_x (формула 4.19). Критическая высота продуваемого слоя зависит от соотношения теплоемкости воздуха и теплоемкости самовозгорающегося материала (формула 4.20);

– влияние влажности на изменение эксергии и способности к самовозгоранию зависит от причины процесса (тепловое, химическое, микробиологическое самовозгорание), от свойств самовозгорающихся материалов (например, от способности к агломерации частиц при увеличении влажности, возможности протекания химических реакций с H_2O).

Определение класса опасности грузов

В Методике [423] сформулированы принципы отнесения самовозгорающихся грузов к подклассам в соответствии с классификацией ГОСТ 19433 [37]. Согласно стандарту материалы, способные самовозгораться при транспортировании, относятся к низкой и средней степени опасности грузов подкласса 4.2. Твердые горючие вещества, не самовозгорающиеся в рассматриваемых условиях, должны относиться к категории опасности 921.

Исходными данными для классификации ОГ являются:

- факт самовозгорания образцов материала, подвергающихся испытаниям, в соответствии с методикой, изложенной в [423];
- значение $T_0^k, ^\circ C$ в грузовом пространстве транспортного средства;
- величина периода индукции процесса для температуры среды $T_0=40^\circ C$.

Определение класса опасности самовозгорающихся грузов проводится в следующем порядке.

1. Не самовозгорающиеся в условиях испытаний согласно разд. 2.2 [423] и негорючие в соответствии с ГОСТ 12.1.044 [372] материалы следует относить к непожароопасным подклассам и категориям (в соответствии с ГОСТ 19433 [372]).

2. Определить значение эксергетического показателя самовозгорающегося груза.

3. Если значения $T_0^k \geq 40 ^\circ C$ и перевозимый груз не является грузом с высоким значением эксергетического показателя (ЭЗ), его следует отнести к категории опасности 921.

4. Если значения критической температуры $T_0^k < 40 ^\circ C$, сравнивают период индукции теплового самовозгорания груза τ_{40} для $T_0=40^\circ C$ со временем осуществления грузоперевозок $\tau_{пер}$:

а) при $\tau_{40} > \tau_{\text{пер}}$ и значение эксергетического показателя соответствует классу Э0, Э1, Э2, груз следует отнести к низкой степени опасности подкласса 4.2;

б) при $\tau_{40} \leq \tau_{\text{пер}}$ и (или) значение эксергетического показателя соответствует Э3, груз следует отнести к средней степени опасности подкласса 4.2.

В случае (б) необходимо обеспечение ПБ грузоперевозок за счет использования безопасных размеров компактной укладки материала. При невозможности реализации этих мер (например, малая величина безопасного размера), отсутствие самовозгорания материала можно обеспечить при транспортировании груза в течение времени не более $0,8 \times \tau_{40}$

Таким образом, полученные закономерности позволяют говорить о возможности применения эксергетического анализа как инструмента для прогностической оценки и управления пожарными рисками при перевозке самовозгорающихся грузов. Получены закономерности изменения условий теплового самовозгорания в зависимости от эксергии. Предлагается использовать данный показатель для уточнения класса опасности самовозгорающихся грузов ЖДТ.

4.5 Оценка экологической и пожарной опасности отходов, обращающихся на железнодорожном транспорте

Полигоны и свалки содержат смесь твердых отходов, каждый из которых имеет различные тепловые и динамические характеристики, которые влияют на процессы горения. Использование эксергетических характеристик дает возможность оценить пожарную опасность отходов различного морфологического состава. Исследования морфологического состава отходов могут быть использованы для расчета эксергии, теплоты сгорания, оценки эффективности процессов утилизации и пожарной опасности.

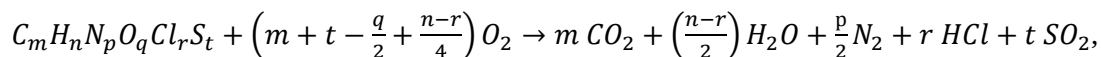
При эксплуатации подвижного состава и на стационарных объектах

ЖДТ образуются производственные отходы и ТКО. Кроме того, рассматривается проект по вывозу мусора железнодорожным транспортом из крупных городов на отдаленные полигоны для захоронения.

4.5.1 Эксергетический анализ пожарной опасности отходов, обращающихся на железнодорожном транспорте

Королевой Л.А. в соавторстве с Хайдаровым А.Г. и Ивахнюком Г.К. в работе [426] произведен расчет эксергии ТКО, представляющих сложную, гетерогенную смесь органических и неорганических соединений. Органические элементы представлены, главным образом, С, Н, О, N, S и Cl, неорганические – Si, Ca, K, P, Al, Mg, Fe, S, Na, Zn, Cu, Mn и Cr. Для твердых веществ влиянием неорганических веществ на значение эксергии можно пренебречь в связи с их относительно невысоким значением [427].

В расчетах исходили из предположения, что 1 кг ТКО, выраженный как $C_mH_nN_pO_qCl_rS_t$, подвергается полному сгоранию в стандартном состоянии до получения CO_2 , H_2O , N_2 , HCl , SO_2 следующим образом по реакции:



где m , n , p , q , r , t – количество атомов углерода С, водорода Н, азота N, кислорода О, хлора Cl и серы S соответственно.

Все вещества присутствуют при температуре окружающей среды $T_0=298,15$ К и давлении $P_0=101,325$ кПа.

Для расчета химической эксергии была использована следующая методика, изложенная в работе [427].

Молярные составы на кг ТКО:

$$m = \frac{0.01C}{12.011} \text{ кмоль/кг} \text{ или } m = \frac{10C}{12.011} \text{ моль/кг} \quad (4.24)$$

$$n = \frac{0.01H}{1.008} \text{ кмоль/кг} \text{ или } n = \frac{10H}{1.008} \text{ моль/кг} \quad (4.25)$$

$$p = \frac{0.01N}{14.007} \text{ кмоль/кг} \text{ или } p = \frac{10N}{14.007} \text{ моль/кг} \quad (4.26)$$

$$q = \frac{0.01O}{15.999} \text{ кмоль/кг или } q = \frac{10O}{15.999} \text{ моль/кг} \quad (4.27)$$

$$r = \frac{0.01Cl}{35.45} \text{ кмоль/кг или } r = \frac{10Cl}{35.45} \text{ моль/кг} \quad (4.28)$$

$$t = \frac{0.01S}{32.066} \text{ кмоль/кг или } t = \frac{0.01S}{32.066} \text{ моль/кг} \quad (4.29)$$

где С, Н, О, N, S, Cl – процентное содержание атомов углерода, водорода, кислорода, азота, серы и хлора в каждой фракции ТКО, мас. %, определенное по [427-428].

Химическую эксергию ТКО ($e_{\text{хим}}^{\text{ТКО}}$, кДж/кг) согласно [427] можно представить в виде:

$$\begin{aligned} e_{\text{хим}}^{\text{ТКО}} = & Q_{\text{в}}^{\text{ТКО}} - T_0 \left[s_0^{\text{ТКО}} + \left(m + t - \frac{q}{2} + \frac{n-r}{4} \right) s_0^{O_2} - \right. \\ & - m s_0^{CO_2} - \left(\frac{n-r}{2} \right) s_0^{H_2O} - \frac{p}{2} s_0^{N_2} - r s_0^{HCl} - t s_0^{SO_2} \left. \right] + \\ & + m e_0^{CO_2} + \left(\frac{n-r}{2} \right) e_0^{H_2O} + \frac{p}{2} e_0^{N_2} + r e_0^{HCl} + t e_0^{SO_2} - \\ & - \left(m + t - \frac{q}{2} + \frac{n-r}{4} \right) e_0^{O_2} \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} e_{\text{хим}}^{\text{ТКО}} = & m \left[(e_0^{CO_2} + T_0 s_0^{CO_2}) - (e_0^{O_2} + T_0 s_0^{O_2}) \right] + \\ & + \frac{n}{2} \left[(e_0^{H_2O} + T_0 s_0^{H_2O}) - \frac{1}{2} (e_0^{O_2} + T_0 s_0^{O_2}) \right] + \frac{q}{2} (e_0^{O_2} + T_0 s_0^{O_2}) + \\ & + \frac{p}{2} (e_0^{N_2} + T_0 s_0^{N_2}) + t [e_0^{SO_2} + T_0 s_0^{SO_2}) - (e_0^{O_2} + T_0 s_0^{O_2})] - \\ & - \frac{r}{2} \left[(e_0^{H_2O} + T_0 s_0^{H_2O}) - \frac{1}{2} (e_0^{O_2} + T_0 s_0^{O_2}) - 2(e_0^{HCl} + T_0 s_0^{HCl}) \right] + \\ & + Q_{\text{в}}^{\text{ТКО}} - T_0 s_0^{\text{ТКО}} \end{aligned} \quad (4.30)$$

где e_0 – стандартная химическая эксергия, кДж/моль, а s_0 – стандартная энтропия, кДж / (моль К).

Высшую теплоту сгорания $Q_{\text{в}}^{\text{ТКО}}$ МДж/кг, рассчитывали по формуле

$$Q_{\text{в}}^{\text{ТКО}} = 0,364C + 0,863H - 0,075O + 0,028N - 1,633S + 0,062Cl, \quad (4.31)$$

где $35,8\% \leq C \leq 86,1\%$; $4,1\% \leq H \leq 13,9\%$; $0,0\% \leq O \leq 54,9\%$; $0,0\% \leq N \leq 20,3\%$;
 $0,0\% \leq S \leq 2,7\%$; $0,0\% \leq Cl \leq 56,4\%$;

Тогда $13,0 \text{ МДж/кг} \leq Q_{\text{в}}^{\text{ТКО}} \leq 43,0 \text{ МДж/кг}$.

Для прогнозирования стандартной энтропии (кДж/(кг·К)) органического вещества в ТКО использовался полином первого порядка. Расчет проводили по следующим формулам:

для пластмасс

$$s_0^p = 0,0087C + 0,0753H + 0,0134O + 0,0077N + 0,0084Cl, \quad (4.32)$$

$10,3\% \leq C \leq 94,7\%$; $0,0\% \leq H \leq 14,3\%$; $0,0\% \leq O \leq 54,2\%$; $0,0\% \leq N \leq 66,7\%$.

для текстиля и резины

$$s_0^{TR} = 0,0097C + 0,0635H + 0,0128O + 0,0136N + 0,0165S, \quad (4.33)$$

$15,8\% \leq C \leq 95,1\%$; $3,0\% \leq H \leq 9,7\%$; $0,0\% \leq O \leq 55,2\%$; $0,0\% \leq N \leq 66,7\%$;
 $0,0\% \leq S \leq 42,1\%$.

для дерева и бумаги

$$s_0^{WP} = 0,0162C + 0,0116H + 0,0081O + 0,00691Cl, \quad (4.34)$$

где $26,7\% \leq C \leq 77,8\%$; $0,4\% \leq H \leq 7,7\%$; $5,1\% \leq O \leq 71,1\%$; $0,0\% \leq Cl \leq 66,3\%$.

для пищевых отходов:

$$s_0^F = 0,0065C + 0,0808H + 0,0127O + 0,0101N + 0,0100S, \quad (4.35)$$

где $19,2\% \leq C \leq 92,3\%$; $1,4\% \leq H \leq 14,1\%$; $0,0\% \leq O \leq 59,7\%$; $0,0\% \leq N \leq 51,9\%$;
 $0,0\% \leq S \leq 34,0\%$.

для ТКО

$$s_0^{\text{ТКО}} = 0,0101C + 0,0630H + 0,0106O + 0,0108N + 0,0155S + 0,0084Cl, \quad (4.36)$$

Подставляя уравнения (4.24)-(4.29), (4.31), и (4.32)-(4.36) в уравнение (4.30), наряду со стандартными данными химической эксергии, химическая эксергия, $e_{\text{хим}}$, (кДж/кг), различных фракций ТКО на сухой беззольной основе может быть выражена следующим образом:

для пластмасс:

$$e_{\text{хим}}^P = 376,879 C + 787,351 H - 58,654 O + \\ + 46,398 N - 1533,261 S + 100,981 Cl \quad (4.37)$$

для текстиля и резины:

$$e_{\text{хим}}^{TR} = 376,580 C + 790,869 H - 58,475 O + \\ + 44,639 N - 1538,180 S + 98,566 Cl, \quad (4.38)$$

для дерева и бумаги:

$$e_{\text{хим}}^{WP} = 374,642 C + 806,343 H - 57,074 O + \\ + 48,693 N - 1533,261 S + 101,425 Cl, \quad (4.39)$$

для пищевых отходов:

$$e_{\text{хим}}^F = 377,535 C + 785,711 H - 58,446 O + \\ + 45,682 N - 1536,242 S + 103,486 Cl, \quad (4.40)$$

для ТКО

$$e_{\text{хим}}^{\text{ТКО}} = 376,461 C + 791,018 H - 57,819 O + \\ + 45,473 N - 1536,242 S + 100,981 Cl. \quad (4.41)$$

Вследствие происходящих изменений морфологического состава ТКО и различий в составе отходов по городам, экспериментальное определение теплоты сгорания отходов представляет определенные трудности, поэтому целесообразно использовать расчетные методы ее определения.

Высшая теплота сгорания Q_v , (МДж/кг) веществ и материалов, входящих в состав ТКО, рассчитывалась по формуле (4.31). Эксергия веществ и материалов, являющихся компонентами ТКО, определена по формулам (4.37)-(4.41). Исходные данные и результаты расчета эксергии приведены в Приложении Б, Таблица Б3.

Получена прямая пропорциональная зависимость между эксергией и высшей теплотой сгорания компонентов (Рисунок 4.24). $Q_v = 1,02 e_{хим} - 1,29$; $R^2 = 0,99$.

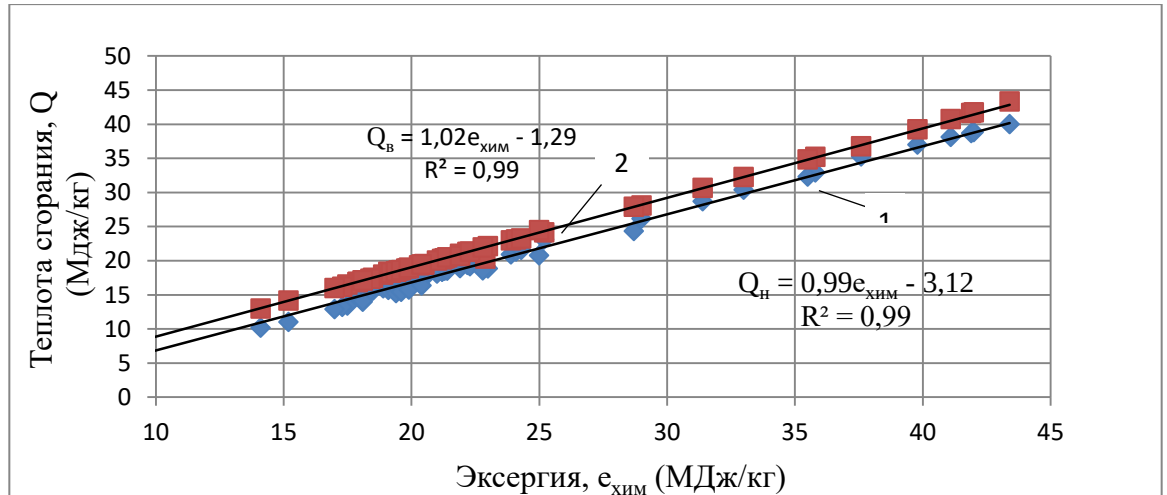


Рисунок 4.24 – Зависимость теплоты сгорания от эксергии

1 – для низшей теплоты сгорания Q_n ; 2 – для высшей теплоты сгорания Q_v

Низшая теплота сгорания рассчитана уменьшением высшей теплоты сгорания Q_v на теплоту, затраченную на испарение влаги, содержащейся в отходах, и влаги, образующейся от сгорания водорода:

$$Q_n^{TKO} = Q_v^{TKO} - 25,1(9H + W); \quad (4.42)$$

где W – содержание влаги в горючем веществе [429].

На Рисунке 4.24 представлена зависимость низшей теплоты сгорания от эксергии, где $14,1 \leq e_{хим} \leq 43,4$ МДж/кг; $R^2 = 0,99$.

Наибольшие значения низшей теплоты сгорания в диапазоне от 19,22 МДж/кг для поливинилхлорида до 40,03 МДж/кг для полиэтилена получены для различных видов пластмассовых отходов. Далее по убыванию показателя: отходы резины (30,37 - 32,29 МДж/кг), текстиль (16,22-26,15 МДж/кг), бумага (14,93-17,51 МДж/кг), древесные отходы (15,59-19,37 МДж/кг), и пищевые отходы (11,02– 24,35 МДж/кг).

Интервальные значения эксергии по фракциям, представленные в работе [430] приведены на Рисунке 4.25.

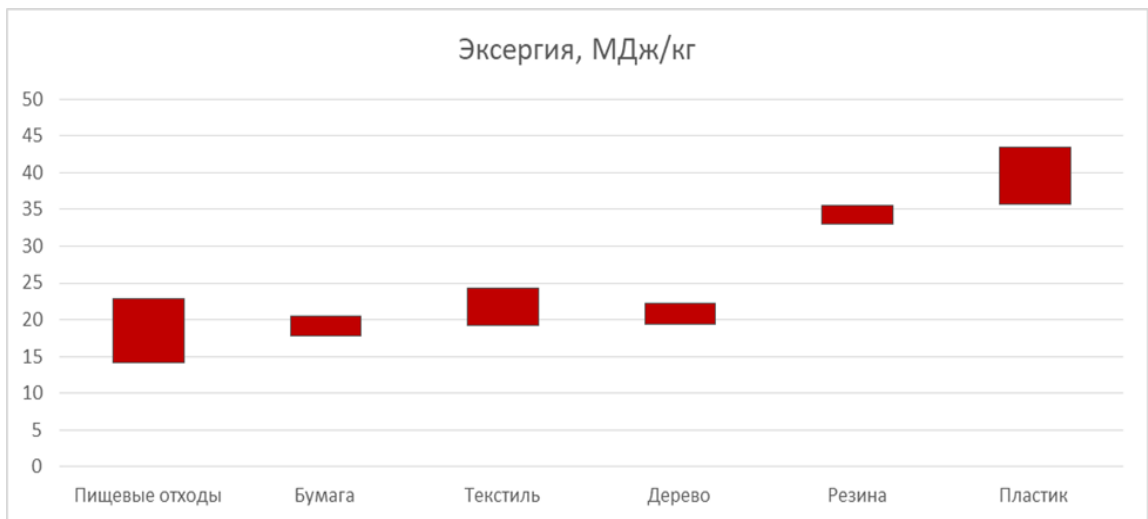


Рисунок 4.25 – Интервальная оценка значений химической эксергии ТКО

Зависимость эксергии и теплоты сгорания от элементного состава отходов представлены на Рисунках 4.26 и 4.27. Увеличение процентного содержания (C+H) приводит к росту теплоты сгорания и эксергии компонентов ТКО. Увеличение содержания O, ведет к уменьшению рассматриваемых показателей. Теплота сгорания и химическая эксергия снижаются в процессе роста процентного содержания (N+S+Cl).

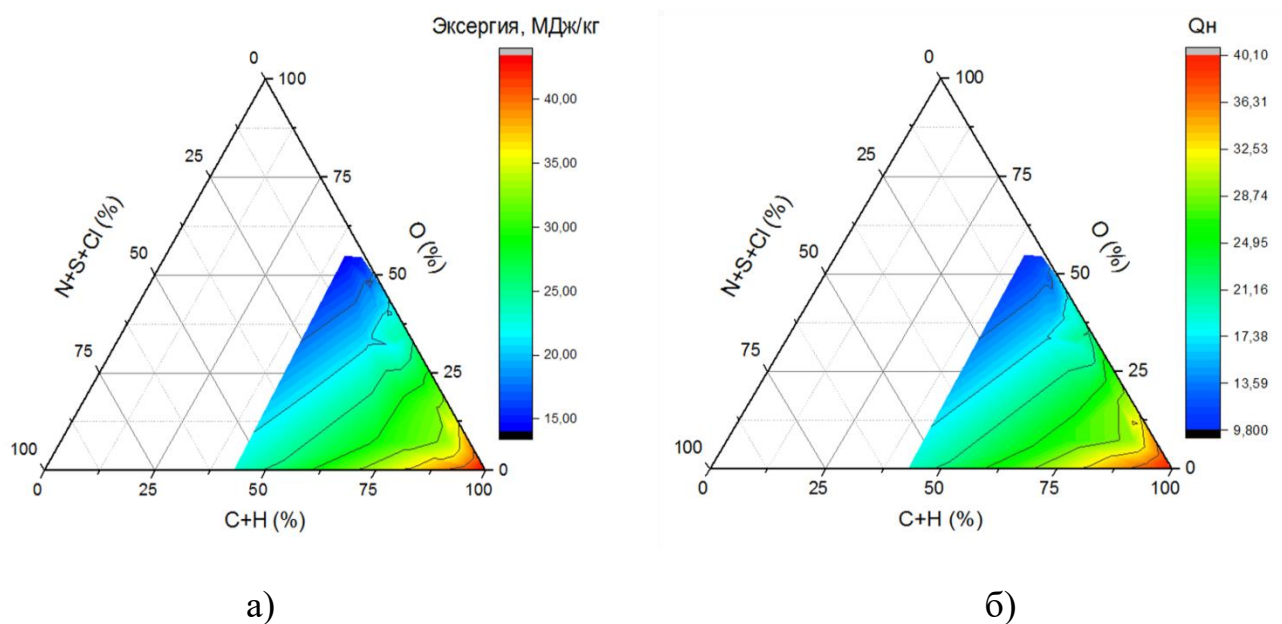


Рисунок 4.26 – Изменения химической эксергии и низшей теплоты сгорания от элементного состава ТКО

а) изменение химической эксергии; б) изменение низшей теплоты сгорания

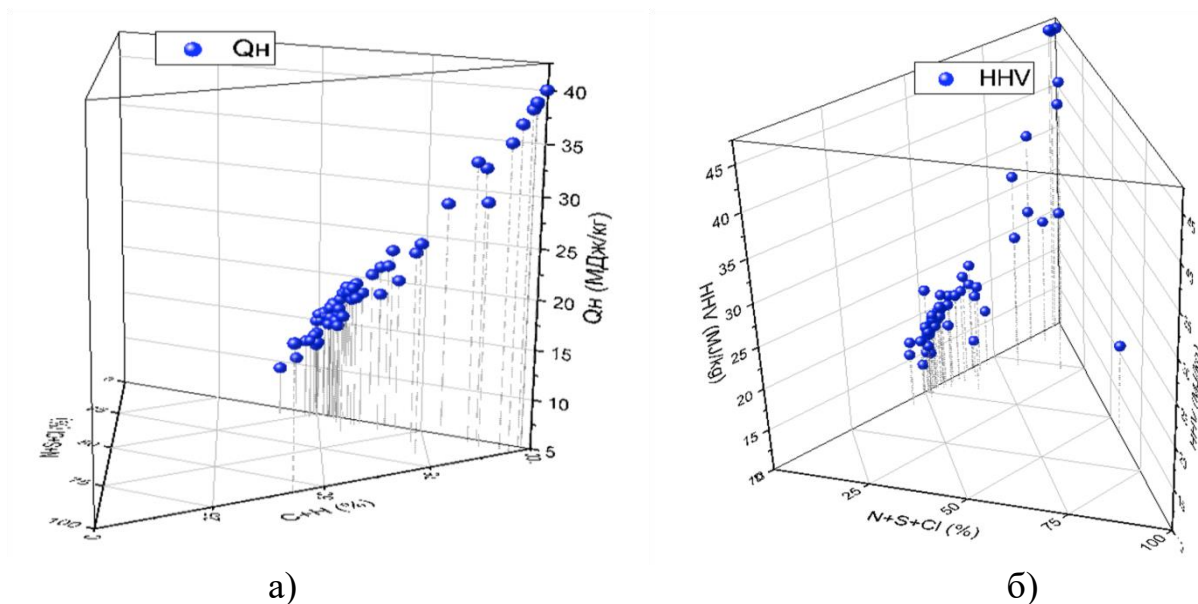


Рисунок 4.27 – Изменения Q_H (а) и Q_V (б) от элементного состава ТКО

Было исследовано изменение эксергии в зависимости от зольности A (%), содержание летучих веществ V (%), и фиксированного углерода FC (%) (Рисунок 4.28). Показатели A , V , FC определены по данным [428, 429] и представлены в Приложении Б, Таблица Б3. Эксергия увеличивается с возрастанием содержания летучих веществ. Увеличение фиксированного углерода приводит к уменьшению рассматриваемого показателя. Эксергия возрастает при снижении зольности.

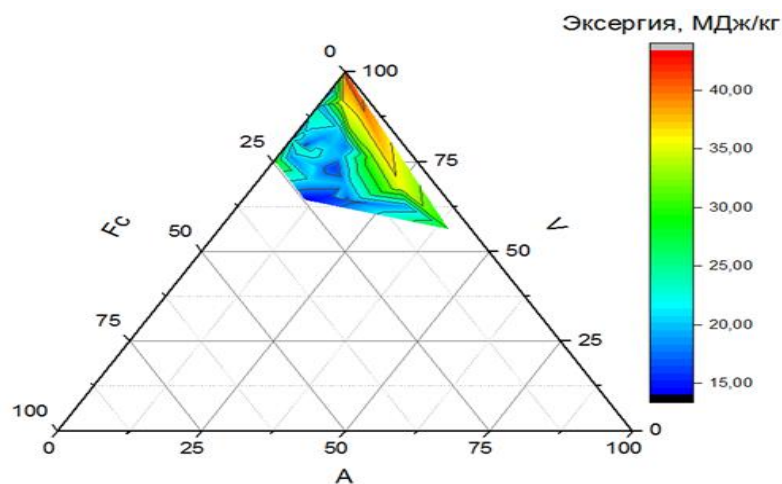


Рисунок 4.28 – Изменение химической эксергии в зависимости от содержания летучих веществ, фиксированного углерода и зольности

Сравнительная характеристика компонентов ТКО представлена в Таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Сравнительная характеристика компонентов ТКО

Фактор	Вещества и материалы, перечисленные в убывающей последовательности
A, %	Кости > овощи > бумага для печати > резина > картон > листья > сорняки > поливинилхлорид > кожура фруктов > химические волокна > скорлупа от орехов > древесина > шерсть > хлопок > крахмал пищевой > полипропилен > полиэтилен > туалетная бумага > полиэтилентетрафталат > полистирол
V, %	Полиэтилен > полипропилен > полистирол > туалетная бумага > полиэтилентетрафталат > хлопок > крахмал пищевой > химические волокна > шерсть > поливинилхлорид > дерево > картон > бумага для печати > кожура фруктов > сорняки > листья > орехи > овощи > резина > кости
FC, %	Ореховая скорлупа > резина > кожура фруктов > листья > сорняки > дерево > шерсть > крахмал пищевой > картон > хлопок > химическое волокно > поливинилхлорид > овощи > бумага для печати > полиэтилентетрафталат > туалетная бумага > кости > полистирол > полиэтилен > полипропилен
C, %	полистирол > полиэтилен > полипропилен > резина > полиэтилентетрафталат > шерсть > химическое волокно > кости > ореховая скорлупа > сорняки > дерево > листья > кожура фруктов > картон > хлопок > бумага для печати > овощи > туалетная бумага > крахмал продукты питания > поливинилхлорид
H, %	Полиэтилен > полипропилен > полистирол > резина > кости > ореховая скорлупа > сорняки > крахмал продукты питания > хлопок > бумага для печати > картон > кожура фруктов > дерево > туалетная бумага > листья > овощи > шерсть > химическое волокно > поливинилхлорид > полиэтилентетрафталат
O, %	Туалетная бумага > крахмал пищевой > бумага для печати > овощи > картон > хлопок > листья > кожура фруктов > дерево > сорняки > ореховые скорлупы > полиэтилентетрафталат > химическое волокно > кости > шерсть > резина > полипропилен > полистирол > полиэтилен > поливинилхлорид
N, %	Шерсть > кости > химическое волокно > овощи > крахмалистые > кожура фруктов > орехи > резина > хлопок > сорняки > листья > дерево > картон > бумага для печати > полиэтилентетрафталат > туалетная бумага > полиэтилен > поливинилхлорид > полипропилен > полистирол
Cl, %	поливинилхлорид > резина > хлопок > дерево > бумага для печати > бамбук > картон > кожура фруктов > крахмал продукты питания > полиэтилен = полипропилен = полистирол
S, %	Шерсть > резина > кости > овощи > химическое волокно > листья > поливинилхлорид > картон > ореховая скорлупа > бумага для печати > листья > туалетная бумага > кожура фруктов > крахмал пищевой > хлопок > дерево > полистирол > полиэтилен > полиэтилентетрафталат > полипропилен

Продолжение таблицы 4.14

Фактор	Вещества и материалы, перечисленные в убывающей последовательности
Q_H , МДж/кг	Полиэтилен > полипропилен > полистирол > пластиковая упаковка > резина > акриловое волокно > рыбные кости > полиэтилентетрафталат > полиэфирные волокна > хлопок > кости животных > поливинилхлорид > шерсть > опилки > скорлупа орехов > дерево > щепа > сорняки > кожура фруктов > туалетная бумага > картон > листья > бумага для печати > крахмал пищевой > овощи
Q_B , МДж/кг	Полиэтилен > полипропилен > полистирол > пластиковая упаковка > резина > акриловое волокно > кости > полиэтилентетрафталат > полиэфирные волокна > хлопок > скорлупа орехов > опилки > шерсть > поливинилхлорид > древо > щепа > кожура фруктов > сорняки > туалетная бумага > картон > листья > крахмал пищевой > бумага для печати > овощи
$e_{хим}$, МДж/кг	Полиэтилен > полипропилен > полистирол > пластиковая упаковка > резина > акриловое волокно > рыбные кости > полиэтилентетрафталат > кости животных > полиэфирные волокна > хлопок > скорлупа орехов > поливинилхлорид > опилки > дерево > щепа > кожура фруктов > сорняки > туалетная бумага > картон > листья > крахмал пищевой > бумага для печати > овощи

Кости и овощи имеют самое высокое содержание золы, ореховая скорлупа и резина имеют самое высокое фиксированное содержание углерода. Поливинилхлорид имеет низкое содержание углерода и водорода и очень высокое содержание хлора. Полиэтилен обладает высоким содержанием углерода и водорода. Бумага и пищевой крахмал содержат большое количество кислорода, шерсть и кости – азота и серы. Высокое содержание серы и хлора в резине. Полиэтилен, полипропилен, полистирол имеют самые высокие значения Q_H , Q_B и $e_{хим}$. Химические волокна и резина также имеют высокую теплотворную способность.

Проведенный анализ показал, что ТКО отходы могут быть разделены на следующие группы:

1) кожура плодов, сорняки, дерево, листья, и ореховая скорлупа, овощи зеленые части стеблей. Компоненты этой категории состоят из пектина, гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина с высоким FC и средними значениями других факторов;

2) пищевой крахмал, картофель, хлопок, туалетная бумага, бумага для печати, картон. Основным компонентом бумаги и хлопка является целлюлоза.

Целлюлоза и крахмал имеют в своем составе повторяющиеся звенья глюкозы. Вещества отличаются только ориентацией этих звеньев в пространстве;

3) шерсть и химические волокна объединены как материалы, имеющие низкое содержание Н и О, высокое содержание S и N, высокие значения Q_v , Q_n и $e_{хим}$;

4) полиэтилен, полипропилен, полистирол, полиэтилентетрафталат, поливинилхлорид, резина. Это высокомолекулярные соединения, относящиеся к пластмассам и резинам. Полиэтилен, полипропилен, и полистирол имеют следующие сходства: высокие значения V (практически 100%), C, H, Q_v , Q_n и $e_{хим}$, и низкое содержание O, N, A, FC. Некоторое уменьшение Q_v , Q_n и $e_{хим}$ полиэтилентетрафталата обусловлено высоким содержанием O, поливинилхлорида – высоким содержанием хлора.

Классификация ТКО по эксергетическому показателю представлена в Таблице 4.15.

Таблица 4.15 –Классификация ТКО по эксергетическому показателю

Категория	Компоненты ТКО
Э2	Шерсть и химические волокна, картон, бумага, крахмал, сухие листья, сухая трава, сушеные овощи и кожура плодов.
Э3	Пластмассы и резины

На основе данных по процентному содержанию различных фракций в составе ТКО по городам России в различные периоды времени, приведенных в работах [54-56], были рассчитаны значения химической эксергии. Результаты представлены на Рисунках 4.29-4.31.

На протяжении рассматриваемого периода эксергия отходов растет. Полимерные материалы, количество которых неуклонно увеличивается, обладают наибольшими значениями данного показателя. Большой вклад в величину эксергии вносят пищевые отходы, бумага и картон, что определяется их количеством. Фракцию металлов, обладающих низким значением рассматриваемого показателя, при расчетах можно не учитывать.

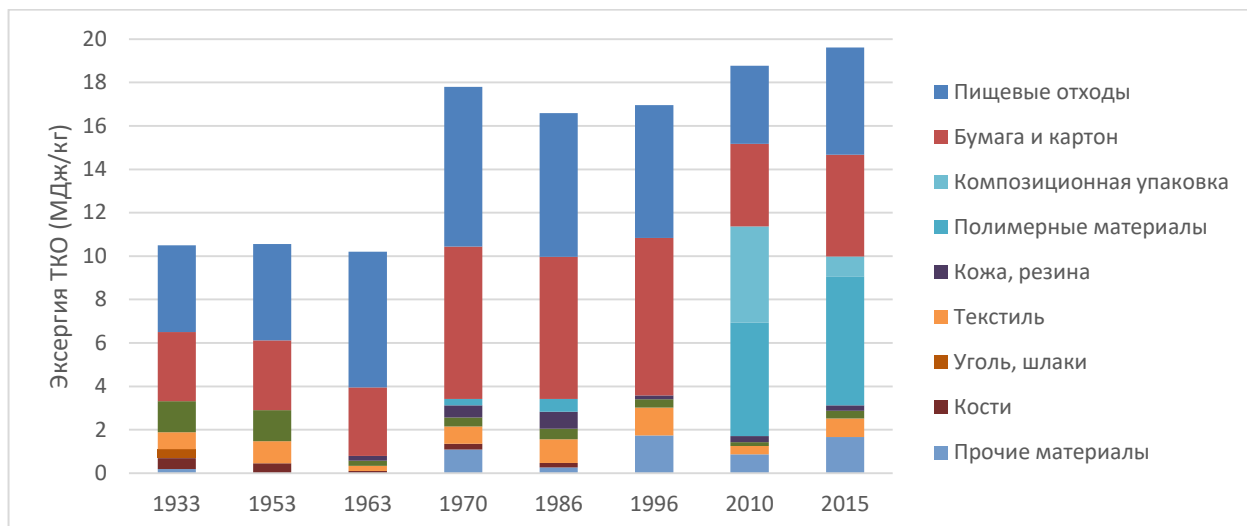


Рисунок 4.29 – Эксергия ТКО для г. Москвы

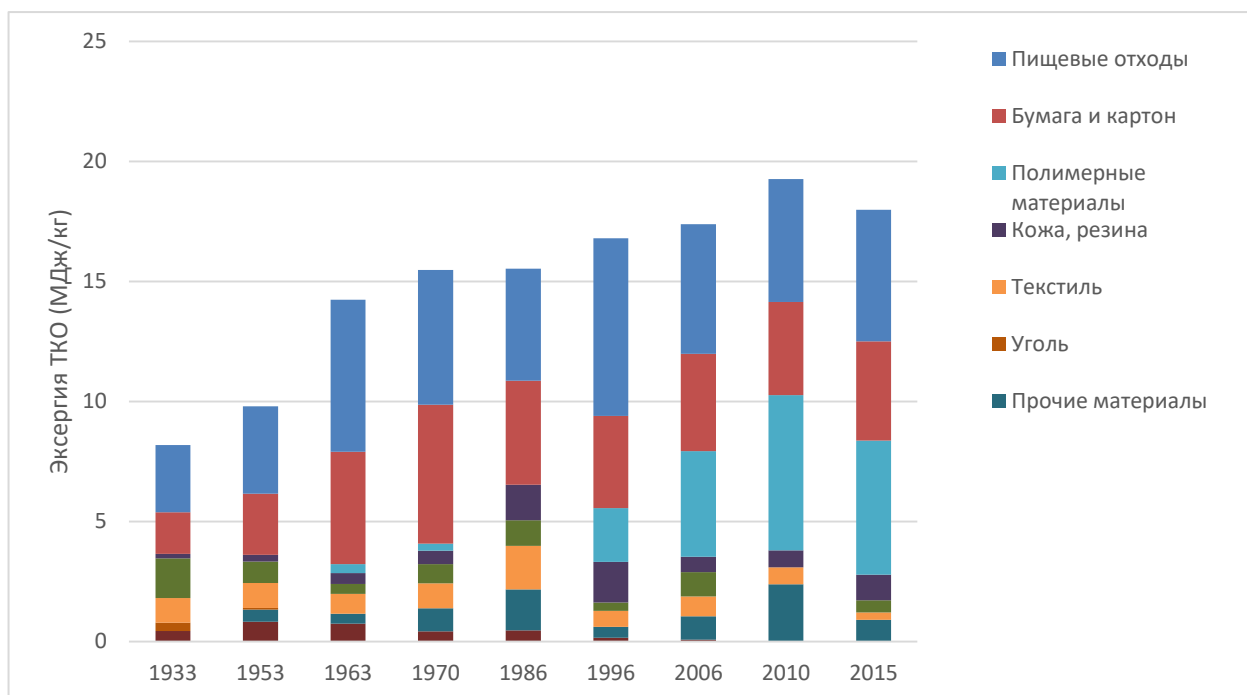


Рисунок 4.30 – Эксергия ТКО для г. Санкт-Петербурга (Ленинграда)

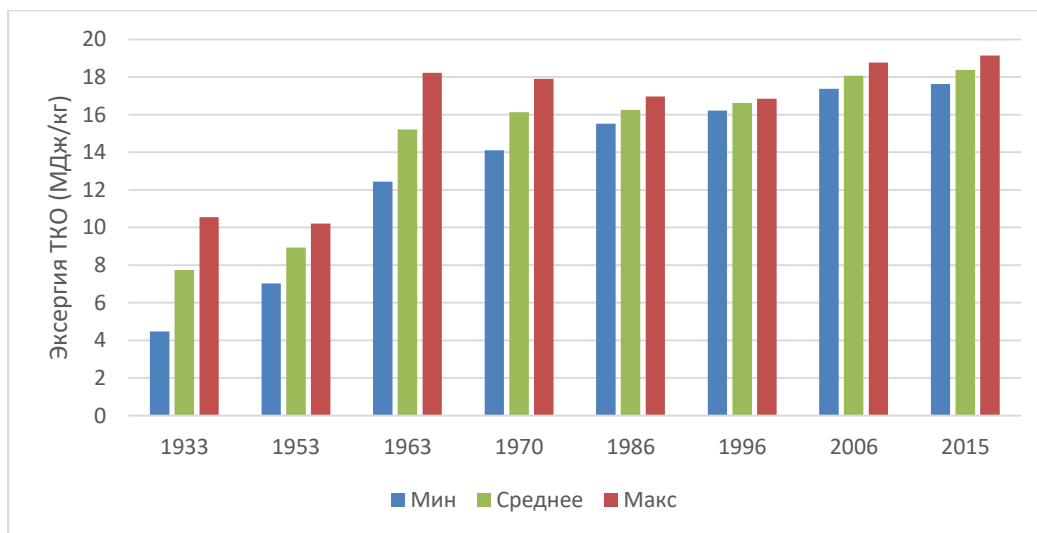


Рисунок 4.31 – Изменение минимальной, средней и максимальной эксергии ТКО по России

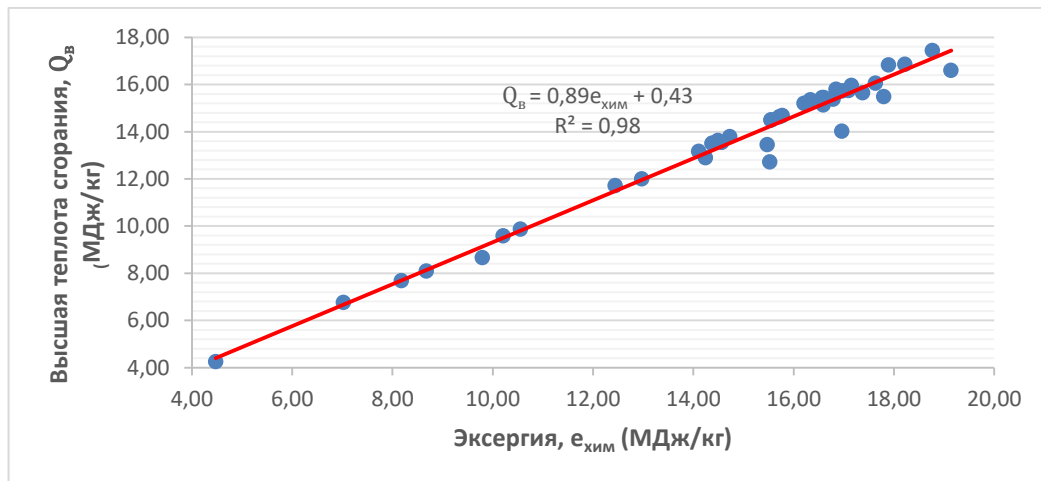
С учетом процентного содержания фракций вычислена высшая теплота сгорания ТКО различного морфологического состава. В Таблице 4.16 приведены данные расчетов эксергии и высшей теплоты сгорания по городам России в различные периоды времени. Построена зависимость между эксергией ТКО и высшей теплотой сгорания, коэффициент корреляции $R^2 = 0,98$ (Рисунок 4.32). Высшая теплота сгорания увеличивается прямо пропорционально росту эксергии: $Q_v = 0,89e_{хим} + 0,43$.

Таблица 4.16 – Высшая теплота сгорания и химическая эксергия ТКО различного морфологического состава по городам России в разные годы

№ п/п	Город	Год	$e_{хим},$ МДж/кг	$Q_v,$ МДж/кг	№ п/п	Город	Год	$e_{хим},$ МДж/кг	$Q_v,$ МДж/кг
1	Днепропетровск	1933	4,47	4,25	22	Горький	1970	15,78	14,69
2	Москва		10,56	9,87	23	Кисловодск		17,89	16,83
3	Ленинград		8,18	7,68	24	Куйбышев		16,98	15,72
4	Киев	1953	8,68	8,09	25	Магадан		14,11	13,16
5	Москва		10,21	9,58	26	Москва		16,59	15,13
6	Ростов-на-Дон		7,03	6,75	27	Пятигорск		16,58	15,43
7	Санкт-Петербург		9,80	8,66	28	Ростов-на-Дону		16,34	15,34

Продолжение таблицы 4.16

№ п/п	Город	Год	$e_{\text{хим}},$ МДж/кг	$Q_{\text{в}},$ МДж/кг	№ п/п	Город	Год	$e_{\text{хим}},$ МДж/кг	$Q_{\text{в}},$ МДж/кг
8	Владивосток	1963	14,38	13,50	29	Саратов		16,61	15,44
9	Волгоград		15,55	14,49	30	Свердловск		16,58	15,40
10	Воронеж		14,49	13,62	31	Санкт-Петербург		15,48	13,44
11	Горький		15,72	14,63	32	Тольятти		14,73	13,78
12	Москва		17,80	15,48	33	Уфа		17,10	15,73
13	Московская обл.		16,87	15,66	34	Москва	1986	16,96	14,01
14	Ростов-на-Дону		12,44	11,71	35	Санкт-Петербург		15,53	12,71
15	Рязань		18,22	16,85	36	Ижевск	1996	16,85	15,80
16	Свердловск		14,57	13,54	37	Калуга		16,21	15,20
17	Санкт-Петербург		14,24	12,89	38	Санкт-Петербург		16,79	15,37
18	Уфа	1970	12,98	12,00	39	Москва	2006	18,77	17,44
19	Астрахань		17,16	15,96	40	Санкт-Петербург		17,38	15,64
20	Владивосток		14,38	13,50	41	Москва	2015	19,14	16,60
21	Волгоград		15,55	14,49	42	Санкт-Петербург		17,63	16,04

Рисунок 4.32 – Зависимость значений высшей теплоты сгорания Q_v и от эксергии $e_{\text{хим}}$ для ТКО различного морфологического состава

За рассматриваемый период минимальные значения $e_{\text{хим}}$, = 4,47 МДж/кг, Q_v = 4,25 МДж/кг получены для г. Днепропетровска (1953 г.). Максимальные показатели зафиксированы в г. Москве: Наибольшее значение

$e_{\text{хим.}} = 19,14 \text{ МДж/кг}$ (2015 г.), $Q_{\text{в}} = 17,44 \text{ МДж/кг}$ (2006 г.). Это более чем в 5 раз выше минимального значения теплоты сгорания, при котором вещества и материалы могут сгорать без дополнительного топлива. По данным [54] эта величина составляет примерно 3,35 МДж/кг.

Отходы г. Москвы и г. Санкт-Петербурга имеют высокую пожарную опасность, что необходимо учесть учитывать при их перевозке и дальнейшей утилизации.

Полученные данные показывают, что ТКО гг. в Москве и Санкт-Петербурге имеют высокие значения эксергии и прогнозируется ее дальнейший рост. Сжигание отходов с получением энергии в крупных городах ограничивается мощностью имеющихся заводов, высокой стоимостью их строительства, возникающими при сжигании экологическими проблемами и мнением общественности. Решением вопроса накопления отходов может стать вывоз мусора из городов железнодорожным транспортом для утилизации их на отдаленных полигонах, мусоросжигательных и мусороперерабатывающих заводах.

При транспортировании ТКО различного морфологического состава ЖДТ необходимо предусмотреть дифференцированные требования к погрузоразгрузочным работам, маркировке, обеспечению экологической и пожарной безопасности.

Отходы, обращающиеся на железнодорожном транспорте, с одной стороны, обладают значительным эксергетическим потенциалом и могут быть использованы для получения энергии, с другой – высокой пожарной опасностью.

4.5.2 Эксергетическая оценка сценариев извлечения ресурсов из отходов

Для сравнительной оценки сжигания сортированных и несортированных отходов были рассмотрены 4 сценария управления отходами (Таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Схема сценариев извлечения ресурсов из ТКО [430, 431]

	Сортируемые отходы	Технологии переработки
Сценарий А	ТКО	Отходы в энергию + обработка зольного остатка
Сценарий В	ТКО	Отходы в энергию + обработка зольного остатка
	Металлы (эффективность сортировки: 60 % для алюминиевых банок, 40 % для алюминиевых контейнеров и фольги, 50 % для железных банок, 10 % для других металлов)	Установка сортировки металла
Сценарий С	ТКО	Отходы в энергию + обработка зольного остатка
	Металлы (эффективность сортировки: 60 % для алюминиевых банок, 40 % для алюминиевых контейнеров и фольги, 50 % для железных банок, 10 % для других металлов)	Установка сортировки металла
	Пластмассы (эффективность сортировки: 50 % для твердых пластмасс, 10 % для мягких и не перерабатываемые пластмассы не сортируются)	Установка сортировки пластмасс
Сценарий D	ТКО	Отходы в энергию + обработка зольного остатка
	Металлы (эффективность сортировки: 60 % для алюминиевых банок, 40 % для алюминиевых контейнеров и фольги, 50% для железных банок, 10 % для других металлов)	Установка сортировки металла
	Пластмассы (эффективность сортировки: 50 % для твердых пластмасс, 10 % для мягких; не перерабатываемые пластмассы не сортируются)	Установка сортировки пластмасс
	Органические отходы (эффективность сортировки: 50 % для продуктов питания и растительных отходов)	Объект анаэробной переработки

Потоки материалов и энергии рассчитываются в отношении 1000 килограмм отходов.

Эффективность переработки ресурсов оценивалась по формуле (4.43)

$$\text{Эффективность переработки ресурсов} = \frac{\text{Эксергия полезных выходных ресурсов}}{\text{Эксергия входных ресурсов}} \quad (4.43)$$

Эффективность рекуперации всегда меньше 100 %, что объясняется потерями эксергии в необратимых процессах реальных систем в технологическом цикле переработки.

Потоки потребленной и выработанной эксергии показаны на Рисунке 4.33.

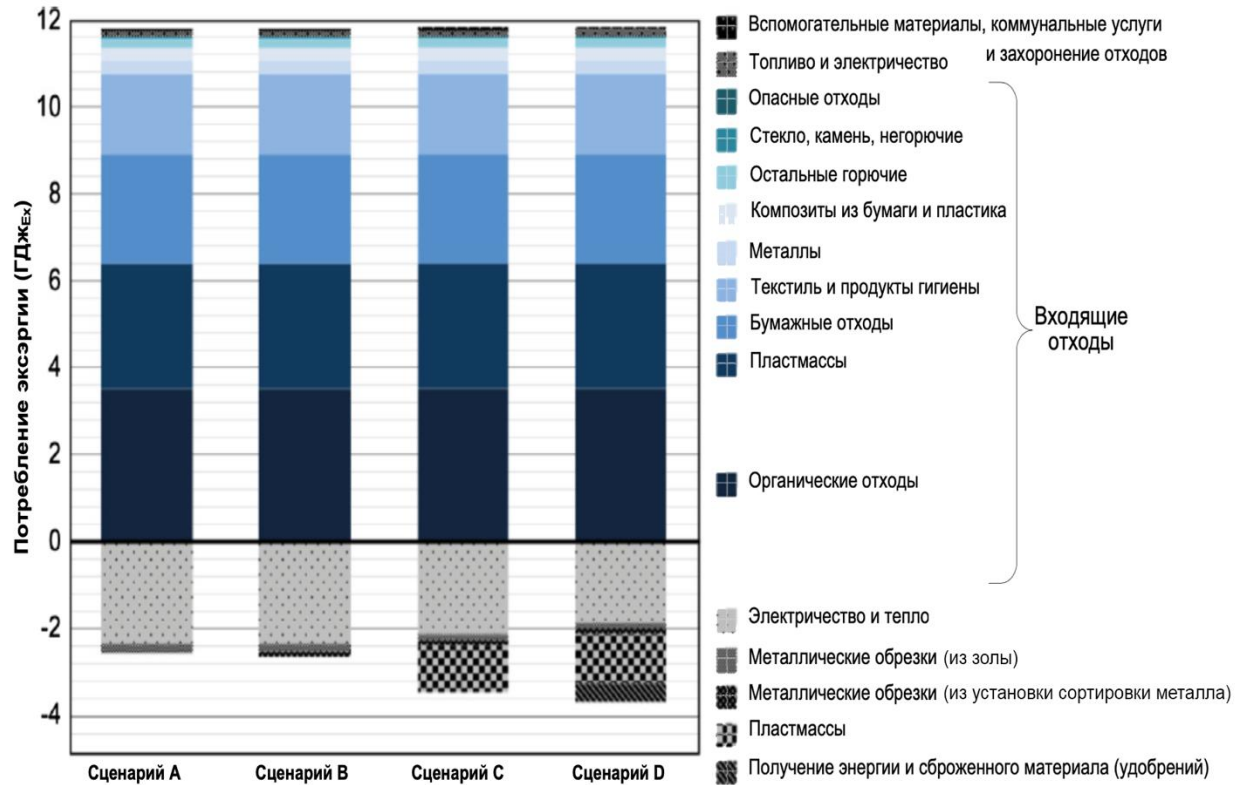


Рисунок 4.33 – Сравнение потребленной (положительные значения) и полученной в ходе переработки эксергии (отрицательные значения) в потоках каждого сценария [430, 431]

Не зависимо от сценария, входной эксергетический поток отходов в несколько раз больше потока полученной эксергии. Не считая вырабатываемой энергии (электрической и тепловой), переработка пластмасс имеет высокие показатели эксергии на выходе (37 % всей эксергии переработки в сценарии C и 34 % в сценарии D). Это объясняется тем, что из пластмасс можно напрямую получать сырье для вторичного производства. Далее идет рекуперация металлов, дающая сравнительно меньшие показатели эксергии на выходе (между 8 % в сценарии D и 13 % в сценарии B).

Количество получаемой эксергии растет от сценария А к сценарию D. Это связано с тем, что если не выделять отдельно металлы, пластмассы, органику, то вся производимая эксергия теряется из-за больших потерь при сжигании и переработке отходов в энергию тепла и электричество. Однако, при сравнении сценариев С и D, видно, что последний повышает эффективность переработки за счет использования сброженных отходов как удобрения.

Показатель эффективности переработки ресурсов для различных сценариев составляет от 17 до 29 % и напрямую зависит от объема перерабатываемых материалов. В основном это связано с высокими потерями эксергии в процессе сжигания отходов (согласно базовому сценарию А).

На сегодняшний день в России при обращении с отходами преобладает их захоронение на полигонах. Однако рост количества отходов, изменение их морфологического состава и свойств требует изменений в технологиях управления отходами. Общие тенденции – увеличение эксергии и пожарной опасности. Решением проблемы может стать сортировка отходов с последующим извлечением вторичных ресурсов, что потребует перевозки отходов на железнодорожном транспорте для утилизации их на мусоросжигательных и мусороперерабатывающих заводах, захоронения на отдаленных от крупных городов полигонах.

4.5.3 Моделирование процессов образования пожаровзрывоопасных газов при обращении с отходами

Фактором негативного воздействия отходов на окружающую среду и человека является их пожаровзрывоопасность. В результате биохимического разложения отходов увеличивается их температура, что активизирует процессы окисления и ведет к дальнейшему росту температуры за счет протекания экзотермических реакций. В процессе биodeградации отходов органического происхождения, образуется биогаз, в состав которого входит 50-65 % об. метана, который в основном определяет пожаровзрывоопасность биогаза, диоксид

углерода и некоторые другие компоненты (например, азот, водород) [432]. Состав биогаза зависит от длительности хранения отходов. Наличие нескольких горючих компонентов, например, метана и водорода, увеличивает вероятность пожара и (или) взрыва.

Разработанный автором данной работы в соавторстве с Хайдаровым А.Г. программный комплекс для моделирования кинетики биохимических процессов, протекающих при перевозке и захоронении пожаровзрывоопасных отходов, с использованием методик интервального анализа и оценки чувствительности представляет собой файл с исходными данными, графический интерфейс и программный код для моделирования методом интервального анализа и проведения анализа чувствительности кинетики химических и биохимических реакций, протекающих в процессе жизненного цикла свалочного тела полигонов захоронения ТКО [433].

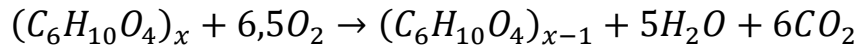
Программный комплекс может быть использован для реализации численных методов решения прямой и обратной задач химической кинетики для химических и биохимических реакций, протекающих при перевозке и захоронении пожароопасных отходов. Его важными особенностями являются возможность применения для других процессов, протекающих в кинетической области и отсутствие необходимости в специальной подготовке пользователя.

Данный программный комплекс позволяет моделировать и исследовать чувствительность заданной реакции к изменению параметров модели. Для идентификации параметров модели используется метод глобальной оптимизации пассивного поиска, с помощью которого могут быть найдены интервальные оценки параметров реакции.

Автором настоящей работы совместно с Хайдаровым А.Г. выполнено моделирование кинетики биопроцессов, происходящих при разложении ТКО в процессе их перевозки и захоронения, результаты представлены в работе [434]. В основу вычислений положена модель Моно. Расчеты проводились по методике, изложенной в работе [435] для аэробного и анаэробного разложения отходов с высокой концентрацией субстрата ($S \gg k_{s,N}$).

Аэробный процесс.

Для оценки скорости расхода O_2 и выработки CO_2 применялась биохимическая реакция аэробного распада



и следующая система уравнений.

Скорость выработки аэробной биомассы R_A [кг\м³\день] определялась по уравнению:

$$R_A = \frac{\partial X_A}{\partial t} = k_{m,A} k_{temp,A} \frac{c_{O_2}}{k_{O_2} + c_{O_2}} X_A - R_{D,A}, \quad (4.44)$$

где X_A – концентрация аэробной биомассы [кг\м³], $k_{m,A}$ – максимальная константа скорости аэробного биораспада [день⁻¹], $k_{temp,A}$ – коррекционный фактор температуры для аэробной биомассы, $k_{s,A}$ – константа полунасыщения субстрата для аэробного роста [кг\м³], c_{O_2} – массовая концентрация кислорода [кг\м³], k_{O_2} – константа полунасыщения кислорода [кг\м³], $R_{D,A}$ – скорость разложения аэробной биомассы [кг\м³\день].

Скорость разложения аэробной биомассы описывается уравнением:

$$R_{D,A} = 0,05 k_{m,A} (X_A - X_{A,0}), \quad (4.45)$$

где $X_{A,0}$ – исходная концентрации аэробной биомассы, [кг\м³].

В случае недостатка кислорода аэробным бактериям в анаэробной стадии свалки, роста не наблюдается и уравнение (4.42) принимает следующий вид:

$$R_A = -0,05 k_{m,A} (X_A - X_{A,0}) \quad (4.46)$$

Газы расходуются и образуются только при росте аэробных бактерий, что позволяет не учитывать время распада:

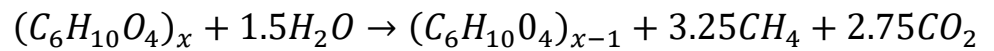
$$\frac{R_{O_2}}{-6,5 \frac{M_{O_2}}{M_{MSW}}} = \frac{R_A}{Y_{S/B,A}} = \frac{k_{m,A} k_{temp,A} \frac{x_{O_2}}{k_{O_2} + x_{O_2}} X_A}{Y_{S/B,A}} \quad (4.47)$$

$$\frac{R_{CO_2}}{6 \frac{M_{CO_2}}{M_{MSW}}} = \frac{R_A}{Y_{S/B,A}} = \frac{k_{m,A} k_{temp,A} \frac{x_{O_2}}{k_{O_2} + x_{O_2}} X_A}{Y_{S/B,A}} \quad (4.48)$$

где R_{O_2} – скорость расхода кислорода [кг\м³\день], $Y_{S/B,A}$ – коэффициент выхода субстрата\аэробной биомассы [кг_B/кг_S]. Константы, используемые в биокинетических уравнениях, определены в работе [435].

Анаэробный процесс.

Для оценки скорости выработки CH₄ и CO₂ рассматривалась следующая биохимическая реакция анаэробного распада:



и рассмотренная ниже система уравнений.

Скорость выработки анаэробной биомассы R_N [кг\м³\день] рассчитывали по уравнению:

$$R_N = \frac{\partial X_N}{\partial t} = k_{m,N} k_{temp,N} X_N - R_{D,N}, \quad (4.49)$$

где X_N – концентрация анаэробной биомассы [кг\м³], $k_{m,N}$ – максимальная константа скорости анаэробного биораспада [день⁻¹], $k_{temp,N}$ – коррекционный фактор температуры для анаэробной биомассы, S – доступный субстрат [кг\м³], $k_{s,N}$ – константа полунасыщения субстрата для анаэробного роста [кг\м³], $R_{D,N}$ – скорость разложения анаэробной биомассы [кг\м³\день].

Скорость разложения анаэробной биомассы составляет:

$$R_{D,N} = 0.05 k_{m,N} (X_N - X_{N,0}), \quad (4.50)$$

где $X_{N,0}$ начальная концентрация анаэробной биомассы, [кг\м³].

Получаемый газ образуется только по мере роста анаэробных бактерий, что позволяет не учитывать время:

$$\frac{R_{CO_2}}{2.75 \frac{M_{CO_2}}{M_{MSW}}} = \frac{R_N}{Y_{S/B,N}} = \frac{k_{m,N} k_{temp,N} X_N}{Y_{S/B,N}} \quad (4.51)$$

$$\frac{R_{CH_4}}{3.25 \frac{M_{CH_4}}{M_{MSW}}} = \frac{R_N}{Y_{S/B,N}} = \frac{k_{m,N} k_{temp,N} X_N}{Y_{S/B,N}}, \quad (4.52)$$

где R_{CO_2} – скорость выработки углекислого газа [кг\м³\день], R_{CH_4} – скорость выработки метана [кг\м³\день], $Y_{S/B,N}$ – коэффициент выхода субстрата\анаэробной биомассы [кг_B/кг_S].

Коррекционный фактор температуры, входящий в биокинетические уравнения для аэробного (4.42) и анаэробного распада (4.47) рассчитывали по следующей формуле:

$$k_{temp} = \frac{(T-T_{max})(T-T_{min})^2}{(T_{opt}-T_{min})[(T_{opt}-T_{min})(T-T_{opt})-(T_{opt}-T_{max})(T_{opt}+T_{min}-2T)]} \quad (4.53)$$

T – температура ТБО [K], T_{max} – максимальная температура для микробного роста [K], T_{min} – минимальная температура для микробного роста [K], T_{opt} – оптимальная температура для микробного роста [K].

Полученные результаты представлены на Рисунках 4.34, 4.35.

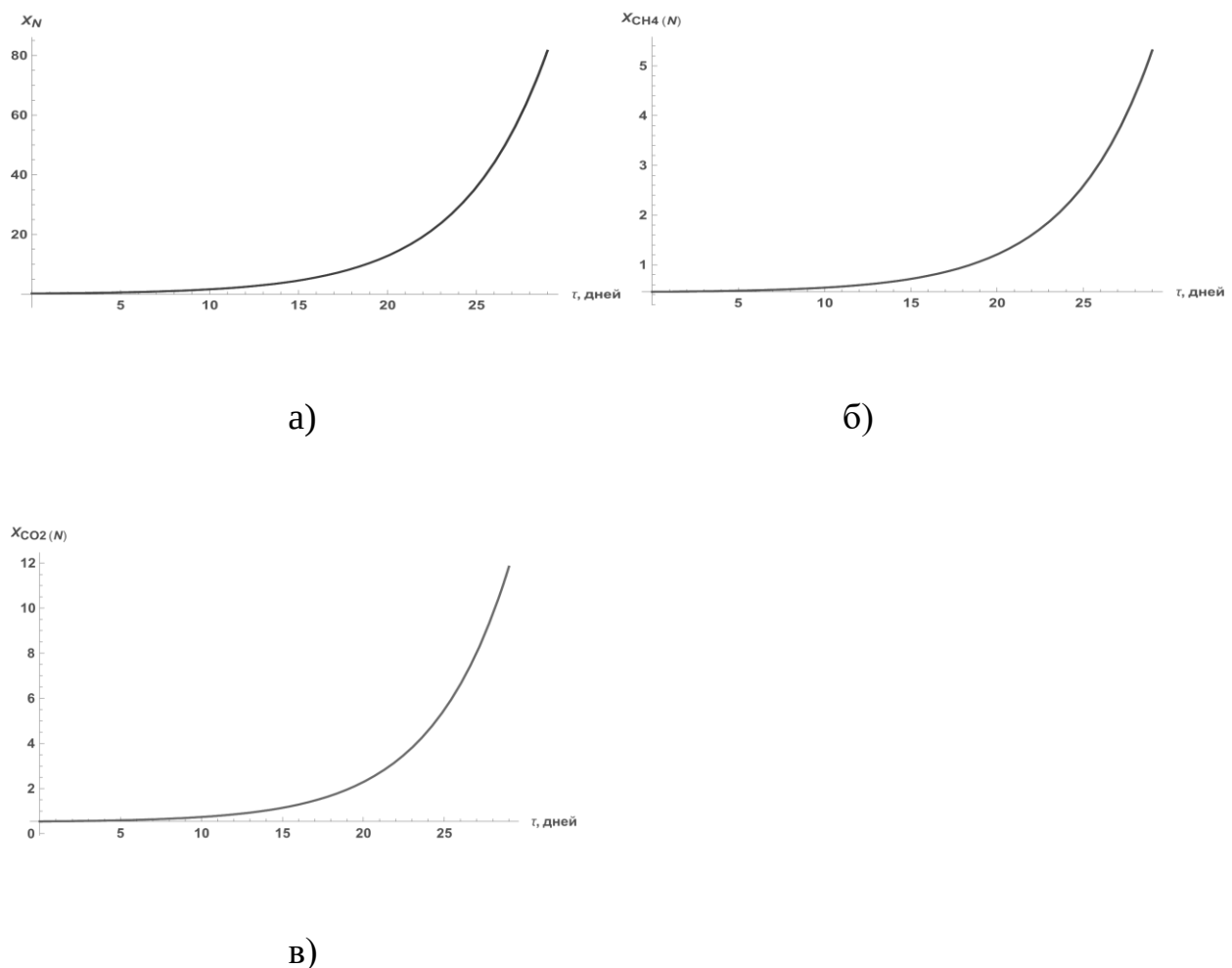


Рисунок 4.34 – Изменение концентрации биомассы (а), образование CH_4 (б), CO_2 (в) во времени для анаэробного процесса концентрации биомассы

Полученные результаты могут быть использованы для прогнозирования скорости образования пожаровзрывоопасных газов, образования и расхода кислорода во времени, изменения концентрации биомассы.

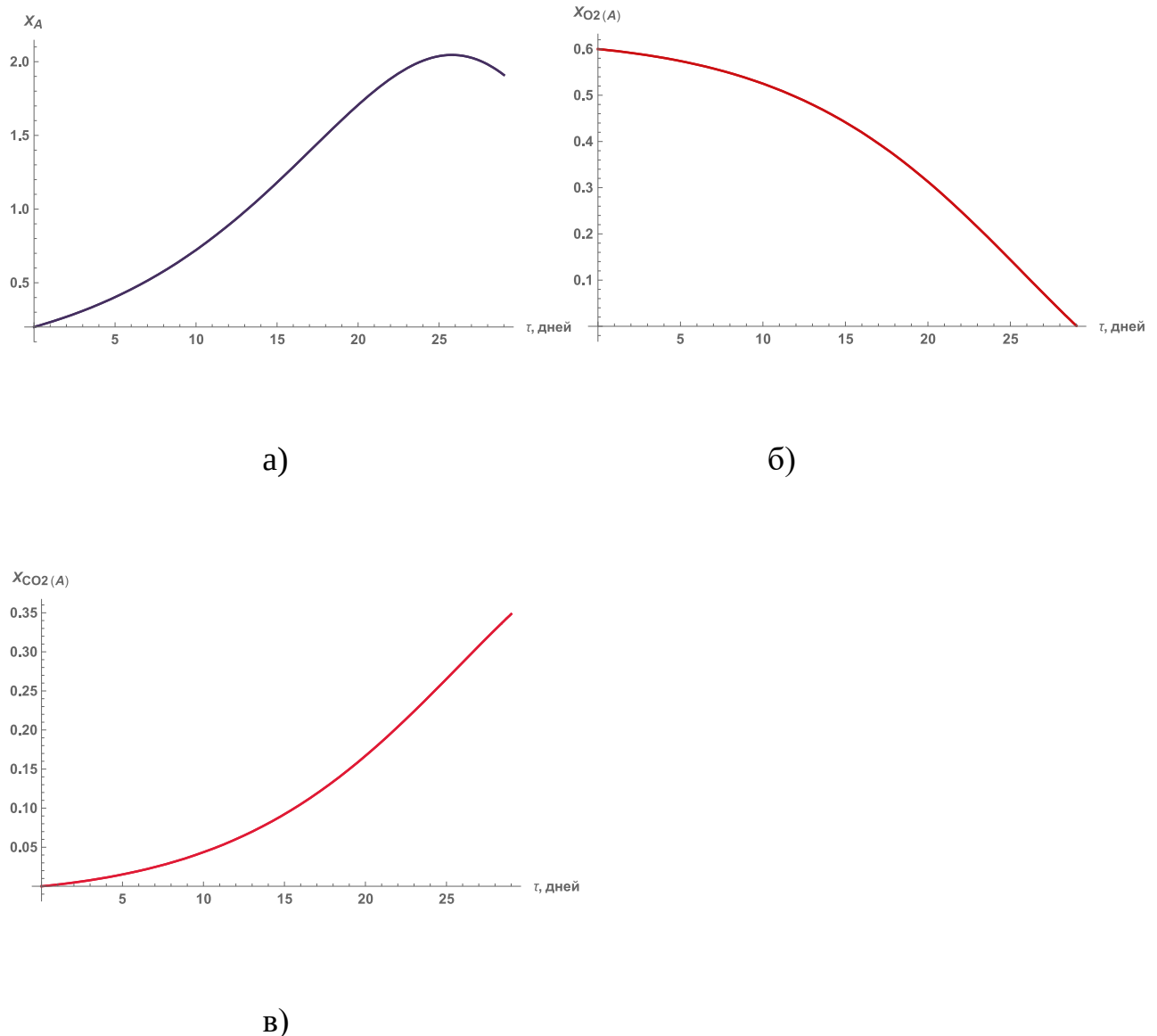


Рисунок 4.35 – Изменение концентрации биомассы (а), расхода O_2 (б) и образования CO_2 (в) во времени для аэробного процесса

Рассмотрено влияние изменения значений констант скоростей на ход процессов распада, что позволяет исследовать химические реакции образования взрывоопасных газов при перевозке и захоронении ТКО. Для оценки

чувствительности констант скоростей на концентрации веществ нами предложена дополнительная система дифференциальных уравнений.

В результате дифференцирования $\frac{\partial}{\partial k} \left(\frac{\partial X}{\partial \tau} \right)$ исходной системы уравнений по различным параметрам получаем m – систем дифференциальных уравнений, каждая из которых содержит n – уравнений (всего $m \times n$ уравнений). Полученные системы уравнений решаются совместно с исходной системой при соответствующих начальных условиях. При этом получаются не только значения концентраций X , но и $[n \times m]$ функций для каждого момента времени, которые характеризуют оценку чувствительности концентраций X к изменению различных констант скоростей реакции k . Критерий чувствительности позволяет проводить оценку влияния k на концентрацию X в момент времени τ .

Анализ представленных на Рисунках 4.36 - 4.40 графиков показывает возможности изменения значений критериев чувствительности, которые могут быть положительными, отрицательными или нулевыми и могут существенно меняться в процессе протекания реакции.

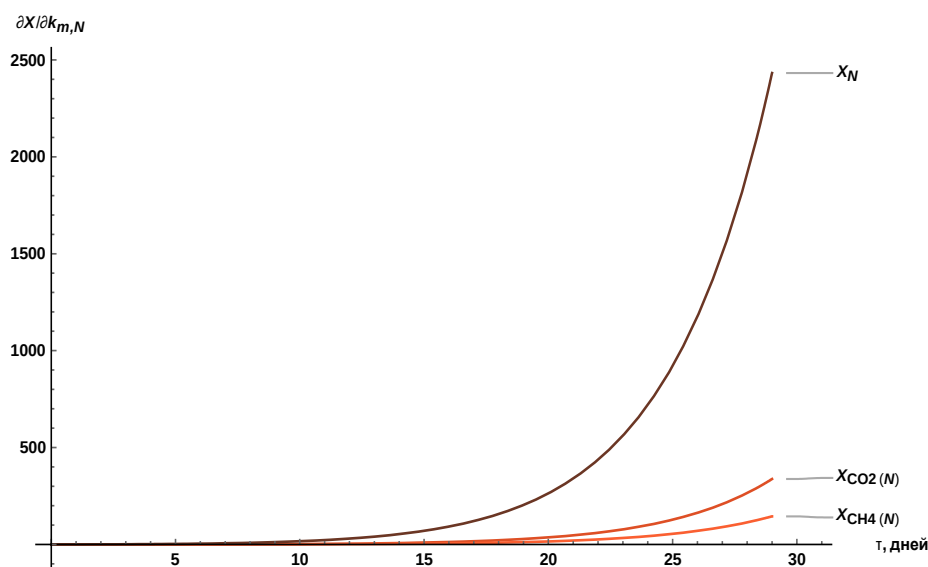


Рисунок 4.36 – Зависимость чувствительности анаэробной биомассы (X_N), концентрации двуокси углерода ($X_{CO_2(N)}$), концентрации метана ($X_{CH_4(N)}$) для анаэробного биопроцесса во времени к изменениям $k_{m,N}$

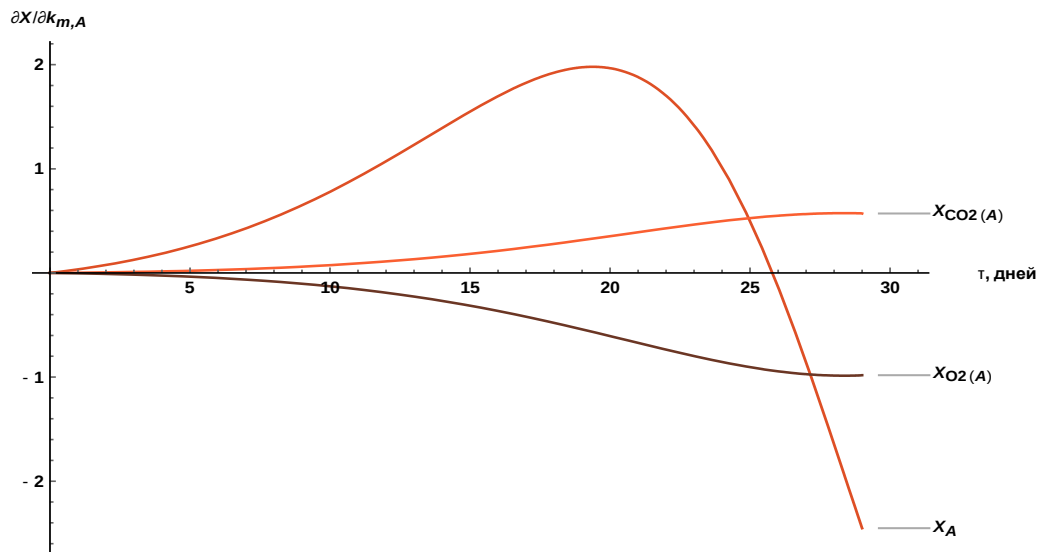


Рисунок 4.37 – Зависимость чувствительности аэробной биомассы (X_A), концентрации двуокиси углерода ($X_{CO_2(A)}$), концентрации кислорода ($X_{O_2(A)}$) для аэробного биопроцесса во времени к изменениям $k_{m,A}$

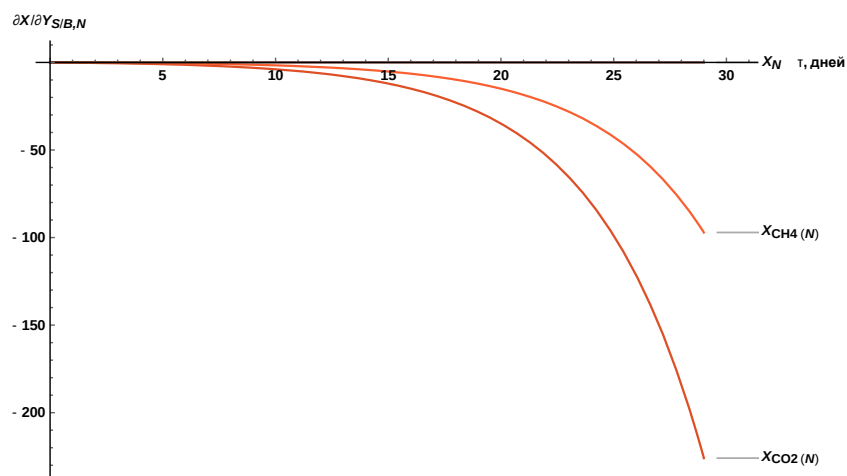


Рисунок 4.38 – Зависимость чувствительности анаэробной биомассы (X_N), концентрации двуокиси углерода ($X_{CO_2(N)}$), концентрации метана ($X_{CH_4(N)}$) для анаэробного биопроцесса во времени к изменениям $Y_{S/B,N}$

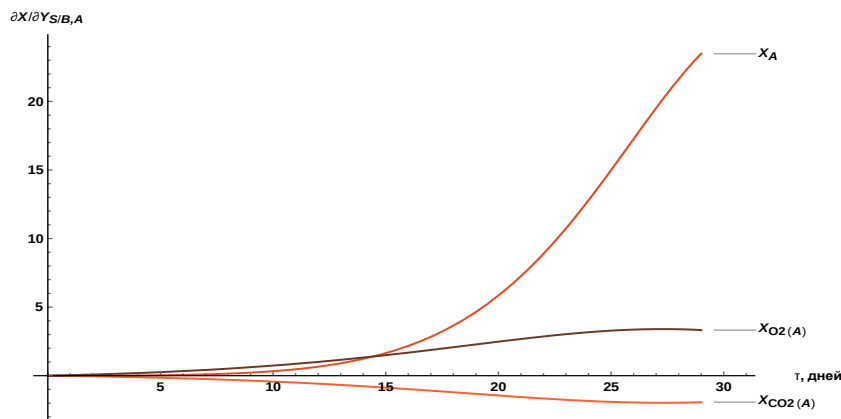


Рисунок 4.39 – Зависимость чувствительности аэробной биомассы (X_A), концентрации двуокиси углерода ($X_{CO_2(A)}$), концентрации кислорода ($X_{O_2(A)}$), для аэробного биопроцесса во времени к изменениям $Y_{S/B,A}$

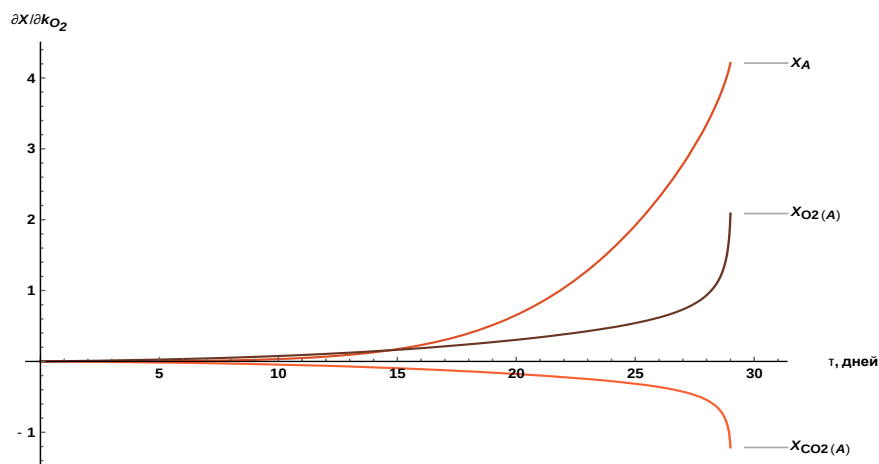


Рисунок 4.40 – Зависимость чувствительности аэробной биомассы (X_A), концентрации двуокиси углерода ($X_{CO_2(A)}$), концентрации кислорода ($X_{O_2(A)}$) для аэробного биопроцесса во времени к изменениям k_{O_2}

Анализ полученных закономерностей позволяет сделать следующие выводы:

X_N наиболее чувствительна к константе $k_{m,N}$. при этом наблюдается экспоненциальная зависимость. Концентрации ($X_{CO_2(N)}$), и ($X_{CH_4(N)}$), менее чувствительны к константе $k_{m,N}$ в тот же момент времени.

Параметр $k_{m,A}$ оказывает положительное влияние на значение концентрации CO_2 и отрицательное влияние на концентрацию O_2 ; в начале временного интервала $k_{m,A}$ положительно влияет на концентрацию биомассы, затем это влияние изменяется до отрицательных значений.

Для анаэробного процесса $Y_{S/B,N}$ оказывает наибольшее отрицательное влияние на концентрацию метана и углекислого газа.

Степень влияния констант $Y_{S/B,A}$, k_{O_2} на X_A , $(X_{\text{CO}_2(A)})$, $(X_{\text{O}_2(A)})$, изменяется во времени, при этом наибольшее положительное влияние параметры $Y_{S/B,A}$, k_{O_2} оказывают на рост во времени анаэробной биомассы.

Изучение кинетики реакций, происходящих при обращении с отходами, позволяет прогнозировать скорость образования пожаровзрывоопасных газов во времени, оценивать влияние различных параметров на происходящие биопроцессы, пожарную обстановку и своевременно предлагать меры, направленные на снижение опасности.

4.5.4 Определение класса опасности отходов

Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) [47] с использованием Банка данных об отходах, объектах их переработки и размещения [436] были определены коды и класс опасности отходов. Значения эксергии рассчитаны по методике, изложенной в п. 4.4.1. Результаты представлены в Приложении Б, Таблица Б3 и проиллюстрированы на Рисунке 4.41.

Как видно из Рисунка 4.41, материалы с высоким значением химической эксергии (например, отходы полистирола, вулканизированной резины), относятся к 5 классу практически не опасных отходов, не наносящих ущерб гомеостазу экологических систем, необходимое время для полного восстановления природной среды составляет не более 3 лет. Такие отходы не требуют паспортизации.

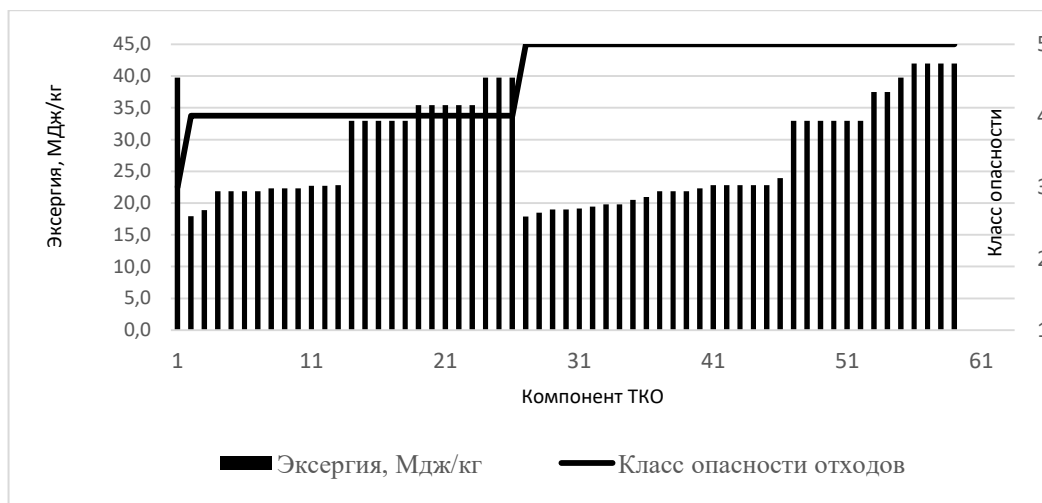


Рисунок 4.41 – Соотношение эксергии и класса опасности отходов

Однако, известно, что на полигонах и свалках отходов нередко возникают пожары. Горение полимеров имеет свои особенности. Температура пламени может достигать 1500–1700°C, что значительно превышает соответствующую величину для древесины. При горении большинства синтетических полимеров наблюдается яркое коптящее пламя с интенсивным тепловым излучением. Ещё одной особенностью горения синтетических полимерных материалов является образование большого количества токсичных продуктов (например, диоксинов) сгорания и густого черного дыма.

Согласно Распоряжению Правительства РФ [437] утвержден перечень видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается. Среди них незагрязненные отходы полимеров.

Согласно Федеральному закону № 89 – ФЗ [438] для отходов I-IV классов опасности устанавливается порядок транспортирования, предусматривающий в том числе требования к обеспечению пожарной безопасности.

Предлагается назначить для отходов, относящихся к классу ЭЗ (вещества и материалы с высоким значением эксергетического показателя) класс опасности не ниже 4. (Приложение Б, Таблица БЗ.). Назначать класс опасности отходов, имеющих значение эксергетического показателя меньше 1 с учетом их экологической и пожарной опасности.

При определении класса опасности ТКО и классификации опасных грузов учет показателей пожарной опасности через эксергетический показатель добавит процедуре объективности в плане назначения более высокого класса в целях обеспечения общей безопасности.

Преимущества эксергетической оценки заключаются в возможности анализа термодинамической эффективности предлагаемых решений, выявления связи термодинамических характеристик с технико-экономическими, экологическими показателями и проведения оценки пожаровзрывоопасности ТКО, обращающихся на ЖДТ.

Выводы по главе 4

1. Предложен методический инструментарий и разработана методика, позволяющая осуществлять расчет и прогнозирование эксергии, отличающаяся возможностью проведения комплексной энергоэкологической оценки и определения пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожного транспорта. Созданный программный комплекс для проведения эксергетического анализа и оценки пожаровзрывоопасности грузов предназначен для вычисления физической и химической эксергии, расчета теплоты сгорания как показателя пожарной опасности веществ и материалов и оценки величины эксергетического коэффициента полезного действия. Комплекс представляет собой совокупность взаимосвязанных программных модулей для проведения эксергетического анализа, встроенный в программный пакет HYSYS с помощью технологии Active X.

2. Проведено исследование и оценка зависимостей показателей пожарной опасности нефтяных грузов ЖДТ от химической эксергии. Были исследованы вещества – углеводороды различных классов, являющиеся компонентами жидких и газообразных топлив.

Получены зависимости Q_H , $T_{всп}$, КПП, ТПР, $T_{св}$ от химической эксергии. Минимальное значение $R^2=0,70$ при определении $НКПП = f(e_{хим})$ для

карбоциклических соединений (циклоалканов и ароматических), максимальное значение $R^2 = 0,99$ при определении $НТПР = f(e_{хим})$ для алканов и $Q_H = f(e_{хим})$ для углеводородов (алканов, алкенов, алкинов, карбоциклических соединений).

Для оценки пожарной опасности предложена классификация грузов по эксергетическому показателю.

3. С точки зрения классификации ОГ в газообразной фазе целесообразно выделение паровой подфазы, что определяется:

- поведением при разлиии;
- более высокими значениями эксергии $e_{хим}$ паров по сравнению с газами.

Отнесение пожароопасного груза к классу, подклассу необходимо производить с учетом фазового состояния с выделением паровой подфазы, значений эксергии, температуры вспышки и температуры кипения.

4. Рост производства и потребления сжиженных углеводородных газов требует решения многих проблем, в том числе связанных с обеспечением ПВБ. Проведен сравнительный анализ эксергетических характеристик СУГ (пар) и СПГ (газ) и выполнен оценка их пожарной опасности, что позволило доказать необходимость классификации грузов с учетом деления веществ на пары и газы и обосновать использование эксергетического показателя для прогнозирования их пожарной опасности.

5. Определены эксергетические условия теплового самовозгорания пористых и дисперсных термореактивных полимерных веществ, материалов и изделий. Получены и обоснованы зависимости физической эксергии самовозгорающихся материалов от энергии активации, критической температуры окружающей среды, теплоемкости самонагревающихся грузов, влажности.

Выявлено, что эксергия практически не зависит от коэффициента теплопроводности самонагревающихся грузов. Однако увеличение коэффициента теплопроводности сопровождается ростом критического размера для неподвижного скопления материала; критическая высота продуваемого слоя зависит от соотношения теплоемкости воздуха и теплоемкости самовозгорающегося материала.

Полученные закономерности позволяют применять эксергетический анализ как инструмент для прогностической оценки и управления пожарными рисками при перевозке самовозгорающихся ОГ. Предлагается использовать значение эксергетического показателя для уточнения их класса опасности.

6. Проведена эксергетическая оценка пожарной опасности отходов, обращающихся на железнодорожном транспорте. Установлены зависимости теплоты сгорания ТКО от эксергии.

Получены зависимости значений химической эксергии и теплоты сгорания от элементного состава ТКО. Увеличение процентного содержания (C+N) приводит к росту теплоты сгорания и эксергии компонентов ТКО. Возрастание процентного содержания кислорода ведет к уменьшению рассматриваемых показателей. Теплота сгорания и химическая эксергия снижаются при росте процентного содержания (N+S+Cl).

Было исследовано изменение эксергии в зависимости от зольности, содержания летучих веществ, и фиксированного углерода. Установлено, что химическая эксергия увеличивается с возрастанием содержания летучих веществ. Увеличение фиксированного углерода приводит к уменьшению рассматриваемого показателя. При снижении зольности эксергия возрастает.

На основании представленной сравнительной характеристики компонентов ТКО по зольности, содержанию летучих веществ, фиксированного углерода, по элементному составу, значениям теплоты сгорания и эксергии проведена классификация компонентов ТКО.

Изучена динамика изменения эксергии ТКО. Общие тенденции дальнейшего развития – увеличение эксергии и теплоты сгорания. Полимерные материалы, количество которых неуклонно возрастает, обладают наибольшими значениями рассматриваемых показателей. Большой вклад в величину эксергии вносят пищевые отходы, бумага и картон, что определяется их количеством.

7. На сегодняшний день в России при обращении с отходами преобладает их захоронение на полигонах. Однако рост количества отходов,

изменение их морфологического состава и свойств требует изменений в технологиях управления отходами.

Перевозка отходов ЖДТ для утилизации их на мусоросжигательных и мусороперерабатывающих заводах, захоронения на отдаленных полигонах рассматривается как решение проблемы накопления мусора в крупных городах. Отходы, обращающиеся на ЖДТ, с одной стороны, обладают значительным эксергетическим потенциалом и могут быть использованы для получения энергии, с другой – высокой пожарной опасностью, что должно быть учтено при их перевозке и разработке мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности.

8. В процессе биохимического превращения отходов органического происхождения, образуется биогаз. Разработан программный комплекс для моделирования кинетики биохимических процессов, протекающих при перевозке и захоронении пожаровзрывоопасных отходов, с использованием методик интервального анализа и оценки чувствительности. Выполнено моделирование кинетики биопроцессов, происходящих при разложении ТКО в процессе их перевозки и захоронения.

Полученные результаты позволяют прогнозировать скорость образования пожаровзрывоопасных газов, расход кислорода во времени, изменение концентрации биомассы. Изучено влияние изменения значения констант скоростей на ход протекания реакций.

9. Установлено, что при назначении классов опасности отходов не учитывается их пожарная опасность. Предложенная методика определения класса опасности ТКО при перевозке позволяет учитывать показатели их пожарной опасности через эксергию, что добавит процедуре объективности в плане назначения более высокого класса в целях обеспечения общей безопасности.

10. Эксергетический показатель рассмотрен как количественная характеристика, позволяющая провести унификацию требований к вредным веществам, содержащимся в сырье, продуктах, полупродуктах и отходах, при их хранении, применении, производстве (по ГОСТ 12.1.007 – 76) и опасным грузам

(по ГОСТ 19433 – 88) с точки зрения их пожарной и экологической опасности, оценить вредное воздействие продуктов их сгорания.

11. Предлагаемый эксергетический подход позволяет проводить комплексную энергоэкологическую оценку и определение пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожного транспорта. Использование эксергетического подхода определяется его универсальностью и возможностью преодоления методологических проблем при необходимости учета различных показателей в единой системе.

5 Способ минимизации пожарного риска, основанный на применении инновационных технических решений, предназначенных для предотвращения и тушения пожаров при железнодорожных перевозках нефтепродуктов

Потенциальная опасность является универсальным свойством техники, технологий и производственной деятельности людей. Невозможность обеспечения абсолютной безопасности требует разработки и внедрения мер, направленных на снижение опасности, мерой возможности реализации которой и ее последствий является риск.

Эргатические системы ЖДТ имеют огромную протяженность. Зарождение причины опасного события, его неконтролируемое развитие и проявление могут быть разделены значительным расстоянием. В этих системах заложены значительные опасности: высокий удельный запас энергии в виде кинетической энергии движущихся составов и высокие значения эксергии используемого топлива, перевозимых ОГ, что определяет их способность к горению (взрыву).

В аналитическом обзоре было показано, что серьезную пожарную и экологическую опасность представляют выбросы паров нефтепродуктов через дыхательную арматуру железнодорожных цистерн, которые классифицируют как "малые" и "большие" дыхания. Кроме того, при этом теряется значительное количество нефтепродуктов.

Предлагаемый способ минимизации пожарного и экологического рисков, а также снижения потерь нефтепродуктов через дыхательную арматуру, основан на применении инновационного технического решения, обеспечивающего предотвращение и тушение пожаров, обусловленных воспламенением шлейфа паров нефтепродуктов на дыхательной арматуре, снижение количества выбросов при железнодорожных перевозках нефтепродуктов и уменьшения вероятности каскадного развития техногенный пожаров.

5.1 Расчет пожарного риска при горении шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости на дыхательной арматуре

Описание объекта

В качестве объекта рассмотрены составы, состоящие из 28 и 54 железнодорожных вагонов – цистерн модели 15-1427, предназначенных для транспортировки нефтепродуктов. Объем кузова $73,1 \text{ м}^3$. Степень заполнения – 0,85. Цистерна оборудована дыхательным клапаном. Состав находится в стационарном положении. При проведении расчетов по оценке пожарного риска для рассматриваемого объекта, физико-химические свойства обращающихся на объекте веществ приняты с определенным запасом надежности (по бензину).

Перечень исходных данных

Свойства бензина и воздуха определялись по данным, приведенным в [439, 440]. При этом с определенным запасом надежности свойства принимались по бензину АИ-93 (зимний): суммарная формула – $\text{C}_{6,911} \text{H}_{12,168}$; молярная масса (М) – 95,3 кг/кмоль; температура вспышки – минус 37°C ; константы уравнения Антуана в температурном интервале $-60 \div 90^\circ\text{C}$: $A=4,26511$, $B = 695,019$, $C=223,220$; НКПР – 1,1 % (об.). Температура окружающего воздуха 40°C . Скорость ветра 4 м/с.

Частота реализации воспламенения шлейфа на дыхательной арматуре железнодорожных цистерн с определенным запасом надежности определялась как для резервуаров для хранения ЛВЖ и ГЖ со стационарной крышей при давлении, близком к атмосферному [125]. Частота реализации огненного шара для железнодорожного вагона-цистерны принята равной $1,0 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$ на одну железнодорожную цистерну согласно [439].

Образование шлейфа паров бензина на дыхательной арматуре и его зажигание с формированием очага горения рассматривалось в виде следующей последовательности стадий:

- 1) образование облака паров бензина при сбросе через дыхательную арматуру;
- 2) загрязнение окружающей среды с образованием объемов

топливовоздушных смесей (ТВС) во взрывоопасных пределах, их воспламенение;

3) сгорание (взрыв) облака ТВС, включая проскок во внутренний объем цистерны и внутренний взрыв;

4) воспламенение и горение в цистерне;

5) разрушение цистерны, выброс горячей жидкой фазы, пожар пролива, пожар-вспышка;

6) попадание в зону возможных поражающих факторов (тепловое излучение, открытое пламя, токсичные продукты выброса либо продукты горения, воздействие давления) людей, оборудования, зданий, сооружений, соседних цистерн;

7) последующее развитие (эскалация) аварии в случае, если затронутое оборудование содержит опасные вещества, в том числе взрывы соседних цистерн, образование на них огненного шара при их перегреве и разрушении;

8) так как в железнодорожной вагоне-цистерне нефтепродукты хранятся при атмосферном давлении, диаметр цистерны не превышает 3,2 м, вследствие чего максимально возможное давление столба жидкости при истечении из вагона - цистерны составляет не более 23,5 кПа, факельное горение при разгерметизации железнодорожной вагона-цистерны не рассматривалось.

9) локализация и ликвидация аварии.

Логическое дерево событий при выходе газовой фазы из цистерны (образование шлейфа паров нефтепродуктов на дыхательной арматуре и его зажигание с формированием очага горения) приведено на Рисунках 5.1, 5.2.

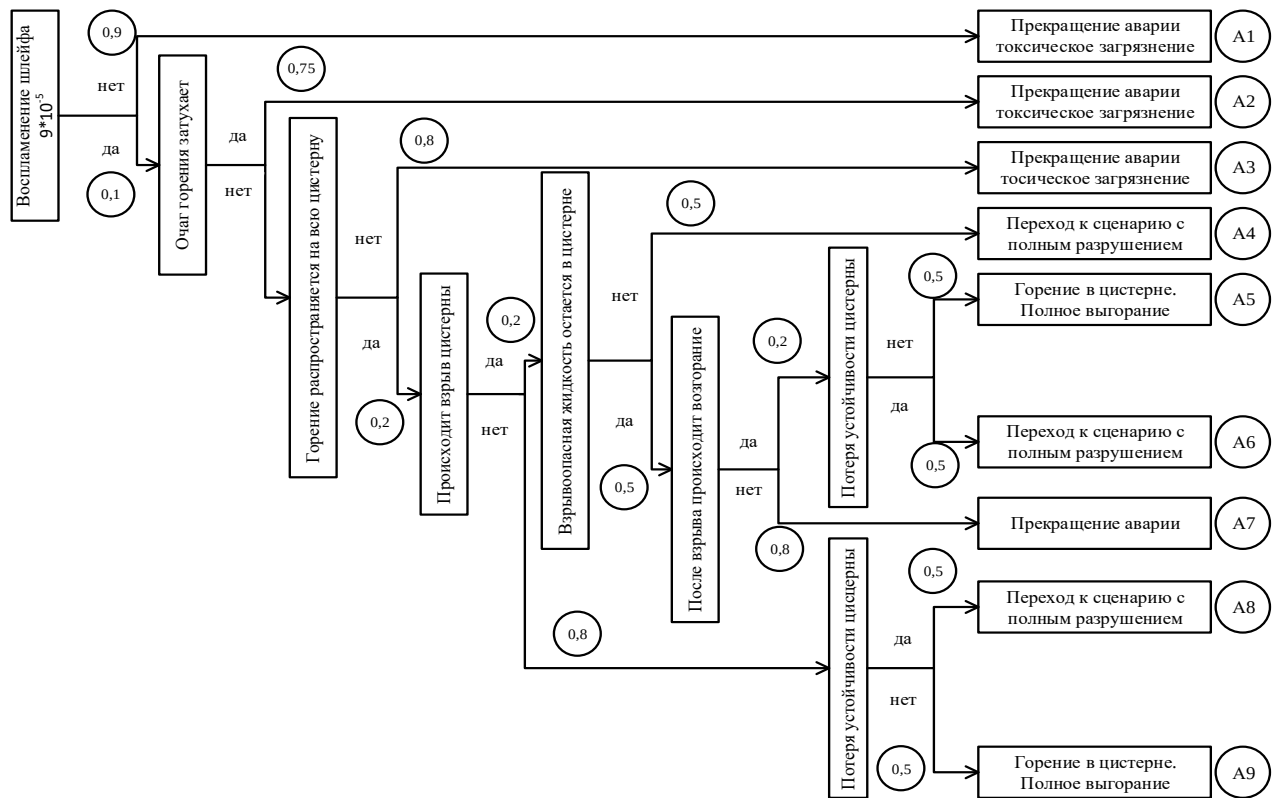


Рисунок 5.1 – Логическое дерево событий при возникновении и развитии пожароопасной ситуации, связанной с образованием шлейфа паров нефтепродуктов на дыхательной арматуре и его зажиганием с формированием очага горения

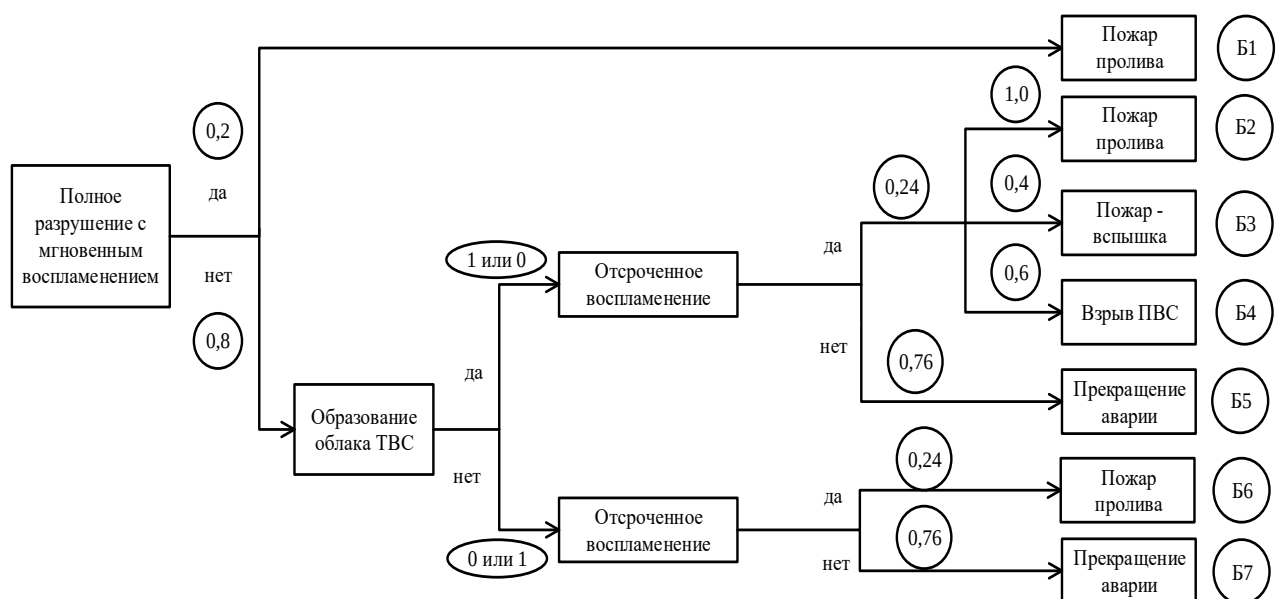


Рисунок 5.2 – Логическое дерево событий при полном разрушении цистерны

Условные вероятности переходов пожароопасной ситуации или пожара со стадии на стадию одной ветви или с ветви на ветвь определялись по данным [125, 441, 442]. Поскольку температура вспышки бензина составляет менее +28°C, то согласно Приложению 3 [125] условные вероятности мгновенного воспламенения, воспламенения с задержкой и сгорания с образованием избыточного давления определялись как для двухфазной среды.

Вероятность реализации различных сценариев аварии рассчитывалась по формуле:

$$Q(A) = Q_{ав} \cdot Q(A_n)_{ст} \quad (5.1)$$

где $Q_{ав}$ – частота возникновения вероятных аварий;

$Q(A_n)_{ст}$ – статистическая вероятность развития аварии по i -й ветви Логического дерева событий.

$$Q(A_1)_{ст} = 0,9;$$

$$Q(A_2)_{ст} = 0,1 \cdot 0,75 = 0,075;$$

$$Q(A_3)_{ст} = 0,1 \cdot 0,25 \cdot 0,8 = 0,02;$$

$$Q(A_4)_{ст} = 0,1 \cdot 0,25 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,5 = 0,0005;$$

$$Q(A_5)_{ст} = Q(A_6)_{ст} = 0,1 \cdot 0,25 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 0,2 \cdot 0,5 = 0,00005;$$

$$Q(A_7)_{ст} = 0,1 \cdot 0,25 \cdot 0,2 \cdot 0,2 \cdot 0,5 \cdot 0,8 = 0,0004;$$

$$Q(A_8)_{ст} = Q(A_9)_{ст} = 0,1 \cdot 0,25 \cdot 0,2 \cdot 0,8 \cdot 0,5 = 0,002;$$

$$Q(B_1)_{ст} = 0,2;$$

$$Q(B_2)_{ст} = 0,8 \cdot 1 \cdot 0,24 \cdot 1 = 0,192;$$

$$Q(B_3)_{ст} = 0,8 \cdot 1 \cdot 0,24 \cdot 0,4 = 0,0768;$$

$$Q(B_4)_{ст} = 0,8 \cdot 1 \cdot 0,24 \cdot 0,6 = 0,1152;$$

$$Q(B_5)_{ст} = 0,8 \cdot 1 \cdot 0,76 = 0,608;$$

$$Q(B_6)_{ст} = Q(B_7)_{ст} = 0.$$

Частоты реализации рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров при выходе газовой фазы из цистерны (образование шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости на дыхательной

арматуре и его зажигание с формированием очага горения) представлены в Таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Частоты реализации рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров при выходе газовой фазы из цистерны (образование шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости на дыхательной арматуре и его зажигание с формированием очага горения).

Пожар на дыхательной арматуре, год ⁻¹	Количество цистерн	Суммарная частота пожаров на дыхательной арматуре, год ⁻¹	Частоты реализации сценариев развития пожароопасной ситуации/ пожара, год ⁻¹		
			Пожар пролива	Взрыв паровоздушного облака	Пожар-вспышка
$9,0 \cdot 10^{-5}$	54	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$1,4 \cdot 10^{-6}$	$9,6 \cdot 10^{-7}$
$9,0 \cdot 10^{-5}$	28	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$7,3 \cdot 10^{-7}$	$4,9 \cdot 10^{-7}$
Образование огненного шара	54	$5,4 \cdot 10^{-5}$			
	28	$2,8 \cdot 10^{-5}$			

Расчет опасных факторов пожара

Масса паров ЛВЖ, выходящих из цистерны

Полная разгерметизация цистерны

Определяем массу бензина (кг), поступившего в окружающую среду при полной разгерметизации одной железнодорожной цистерны:

$$m_a = \rho_L \cdot V_R, \quad (5.2)$$

где ρ_L – плотность жидкости, кг/м³;

V_R – объем жидкости в цистерне, м³

При проливе на неограниченную поверхность площадь пролива $F_{пр}$ (м²) жидкости определяется по формуле:

$$F_{пр} = f_P \cdot V_{ж}, \quad (5.3)$$

где f_p – коэффициент разлития, m^{-1} (при отсутствии данных допускается принимать $5 m^{-1}$ при проливе на неспланированную грунтовую поверхность;

$V_{ж}$ – объем жидкости, поступившей в окружающее пространство при разгерметизации резервуара, m^3 .

Масса паров бензина (кг), поступивших в окружающее пространство:

$$m_{п} = W \cdot F_{пр} \cdot \tau \quad (5.4)$$

где W – интенсивность испарения, $кг/(м^2 \cdot с)$;

τ – расчётное время испарения, с. Время испарения с поверхности пролива бензина консервативно принималась 3600 с [430].

Интенсивность испарения ($кг/(м^2 \cdot с)$) жидкостей определяется по формуле:

$$W = 10^{-6} \cdot \eta \cdot \sqrt{M} \cdot P_{нп}, \quad (5.5)$$

где η – коэффициент, принимаемый при проливе жидкости вне помещения $\eta=1$;

$P_{нп}$ – давление насыщенного пара жидкости, кПа.

Расчёт величины давления насыщенного пара производится по уравнению Антуана:

$$P_{нп} = 10^{(A - \frac{B}{C + t_B})}, \quad (5.6)$$

где t_B – расчетная температура.

Результаты расчета приведены в Таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Параметры разлития ЛВЖ при аварии на железнодорожной цистерне

m_a , кг	$P_{нп}$, кПа	$F_{пр}$, m^2	$W \cdot 10^4$, $кг/(м^2 \cdot с)$	$m_{п}$, кг
44370	42,2	300	4,2	453,6

Масса паров ЛВЖ, выходящих через дыхательную арматуру

Определяем массу паров $m_{п}$ (кг) в случае наполнения резервуара

$$m_{п} = \rho_{п} \cdot V_R \cdot \frac{P_{нп}}{P_0}, \quad (5.7)$$

где $\rho_{п}$ – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, $кг/м^3$,

$$\rho_{\Pi} = \frac{M}{V_0 + (1 + 0,00367 t_B)}, \quad (5.8)$$

P_{Π} – давление насыщенных паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа,

P_0 – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101);

V_R – геометрический объем паровоздушного пространства резервуара (при отсутствии данных допускается принимать равным геометрическому объему резервуара), м³;

M – молярная масса паров ЛВЖ, кг/кмоль;

V_0 – мольный объем, равный 22,413, м³/кмоль;

t_B – расчетная температура, °С.

$$\rho_{\Pi} = \frac{95,3}{22,413 + (1 + 0,00367 \cdot 40)} = 3,707 \text{ кг/м}^3$$

$$m_{\Pi} = 3,707 \cdot 73,1 \cdot \frac{42,2}{101} = 113,2 \text{ кг},$$

Максимальные размеры взрывоопасных зон

При полной разгерметизации цистерны

Для паров ЛВЖ максимальные размеры взрывоопасных зон при неподвижной воздушной среде – радиус $R_{\text{нкпр}}$ (м), высота $Z_{\text{нкпр}}$ (м) определяются по формулам:

$$R_{\text{нкпр}} = 7,8 \cdot \left(\frac{m_{\Pi}}{\rho_{\Pi} \cdot C_{\text{нкпр}}} \right)^{0,33} \quad (5.9)$$

$$Z_{\text{нкпр}} = 0,26 \cdot \left(\frac{m_{\Pi}}{\rho_{\Pi} \cdot C_{\text{нкпр}}} \right)^{0,33} \quad (5.10)$$

где ρ_{Π} – плотность паров ЛВЖ при расчетной температуре, кПа;

$C_{\text{нкпр}}$ – нижний концентрационный предел распространения пламени, % (об).

При разгерметизации одной цистерны $R_{\text{нкпр}} = 36,9$ м; $Z_{\text{нкпр}} = 1,23$ м.

При выходе через дыхательную арматуру в случае наполнения резервуара

$$R_{\text{нкпр}} = 7,8 \cdot \left(\frac{113,2}{3,707 \cdot 1,1} \right)^{0,33} = 23,36 \text{ м}$$

$$Z_{\text{нкпр}} = 0,26 \cdot \left(\frac{113,2}{3,707 \cdot 1,1} \right)^{0,33} = 0,78 \text{ м}.$$

Определение параметров волны давления при сгорании паровоздушного облака

Расчет параметров волны давления (избыточное давление и импульс) при сгорании паровоздушного облака, образующегося в результате испарения бензина с поверхности рассматриваемого пролива при полной разгерметизации цистерны и попадании всего содержимого на грунтовую поверхность проводили по методике, изложенной в [125].

В соответствии с Таблицей П 3.1 [125] классификации веществ, способных к образованию горючих смесей с воздухом, бензин относится к классу 3. По характеру загромождения окружающего пространства принимаем класс III [125]. По Таблице П 3.3 [125] определяем ожидаемый режим сгорания паровоздушного облака – 4 дефлаграция, скорость фронта пламени 150-200 м/с.

Видимую скорость фронта пламени (м/с) определяем по формуле:

$$U = k_1 \cdot M_r^{1/6}, \quad (5.11)$$

где k_1 – константа, равная 43;

M_r – масса горючего вещества, содержащегося в облаке.

При полной разгерметизации одной цистерны $U=119,2$ м/с. Полученная величина не превосходит максимальной скорости, соответствующей данному классу (200 м/с), следовательно, принимается $U=200$ м/с.

Удельное энерговыделение определяем по формуле:

$$E_{уд} = \beta \cdot E_{уд0}. \quad (5.12)$$

Для типичных углеводородов принимается в расчет значение удельной теплоты сгорания $E_{уд0} = 44$ МДж/кг. Корректирующий параметр $\beta = 1$ для бензина. $E_{уд} = 44$ МДж/кг.

Величина энергозапаса определялась по формуле:

$$E = M_r \cdot E_{уд}. \quad (5.13)$$

В связи с характером расположения облака величина энергозапаса удваивается.

$$E = 453,6 \cdot 44 \cdot 10^6 \cdot 2 = 0,399 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$$

Степень расширения продуктов сгорания в соответствии с п. 20 Приложения 3 [125] принималась $\sigma=1$. Скорость звука $C_0=340$ м/с.

Безразмерное расстояние определялось по формуле:

$$R_x = \frac{R}{(E/P_0)^{1/3}} \quad (5.14)$$

Величина безразмерного давления (P_{x1}) рассчитывается по формуле:

$$P_{x1} = \left(\frac{U^2}{C_0^2}\right) \cdot \left(\frac{\sigma-1}{\sigma}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{R_x} - \frac{0,14}{R_x^2}\right) \quad (5.15)$$

Параметр W определяется по формуле:

$$W = \frac{U}{C_0} \cdot \left(\frac{\sigma-1}{\sigma}\right) \quad (5.16)$$

Величина избыточного давления

$$\Delta P = P_{x1} \cdot P_0 \quad (5.17)$$

Величина безразмерного импульса фазы сжатия:

$$I_{x1} = W \cdot (1 - 0,4 \cdot W) \cdot \left(\frac{0,06}{R_x} + \frac{0,01}{R_x^2} - \frac{0,0025}{R_x^3}\right) \quad (5.18)$$

Величина импульса фазы сжатия:

$$I^+ = I_{x1} \cdot P_0^{2/3} \cdot \frac{E^{1/3}}{C_0} \quad (5.19)$$

Рассчитаем величины по формулам (5.15) - (5.19) при $R = 30$ м, $P_0 = 101300$ Па.

$$R_x = 0,41$$

При $R_x < R_{кр1} = 0,34$ в формулы расчета P_{x1} и I_{x1} вместо R_x подставляется $R_{кр1} = 0,34$.

$$P_{x1} = \left(\frac{200^2}{340^2}\right) \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) \cdot \left(\frac{0,83}{0,41} - \frac{0,14}{0,41^2}\right) = 0,354$$

$$W = \frac{200}{340} \cdot \left(\frac{7-1}{7}\right) = 0,504$$

$$\Delta P = 0,354 \cdot 101300 = 3,58 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$I_{x1} = 0,504 \cdot (1 - 0,4 \cdot 0,504) \cdot \left(\frac{0,06}{0,41} + \frac{0,01}{0,41^2} - \frac{0,0025}{0,41^3}\right) = 0,068$$

Величина импульса фазы сжатия

$$I^+ = 0,068 \cdot 101300^{2/3} \cdot \frac{(0,399 \cdot 10^{11})^{1/3}}{340} = 1540,24 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Изменяя расстояние R , повторяем расчеты по формулам (5.15) - (5.19) и определяем величины избыточного давления и импульса фазы сжатия. Результаты показаны на Рисунках 5.3, 5.4.

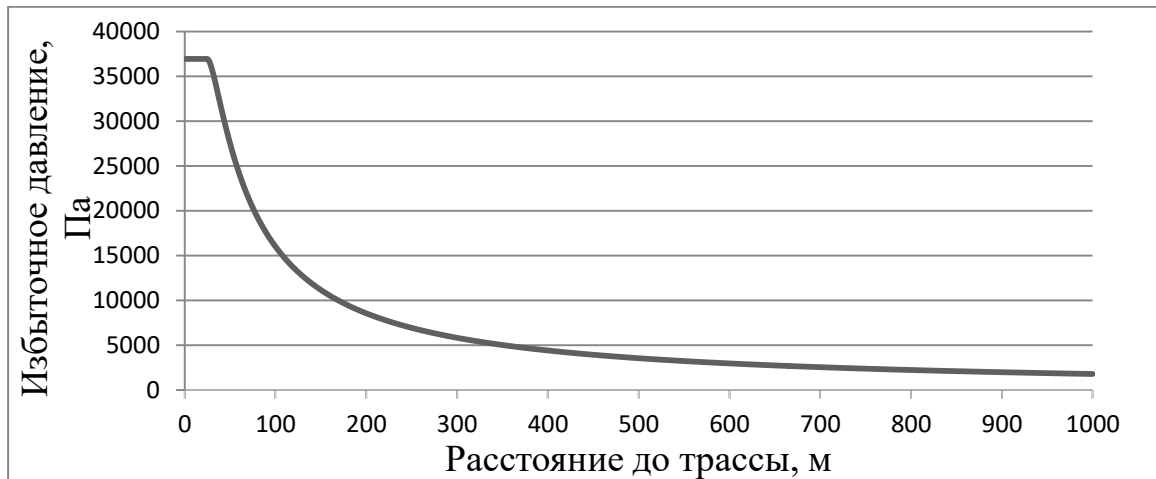


Рисунок 5.3 – Зависимость избыточного давления в волне давления от расстояния до трассы



Рисунок 5.4 – Зависимость импульса фазы сжатия в волне давления от расстояния до трассы

Расчет интенсивности теплового излучения

Пожар пролива

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м², рассчитываем по формуле:

$$q = E_f \cdot F_q \cdot \tau \quad (5.20)$$

где E_f – среднеповерхностная плотность теплового излучения пламени кВт/м²;

τ – коэффициент пропускания атмосферы;

F_q – угловой коэффициент облученности;

E_f принимаем по Таблице П 3.4 [125] в зависимости от эффективного диаметра пролива.

Эффективный диаметр пролива, d (м), рассчитываем по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi}} \quad (5.21)$$

$d=20$ м; $E_f = 47$ кВт/м².

Угловой коэффициент облученности F_q определяется по формуле:

$$F_q = \sqrt{F_V^2 + F_H^2} \quad (5.22)$$

где: F_V , F_H – факторы облученности для вертикальной и горизонтальной площадок соответственно, определяемые для площадок, расположенных в 90° секторе в направлении наклона пламени, по следующим формулам:

$$F_V = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ -E \cdot \arctg D + E \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) + \right. \\ \left. + \frac{\cos \theta}{C} \cdot \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] \right\} \quad (5.23)$$

$$F_H = \frac{1}{\pi} \cdot \left\{ \arctg \left(\frac{1}{D} \right) + \frac{\sin \theta}{C} \left[\arctg \left(\frac{a \cdot b - F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) + \arctg \left(\frac{F^2 \cdot \sin \theta}{F \cdot C} \right) \right] - \right. \\ \left. - \left[\frac{a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot b \cdot (1 + a \cdot \sin \theta)}{A \cdot B} \right] \cdot \arctg \left(\frac{A \cdot D}{B} \right) \right\} a = \frac{2 \cdot L}{D} \quad (5.24)$$

$$b = \frac{2 \cdot X}{D}$$

$$A = \sqrt{(a^2 + (b+1)^2 - 2 \cdot a \cdot (1 + b) \cdot \sin \theta)}$$

$$B = \sqrt{(a^2 + (b - 1)^2 - 2 \cdot a \cdot (b - 1) \cdot \sin \theta)}$$

$$C = \sqrt{(1 + (b^2 - 1) \cdot \cos^2 \theta)}$$

$$D = \sqrt{\left(\frac{b-1}{b+1}\right)}$$

$$E = \frac{a \cdot \cos \theta}{b - a \cdot \sin \theta}$$

$$F = \sqrt{(b^2 - 1)}$$

где: X – расстояние от геометрического центра пролива до облучаемого объекта, м;

d – эффективный диаметр пролива, м;

L – длина пламени, м;

θ – угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра.

Величина u_* рассчитывается по формуле:

$$u_* = \frac{w_0}{\sqrt[3]{\frac{m' \cdot g \cdot d}{\rho_{\Pi}}}} \quad (5.25)$$

где m' – удельная массовая скорость выгорания топлива, кг/(м²·с). По Таблице П 3.4 [125] принимаем 0,06 кг/(м²·с);

ρ_{Π} – плотность насыщенных паров топлива при температуре кипения, кг/м³. Рассчитываем по формуле (5.8). Температура кипения бензина принята 68 °С (по гексану);

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81$ м/с².

w_0 – скорость ветра, м/с; $w_0 = 4$ м/с

$$\rho_{\Pi} = \frac{95,3}{22,413 + (1 + 0,00367 \cdot 68)} = 3,403 \text{ кг/м}^3.$$

$$u_* = \frac{4}{\sqrt[3]{\frac{0,06 \cdot 9,81 \cdot 20}{3,403}}} = 2,64 \quad (5.26)$$

Угол отклонения пламени от вертикали под действием ветра θ рассчитывается по формуле:

$$\cos \theta = \begin{cases} 1, & \text{при } u_* < 1 \\ u_*^{-0,5}, & \text{при } u_* \geq 1 \end{cases} \quad (5.27)$$

$$\text{При } u_* = 2,64, \cos \theta = 2,64^{-0,5} = 0,62$$

Длина пламени L (м) определяется по формулам:

при $u_* \geq 1$

$$L = 55 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,67} \cdot u_*^{0,21} \quad (5.28)$$

при $u_* < 1$

$$L = 42 \cdot d \cdot \left(\frac{m'}{\rho_a \cdot \sqrt{g \cdot d}} \right)^{0,61} \quad (5.29)$$

где:

ρ_a – плотность окружающего воздуха при расчетной температуре, $\rho_a = 1,15 \text{ кг/м}^3$;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

$$L = 55 \cdot 20 \cdot \left(\frac{0,06}{1,15 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 20}} \right)^{0,67} \cdot 2,64^{0,21} = 31,81 \text{ м.}$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ определялся по формуле:

$$\tau = \exp[-7 \cdot 10^{-4} \cdot (X - 0,5 \cdot d)]. \quad (5.30)$$

Расстояние от геометрического центра пролива рассчитывается следующим образом:

$$X = r + 0,5d,$$

где r – расстояние от объекта до пролива.

Полученная зависимость интенсивности теплового излучения от расстояний до границы очага представлена на Рисунке 5.5.

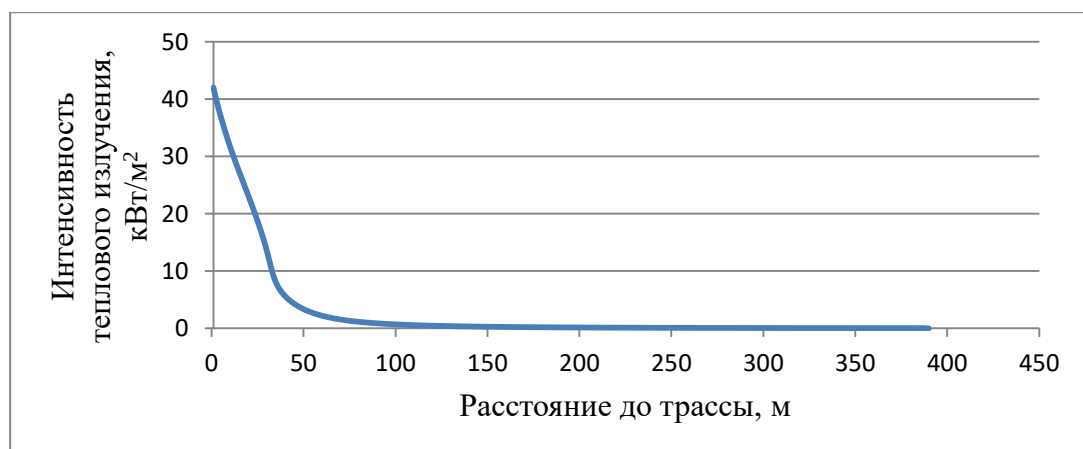


Рисунок 5.5 – Зависимость интенсивности теплового излучения пожара пролива от расстояния до трассы

Результаты расчета для $r = 1$ приведены в Таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Результаты расчета интенсивности теплового излучения пожара пролива при расстоянии от объекта до пролива 1 м

r, м	X, м	a	b	A	B	C	D	E	F	Fv	Fн	Fq	τ	q, кВт/м ²
1	11	3,06	1,10	1,87	2,98	1,06	0,22	-1,36	0,46	0,34	0,33	0,90	0,99	42,0

Огненный шар

Интенсивность теплового излучения q , кВт/м², определялась по формуле (5.20).

Принимаем среднеповерхностную плотность теплового излучения пламени $E_f = 350$ кВт/м² [125].

Значение F_q определялось по формуле:

$$F_q = \frac{D_s}{4 \cdot (H^2 + r^2)} \quad (5.31)$$

где: H – высота центра огненного шара, м;

D_s – эффективный диаметр огненного шара, м;

r – расстояние от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара, м.

Эффективный диаметр огненного шара D_s (м) определяется по формуле:

$$D_s = 6,48 \cdot m^{0,325}, \quad (5.32)$$

где: m – масса продукта, поступившего в окружающее пространство, кг.

Величину H допускается принимать равной D_s .

Время существования огненного шара t_s (с) определяется по формуле:

$$t_s = 0,852 \cdot m^{0,26} \quad (5.33)$$

Коэффициент пропускания атмосферы τ для огненного шара рассчитывается по формуле:

$$\tau = \exp \left[-7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\sqrt{r^2 + H^2} - \frac{D_s}{2} \right) \right] \quad (5.34)$$

Эффективный диаметр огненного шара

$$D_s = 6,48 \cdot 44370^{0,325} = 209,8 \text{ м}$$

$$t_s = 0,852 \cdot 44370^{0,26} = 13,8 \text{ с}$$

При $r = 1 \text{ м}$

$$\tau = \exp \left[-7 \cdot 10^{-4} \cdot \left(\sqrt{1^2 + 209,7^2} - \frac{209,7}{2} \right) \right] = 0,929$$

$$F_q = \frac{209,8}{4 \cdot (209,8^2 + 1)} = 0,25q =$$

$$350 \cdot 0,25 \cdot 13,8 = 81,29 \text{ кВт/м}^2.$$

Доза теплового излучения от огненного шара:

$$D = q \cdot t_s = 1,1 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2.$$

Полученная величина превышает $3,2 \cdot 10^3 \text{ Дж/м}^2$, что соответствует ожогу 3-й степени [443].

Аналогично по формулам (5.20), (5.31), (5.34) проводим расчеты, меняя расстояние r от облучаемого объекта до точки на поверхности земли непосредственно под центром огненного шара. Результаты расчетов представлены на Рисунке 5.6.

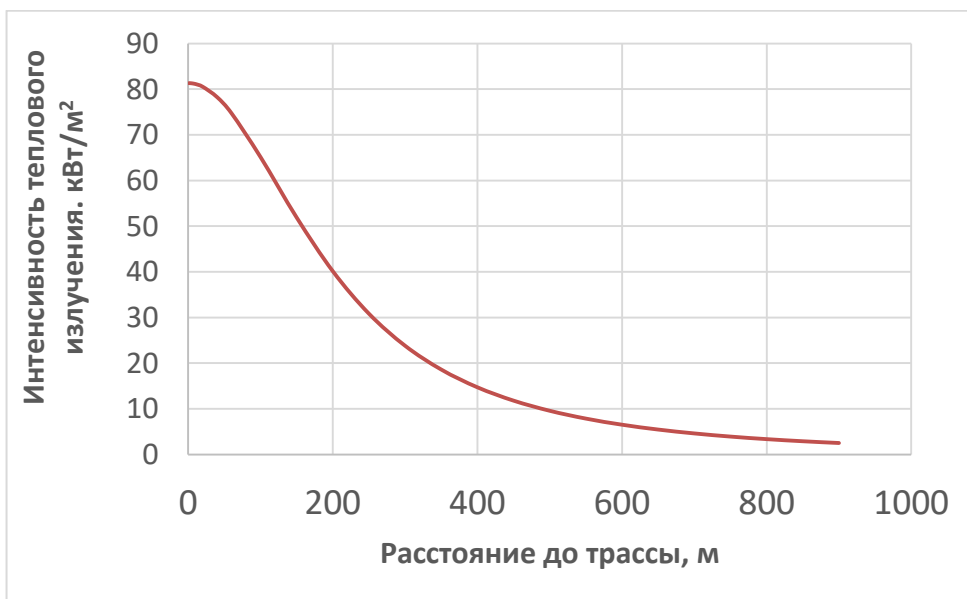


Рисунок 5.6 – Зависимость интенсивности теплового излучения огненного шара от расстояния до трассы

Определение радиуса воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака вследствие пожара – вспышки

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания

паровоздушного облака при пожаре-вспышке R_F определяем по формуле [125]:

$$R_F = 1,2R_{\text{НКПР}},$$

где: $R_{\text{НКПР}}$ – горизонтальный размер взрывоопасной зоны, рассчитанный по формуле (5.6):

$$R_F = 1,2 \cdot 36,9 = 44,2 \text{ м}$$

Расчет условной вероятности поражения людей тепловым излучением пожара

Проведем расчет условной вероятности поражения людей тепловым излучением пожара пролива бензина площадью 300 м^2 с использованием пробит-функции в точке, расположенной на расстоянии $r=20 \text{ м}$ от границы очага пожара.

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $q=22,9 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 составляет $35,2 \text{ м}$.

Величина эффективного времени экспозиции равна:

$$t = t_0 + \frac{x}{u} \quad (5.35)$$

t_0 – характерное время, за которое человек обнаруживает пожар и принимает решение о своих дальнейших действиях, с (принимается равным 5);

x – расстояние от места расположения человека до безопасной зоны, в которой интенсивность теплового излучения меньше 4 кВт/м^2 ($4,2 \text{ кВт/м}^2$ безопасное для человека в брезентовой одежде [125]);

u – средняя скорость движения человека к безопасной зоне, м/с (принимается 5 м/с).

Величину пробит-функции определяем по формуле:

$$\text{Pr} = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot q^{\frac{4}{3}}) \quad (5.36)$$

Проведем расчет условной вероятности поражения людей тепловым излучением пожара пролива бензина площадью 300 м^2 с использованием пробит-функции в точке, расположенной на расстоянии $r=20 \text{ м}$ от границы очага пожара.

Интенсивность теплового излучения в рассматриваемой точке составляет $q = 22,9 \text{ кВт/м}^2$.

Расстояние от рассматриваемой точки до зоны, где интенсивность теплового излучения равна 4 кВт/м^2 , составляет $35,2 \text{ м}$.

По формуле (5.35), получаем:

$$t = 5 + \frac{35,2}{5} = 12,04 \text{ с.}$$

По формуле (5.36) определяем величину пробит-функции:

$$Pr = -12,8 + 2,56 \cdot \ln(12,04 \cdot 22,9^{\frac{4}{3}}) = 4,26.$$

По Таблице 4.2 Приложения 4 [125] определяем условную вероятность поражения человека тепловым излучением, которая составляет $Q_d=0,115$.

Аналогично получаем значения условной вероятности поражения человека тепловым излучением пожара пролива на различных расстояниях от границы пожара. Результаты представлены на графике (Рисунок 5.7). Условная вероятность поражения человека, попавшего в зону непосредственного воздействия пламени пожара пролива принимается 1.

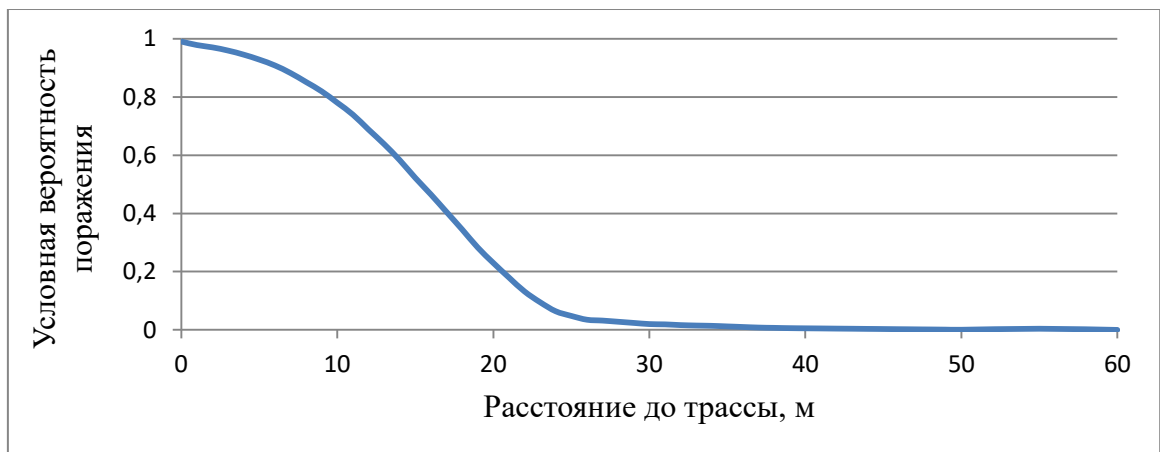


Рисунок 5.7 – Зависимость условных вероятностей поражения человека тепловым излучением при пожаре пролива от расстояния до трассы

Величина эффективного времени экспозиции огненного шара:

$$t = 0,92 \cdot m^{0,33}. \quad (5.37)$$

Величину пробит-функции определяем по формуле (5.36).

Аналогично расчетам условных вероятностей поражения человека тепловым излучением при пожаре пролива получаем значения условных вероятностей поражения человека тепловым излучением огненного шара и строим график зависимости рассчитанных условных вероятностей от расстояния до трассы (Рисунок 5.8).

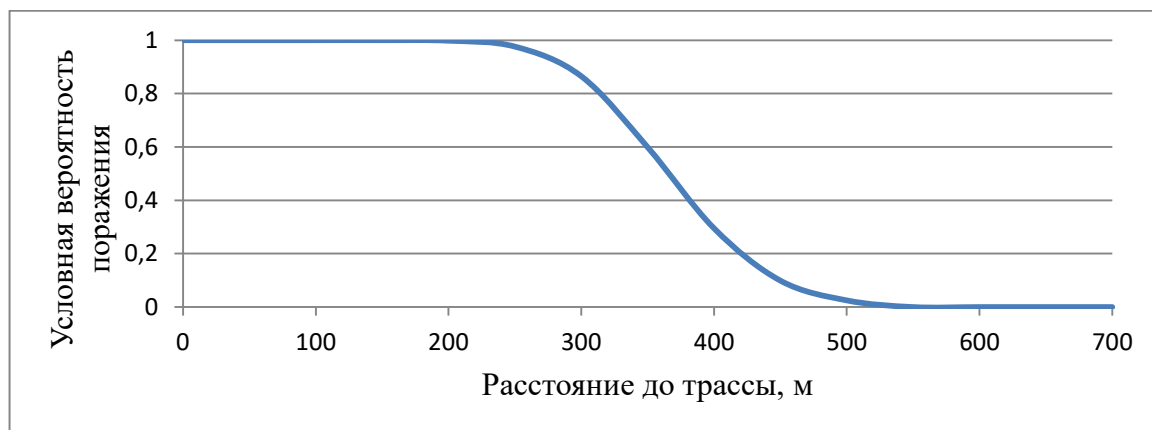


Рисунок 5.8 – Зависимость условных вероятностей поражения человека тепловым излучением огненного шара от расстояния до трассы

Воздействие продуктов сгорания

Радиус воздействия высокотемпературных продуктов сгорания паровоздушного облака при пожаре-вспышке по расчетам составил 44,2 м.

Для пожара-вспышки принимаем, что условная вероятность поражения человека, попавшего в зону воздействия высокотемпературными продуктами сгорания ГПВ облака, равна 1, за пределами этой зоны – 0.

Расчет условной вероятности поражения человека волной давления для сценариев, связанных со взрывом паровоздушного облака

Проведем расчет условной вероятности поражения человека волной давления с использованием пробит-функции.

В соответствии с результатами расчета параметров волны давления при взрыве паровоздушного облака, образовавшегося в результате испарения бензина

с поверхности пролива для точки, расположенной на расстоянии 30 м от центра облака получены следующие значения:

$$\Delta P = 3,58 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$I^+ = 1540,24 \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Для воздействия волны давления на человека:

$$Pr = 5,0 - 5,74 \ln S$$

$$S = \frac{4,2}{P^-} + \frac{1,3}{i}$$

$$P^- = \frac{\Delta P}{P_0}$$

$$i = \frac{I^+}{P_0^{1/2} \cdot m^{1/3}},$$

где m – масса тела человека (допускается принимать равной 70 кг), кг

Величина параметра V на расстоянии 30 м от центра облака определяется по формуле:

$$V = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{I^+} \right)^{9,3} \quad (5.38)$$

$$V = \left(\frac{17500}{3,58 \cdot 10^4} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{1540,24} \right)^{9,3} = 0,0245$$

Зависимость условных вероятностей поражения человека волной давления, определенных по Таблице 4.2 Приложения 4 [125], в зависимости от расстояния до трассы представлена на Рисунке 5.9.

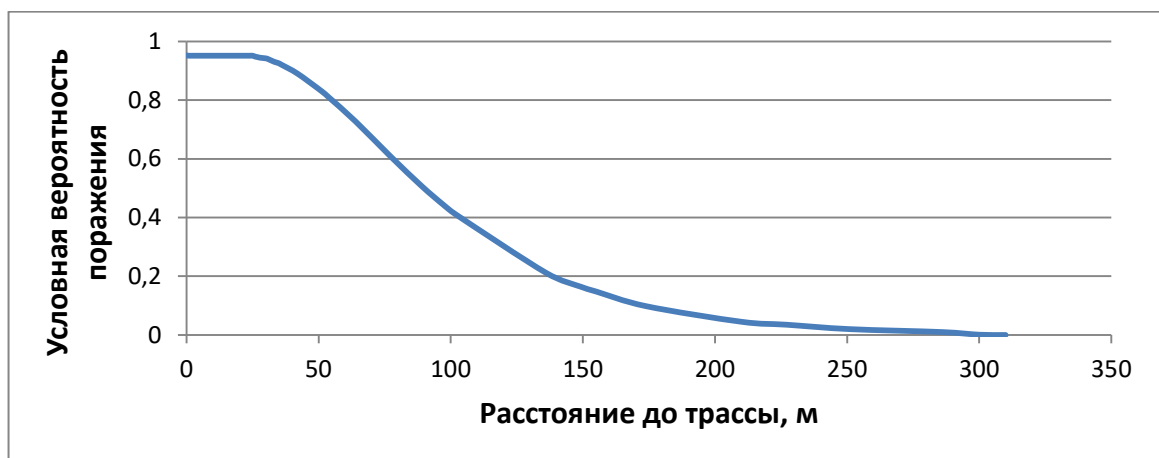


Рисунок 5.9 – Зависимость условных вероятностей поражения человека волной давления от расстояния до трассы

Расчет риска

Величина потенциального пожарного риска P_A , год^{-1} (далее – потенциальный риск) в определенной точке территории A определяется по формуле:

$$P_{(A)} = \sum_{j=1}^J Q_{dj}(A) \cdot Q_j, \quad (5.39)$$

где J – число сценариев развития пожароопасных ситуаций (пожаров, ветвей логического дерева событий);

$Q_{dj}(A)$ – условная вероятность поражения человека в определенной точке территории (a) в результате реализации j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, отвечающего определенному иницирующему аварии событию;

Q_j – частота реализации в течение года j -го сценария развития пожароопасных ситуаций, год^{-1} .

По формуле (5.39) определяем величину потенциального риска состава, сформированного из 28 железнодорожных цистерн с ЛВЖ на расстоянии 10 м от трассы:

$$P_{(A)} = 0,78 \cdot 0,0005 + 0,78 \cdot 0,00000073 + \\ + 1 \cdot 0,00000049 + 1 \cdot 0,000028 = 4,2 \cdot 10^{-4}.$$

Величины потенциального риска в зависимости от расстояния для состава, сформированного из 28 вагонов-цистерн с ЛВЖ, приведены в Таблице 5.4 и на Рисунке 5.10.

Таблица 5.4 – Величины потенциального и индивидуального риска в зависимости от расстояния приведены для состава, сформированного из 28 вагонов-цистерн с ЛВЖ

Расстояние от трассы, м	$P_{(A)}$, год^{-1}	$R_{(A)}$, год^{-1}
1	$3,21 \cdot 10^{-5}$	$1,09 \cdot 10^{-5}$
10	$3,11 \cdot 10^{-5}$	$1,06 \cdot 10^{-5}$
15	$3,01 \cdot 10^{-5}$	$1,02 \cdot 10^{-5}$
20	$2,93 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$
25	$2,91 \cdot 10^{-5}$	$9,89 \cdot 10^{-6}$

Продолжение таблицы 5.4

Расстояние от трассы, м	$P_{(A)}, \text{год}^{-1}$	$R_{(A)}, \text{год}^{-1}$
30	$2,89 \cdot 10^{-5}$	$9,82 \cdot 10^{-6}$
35	$2,85 \cdot 10^{-5}$	$9,69 \cdot 10^{-6}$
50	$2,81 \cdot 10^{-5}$	$9,55 \cdot 10^{-6}$
200	$2,77 \cdot 10^{-5}$	$9,42 \cdot 10^{-6}$
250	$2,71 \cdot 10^{-5}$	$9,21 \cdot 10^{-6}$
300	$2,41 \cdot 10^{-5}$	$8,19 \cdot 10^{-6}$
400	$8,01 \cdot 10^{-6}$	$2,75 \cdot 10^{-6}$
500	$7,01 \cdot 10^{-7}$	$2,38 \cdot 10^{-6}$

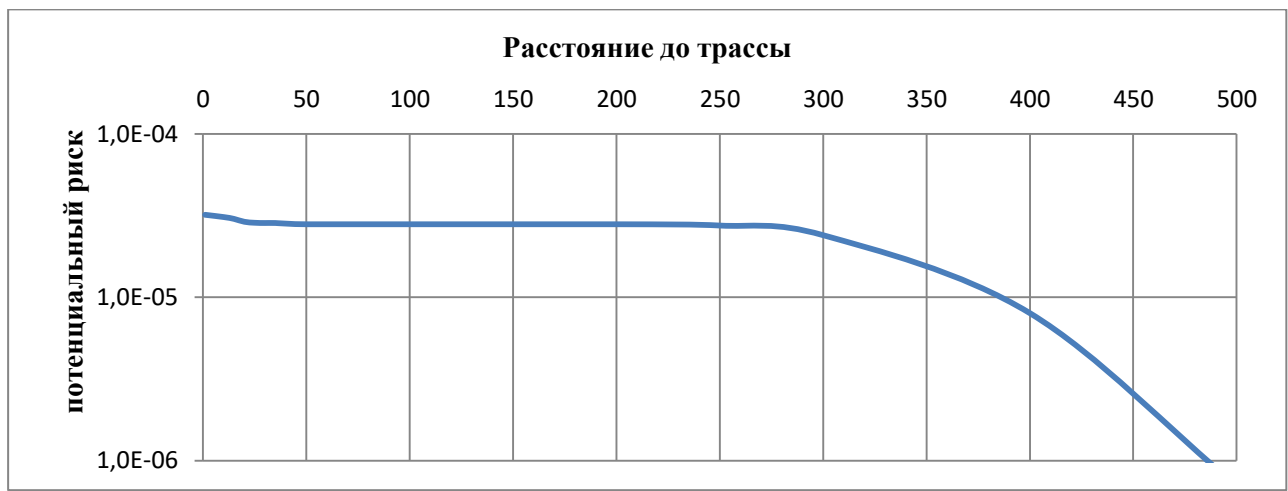


Рисунок 5.10 – Зависимость потенциального пожарного риска от расстояния до трассы

Показатель индивидуального риска для работника m объекта определялся по формуле:

$$R_m = P_{(A)} \cdot q \quad (5.40)$$

где $P_{(A)}$ – значение потенциального риска для наиболее опасного события, год^{-1} ;

q – вероятность присутствия работников на объекте.

Принимая вероятность присутствия на объекте за год (при 12-часовом рабочем дне; 250 рабочих дней в году) составляет:

$$q = \frac{12 \cdot 250}{365 \cdot 24} = 0,34.$$

Максимальное значение потенциального риска при транспортировке состава из 28 железнодорожных цистерн составило

$3,21 \cdot 10^{-5}$.

Величина индивидуального риска

$$R_m = 3,21 \cdot 10^{-5} \cdot 0,34 = 1,09 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}.$$

Для состава с 54 железнодорожными цистернами максимальное значение потенциального риска, составило $3,5 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$. Величина индивидуального риска $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$.

Значение индивидуального риска на объекте не должно превышать 10^{-6} 1/год . Допускается увеличение значения риска до 10^{-4} 1/год , Если приняты меры по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска и персонал обучен действиям при пожаре [24].

Таким образом, пожарный риск, возникающий при горении шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости на дыхательной арматуре должен быть учтен при расчете пожарного риска при эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта, транспортирующего нефть и нефтепродукты – вещества с высоким значением эксергетического показателя (класс Э3) при атмосферном давлении.

5.2 Конструкция и научно-техническое обоснование применения адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя и огнегасительной базальтовой сетки

5.2.1 Адсорбционно-предохранительный клапана-огнепреградитель

Адсорбционно-предохранительный клапан-огнепреградитель может быть использован для предотвращения утечек нефтепродуктов и тушения пожаров на железнодорожных цистернах и направлено на повышение экологической безопасности и эффективности тушения пожаров.

Для регулирования давления в газовом пространстве в процессе заполнения, слива нефтепродуктов и в случае колебаний температуры, обеспечения герметичности цистерны при ее опрокидывании используются дыхательные

устройства. Они могут иметь в своей конструкции огнепреградители для защиты оборудования от возникновения взрыво- и пожароопасных ситуаций путем гашения пламени в узких каналах [219].

Общими недостатками предлагаемых конструкций дыхательных клапанов и огнепреградителей [173-196] являются: сложность конструкции и обслуживания, затрудненный доступ к кассете огнепреградителя, утечка паров жидкости в окружающую среду.

Автором данной работы совместно с Ивахнюком Г.К, Головиным С.А. и др. [444] предложена конструкция адсорбционно-предохранительного клапана-огнепреградителя (Рисунок 5.11). Задачей является снижение утечек паров нефтепродуктов, повышение защиты резервуара от взрыва и пожара, упрощение конструкции дыхательного клапана.

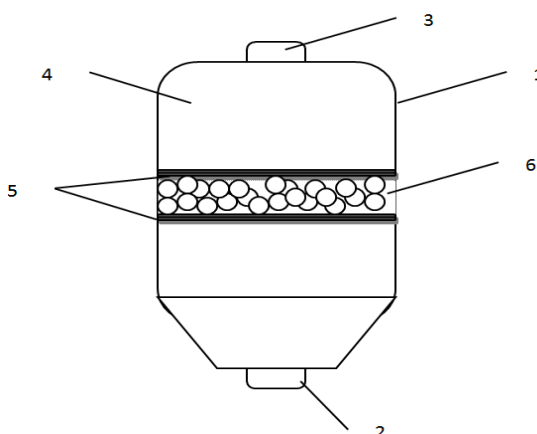


Рисунок 5.11 – Схема адсорбционно-предохранительного клапана-огнепреградителя

Технические результаты достигаются тем, что на железнодорожную цистерну монтируется адсорбционно-предохранительный клапан-огнепреградитель, имеющий две эластичные сетки огнепреградителя на основе базальтовой ткани с определенным размером ячеек, обеспечивающим гашение пламени. Сетки устанавливаются на расстоянии друг от друга и являются ограничителями для помещаемого между ними углеродного носителя типа

Сибунит, предназначенного для адсорбции паров нефтепродуктов, что препятствует их выходу в атмосферу.

Адсорбционно-предохранительный клапан-огнепреградитель состоит из корпуса 1, который имеет два патрубка: нижний 2 выходит в резервуар, а верхний 3 – в атмосферу; во внутренней полости клапана 4 расположен огнепреградитель, состоящий из двух эластичных сеток 5 на основе базальтовой ткани, между которыми располагается сорбент Сибунит.

Эластичные сетки 5, изготовленные на основе базальтовой ткани, выполняют функцию огнепреградителя, имеют высокую огнестойкость, простое конструктивное исполнение, низкую стоимость, высокие механические характеристики, химическую стойкость и долговечность, что обеспечивает широкую область применения и выгодно отличает их от металлических сетчатых огнепреградителей.

Зернистый слой предлагаемого аппарата представлен частицами Сибунита. Режим движения потока через слой от многих факторов, например, от физических свойств потока и структуры зернистого слоя. Одной из основных характеристик зернистого слоя является порозность ε .

$$\varepsilon = \frac{V - V_0}{V_0}, \quad (5.41)$$

где V – общий объем слоя;

V_0 – объем, занимаемый частицами слоя.

Порозность в значительной степени зависит от способа загрузки слоя. Например, при свободной засыпке частиц шарообразной формы принимают долю свободного объема $\varepsilon \approx 0,4$ ($3,5 \leq \varepsilon \leq 4,5$) [445].

На значение ε влияет соотношение между диаметром частиц и диаметром аппарата, в который помещен слой, что объясняется наличием пристеночного эффекта: плотность упаковки частиц, прилегающих к стенкам аппарата, всегда меньше, а порозность слоя у стенок всегда больше, чем в центре аппарата. В результате наблюдается неравномерность распределения скоростей потока: за счет разницы сопротивления движению потока скорость у стенок выше, чем в

центральной части аппарата. В пристенных слоях может происходить проскок части потока и проскок пламени вследствие снижения времени контакта с зернистым слоем и увеличения диаметра каналов пламегасящего элемента.

Для обеспечения условий равномерного распределения потока паров взрывопожароопасной жидкости в поперечном сечении адсорбционно-предохранительного клапана-огнепреградителя и снижения пристеночного эффекта предлагается:

выполнить корпус с кольцевыми полыми выступами, заполняемыми насадкой;

при снаряжении адсорбционно-предохранительного клапана-огнепреградителя предусмотреть вибрационное уплотнение насадки.

5.2.2 Обоснование возможности использования базальтовой ткани для изготовления сетчатого огнепреградителя

Для обоснования возможности использования базальтовой ткани в качестве сетчатого огнепреградителя проведен расчет критического диаметра гашения пламени различных нефтепродуктов, определены безопасный и эквивалентный диаметр; проведены огневые испытания.

Критический диаметр гашения пламени рассчитывали по формуле:

$$d_{кр} = \frac{Pe \cdot R \cdot T \cdot \lambda}{S_u \cdot C_p \cdot M}, \quad (5.42)$$

где Pe – число Пекле, $Pe = 65$;

R – универсальная газовая постоянная кДж/(моль·К);

T – начальная температура газовой горючей смеси, К;

λ – коэффициент теплопроводности горючей смеси, Вт/(м·К);

S_u – нормальная скорость распространения пламени, м/с, $S_u = 0,45$ [404].

C_p – теплоемкость газовой горючей смеси при постоянном давлении, кДж/(кг·К);

P – давление горючей смеси, Па;

M – молярная масса горючей смеси, кг/моль.

Безопасный диаметр канала пламегасящего элемента должен быть взят с учетом двойного коэффициента запаса надежности, то есть:

$$d_{\text{без}} = 0,5d_{\text{кр}} \quad (5.43)$$

Размер квадратной ячейки (a) базальтового полотна определен по формуле:

$$d_{\text{без}} = d_{\text{экв}} = 4 \times r_{\text{г}} = 4 \frac{S}{\Pi} = 4 \frac{a^2}{4a} = a, \quad (5.44)$$

где $r_{\text{г}}$ – гидравлический радиус, мм;

S – площадь ячейки, мм²;

Π – периметр ячейки, мм.

Пример расчета для бензина АИ 93 (зимний). Суммарная формула – $C_{6,911}H_{12,168}$; молярная масса – 95,3 кг/кмоль [441]. Физические свойства определялись по [441].

$$\begin{aligned} C_{6,911}H_{12,168} + 9,953(O_2 + 3,76 N_2) = \\ = 6,911CO_2 + 6,084H_2O + 9,953 \cdot 3,76 N_2. \end{aligned}$$

1) определяем мольные доли $C_{6,911}H_{12,168}$ и воздуха в горючей смеси:

$$N = 1 + 9,953 (1 + 3,76) = 48,376 \text{ кмоль} - \text{общее кол-во кмоль.}$$

Мольная доля $C_{6,911}H_{12,168}$ в горючей смеси составит:

$$n_1 = \frac{1}{N} = \frac{1}{48,376} = 0,0207.$$

Мольная доля воздуха в горючей смеси:

$$n_2 = \frac{9,953 \cdot 4,76}{48,376} = 0,9793.$$

2) Теплоемкость горючей смеси:

$$C_p = C_1 n_1 + C_2 n_2 = 0,0207 \cdot 2,09 + 0,9793 \cdot 1,01 = 1,032 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{К)},$$

где C_1 – теплоемкость бензина, кДж/(кг · К);

C_2 – теплоемкость воздуха, кДж/(кг · К);

3) Молярная масса горючей смеси:

$$M = 0,0207 \cdot 95,3 + 0,9793 \cdot 29,0 = 30,4 \text{ кг/кмоль}$$

Как видно из расчётов, мольная доля горючего в реакции горения очень мала,

4) критический диаметр пламегасящего элемента рассчитываем по формуле (5.42):

$$d_{кр} = \frac{65 \cdot 8,314 \cdot 293 \cdot 0,0252}{0,45 \cdot 1,032 \cdot 101300 \cdot 30,4} = 2,80 \text{ мм}$$

5) Безопасный диаметра канала пламегасящего элемента огнепреградителя, рассчитанный по формуле (5.43) составит:

$$d_6 = 0,5 \cdot d_{кр} = 1,40 \text{ мм.}$$

Размер квадратной ячейки базальтового полотна определяем по формуле (5.44) и получаем: $a = 1,40$ мм. Результаты расчетов приведены в Таблице 5.5

Таблица 5.5 – Результаты расчетов эластичного огнепреградителя на основе базальтовой ткани

Название нефтепродукта	$d_{кр}$, мм	$d_{без}$, мм	a , мм
Дизельное топливо Л, ГОСТ 305-2013	2,48	1,24	1,24
Бензин А-72 (зимний), ГОСТ Р 51105-97	2,74	1,37	1,37
Бензин АИ 93 (зимний), (ГОСТ 2084-77	2,80	1,40	1,40
Керосин ТС-1, ГОСТ 10227-86	2,88	1,44	1,44

5.2.3 Обоснование использования Сибунита в качестве насадки огнепреградителя и адсорбента

В качестве адсорбента и насадки огнепреградителя, располагаемого между эластичными базальтовыми сетками, предлагается использовать Сибунит (сибирский углеродный носитель) – отечественный композиционный пористый углерод – углеродный материал, сочетающий в себе достоинства графита (высокая химическая стойкость и электропроводность) со свойствами активных углей (высокие удельная поверхность и сорбционная емкость).

Технология получения Сибунита заключается в осаждении пиролитического углерода на гранулированной или формованной матрице из

сажи (технического углерода) с последующей парогазовой активацией и высокотемпературной обработкой [446].

Отличительными чертами Сибунита являются высокая чистота (содержание углерода 98,5-99,5%), высокая механическая прочность (может достигать 200-300 кг/см²), высокая термическая стабильность и химическая стойкость. Сибунит обладает воспроизводимой мезопористой структурой. Преимущественный размер пор может регулироваться в диапазоне 18 нм -300 нм [446].

Сибунит за счет отсутствия микропор обладает повышенной способностью к регенерации, что позволяет значительно увеличить продолжительность работы адсорбента без регенерации или совсем исключить эту стадию. Органические соединения в процессе десорбции не претерпевают химических превращений и могут быть повторно использованы. Десорбция может быть осуществлена при пониженном давлении [447].

Физико-химические свойства Сибунита по сравнению с активными углями приведены в Таблице 5.6 [448,449].

Таблица 5.6 – Физико-химические свойства Сибунита

Параметр	Сибунит	Активные угли
Удельная адсорбционная поверхность, м ² /г	2-800	600-1800
Объем пор, V, см ³ /г		
V _Σ	0,2-1,2	0,2-1,2
V _{микро}	0,01-0.-15	0,2-0,6
V _{мезо}	0,2-0.8	0,1-0,3
V _{микро}	0,1-0,7	0,1-1,0
Средний радиус пор, нм	8-100	<1,5; > 100
Массовая доля золы, %	< 1	> 1-3
Прочность при раздавливании, кг/см ²	40-300	5-60
Насыпная плотность, г/см ³	0,4-0,65	0,2-0,5

Изделие выпускается в виде порошков, гранул сферической формы размером 0,2-5 мм. Изделия изготавливаются с различной внешней формой и размерами зерен: экструдаты в виде лепестков, колец, цилиндров, трубочек с наружным диаметром 2-8 мм, микроблоки с наружным диаметром 10-15 мм, блочные изделия сотовой структуры с наружным диаметром 10-50 мм.

Диаметр зерен Сибунита составляет

$$d_3 = 4 \cdot d_6 = 5,6 \text{ мм}.$$

Рассчитаем количество нефтепродуктов, выбрасываемых в атмосферу при «малом» дыхании железнодорожной цистерны с нефтепродуктом по методике [403, 152].

Массу паров жидкости $m_{\text{п}}$ (кг/цикл), выходящих из оборудованного дыхательным устройством аппарата за один цикл "большого и малого дыхания", определяем по формуле:

$$m_{\text{п}} = \left[\frac{p_1 \cdot V_{\text{св}}}{273+t_1} (1 - \varphi_{\text{п1}}) - \frac{p_2 \cdot V_{\text{св}}}{273+t_2} (1 - \varphi_{\text{п1}}) \right] \cdot \frac{\varphi_{\text{п}}^*}{1 - \varphi_{\text{п}}^*} \cdot \frac{M}{R}, \quad (5.45)$$

где p_1, p_2 – давление среды в резервуаре, соответственно, вначале и конце "дыхания" Па. Принимаем $p_1 = p_2 = p_{\text{атм}} = 101300 \text{ Па}$;

$V_{\text{св}}$ свободный объём паровоздушного пространства, м³;

$\varphi_{\text{п1}}, \varphi_{\text{п2}}$ – концентрация насыщенного пара жидкости при температуре паровоздушной смеси t_1 и t_2 , об. доли;

$\varphi_{\text{п}}^* = \frac{\varphi_{\text{п1}} + \varphi_{\text{п2}}}{2}$ – средняя концентрация насыщенного пара, об. доли;

$R=8314,31 \text{ Дж/(кмоль} \cdot \text{К)}$ – универсальная газовая постоянная;

M – молекулярная масса вещества.

Концентрация насыщенного пара при рабочей температуре жидкости

$$\varphi_{\text{п}} = \frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{атм}}},$$

где $p_{\text{н}}$ – давление насыщенного пара испарившейся жидкости при рабочей температуре, кПа. Определяем по формуле (5.4).

Свободный объём определяем по формуле:

$$V_{\text{св}} = V \cdot (1 - \varepsilon),$$

где ε – степень заполнения цистерны (принимаем $\varepsilon = 0,75$)

Объем паров, прошедших через дыхательную арматуру, определим при $t_1 = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $t_2 = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\varphi_{п1} = 0,22; \varphi_{п2} = 0,42 \text{ об. доли.}$$

Для цистерны модели 15-1427

$$V_{св} = 10 \text{ м}^3$$

$$m_{п} = 3,5 \text{ кг}$$

По формуле (5.45) получаем:

$$m_{п} = \left[\frac{101,3 \cdot 10}{273 + 15} (1 - 0,22) - \frac{101,3 \cdot 10}{273 + 40} (1 - 0,42) \right] \times \\ \times \frac{0,32}{0,68} \cdot \frac{95,3}{8314,31} = 4,3 \text{ кг.}$$

Сорбционная емкость Сибунита достигает 0,08 г/г. [448]

Необходимый объем Сибунита для поглощения 4,3 кг бензина составит 0,066 м³.

При понижении давления в цистерне (при «малом дыхании»), будет осуществляться десорбция бензина и его возврат обратно в цистерну. Таким образом, снижаются потери бензина через дыхательные клапана железнодорожных цистерн, уменьшается загрязнение окружающей среды.

5.2.4 Минимизация пожарного риска при использовании адсорбционно-предохранительного клапана-огнепреградителя

Величина пожарного риска характеризуется:

- вероятностью возникновения инициирующего пожароопасную ситуацию события;
- количеством возможных сценариев развития аварии;
- вероятностью развития аварии по каждому из возможных сценариев;
- вероятностью поражения опасными факторами пожара и взрыва при реализации каждого из возможных сценариев развития аварии.

Оборудование железнодорожных цистерн адсорбционно-предохранительным клапаном-огнепреградителем обеспечит:

1) снижение вероятности воспламенения шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости вследствие снижения их выхода из цистерны через дыхательную арматуру;

2) сокращение количества возможных сценариев развития аварии и уменьшение их вероятности, что обеспечивается конструктивными особенностями предлагаемого инновационного оборудования (способность выполнять функции предохранительного клапана, огнепреградителя и адсорбента взрывопожароопасных веществ);

3) уменьшение вероятности поражения людей опасными факторами пожара и взрыва при реализации каждого из возможных сценариев развития аварии вследствие уменьшения зоны поражения за счет снижения количества выходящих взрывопожароопасных веществ и сокращением количества возможных сценариев развития аварии, в том числе техногенный пожаров каскадного характера.

Согласно статистическим данным по надежности оборудования [450] для железнодорожной цистерны с установленным адсорбционно-предохранительным клапаном-огнепреградителем принимаем частоту возникновения вероятных аварий:

$$Q_{ав} = 9 \cdot 10^{-5} \cdot 0,075 = 6,8 \cdot 10^{-6},$$

где 3,5 % – ошибки людей при изготовлении, монтаже и эксплуатации адсорбционно-предохранительного клапана; 1% – отказы оборудования; 3% – вероятность проскока адсорбируемого вещества вследствие перепада температур днем и ночью больше расчетного.

Рассчитываем статистические вероятности развития аварии по каждой ветви Логического дерева событий и частоты реализации рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров при выходе газовой фазы из цистерны (образование шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости на дыхательной арматуре и его зажигание с формированием очага горения) с

использованием адсорбционно-предохранительного клапана-огнепреградителя (Таблица 5.7).

Таблица 5.7 – Частоты реализации рассматриваемых сценариев развития пожароопасных ситуаций и пожаров при выходе газовой фазы из цистерны (образование шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости на дыхательной арматуре и его зажигание с формированием очага горения) с использованием адсорбционно-предохранительного клапана-огнепреградителя

Пожар на дыхательной арматуре, год ⁻¹	Количество цистерн	Суммарная частота пожаров на дыхательной арматуре, год ⁻¹	Частоты реализации сценариев развития пожароопасной ситуации / пожара, год ⁻¹		
			Пожар пролива	Взрыв паровоздушного облака	Пожар-вспышка
$6,8 \cdot 10^{-6}$	54	$3,7 \cdot 10^{-4}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$	$3,6 \cdot 10^{-9}$	$5,4 \cdot 10^{-9}$
$6,8 \cdot 10^{-6}$	28	$1,9 \cdot 10^{-4}$	$9,5 \cdot 10^{-9}$	$1,8 \cdot 10^{-9}$	$2,8 \cdot 10^{-9}$

Индивидуальный риск при пожаре при транспортировке 54 цистерн составил $2,7 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹. При транспортировке 28 цистерн индивидуальный риск составляет $1,4 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹.

5.3 Огнегасительная базальтовая сетка

Предлагаемая автором совместно с Головиным С.А., Ивахнюком Г.К. и др. полезная модель [451], относится к области противопожарной техники, в частности к средству тушения пожаров класса В на подвижном составе автомобильного и железнодорожного транспорта при перевозке опасных наливных грузов, в том числе нефти и нефтепродуктов, включая пожары разлития, и направлена на повышение эффективности тушения пожаров.

Эффективность тушения зависит от материала, из которого изготовлены сетки, это определяется допустимым тепловым воздействием на огнепреградитель и устойчивостью к воздействию ударной волны. К такому материалу

предъявляются определенные требования: жесткость, прочность, термостойкость, безопасность. К материалам, предназначенным для тушения пожаров с высокой пожарной нагрузкой, предъявляются определенные требования: прочность, термостойкость, безопасность.

Задачей является создание средства тушения пожаров класса В, способного длительное время выдерживать высокую температуру, обладающего низкой теплопроводностью и непроницаемого для пламени.

Технический результат достигается применением сетки с определенным размером ячеек, изготовленной из базальтовых волокон.

Основными свойствами базальтовой ткани являются:

- относительно высокая удельная прочность волокон на разрыв;
- экологическая безопасность, высокие теплоизоляционные свойства (низкая теплопроводность);
- негорючесть; долговечность; устойчивость к агрессивной среде и высоким температурам (сохраняет целостность при температуре до 982°C), коррозионная стойкость;
- способность выдерживать механическое и физическое воздействие, стойкость к разложению, гниению, электромагнитному излучению, низкая гигроскопичность, совместимость с другими материалами.

Сравнительная характеристика волокон представлена в Таблице 5.8.

В Таблице 5.8 для стеклянного и минерального волокон приведены «оптимальные» температурные характеристики. Они могут существенно отличаться в зависимости от марки стекла или состава шихты в минеральном волокне. Базальтовое волокно стабильно по составу и, соответственно, по температурным характеристикам. Кроме того, при оценке температурных характеристик необходимо учесть не только стойкость волокон к температурному воздействию, но и изменение прочностных характеристик.

Базальтовые ткани сплетены из непрерывной базальтовой нити, они представляют собой полотно различной толщины, веса, рисунка и типа плетения,

изготовленное в соответствии с эксплуатационными требованиями. Срок службы базальтовых тканей составляет около 50 лет в зависимости от марки.

Таблица 5.8 – Сравнительные характеристики волокон

№ п/ п	Параметр (характеристика)	Волокно		
		Стекловолокно	Минеральное	Базальтовое (БСТВ)
Механические характеристики				
1	Кажущаяся плотность, кг/м ³	1,2-2,5	2,5-4,0	1,5-2,3
2	Диаметр элементарного волокна, мкм	4-12	4-10	1-3
3	Длина волокон, мм	15-50	16	40-70
4	Модуль упругости, кгс/мм ²	до 7200	5400...8000	9100...11000
5	Коэффициент уплотнения при эксплуатации	1,6	1,8	1,2
6	Остаточная прочность при растяжении (после термообработки), % при температуре 20 ⁰ С	100	100	100
	200 ⁰ С	92	95	98
	400 ⁰ С	52	60	85
	600 ⁰ С	спекание	20	76
Температурные характеристики				
7	Диапазон температур применения, °С	-60...+250	-180...+450	-250...+700
8	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м· ⁰ С)	0,038..0,042	0,04...0,047	0,031..0,034
9	Температура спекания, ⁰ С	600	850	1100
Виброустойчивость (потеря массы при вибровоздействии) % при температуре (v=50 Гц, A=1мм, t=3 часа)				
10	200 ⁰ С	12	40	–
	450 ⁰ С	41	75	0,01
	900 ⁰ С	100	100	0,35
Акустическая характеристика				
11	Коэффициент звукопоглощения	0,8...0,92	0,75...0,95	0,95...0,99
Химическая устойчивость (потеря массы) ,%				
12	в воде	6,2	4,5	1,6
	в щелочной среде	6	6,1	2,75
	в кислотной среде	38,9	24	2,2
13	Водопоглощение, %	1,7	0,95	0,02

Базальтовые материалы применяются не только в пассивной противопожарной защите строительных конструкций, но и применяются для тушения пожаров на начальной стадии. К таким изделиям относятся противопожарные покрывала из базальтового волокна.

Обоснование использования ткани для изготовления сетчатого огнепреградителя дано в разделе 5.2.1. Критический диаметр гашения пламени

определяли по формуле (5.42), максимальный диаметр канала пламегасящего элемента – по формуле (5.43), максимальный размер квадратной ячейки базальтового полотна – по формуле (5.44).

Возможность использования огнегасительной базальтовой сетки для тушения пожаров класса В подтверждается следующими опытами, для проведения которых были изготовлены образцы прямоугольной формы размером 25х25 см из базальтовой ткани. Между волокон в ткани сделаны отверстия, соответствующие полученным расчетным данным. Ткань закреплялась в специальном держателе диаметром 20 см. Испытания осуществлялись в вытяжном шкафу при температуре воздуха в помещении 20-25⁰С. Бензин наливался в металлический поддон и поджигался. Очаг возгорания накрывали закрепленным в держателе противопожарным средством. Стойкое пламенное горение прекращалось мгновенно. Выделения дыма не наблюдалось.

Выводы по главе 5

1. Высокую пожарную и экологическую опасность представляют выбросы паров нефтепродуктов через дыхательную арматуру железнодорожных цистерн, которые классифицируют как "малые" и "большие" дыхания. Кроме того, при этом теряется значительное количество нефтепродуктов. Так, максимальные потери от одного «малого» дыхания при перевозке нефтепродуктов для железнодорожной цистерны объемом 73,1 м³ могут составить около 4,3 кг, от одного «большого» дыхания – около 113 кг. Радиус взрывоопасной зоны при «большом» дыхании достигает 23,4 м. Вероятность воспламенения шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости на дыхательной арматуре для одной цистерны составляет $9 \cdot 10^{-5}$ год⁻¹.

2. Расчет опасных факторов пожара показал:

– избыточное давление взрыва во фронте ударной волны при сгорании паровоздушного облака нефтепродуктов может достигать 37 кПа; безопасное

расстояние, которое соответствует нижнему порогу повреждения человека волной давления – 139 м;

- максимальное значение интенсивности теплового излучения при пожаре пролива составляет 42 кВт/м^2 ; на расстоянии 54,5 м от трассы интенсивность излучения безопасна для человека в брезентовой одежде ($4,2 \text{ кВт/м}^2$);

- максимальное значение интенсивности теплового излучения для огненного шара составляет 82 кВт/м^2 ; на расстоянии 725 м от трассы интенсивность излучения безопасна для человека в брезентовой одежде ($4,2 \text{ кВт/м}^2$);

- радиус воздействия продуктов сгорания паровоздушного облака вследствие пожара – вспышки составляет 44,2 м.

3. Рассчитанный индивидуальный пожарный риск при горении шлейфа паров взрывопожароопасной жидкости на дыхательной арматуре для состава, сформированного из 28 вагонов-цистерн с нефтепродуктами, составляет $1,1 \cdot 10^{-5}$, что не превышает допустимое значение. При расчете суммарного пожарного риска, возникающего при эксплуатации подвижного состава железнодорожного транспорта, осуществляющего перевозки нефти и нефтепродуктов – веществ с высоким значением эксергетического показателя (класс Э3) при атмосферном давлении, данный вид риска должен быть учтен.

4. Предложена конструкция и проведено научно-техническое обоснование применения адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя и огнегасительной базальтовой сетки для тушения пожаров, снижения риска каскадного развития ЧС и обеспечения экологической безопасности при железнодорожных перевозках нефтепродуктов.

Для обоснования возможности использования базальтовой ткани в качестве сетчатого огнепреградителя проведен расчет критического диаметра канала огнепреградителя $d_{кр}$ для различных нефтепродуктов, определен безопасный диаметр канала огнепреградителя $d_{без}$; размер ячейки базальтового полотна a , проведены огневые испытания.

Для обоснования использования Сибунита в качестве насадки огнепреградителя и адсорбента проведен анализ физико-химических свойства Сибунита. Необходимый объем Сибунита составил около 0,066 м³. Обоснована возможность регенерации при снижении давления насыщенных паров в цистерне.

Применение адсорбционно-предохранительного клапана-огнепреградителя позволит снизить индивидуальный пожарный риск при возникновении и развития пожароопасной ситуации, связанной с зажиганием шлейфа паров нефтепродуктов на дыхательной арматуре с формированием очага горения для состава, сформированного из 28 вагонов-цистерн, до значения $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$.

6 Принципы и модели принятия решений при управлении действиями подразделений Государственной противопожарной службы МЧС России и ведомственной пожарной охраны железнодорожного транспорта при тушении пожаров

6.1 Ситуационная модель управления подразделениями при тушении пожаров

6.1.1 Содержание модели

Проведенный аналитический обзор показал, что разработка универсальных подходов к управлению подразделениями ГПС МЧС России и ФГП ВО ЖДТ и их применение в различных режимах деятельности является, безусловно, актуальной задачей.

Постоянно меняющаяся и нестабильная обстановка сопровождает боевые действия по тушению пожаров и проведению АСР, при этом может потребоваться незамедлительное решение, от которого зависит жизнь людей. В этом случае цель формируется в процессе развития событий, а именно формальное описание цели управления отсутствует, на опыте действия РТП основывается формализация [452, 453].

Одной из практических реализаций идей имитационного управления является ситуационное управление. Можно определить ситуацию как последовательность состояний управляемого объекта – состояний его функционирования.

Для оптимизации выбора управляющих решений выделим классы типовых ситуаций [454]. В работах [455, 456] проведен анализ подразделений с позиций абстрагирования относительно классов ситуаций, возможных в процессе принятия управляющих решений. Предложены пять классов ситуаций и определены процедуры их формирования.

Штатная ситуация характеризует основное положение подразделения, она представляет собой динамическое состояние подразделения, когда не выделена ни одна другая ситуация, требующая ее перевода в штатное состояние, и не выявлено никаких признаков другой ситуации. Возможны большие затраты времени на отличие ситуации от штатной, что ограничивает возможности подразделения даже в случае быстрого поступления информации о пожаре.

Наступление нештатной ситуации не всегда связано с отрицательными последствиями, например, в случае осуществления задач оптимизации с целью повышения боевой готовности подразделения. Изменение степени свободы выбора управляющих решений определяет необходимость решения данной задачи, однако немедленных действий при этом не требуется. Присвоим таким задачам пятый (низший) уровень приоритета.

Комплекс количественных показателей, определяющих эффективность проведения определенного вида боевых действий или затраты на их осуществление с позиций достижения поставленной цели, характеризует эффективность работы подразделения. Принятие дополнительных гипотез, не связанных с исходной постановкой задачи, позволяет избежать неопределенности цели (некорректно поставленной задачи). Такую ситуацию будем рассматривать, как ситуацию с неопределенностью, и определим ей четвертый уровень приоритета. Ее решение требует формирования критерия оптимальности, что является необходимым условием для синтеза оптимального управления. Преодоление неопределенности обеспечивается руководством, этим задачам соответствует более высокий по сравнению с оптимизационными.

Принятие дополнительных гипотез может привести к изменению числа степеней свободы выбора управляющих решений, при этом потребуются проведение дополнительного анализа и оценки задачи на принадлежность к классу оптимизационных, то есть должна обеспечиваться обратная связь. Решение задач данного класса непосредственно контролирует ЛПР, которому через диалоговый интерфейс общения предоставляется база знаний.

Ситуация нехватки ресурсов, в большинстве случаев порождается недостатками управления. Это приводит к дефициту информационных, временных, технических и финансовых средств, необходимых для проведения конкретной подготовки. Для выхода из такой ситуации привлекаются дополнительные силы и средства (СиС), что определяет ЛПР на основе имеющихся в базе знаний информационной системы количественных и качественных моделях оценки риска.

Кризисная ситуация отличается возможностью не допустить перерастания пожара в ЧС, осуществить его локализацию и ликвидацию. Создание алгоритмов прогнозирования возникновения кризисных ситуаций является актуальной задачей. Присвоим задачам вывода объекта из кризисных ситуаций второй уровень.

Проблемная ситуация связана с нарушением устойчивости объектов, возникновением и развитием ЧС. Классу проблемных ситуаций присвоим первый номер (высший приоритет).

Ограниченное время управления с момента возникновения пожара, требует привлечения дополнительных СиС. В этом случае для предотвращения развития проблемной ситуации вводятся в действие резервы, и (или) перераспределяются СиС между различными схожими ситуациями (если она не одна).

Классификация ситуаций отличает ситуационный анализ от классических методов решения задач управления, она осуществляется с помощью коррелятора. Он проводит сопоставление текущей с одним из пяти классов ситуаций. Анализатор ситуаций определяет только нарушение штатной ситуации.

На Рисунке 6.1. представлена ситуационная модель управления подразделениями ГПС МЧС России и ФГП ВО ЖДТ в процессе взаимодействия.



Рисунок 6.1 – Ситуационная модель управления подразделениями ГПС МЧС России и ФГП ВО ЖДТ

Определим процедуры формирования признаков каждого класса ситуаций:

1) При сравнении текущей ситуации с ситуацией, заданной на данном этапе развития алгоритма управления, формируются признаки кризисной ситуации, что

осуществляется с применением логико-лингвистического подхода на основе анализа нечетких множеств.

2) Признаки предкризисной ситуации формируются путем анализа показателей на принадлежность заданной области. Предшествующая кризису ситуация дает некоторый временной запас для выполнения действий до наступления необратимых последствий.

3) Признаки задачи недостатка ресурсов формируются на основе анализа имеющихся СиС, информации и возможных временных ограничений. При отнесении ситуации к классу перераспределения ресурсов активизируется меню альтернативных проектов, созданных на базе экспертных оценок, по которому ЛПР выбирает предпочтительный вариант.

По результатам выбора вариант, хранящийся в базе знаний, количественно модифицируется под новую оперативную обстановку и переводится в базу данных для текущего исполнения.

4) В случае нераспознанности ситуации классификатором (в базе данных не найдены соответствующие нечеткие множества), формируется признак ситуации с неопределенностью и задача передается на рассмотрение ЛПР, которому предоставляется диалоговый режим общения с базой знаний.

Если корректность выполняется, классификатор передает задачу пакету программ, с пометкой реализации алгоритма оптимизации, соответствующего поставленной задаче. В противном случае (аналога в базе знаний не найдено), задача возвращается к ЛПР для повторного анализа

Во втором варианте принимается решение о снятии задачи оптимизации. ЛПР разрешает возникшие противоречия на параметрическом уровне, основываясь на представлении состояния объекта точкой в многомерном пространстве нормированных притязаний [457]. После чего дается команда на внесение коррекции в штатные задачи управления.

5) Если классификатор определил, что оптимизационная задача уже решается (соответствующая программа выставила флаг функционирования), или задача направлена на выполнение командой ЛПР, то формируются признаки

оптимизационной ситуации для инициирования комплекса прикладных программ. Определим особенности системы управления, функционирующей в экстремальных ситуациях:

- работа анализатора является непрерывной;
- экстремальные задачи появляются эпизодически, в момент возникновения ситуации соответствующего класса;
- если ситуация вызвана выходом системы в зону критических ограничений, то на период ее ликвидации штатные задачи либо отменяются, либо переходят в подчинение ЛПР;
- ЛПР выполняет роль супервизора принятия управляющих решений в масштабе реального времени, при этом использует интеллектуальный интерфейс при работе с базой знаний и базой данных системы;
- при завершении работы в нештатных ситуациях система выдает новые начальные значения для осуществления штатных задач, включает их в работу, а анализатор ситуаций продолжает слежение в режиме реального времени (Watchdog).

Архивирование принятых решений по управлению осуществляется автоматически, что позволяет в дальнейшем восстановить и оценить действия ЛПР [457].

6.1.2 Выбор действий подразделений в рамках ситуационной модели

Для ситуационного выбора решений задач с нечеткой целью допускается рассматривать ситуацию как структурированное множество состояний информационных технологий управления – X_s (функции информационной технологии управления) и X_z (структура реализации функций).

Текущие значения x_{si} и x_{zi} могут удовлетворять или не удовлетворять отношениям $\Gamma = \{T, P, R, F\}$, где: T – множество базовых элементов; P – множество синтаксических правил, позволяющих строить из базовых элементов

T синтаксически правильные выражения; R – множество априорно истинных выражений (аксиом); F – семантические правила вывода, позволяющие расширять множество аксиом другими выражениями.

Синтез комбинаций методов для осуществления выбора решения рассматривается как задача выбора на графе, описывающем совокупность допустимых методов и целевого подграфа.

Описание состояний условий выбора в виде графов находит отражение в базе знаний сетями фреймов, которые строятся на основе унифицированных структур фреймов-прототипов и фреймов-примеров. На основе анализа условий существования и единственности решений, условий сходимости и эмпирических правил проводится формализация этих правил.

Комбинированный выбор предполагает наличие в составе системы управления интеллектуального интерфейса для обращения к базе знаний. Ядром информационных технологий управления в комбинированном методе является решатель [458]. Он организует алгоритмические процедуры выбора решений. Принципиальный алгоритм функционирования решателя представлен на Рисунке 6.2.

Блок 1. Фиксируется момент времени τ .

Блок 2. Актуализируются фреймы-прототипы интенционального описания состояний – $\{X_i''\}$, которые содержат необходимые имена программ ввода информации и адреса источников информации. Актуализация осуществляется в соответствии с установленными отношениями, начиная с начальных фреймов сети.

Запускаются программные модули ввода информации, выдающие количественные и качественные данные о текущем состоянии объектов. Полученные данные интерпретируются, т.е. строятся фреймы-примеры.

Блок 3. При наличии альтернативных связей задаются цели выбора состояний X_s . Алгоритм построения фреймов-примеров цели выбора совпадает с алгоритмом в блоке 2.

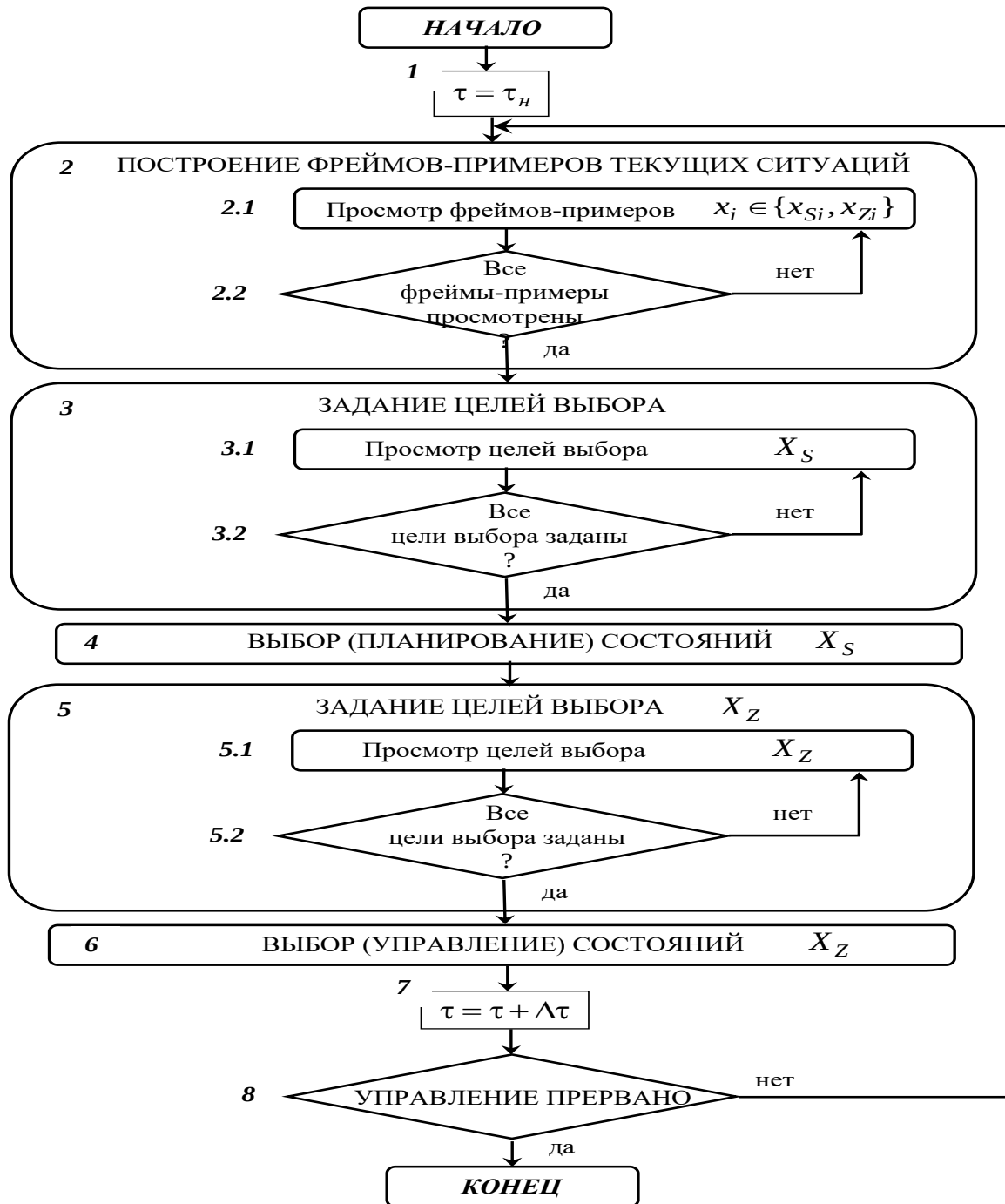


Рисунок 6.2 – Общая блок-схема алгоритма функционирования решателя

Блок 4. Актуализируются фреймы-прототипы интенционального описания механизмов выбора, содержащие, в том числе имена программ принятия решений и адреса источников информации. Запускаются программные модули принятия решений, рассчитывающие количественные и качественные данные о желаемых

(целевых) состояниях. Полученные данные интерпретируются, то есть строятся фреймы примеры на основе правил, записанных в слотах фреймов-прототипов.

Блок 5. При унификации процедуры задания целей выбора, алгоритм блока 5 полностью соответствует алгоритму блока 3.

Блок 6. Этапы алгоритма блока 6 совпадают с этапами алгоритма блока 4. Выбранные управления выдаются на интерфейс связи с ЛПР.

Достоинство общей блок-схемы алгоритма состоит в принципе динамического формирования экстенциональной информации, когда слоты фреймов заполняются в реальном масштабе времени. Специализированная база знаний строится на сети фреймов-прототипов и наборе минимальных логов – элементарных акций на классифицированные ситуации.

Общее количество полных ситуаций определяется по формуле $N_{nc} = 2^{n+m}$, где n – число количественных отношений; m – число качественных отношений.

Вектор полной ситуации для сборки фрагментов описания – функциональные правила.

С целью уменьшения размерности задачи производится сокращение N_{nc} на основе классификации ситуаций. Классификатор осуществляет работу с признаками по схеме на Рисунке 6.3.



Рисунок 6.3 – Структура классификатора

Пример набора признаков n_i представлен в Таблице 6.1.

Таблица 6.1 –Пример построения набора признаков

Ситуация S	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
проблемная	1					1						1		1			1								
кризисная		1					1	1	1	1	1	1	1		1	1	1								
недостаток ресурсов			1			1																			
неопределенности				1														1	1	1	1				
прогнозирования					1																	1	1	1	1

Смысловые правила признаков: 1-5 – безусловная классификация ЛПР; 6 – недостаток сил и средств (СиС); 7 – нет совпадения заданной и текущей лингвистической переменных; 8-17 – выявлены ограничения на проведение боевых действий; 18 – ситуация не распознана; 19 – размер и структура СиС при анализе текущего состояния за нижними пределами ограничений; 20 и 21 – СиС недостаточны для нормальной работы; изменены ограничения на расходование ресурсов; 22 – изменены ограничения на величину оптимального управления; 23 и 24 – изменены весовые коэффициенты в критерии оптимальности; изменены ограничения на параметры оптимизации; 25 – отменены ограничения вследствие поступления дополнительных СиС.

При организации диалогового общения ЛПР с информационно-аналитической системой основная нагрузка возникает при работе с классами ситуаций неопределенности и недостатка ресурсов [455, 456]. В штатной ситуации отсутствует необходимость незамедлительного решения, работу подразделения можно представить как действия коллектива людей, общающихся в режиме псевдо реального времени с информационно-аналитической системой. В экстремальных ситуациях создаются условия, определяющие необходимость незамедлительного единоличного решения, общение ЛПР с системой управления строится на диалоге, осуществляемом с помощью обмена сообщениями на установленном языке через интерфейс.

Существуют две подцели взаимодействия ЛПР с информационно-аналитической системой ($Ц_1$ и $Ц_2$) и две подцели информационно-аналитической системы, отображенных в виде кортежа

$$\langle Ц_1, Ц_2 \rangle = \langle Ц_1^M; Ц_1^{\text{ЭВМ}}; Ц_2^M; Ц_2^{\text{ЭВМ}} \rangle, \quad (6.1)$$

где: $Ц_1$ – уточнение и корректировка взаимных представлений о существующих и прогнозируемых состояниях на момент формирования управляющих воздействий;

$Ц_2$ – формирование решений посредством диалога в каждой точке, определяющей различные пути развития и поиск рациональных результатов;

$Ц_1^M$ – задание характеристик (возможно нечетких) структурного и параметрического описания предметной области;

$Ц_1^{\text{ЭВМ}}$ – построение полностью определенной модели объекта управления;

$Ц_2^M$ – формирование представлений о системе предпочтений;

$Ц_2^{\text{ЭВМ}}$ – формирование альтернативных решений.

Диалог может быть построен на базе команд; вопросов – ответов; экранных форм; меню; смешанной структуры. Структура диалога зависит от конкретных целей и имеет различные уровни детализации. Анализировать информативность диалога предлагается с помощью графа состояний [459]. Во избежание некорректных и неинформативных сообщений структура диалога уточняется экспериментальной доводкой сценариев для различных объектов и подразделений.

Удобной формой создания гибкой структуры диалога, легко адаптируемой к различным условиям, является проектирование вложенных сценариев с выбором ответов в кадрах меню. Сценарий диалога включает описание структуры и информационную и операционную модель диалога.

Формально сценарий описывается следующим образом [459]:

$$D = \langle S, O, C, R, G, I, \Omega \rangle, \quad (6.2)$$

где S – множество состояний;

O – множество действий;

$C = Q \cup F$ – множество условий;

Q – множество входных сообщений (запросов);

F – множество программных условий;

R – множество выходных сообщений (реакций);

$G: S \times C \rightarrow S$ – структура (граф) диалога;

информационная модель диалога

$$I: \begin{cases} S \rightarrow R \\ S \times C \rightarrow R \end{cases};$$

операционная модель диалога

$$\Omega: \begin{cases} S \rightarrow O \\ S \times C \rightarrow O \end{cases}.$$

Организация диалогового сеанса с помощью языка высокого уровня может быть основана на семантических сетях фреймов в форме и терминах, приближенных к естественному языку пользователя в конкретной предметной области. Построение системы диалога в основном базируется на экранных и аудио формах интерактивного общения ЛПР с системой управления

На Рисунке 6.4 представлена структура комплексной базы знаний, данных и диалогового общения, созданной для управления подразделением, которая входит в общую структуру системы принятия решений.

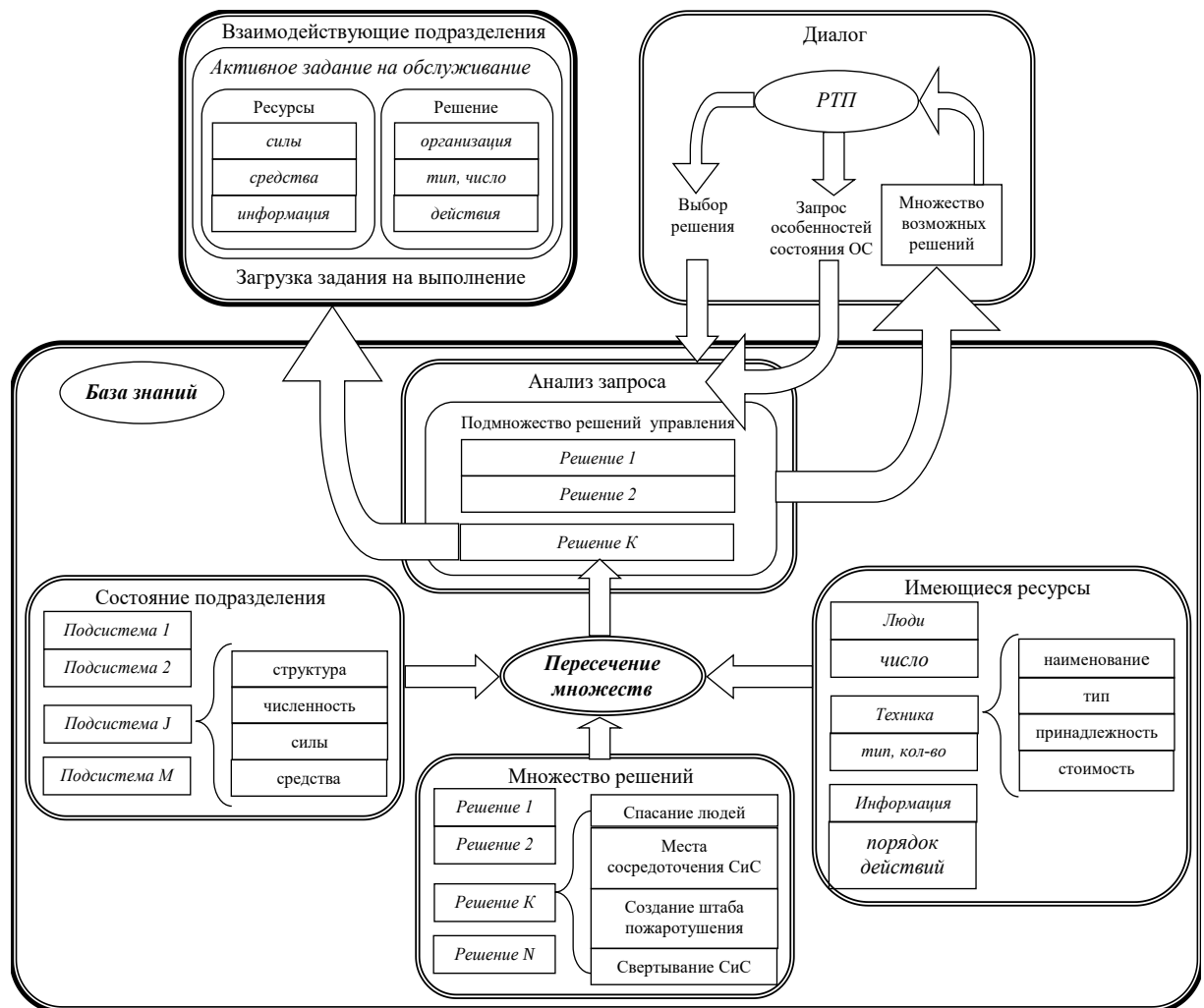


Рисунок 6.4 – Комплексная база знаний, данных и диалога общения

Проведенное исследование современных SCADA-пакетов программ показало, что заложенные в них принципы организации базы данных, технология обработки информации, организация взаимосвязи подсистем не противоречат наиболее рациональным структурам современных информационных технологий управления. Данное исследование позволяет разработчику избежать специального программного обеспечения при создании информационно-аналитической системы, осуществить правильный выбор SCADA-пакетов программ с последующей привязкой к конкретным условиям. Внедрение предлагаемых решений позволит ЛПР в кратчайшие сроки вырабатывать наиболее оптимальные решения, направленные на спасение людей и тушение пожаров.

6.2 Причинно-следственная модель прогнозирования тушения пожаров

6.2.1 Прогнозирование при тушении пожаров

Предварительная оценка результатов управляющих воздействий осуществляется с помощью прогнозирования, от качества которого зависят результаты управления.

В состав прогнозирующей системы входят математические, эвристические и логические элементы. На вход системы поступает исходная информация, на выходе получаем сведения о будущем состоянии (прогноз) [460-462].

Выбор модели прогнозирования – сложная задача, которая определяется степенью изученности явления, достоверностью полученной информации. При известных целях и интервале упреждения условиями получения точного прогноза являются:

- исходная информация о системе «подразделение–охраняемый объект» соответствует целям и задачам прогнозирования;
- выбранная модель адекватно отражает специфику функционирования системы;
- для обеспечения точности прогнозирования выбран эффективный метод распознавания параметров модели;
- полученные результаты прогнозирования могут быть применены для корректировки элементов прогнозирующей системы.

При отсутствии априорных данных о системе и наличии помех, искажающих информацию на входе, выбор и обоснование модели является сложной задачей, требующей для своего решения действий и квалификации ЛПР.

Существуют две возможности воспроизведения натуры: материальное (предметное) и идеальное (абстрактное), упрощенная схема которого представлена на Рисунке 6.5 [309]. Для задач, трудно поддающихся процессу формализации, применяются методы интуитивного моделирования.



Рисунок 6.5 – Абстрактное моделирование

На итоговые показатели системы оказывает влияние опыт ЛПР, реализующего управление и выполняющего прогнозирование. На Рисунке 6.6 представлена схема, обобщающая традиционные взгляды на прогнозирование, и отражающая общеизвестный порядок действий. Необходимо отметить некоторое упрощенное рассмотрение проблемы прогнозирования, что определяется объективной ограниченностью получения результатов (методов ее решения).

Методы прогнозирования, основанные на построении формальной модели, называемой детерминированной аппроксимацией, объединены в большую группу [463]. При их использовании исключается применение естественного языка в акте прогнозирования, что существенно осложняет получение результатов.

Существует достаточно способов прогнозирования, в основу которых положены аналогии, эвристики и вероятности (статистики). Более перспективным, на наш взгляд, является путь прямой лингвистической реализации моделей с использованием естественных языков [460].

Прогнозирование можно представить нечеткой моделью, в основе которой лежат нечеткие алгоритмы, что подтверждается проведенным анализом роли языка и процедур прогнозирования при управлении. Целесообразно применять единообразный подход к проектированию нечетких моделей, основанный на представлении их в виде нечетких алгоритмов.



Рисунок 6.6 – Организация процедуры прогнозирования

Классификация нечетких моделей:

- использующие размытые значения (нечеткие числа) на основе определенной четкой математической модели, содержащей аналитические формулы для расчета;
- построенные на правилах, имеющих вид «ЕСЛИ...ТО...», включающие лингвистические переменные и имеющие коэффициент достоверности, определяющий истинность этого отношения;
- гибридные экспертные модели, когда математическое обеспечение, основанное на расчетах, дополняется применением оболочек, использующих правила, и дающих возможность выбирать расчетные программы.

Экспертная технология прогнозирования должна удовлетворять следующим условиям [464].

- 1) Иметь тесную связь со структурой рассматриваемой системы. Наиболее актуальной задачей в этом случае является выбор набора показателей, по изменению которых можно однозначно судить о состоянии системы

«подразделение – охраняемый объект».

2) Отвечать условию индивидуальности составления прогнозирующего текста. Для обеспечения единого подхода в каждом узле структуры прогнозирующий текст должен составляться одним ЛПР.

Согласование состояний и ситуаций, прогноза и событий (конкретных решений) выполняет ЛПР. Ему необходимы знания и уверенность в результатах своей деятельности. Должно быть сохранено взаимно однозначное соответствие (1:1) в цепочке (Рисунок 6.7). В подготовке прогнозирующих текстов должны участвовать должностные лица подразделения и объекта в соответствии с их квалификацией и должностью.

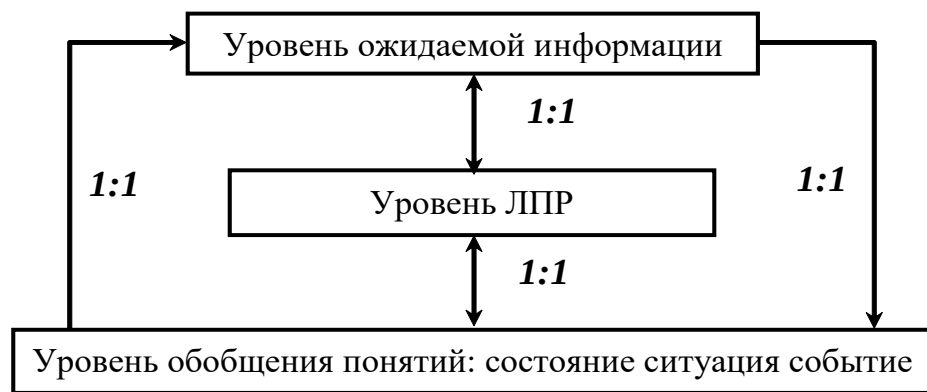


Рисунок 6.7 – Уровни оценки ситуации

3) Иметь возможность оперативно изменить прогнозирующий текст при осуществлении процесса прогнозирования, что определяется его структурной открытостью.

4) ЛПР должен иметь возможность оценить качество прогнозирования и определить тактику смены текстов и взаимодействий с иными уровнями структуры.

Мера качества прогнозирования обладает неоспоримыми достоинствами, она даст уверенность ЛПР в успешном функционировании подразделения в нештатной ситуации. Для решения задачи оценки качества прогнозирования могут использоваться как интерактивные методики непосредственной оценки, так

и анализ по косвенным показателям. Например, постоянство прогнозирующего текста на протяжении ликвидации на объекте нештатной ситуации можно определить как характеристику успешного прогнозирования. Выявление базиса и структурной основы прогнозирования, разработка и создание средств реализации причинной модели – такие задачи должны быть решены для создания эффективной системы лингвистического прогнозирования.

6.2.2 Содержание причинно-следственной модели прогнозирования

Осуществить прогнозирование тушения пожара в три этапа можно, основываясь на причинной модели [465-469].

Состояние пожара характеризуется некоторым конечным количеством наблюдаемых признаков. Примем, что для целей прогнозирования достаточно рассмотреть четыре группы проявлений: пожар не локализован; пожар локализован; ликвидировано открытое горение; пожар ликвидирован. Тогда процесс тушения пожара можно охарактеризовать четырьмя состояниями, выраженными в четырех простых предложениях: состояние a_1 – пожар не локализован; состояние a_2 – пожар локализован; состояние a_3 – ликвидировано открытое горение; состояние a_4 – пожар ликвидирован.

Описание ситуации строится из множества последовательных состояний, наблюдаемых в определенные моменты времени. Если интервал времени между наблюдениями постоянен, время становится неявным параметром и можно описать ситуацию, перечисляя последовательности состояний.

Основываясь на статистических показателях оперативного реагирования и тушения пожаров, приведенных в [470], выберем интервал времени 10 минут. Он определяется потребностями в прогнозировании с позиций управления тушением пожара и ограничивается оптимальными масштабами прогнозирующего текста. Примем, что для получения достоверного прогноза необходимая глубина ретроспекции составит 10 минут. Тогда в описание ситуации достаточно внести

два состояния: в текущий и в предыдущий момент времени (10 минут назад). С учетом особенностей тушения пожара из 16 возможных ситуаций прогнозирования выберем девять и выразим их на естественном языке с помощью сложносочиненных предложений: ситуация s_1 – в настоящий момент пожар не локализован, и 10 минут назад пожар не локализован; s_2 – в настоящий момент пожар локализован, и 10 минут назад пожар не локализован; s_3 – в настоящий момент ликвидировано открытое горение, и 10 минут назад пожар не локализован; s_4 – в настоящий момент пожар ликвидирован, и 10 минут назад пожар не локализован; s_5 – в настоящий момент пожар локализован, и 10 минут назад пожар локализован; s_6 – в настоящий момент ликвидировано открытое горение, и 10 минут назад пожар локализован; s_7 – в настоящий момент пожар ликвидирован, и 10 минут назад пожар локализован; s_8 – в настоящий момент ликвидировано открытое горение, и 10 минут назад ликвидировано открытое горение; s_9 – в настоящий момент пожар ликвидирован, и 10 минут назад ликвидировано открытое горение.

Учитывая статистические данные, определяющие соотношение времени тушения пожара и времени ликвидации последствий, представленные в [470], выберем максимальную глубину ретроспекции при прогнозировании тушения пожара 30 минут и рассмотрим последовательность из трех состояний. По истечении времени с момента начала пожара глубина ретроспекции будет уменьшаться от 30 до 10 минут. Возможные ситуации, отражающие тушение пожара через 20 и 30 минут можно представить с помощью предложений, аналогичных ситуациям $s_1 - s_9$. Например, после 20 минут тушения пожара: ситуация s_{10} – в настоящий момент пожар ликвидирован, и 10 минут назад пожар локализован, и 20 минут назад пожар не локализован; s_{11} – в настоящий момент пожар ликвидирован, и 10 минут назад ликвидировано открытое горение, и 20 минут назад пожар не локализован; s_{12} – в настоящий момент пожар ликвидирован, и 10 минут назад пожар не локализован, и 20 минут назад пожар не локализован; s_{13} – в настоящий момент ликвидировано открытое горение, и 10

минут назад пожар локализован, и 20 минут назад пожар не локализован; s_{14} – в настоящий момент ликвидировано открытое горение, и 10 минут назад пожар не локализован, и 20 минут назад пожар не локализован.

Нами перечислены далеко не все возможные состояния.

Важным компонентом причинной модели является прогнозирующий параметр, его выбор определяется целями прогнозирования. В нашем случае будем считать, что рассматриваемый параметр совпадает с состоянием и содержит единственный признак – состояние пожара. Тогда текущую ситуацию s_t будем определять следующей формулой:

$$s_t = \text{в настоящий момент} \langle \dots \rangle 10 \text{ минут назад} \langle \dots \rangle 20 \text{ минут назад} \langle \dots \rangle 30 \text{ минут назад} \langle \dots \rangle$$

В скобках $\langle \dots \rangle$ содержится термин, отражающий состояние объекта в настоящий и предыдущий момент времени (состояния a_1, a_2, a_3, a_4).

С каждым описанием прогнозирующего параметра связываются события – организационные решения (действия), которые необходимо выполнить для достижения или предотвращения результата прогноза. Возможны действия по изменению самой причинной модели [468].

При работе с конкретными ситуациями в качестве событий могут быть предприняты действия. Например, по привлечению СИС подразделений в количестве, достаточном для ликвидации пожара [471]. Пример причинной модели прогнозирования для объектов железнодорожного транспорта приведен в Приложении Г.

Необходимость использования модальностей обуславливает наличие принципиальных сложностей при составлении прогнозирующих текстов. Чем больше внедряются модальности, тем глубже становится синтаксическая перспектива предложения, сложнее языковое выражение, труднее восприятие, значительно сложнее принятие решения. Численные значения модальностей должны определяться на основе обработки статистических данных по каждому конкретному объекту

Процедура построения лингвистических переменных причинной модели, являющейся основным этапом формализации, подробно изложена в работе [469].

Построение лингвистических переменных является основным этапом формализации.

Лингвистическая переменная, как формальный объект, включает [330, 472]:

1) Имя переменной, совпадающее с названием формализуемого свойства.
2) Универсальное множество (универсум), которое определяет объем понятия, соответствующего свойству;

3) Базовое терм-множество лингвистических значений, содержащее названия значений свойства.

4) Синтаксическое правило, позволяющее синтезировать новые лингвистические значения (термы) из базового терм-множества. Термы, полученные с помощью синтаксической процедуры, составляют расширенное терм-множество лингвистической переменной.

С каждым термом связывается некоторое подмножество универсума, задающее объем соответствующего понятия. Универсум является множеством, он может быть задан перечислением элементов, характеристической функцией, интервалом и т.п. Более сложной задачей является задание подмножеств универсума, которые определяют объемы понятий, соответствующих термам. Эти подмножества могут не иметь четких границ и для их задания применяется понятие нечеткого множества.

Задание нечеткого множества требует построения функции принадлежности, показывающую степень принадлежности нечеткому множеству каждого элемента универсума.

5) Семантическую процедуру для установления соответствия между термами и нечеткими множествами, определяющую функции принадлежности для термов, составляющих базовое терм-множество.

В рассматриваемом нами формальном языке лингвистического уровня модальность рассматривается как лингвистическая переменная с наименованием

«модальность», некоторым множеством лингвистических значений и универсальным множеством $[0,1]$.

Имеются ограничения, которым должны удовлетворять функции принадлежности нечетких множеств, описывающих смысл термов лингвистической переменной [473].

Функции принадлежности каждого из термов при упорядоченном универсуме должны быть выпуклыми и нормальными. Если упорядочить элементы термы-множества в соответствии с порядком универсума, то:

- граничные элементы универсума должны принадлежать нечетким множествам, соответствующим граничным элементам терма-множества со степенью принадлежности равной 1;

- не должно быть элементов универсума, принадлежащих одновременно нескольким нечетким множествам со степенью принадлежности 1 (свойство непротиворечивости);

- не должно существовать не принадлежащих ни одному из термов элементов (свойство полноты).

Примем, что лингвистические переменные, формализующие признаки, определены на упорядоченных универсумах – интервалах действительных чисел. Определим форму функций принадлежности в виде трапеций, что обусловлено выпуклостью этой функции, и возможностью построения ее графика по четырем точкам на действительной плоскости. Учитывая, что нечеткое множество для терма лингвистической переменной должно быть нормальным, для задания функции принадлежности достаточно 4 числа.

Для построения функции принадлежности необходимо определить:

- ✓ какой под интервал универсума полностью соответствует определяемому лингвистическому значению: интервал $[b,c]$, называемый ядром нечеткого множества;

✓ какая часть универсума полностью не соответствует определяемому лингвистическому значению: интервалы $[x, a]$ и $[d, y]$, где $[x, y]$ – универсум. Интервал $[a, b]$ является носителем нечеткого множества [330].

Необязательно иметь точные значения степеней принадлежности. Небольшая ошибка при определении границ ядра или носителя и при определении степени принадлежности будет менее значимой, чем в случае представления смысла лингвистического значения обычным множеством (интервалом). При оперировании этой информацией ошибка не будет возрастать, так как в большинстве случаев применяются только операции нахождения минимума или максимума.

Пример построения лингвистической переменной – уровень тушения пожара в диапазоне $[0, 100]\%$ реализован в работе [469].

В базовое терм-множество включены названия значений признака: {не_локализован; локализован; ликвидировано_открытое горение; ликвидирован}.

Семантическая процедура предполагает поиск в тексте предложений, которые соответствуют конкретным обстоятельствам. Для ее реализации построены функции принадлежности нечетких множеств, определяющих смысл термов из базового терм – множества (Рисунок 6.8).

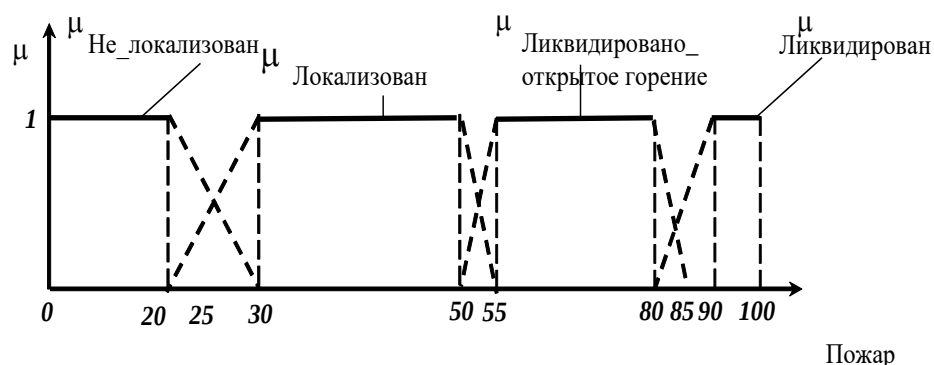


Рисунок 6.8 – Совместное представление функций принадлежности термов лингвистической переменной Уровень тушения пожара

В качестве лингвистической переменной могут быть рассмотрены события (действия), например, изменение подачи огнетушащего вещества (ОТВ).

Переменную, формализующую управление подачей ОТВ, назовем Δt . Выразим изменение подачи огнетушащего вещества в процентах и учтем, что изменение подразумевает как увеличение, так и уменьшение, выберем универсум для Δt $[-100,100]$. Примем, что увеличение или уменьшение подачи ОТВ осуществляется на величину кратную 5 %. В базовое терм-множество переменной Δt включим следующие лингвистические значения: {уменьшить_100, уменьшить_95, ... , уменьшить_5, не_изменять, увеличить_5, ..., увеличить_95, увеличить_100}.

Построение нечетких множеств для термов Δt аналогично предыдущему случаю. Далее приведем задание функций принадлежности соответствующих термов в параметрическом виде:

уменьшить_100 = (-100,-100,-100,-95);

уменьшить_95 = (-100, -95, -95, -90);

.....

уменьшить_5 = (-10,-5,-5,0);

не_изменять = (-5,0,0,5);

увеличить_5 = (0,5,5,10)

.....

увеличить_95 = (90,95,95,100);

увеличить_100 = (95,100,100,100).

Пример функции принадлежности для терма «не_изменять» изображен на Рисунке 6.9.

Формализация модальностей, встречающихся в прогнозирующем тексте, заключается во введении лингвистической переменной с именем модальность и универсумом $[0,1]$. Согласно [474] введем n градаций значений модальности.



Рисунок 6.9 – Функция принадлежности терма Не_изменять лингвистической переменной Δm

Проанализируем лингвистическую переменную – модальность. Формализация модальностей, встречающихся в прогнозирующем тексте, заключается во введении лингвистической переменной с именем модальность и универсумом $[0,1]$. Согласно [474] введем n градаций значений модальности (пусть $n = 11$).

Определим базовое терм – множество лингвистической переменной «модальность»: $\{\text{возможно}_0, 1\_возможно, \dots, 10\_возможно\}$. Причем, возможно_0 может интерпретироваться как возможно, а возможно_{10} – как необходимо.

Семантическая процедура заключается только в задании нечетких множеств, формализующих смысл термов, входящих в базовое терм - множество. Функции принадлежности для этих термов будем строить по следующим правилам.

Вычислим значение шага: $h = 1/(n - 1) = 1/(11 - 1) = 0.1$. Определим функцию принадлежности i - того терма в форме параметрического задания: $\text{возможно}_i = (0, h \cdot i, 1, 1)$. Получим:

$$\text{возможно} = \text{возможно}_0 = (0, 0, 1, 1);$$

$$\text{возможно}_1 = (0, 0.1, 1, 1);$$

.....

$$\text{возможно}_9 = (0, 0.9, 1, 1);$$

$$\text{необходимо} = \text{возможно}_{10} = (0, 1, 1, 1).$$

Пример функции принадлежности для терма *возможно_0.9* изображен на Рисунке 6.10.

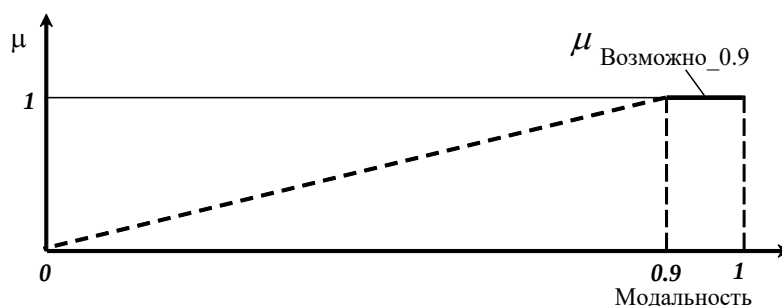


Рисунок 6.10 – Функция принадлежности терма *возможно_0.9* лингвистической переменной «модальность»

Показана методика построения основных лингвистических переменных, с помощью которых составляются прогнозирующие правила и решается задача автоматизации прогнозирования тушения пожаров на основе причинной модели. Переход от лингвистических переменных к их числовому представлению позволяет использовать для получения прогноза методы формальных вычислений [472].

Технология реализации прогнозирования тушения пожара на ЖДТ на основе причинной модели способствует принятию грамотных управленческих решений при осуществлении взаимодействующими подразделениями боевых действий.

6.3 Человеческий аспект в системе управления при боевых действиях подразделений

Личные качества и опыт ЛПР оказывают большое влияние на успешное решение задач, стоящих перед ГПС МЧС России и ФГП ВО ЖДТ. Каждый руководитель, в том числе и РТП, имеет свой стиль, который определяется его

отношением к поставленным задачам, умению обобщать и использовать информацию [477].

ЛПР, нормативные документы и информация являются основными составляющими при решении любой проблемы. Дополнительно можно выделить элементы, позволяющие трансформировать проблему в решение. Это возможные варианты решений и накладываемые ограничения. Структура большого количества проблем полностью неизвестна, т.е. они являются ограниченно структурированными.

Системная методология основывается на применении системного подхода, в рамках которого подразделение пожарной охраны рассматривается как система, состоящая из различных подсистем, и как элемент системы более высокого уровня, которая включает в себя окружение подразделения [478]. При возникновении проблемы ЛПР переходит с более высоких уровней управления подразделением на более низкие, при этом порядок рассмотрения основных элементов системы определяется их приоритетом. Когда решение проблемы с позиций системного подхода основывается на выполнении некоторого количества последовательных этапов, на каждом из которых принимаются зависящие от имеющейся информации решения.

Использование компьютерных информационных систем повышает эффективность процесса.

При изучении литературы, рассматривающей экспертные системы (ЭС), рассматривают следующие термины: добыча, извлечение, получение, выявление, формирование знаний. В специальной литературе англоязычных стран используются, в основном: acquisition (приобретение) и elicitation (извлечение, выявление) [477].

При разработке ЭС выделяют три стратегии получения знаний (Рисунок 6.11) [477]:

1. Приобретение знаний (с использованием ЭВМ и соответствующего программного обеспечения), что предполагает либо трансляцию знаний от эксперта к базе знаний ЭС, либо понимается как способ автоматизированного

построения базы знаний, когда структура знаний предварительно закладывается в программу. Данное понятие не применяется к извлечению структуры знания из информации о предметной области.

2. Формирование знаний с использованием обучающих программ.

3. Извлечение знаний при непосредственном контакте эксперта и источника знаний, в качестве которого может выступать ЛПР, специальная литература и т.д.

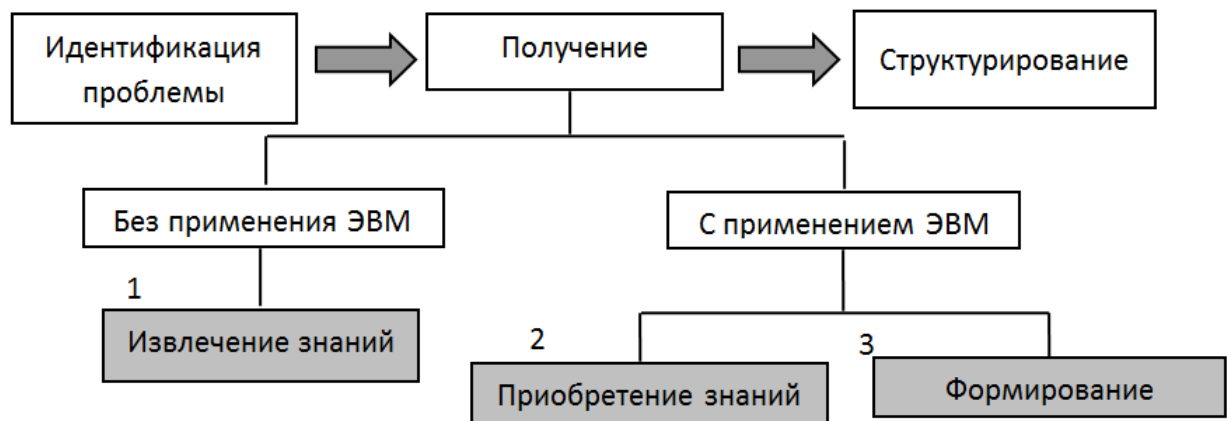


Рисунок 6.11 – Стратегии получения знаний

Извлечение знаний является самой трудной задачей при построении специальных ЭС, требуется разработка новых методов извлечения знаний. Использование способа извлечения знаний, который не соответствует структуре знаний в рассматриваемой области, приводит к использованию неадекватной модели для представления знаний.

Воспроизведение модели предметной области для принятия решений является результатом извлечения. Самостоятельное извлечение для себя знаний экспертом нежелательно [474]:

1) знания, накопленные экспертом – это результат многочисленных наслоений, ступеней опыта. Утверждая, что В есть следствие А, эксперт не всегда может выявить всю цепочку рассуждений, например, $A \rightarrow C, C \rightarrow D, D \rightarrow B$;

2) мышление диалогично. Часть знаний, хранящаяся в памяти ЛПР, носит невербальный характер. ЛПР при объяснении знаний облакает размытые ассоциативные образы в слова, то есть выделяет вербальные знания;

3) обладание большим количеством информации создает для эксперта трудности в формировании модели предметной области.

Существуют различные аспекты процесса извлечения знаний (Рисунок 6.12).

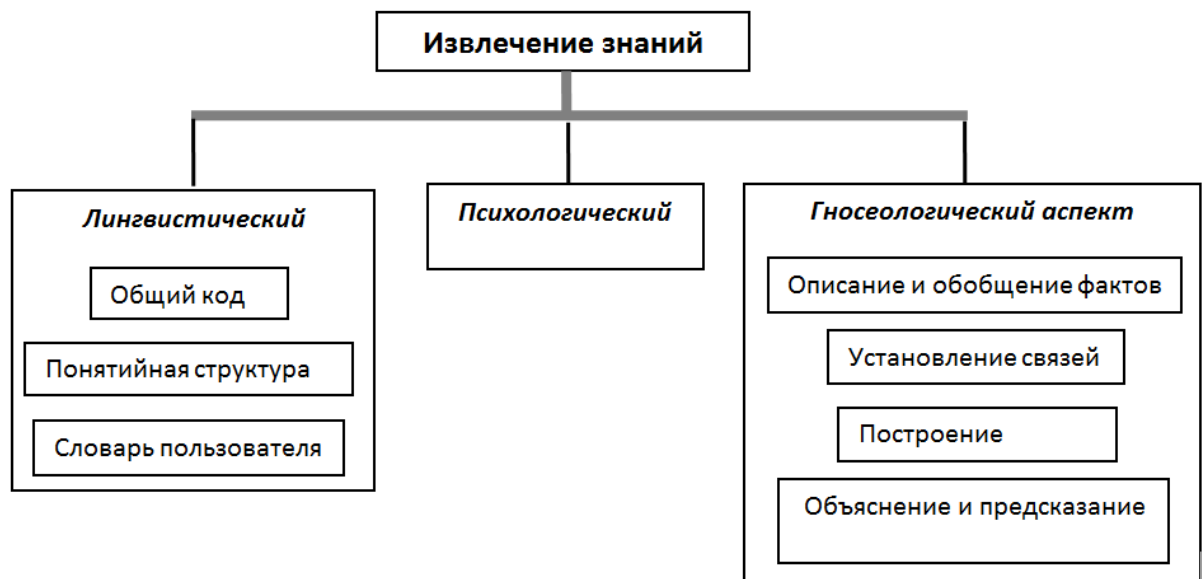


Рисунок 6.12 – Аспекты извлечения знаний

Эффективность взаимодействия эксперта и ЛПР как основного источника знаний определяет психологический аспект. Выделяют четыре основных уровня общения [477]. Умение общаться на четвертом уровне (уровне нравственного общения) характеризует профессиональное мастерство эксперта. В этом случае субъекты внутренне принимают проект совместной деятельности, в результате чего осуществляется наиболее продуктивный процесс.

Извлечение знаний включает материально-практическое, духовно-информационное и практически-духовное общение. При этом важнейшим с прагматической точки зрения является информационный аспект общения

эксперта. Выделим проблемы, которые могут возникнуть в процессе извлечения знаний.

Рассмотрим лингвистический аспект и определим важные для эксперта лингвистические проблемы (Рисунок 6.12).

Средства общения можно представить в виде двух потоков, где V_1 и V_2 – языки, на которых говорят ЛПР и эксперт. Различие этих языков определяет «языковой барьер» или «языковые ножницы» в общении ЛПР и эксперта. В этом состоит сущность проблемы «общего кода».

Для эффективного взаимодействия ЛПР и эксперту нужен некоторый общий язык или код, который содержит потоки бытового языка; общенаучных терминов; специальных литературных терминов ЛПР и специальной терминологии эксперта. Затем этот общий код преобразуется в понятийную сеть, являющуюся прообразом поля знаний предметной области.

Большинство специалистов, занимающихся вопросами искусственного интеллекта и когнитивной психологии, считают, что главной особенностью естественного интеллекта и, в частности, памяти, является связанность в некоторую сеть всех понятий. Это определяет необходимость разработки словаря, в котором в специальных статьях дается объяснение терминам и представлены ссылки на другие понятия. Эксперт должен сформировать иерархию понятий – лингвистический эквивалент иерархии. Эта иерархическая структура на стадии концептуализации превращается в пирамиду знаний.

Полнота базы знаний зависит от богатства и выразительности общего кода.

Гносеологический аспект связан с теорией познания или теорией отражения действительности в сознании человека. Познание направлено на формирование в сознании человека представления об окружающем мире. Инженерия знаний как наука дважды гносеологична. Первоначально в сознании ЛПР отражается действительность, впоследствии его деятельность и опыт трактуются сознанием эксперта, что становится основой для построения поля знаний экспертной системы.

Эксперта в процессе извлечения знаний интересует компонент Z , связанный с неканоническими личными знаниями ЛПР. Предметные области с таким типом знаний называют эмпирическими, в них накоплен большой объем наблюдений и фактов. Они считаются наиболее восприимчивыми к внедрению экспертных систем. Теоретическое обобщение полученной информации – вопрос будущего. Из системы знаний ЛПР Z_1 эксперт извлекает только фрагмент Z_1' , при этом структура Z_1' должна соответствовать и как можно более полно отражать Z_1 .

Создание новых понятий и теорий сопровождает процесс познания. Эксперту необходимо обобщать и стремиться строить цепочки: факт $\rightarrow$ обобщенный факт $\rightarrow$ эмпирический закон $\rightarrow$ теоретический закон, хотя не существует обязательных требований к выполнению всей цепочки, хорошие результаты могут быть получены при стремлении к этому.

Предлагаемый подход соответствует структуре научного знания, состоящего из двух уровней: эмпирический (наблюдения); теоретический (законы). Но теорию необходимо рассматривать не только как стройную систему обобщения научного знания, но и как способ получения новых знаний. Можно выделить основные методологические критерии научности: внутренняя согласованность и непротиворечивость; системность; объективность; историзм.

Эксперт должен учитывать противоречивость, модальность и неполноту эмпирического знания и уметь преодолевать недостатки эмпирики.

Как следствие из основных законов диалектики можно рассматривать возможную противоречивость эмпирического знания. Эти противоречия не всегда разрешаются в поле знаний, они часто служат исходной точкой в рассуждениях ЛПР. Невозможность полного описания предметной области связана с неполнотой знаний. Задача эксперта заключается в ее ограничении определенными рамками, что достигается либо сужением границы предметной области, либо упрощением проблемы путем введения ограничений и допущений.

Системно-структурный подход к познанию ориентирует аналитика рассматривать предметную область с точки зрения закономерности системы в целом и взаимодействия составляющих частей. Организация объекта

представляется многоуровневой и иерархической, когда процессы и явления рассматриваются как множество более мелких подмножеств (признаков, деталей) или как элементы более высоких классов обобщений.

Познание субъективно, на него влияют особенности познающего субъекта. Более корректно говорить не об объективности знания, а о глубине понимания. Осмысление проблемы – важнейшая составляющая работы аналитика, сложный и неоднозначный процесс, происходящий в сознании человека и требующий мобилизации всех его интеллектуальных и эмоциональных способностей. Имеются подтверждения, что люди большую часть времени тратят на понимание проблемы, а не на ее решение [477].

Эксперт должен учитывать изменения процессов во времени и создавать возможность в процессе разработки и эксплуатации ЭС проводить их коррекцию и подстройку.

Используя основные критерии научности познания, на Рисунке 6.12 представлена методологическая структура познания как последовательность этапов.

Описание и обобщение фактов – на этом этапе происходит сбор и накопление фактов, однако опытный специалист сразу пытается их систематизировать, что облегчает впоследствии процесс концептуализации.

Связи, установленные ЛПР, не всегда отображаются в явном виде, эксперту необходимо выявить логику умозаключений ЛПР, используя, например, логическую (нашла широкое применение в работах по искусственному интеллекту) и ассоциативную теории мышления.

Специализированный язык необходим для построения модели, которая отражает представление субъекта о предметной области. Создание языка осуществляется постепенно с использованием категориального аппарата, применяемого в данной предметной области, формально-знаковых средств математики и логики.

Любое отражение при познании содержит упрощение и идеализацию. Гносеологические приемы, а именно, идеализация, огрубление, абстрагирование

позволяют адекватно воспроизводить в модели реальную картину мира, не учитывая при этом несущественные детали.

Завершающим этапом структуры познания и частично критерием истинности знания является объяснение и предсказание моделей. На основании полной и объективной системы знаний эксперта можно прогнозировать и объяснять любые явления из данной предметной области. Модульность (несвязанность) и фрагментарность компонентов базы знаний ЭС ограничивает создание действительно интеллектуальных систем, которые осуществляли бы предсказание новых закономерностей и могли объяснять случаи, не рассмотренные в базе в явном виде.

Выводы по главе 6

1. Общей методологической основой проведенного исследования является системный анализ проблем управления в процессе тушения пожаров. Выполненные исследования базируются на использовании методов детерминированного и ситуационного управления, методов лингвистического прогнозирования, теории нечетких множеств, концепции фреймовых структур.

2. Разработан комплекс управленческих решений, основанный на моделировании ситуаций, возникающих при тушении пожаров на объектах железнодорожного транспорта в процессе организованного межведомственного взаимодействия при использовании подразделениями общих временных, информационных и технических ресурсов.

3. С целью оптимизации выбора управляющих решений предлагается классификация ситуаций, отличающихся от штатной, что позволяет учесть приоритеты противоречий для пяти типов ситуаций, возможных в условиях функционирования подразделений ГПС МЧС России и ФГП ВО ЖДТ: проблемная; кризисная; недостаток ресурсов; с неопределенностью; оптимизации.

Предложены процедуры формирования признаков каждого класса ситуаций в рамках ситуационной модели управления подразделениями. Рассмотрена

организация общения ЛПР с информационно-аналитической системой и выбор действий подразделений в рамках ситуационной модели. Представлена структура комплексной базы знаний, данных и диалогового общения, созданной для управления взаимодействующими подразделениями, которая входит в общую структуру системы принятия решений.

4. Предварительная оценка управляющих воздействий осуществляется с помощью прогнозирования. Среди способов прогнозирования, наиболее перспективным является способ прямой лингвистической реализации моделей с использованием естественных языков.

Разработан единый подход к построению причинной модели прогнозирования при принятии решений в условиях тушения пожаров. Определено ее содержание. Прогнозирование осуществляется в три этапа. На первом определяется содержание основных понятий причинной модели: состояний, событий и ситуаций. Второй этап заключается в составлении прогнозирующих текстов на естественном языке. Третий этап связан с формализацией и исполнением полученного текста.

Приведен пример реализации причинной модели прогнозирования тушения пожара, рассмотрены закономерности построения лингвистических переменных как основного этапа формализации.

5. Рассмотрен человеческий аспект и технологии извлечения знаний при формировании экспертных систем поддержки управленческих решений. Опираясь на основные критерии научности познания, методологическая структура познания представлена как последовательность этапов. Рассмотрены аспекты извлечения знаний – лингвистический, психологический и гносеологический.

Заключение

1. В работе решена актуальная проблема – концептуальное обеспечение требуемого уровня пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов. Доказано, что предложенные концептуальные основы и разработанные научно-технические решения являются эффективным инструментом управления пожарными рисками на железнодорожном транспорте. При их создании учтен весь спектр выявленных проблем, главными из которых являются отсутствие системного подхода и методическая несогласованность методов энергоэкологической оценки и определения пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожного транспорта.

2. Разработанные концептуальные основы обеспечения пожарной безопасности железнодорожных перевозок опасных грузов предполагают реализацию следующих принципов:

проведение комплексного технологического аудирования для управления пожарным риском, объединяющего различные виды аудита в единый процесс;

разработка инновационных технических решений, направленных на обеспечение пожарной безопасности;

учет условий каскадного развития техногенный пожаров на транспорте;

применение эксергетического анализа как инструмента прогнозирования и управления пожарными рисками;

обеспечение приоритета предупреждения пожаров по отношению к реагированию на их последствия;

влияние условий, формирующихся в процессе межведомственного взаимодействия, на процесс тушения пожаров.

Обосновано применение эксергии как центрального понятия предлагаемых концептуальных основ.

3. Практическая реализация разработанного метода управления пожарными рисками позволила предложить и обосновать способ минимизации пожарного риска, основанный на применении инновационных технических

решений для предотвращения и тушения пожаров, снижения риска их каскадного развития и обеспечения экологической безопасности при железнодорожных перевозках нефтепродуктов.

Применение адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя позволяет:

снизить индивидуальный пожарный риск, связанный с образованием шлейфа паров нефтепродуктов на дыхательной арматуре и его зажиганием с формированием очага горения, с $1,1 \cdot 10^{-5} \text{ год}^{-1}$ до $1,4 \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$;

минимизировать выброс паров нефтепродуктов в атмосферу, что может достигать 4,3 кг при одном «малом» дыхании железнодорожной цистерны.

4. Предложена методика классификации пожароопасных грузов с учетом эксергетического показателя, применение которой позволяет повысить объективность процедуры с точки зрения обеспечения безопасности. Для обоснования применения эксергетического анализа как инструмента прогнозирования и управления пожарными рисками при организации перевозок пожароопасных грузов:

получены зависимости показателей пожарной опасности нефтяных грузов: низшей теплоты сгорания (Q_n), температуры вспышки ($T_{всп}$), самовоспламенения ($T_{св}$), концентрационных и температурных пределов распространения пламени (КПР и ТПР соответственно) от эксергии; коэффициент детерминации полученных уравнений регрессии $R^2 = 0,70 \div 0,99$;

исследованы закономерности изменения эксергии сжиженных углеводородных газов и продуктов их сгорания при авариях железнодорожных цистерн;

определены зависимости эксергии самовозгорающихся грузов от энергии активации (E), критической температуры окружающей среды (T_0^k), теплоемкости самонагревающихся материалов (C_p); $R^2 = 0,71 \div 0,87$.

5. Проведенные исследования показали, что при назначении класса опасности отходов не учитывается их пожарная опасность. Доказана целесообразность применения эксергетического показателя для прогнозирования

пожароопасных свойств твердых коммунальных отходов как груза железнодорожного транспорта. Наибольшими значениями химической эксергии и теплоты сгорания обладают пластмассы (например, для полиэтилена $e_{\text{хим}} = 43,4$ МДж/кг; для полипропилена $e_{\text{хим}} = 42,0$ МДж/кг), что необходимо учитывать при организации перевозок. Выделение пластмассовых отходов как сырья для вторичного производства позволит в 1,5 раза повысить эффективность переработки отходов.

6. Разработан комплекс управленческих решений, основанных на моделировании пожароопасных ситуаций с учетом особенностей межведомственного взаимодействия подразделений при совместном использовании временных, информационных и технических ресурсов. Применение формализованного управленческого аппарата, обеспечивающего снижение влияния «человеческого фактора», позволяет уменьшить временные показатели оперативного реагирования на пожары на 7-10 %.

Список сокращений и условных обозначений

БТиОЗ – безопасность труда и охрана здоровья

ВКПР, НКПР – верхний, нижний концентрационный предел распространения пламени соответственно

ВТПР, НТПР – верхний, нижний температурный предел распространения пламени соответственно

ГПС – Государственная противопожарная служба

ЕС – Европейский Союз

ЖДТ – железнодорожный транспорт

ИТР – инженерно-технические работники

ЛПР – лицо, принимающее решение

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

НДТ – наилучшие доступные технологии

ОАО «РЖД» – открытое акционерное общество «Российские железные дороги»

ОС – окружающая среда

ПБ – пожарная безопасность

РТП – руководитель тушения пожара

СиС – силы и средства

СПГ – сжиженный природный газ

СУГ – сжиженные углеводородные газы

СУПБ – система управления пожарной безопасностью

ТВС – топливо - воздушная смесь

ТКО – твердые коммунальные отходы

ФГП ВО ЖДТ – Федеральное государственное предприятие Ведомственная охрана железнодорожного транспорта

ЧС – чрезвычайная ситуация

A – зольность

C – содержание углерода, %

C_v – удельная теплоемкость воздуха

C_p – удельная теплоемкость вещества, материала

Cl – процентное содержание хлора

$d_{\text{без}}$ – безопасный диаметр канала пламегасящего элемента

$d_{\text{кр}}$ – критический диаметр гашения пламени

E – энергия активации

$e_{\text{хим}}$ – химическая эксергия

$e_{\text{физ}}$ – физическая эксергия

FC – содержание фиксированного углерода

G – энергия Гиббса

h – молярная энтальпия

H – процентное содержание атомов водорода

M – молярная масса

m – масса

N – процентное содержание азота

O – процентное содержание кислорода

$T_{\text{с}}$ – критическая температура самовозгорания вещества (материала)

$T_{\text{всп}}$ – температура вспышки

T_0 – температура окружающей среды

$T_0^{\text{к}}$ – критическая температура окружающей среды, при которой возможно
самонагревание

$T_{\text{кип}}$ – температура кипения

$T_{\text{св}}$ – температура самовоспламенения

Pr – пробит-функция

q – интенсивность теплового излучения

$Q_{\text{н}}$ – низшая теплота сгорания

Q_n – высшая теплота сгорания

R – универсальная газовая постоянная

R_m – индивидуальный пожарный риск работника m объекта

s – молярная энтропия

S – процентное содержание серы

S_u – нормальная скорость распространения пламени

V – содержание летучих продуктов

W – интенсивность испарения

Z – предэкспоненциальный множитель адиабатической скорости
самонагрева

Словарь терминов

Железнодорожный транспорт (Российской Федерации): составная часть единой транспортной системы Российской Федерации, призванная во взаимодействии с организациями других видов транспорта своевременно и качественно обеспечивать потребности физических лиц, юридических лиц и государства в перевозках железнодорожным транспортом, способствовать созданию условий для развития экономики и обеспечения единства экономического пространства на территории Российской Федерации.

Наилучшая доступная технология (НДТ): технология производства продукции (товаров), выполнения работ, оказания услуг, определяемая на основе современных достижений науки и техники и наилучшего сочетания критериев достижения целей охраны окружающей среды при условии наличия технической возможности ее применения.

Опасный груз: груз, который в силу присущих ему свойств при определенных условиях при перевозке, выполнении маневровых, погрузочно-разгрузочных работ и хранении может стать причиной взрыва, пожара, химического или иного вида заражения либо повреждения технических средств, устройств, оборудования и других объектов железнодорожного транспорта и третьих лиц, а также причинения вреда жизни или здоровью граждан, вреда окружающей среде.

Пожар: неконтролируемое горение, причиняющее материальный ущерб, вред жизни и здоровью граждан, интересам общества и государства.

Пожарная безопасность: состояние защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров.

Пожарная безопасность объекта защиты: состояние объекта защиты, характеризующееся возможностью предотвращения возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество опасных факторов пожара.

Пожарная опасность объекта защиты: состояние объекта защиты, характеризующееся возможностью возникновения и развития пожара, а также воздействия на людей и имущество опасных факторов пожара.

Пожарный риск: мера возможности реализации пожарной опасности объекта защиты и ее последствий для людей и материальных ценностей.

Сжиженные углеводородные газы: смесь углеводородов (пропана, пропилена, бутанов, бутиленов и бутадиенов с присутствием метана, этана, этиленов и (или) пентанов и пентенов), преобразованная в жидкое состояние.

Управление риском: 1) основанная на оценке риска целенаправленная деятельность по реализации наилучшего из возможных способов уменьшения рисков до уровня, который общество считает приемлемым, при заданных ограничениях на ресурсы и время; 2) комплекс взаимосвязанных нормативных правовых, организационно-административных, экономических, инженерно-технических и других мероприятий, направленных на уменьшение или предупреждение возможных или существующих потерь населения, объектов экономики и окружающей среды от опасностей.

Чрезвычайная ситуация (ЧС): совокупность условий и обстоятельств, создающих опасную для жизнедеятельности человека обстановку на конкретном объекте, территории, возникших в результате совершившейся аварии или катастрофы, опасного природного явления.

Эксергия: максимальная работа, которую может совершить макроскопическая система при квазистатическом переходе из заданного состояния в состояние равновесия с окружающей средой (эксергия процесса положительна), или та минимальная работа, которую необходимо затратить на квазистатический переход системы из состояния равновесия с окружающей средой в заданное состояние (эксергия процесса отрицательна).

Список литературы

1. Королева, Л.А. Особенности и перспективы развития морских перевозок сжиженного природного газа / Л.А. Королева, С.С. Изотов, Г.Б. Свидзинская // Транспорт России: проблемы и перспективы – 2016: материалы Международной научно-практической конференции. – СПб: ИПТ РАН, 2016. –Том 1. – С. 230-234.
2. Королева, Л.А. О перспективе автономных атомных электростанций на плавучих транспортных средствах / Л.А. Королева, В.Н. Ложкин, М.П. Солодских // Надежность и долговечность машин и механизмов: материалы VII Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия, 2016. – С. 76-79.
3. Королева, Л.А. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта как одно из направлений повышения надежности и безопасности пожарных автомобилей / Л.А. Королева, В.Н. Ложкин // Надежность и долговечность машин и механизмов: материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия, 2015. – С. 54-58.
4. Королева, Л.А. Особенности применения пожарных машин в условиях ликвидации радиационных аварий / Л.А. Королева, В.Н. Ложкин, М.П. Солодских // История пожарной охраны и современная пожарная охрана: материалы Международной научно-практической конференции. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 175-178.
5. Королева, Л.А. Об уроках Чернобыля, определивших развитие техники для ликвидации последствий аварий на АЭС / Л.А. Королева, В.Н. Ложкин, М.П. Солодских // Предупреждение. Спасение. Помощь: материалы XXVI Международной научно-практической конференции. – М.: Академия гражданской защиты, 2016. – С. 49-54.
6. Статистика пожаров в Российской Федерации [Электронный ресурс] // Электронная энциклопедия пожарного дела. – Режим доступа: <http://wiki-fire.org/> (дата обращения: 22.01.2019).

7. О железнодорожном транспорте Российской Федерации: Федер. закон Рос. Федерации от 10 января 2003 № 17-ФЗ (ред. от 03.08.2018) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/12129474/> (дата обращения 03.12.2018)

8. Юсупов, Т.Р. Статистический анализ причин аварийности на железнодорожном транспорте / Т.Р. Юсупов, Р.Р. Шайдуллин, А.Н. Елизарьев // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. – СПб: информационный издательский учебно-научный центр «Стратегия будущего». – 2015. – № 21-1. – С. 189-192

9. Худяков, К.А. Конкурентные преимущества железнодорожного транспорта [Электронный ресурс] / К.А. Худяков, Д.Е. Смирнова // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2016. – № 12. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/konkurentnye-preimushchestva-zheleznodorozhnogo-transporta> (дата обращения: 22.02.2017).

10. Кушнир, А.М. Тенденции и особенности грузовых перевозок железнодорожным транспортом России в современных условиях [Электронный ресурс] / А.М. Кушнир // Транспортное дело России. – 2016. – № 5. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tendentsii-i-osobennosti-gruzovyh-perevozok-zheleznodorozhnym-transportom-rossii-v-sovremennyh-usloviyah> (дата обращения: 23.02.2017).

11. Голикова, Ю.А. Организация и планирование перевозок грузов железнодорожным транспортом в современной России [Электронный ресурс] / Ю.А. Голикова // Вестник СИБИТа. – 2017. – № 2 (22). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-i-planirovanie-perevozok-gruzov-zheleznodorozhnym-transportom-v-sovremennoy-rossii> (дата обращения: 20.01.2018).

12. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/> (дата обращения 21.10.2016)

13. Россия в цифрах. 2018: Крат.стат.сб./Росстат – М., 2018 – 522 с.
14. Думнов, С.Н. Количественная оценка пожарной опасности и безопасности объектов железнодорожного транспорта [Электронный ресурс] / С.Н. Думнов, В.А. Тарасенко // Вестник Восточно-Сибирского института МВД России. – 2013. – № 4 (67). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kolichestvennaya-otsenka-pozharnoy-opasnosti-i-bezopasnosti-obektov-zheleznodorozhnogo-transporta> (дата обращения: 22.01.2016).
15. Либерман, Б.А. Экологические проблемы транспортировки опасных грузов по железным дорогам России / Б.А. Либерман, А.С. Хмелев // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. –Т. 6. – № 1. – С. 51–54.
16. РЖД в цифрах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=5232&layer_id=3290&refererLayerId=3290&id=4079 (дата обращения 30.01.2019)
17. Ключкова, Е.А. Промышленная, пожарная и экологическая безопасность на железнодорожном транспорте: Учебное пособие / Е.А. Ключкова – М.: УМЦ МПС России, 2007 - 456 с.
18. Новичкова, Н.Ю. Обеспечение пожарной безопасности на железнодорожном транспорте в России во второй половине XIX века / Н.Ю. Новичкова // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Том 21. – № 8. – С. 17-19.
19. Иордан К. Пожарное дело в России / К. Иордан // Пожарное дело. – 1998. – № 2. – С. 79-82
20. Наша история. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zdohrana.ru/nasha-istoriya.html> (дата обращения 05.02.2017)
21. Ведомственная пожарная охрана: эффективность деятельности и модернизация программ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://secuteck.ru/articles2/oficial/vedomstvennaya-pojarnaya-ohrana-effektivnost-deyatelnosti-i-modernizaciya-programm> (дата обращения 05.02.2018)

22. Положение о ведомственной пожарной охране железнодорожного транспорта Российской Федерации: приказ Федерального агентства железнодорожного транспорта от 07 февраля 2008 г. № 46 (ред. от 17.04.2014) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902091057> (дата обращения 08.01.17).

23. Обзор по вопросам функционирования пожарных подразделений (пожарных поездов) в 2018 году. – М.: ФГП ВО РЖД, 2019. – 35 с.

24. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 22 июля 2008 № 123-ФЗ (ред. от 27.12.2018) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/ (дата обращения: 01.02.2019).

25. СТО РЖД 1.15.009-2009. Система управления пожарной безопасностью в ОАО «РЖД. Основные положения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.alppp.ru/law/bezopasnost-i-ohrana-pravoporjadka/5/rasporjazhenie-oao-rzhd-ot-12-01-2010--16r.html> (дата обращения 08.01.19).

26. О пожарной безопасности: Федер. закон Рос. Федерации от 12 декабря 1994 № 69-ФЗ (ред. от 30.10.2018) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://legalacts.ru/doc/FZ-o-pozharnej-bezopasnosti/> (дата обращения 28.12.18).

27. Терехнов, В.В. Управление силами и средствами на пожаре / В.В. Терехнов, А.В. Терехнов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003 – 261 с.

28. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы / Б.С. Рачевский – М.: «Нефть и газ», 2009 – 640 с.

29. Авария у Подсосенки: стрелочник не виноват. // Комсомольская правда, 28.03.1992.

30. РИА Новости. РЖД восстановило движение на месте крушения поезда в Амурской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ria.ru/20120201/553613637.html> (дата обращения 25.07.2018)

31. Крушение состава с нефтью в Лак-Мегантик (Квебек) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/>

[Крушение состава с нефтью в Лак-Мегантик \(Квебек\)](#) (дата обращения 27.07.2018)

32. Катастрофа в белой Калитве: Хроника событий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://161.ru/text/gorod/652310.html> (дата обращения 27.07.2018)

33. Савчук, О.Н. Пути совершенствования прогнозирования последствий аварий (разрушений) железнодорожных цистерн с аварийно-химически опасными веществами в условиях информационной войны [Электронный ресурс] / О.Н. Савчук, А.А. Аксенов // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2015. – № 1. – С. 18-28. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/puti-sovershenstvovaniya-prognozirovaniya-posledstviy-avariy-razrusheniy-zheleznodorozhnyh-tsistern-s-avariyno-himicheskii-opasnymi> (дата обращения: 22.02.2019).

34. Буралев, Ю.В. Безопасность жизнедеятельности на транспорте: учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Ю.В. Буралев, 5-е изд., перераб. – М.: Академия, 2012. – 288 с.

35. Королева, Л.А. Сравнительный анализ пожарных рисков при железнодорожных перевозках нефтепродуктов в Российской Федерации и Европейском Союзе [Электронный ресурс] / Л.А. Королева, С.А. Головин, Г.Б. Свидзинская // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2018. – № 3. – С. 17-54. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/> (дата обращения 12.12.2018).

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

37. ГОСТ 19433-88 Грузы опасные. Классификация и маркировка. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 47 с.

38. ГОСТ 12.1.007- 1976 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями № 1,2) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200233> (дата обращения 30.04 2017)

39. Петров, С.В. Совершенствование методов оценки и управления аварийным риском в чрезвычайных ситуациях при перевозке нефтепродуктов на железнодорожном транспорте: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.02 // Петров Сергей Викторович. – М., 2009. – 125 с.

40. Транспортная отрасль России: Предварительные итоги 2017 года. Перспективы развития в 2018-2020 годах. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<http://infoline.spb.ru/upload/iblock/c90/c906ceed93eed2d25d86e6f4ccc60675.pdf> (дата обращения 03.05.2018)

41. Перспективы перевозок нефтеналивных грузов железнодорожным транспортом: риски и перспективы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.logistika-prim.ru/press-releases/perspektivy-perevozok-neftenalivnyh-gruzov-zheleznodorozhnym-transportom-riski-i> (дата обращения 15.04.2018)

42. Громова, М. П. Мировые тенденции к переходу на сжиженный газ / М.П. Громова, А.А. Вареничев, В.Т. Гудзенко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – №7 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/mirovyie-tendentsii-k-perehodu-na-szhizhenny-gaz> (дата обращения: 13.11.2016)

43. Абдурагимов, И.М. Нерешенные проблемы пожаровзрывобезопасности энергоресурсов (СУГ и СПГ) как оборотная сторона успехов энергетической стратегии Российской Федерации / И.М. Абдурагимов, Г.Н. Куприн // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – №4. – С. 42-50.

44. Тагиев, Р.М. Первые в мировой практике широкомасштабные испытания по проливу сжиженного природного газа и последующего его горения в рамках научно-технического сотрудничества ООО «Газпром газобезопасность» и «GDF Suez S.A.» / Р.М. Тагиев // Безопасность объектов топливно-энергетического комплекса. – 2013. – № 2. – С. 58-61.

45. Маршалл, В. Основные опасности химических производств [Пер. с англ. Г.Б. Барсамяна и др.; под ред. Б.Б. Чайванова, А.Н. Черноплекова] / В. Маршалл. – М.: Мир, 1989. – 671 с.

46. Корольченко, И.А. Тепловое самовозгорание насыпей и отложений твердых дисперсных материалов: дис. ... д. техн. наук: 05.26.03 // Корольченко Игорь Александрович. – М., 2007 – 471 с.

47. Об утверждении Федерального классификационного каталога отходов: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 22 мая 2017 г. № 242 (в ред. от 02.11.2018). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/542600531> (дата обращения 15.12.2018).

48. Машуков, А.А. Технологический подход к организации деятельности по обращению с отходами на предприятиях железнодорожного транспорта / А.А. Машуков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013. – № 1(37). – С. 236-241

49. Рязанов, А.В. Экологические проблемы обращения с твердыми отходами некоторых транспортных предприятий в свете перехода на ноосферный путь развития / А.В. Рязанов // Вестник ТГУ. – 2013. – Том 18. – Вып. 3. – С. 902-904

50. Об утверждении Порядка отнесения отходов I-IV классов опасности к конкретному классу опасности: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 5 декабря 2014 г. № 541 (в ред. от 01.07.2016) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71296488/> (дата обращения 15.12.2016).

51. Базельская конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1901208> (дата обращения 15.05.2019).

52. Makarichi, L. Material flow analysis as a support tool for multi-criteria analysis in solid waste management decision-making / L. Makarichi, K.-A. Techato, W. Jutidamrongphan // Resources, Conservation and Recycling. – 2018. – Vol. 139. – P. 351-365. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.07.024.

53. Moody, C. A comparison of landfill leachates based on waste composition / C. Moody, M. Moody, T.imothy G. Townsend // Waste Management. – 2017. – Vol. 63. – P. 267-274. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.09.020

54. Козлов, Г.В. Морфологический состав твердых коммунальных отходов по регионам мира в XX и начале XXI века (обзор) / Г.В. Козлов, Г.К. Ивахнюк // Известия СПбГТИ (ТУ). – 2014. – № 24(50). – С. 58-66.

55. Владимиров, Я.А. Методические вопросы энергетического использования твердых коммунальных отходов и продуктов их газификации / Я.А. Владимиров, Л.В. Зысин // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. – 2018. – Т. 24. – № 1. – С. 5-16. DOI: 10.18721/JEST.240101.

56. Арзамасова, З.А. Санитарная очистка городов (сбор, удаление, обезвреживание и использование твердых отходов) / З.А. Арзамасова [и др.]; ред. Н.Ф. Гуляев. – М.: Стройиздат, 1966. – 220 с.

57. Мочалова, Л.А. Система обращения с твердыми коммунальными отходами: зарубежный и отечественный опыт [Электронный ресурс] / Л.А. Мочалова, Д.А. Гриненко, В.В. Юрак // Известия УГГУ. – 2017. – № 3 (47). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-obrascheniya-s-tverdymi-kommunalnymi-otходami-zarubezhnyy-i-otechestvennyy-opyt> (дата обращения: 17.05.2018).

58. Di Foggia, G. Improving efficiency in the MSW collection and disposal service combining price cap and yardstick regulation: The Italian case / G. Di Foggia, M. Beccarello // Waste Management. - 2018. – Vol. 79. – P. 223-231. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.07.040.

59. Алешина, Т.А. Причины возгораний на свалках ТБО / Т.А. Алешина // Вестник МГСУ. – 2014. – № 1. – С. 119–124. DOI: 10.22227/1997-0935.2014.1.119-124.

60. Wang, Y. Investigating impact of waste reuse on the sustainability of municipal solid waste (MSW) incineration industry using emergy approach: A case study from Sichuan province, China / Y. Wang, X. Zhang, W. Liao, J. Wu, X. Yang, W. Shui, S. Deng, Y. Zhang, L. Lin, Y. Xiao, X. Yu, H. Peng // Waste Management. – 2018. – Vol. 77. – P. 252-267. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.04.003.

61. Тугов, А.Н. Перспективы энергетической утилизации ТБО [Электронный ресурс] / А.Н. Тугов // Энергосовет. – 2014. – № 4. – С. 31-35. – Режим доступа: www.energosoвет.ru/bul_stat.php?num=35 (дата обращения 01.07.2018).

62. Sun, L. Improving waste to energy rate by promoting an integrated municipal solid-waste management system / L. Sun, M. Fujii, T. Tasaki, H. Dong, S. Ohnishi // Resources, Conservation and Recycling. – 2018. - Vol. 136. – P. 289-296. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.05.005.

63. Алексашина, В.В. Экология города. Мусоросжигательные заводы [Электронный ресурс] / В.В. Алексашина // Academia. Архитектура и строительство. – 2014. – № 4. – С. 77-856. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologiya-goroda-musoroszhigatelnye-zavody> (дата обращения: 30.08.2016).

64. Соломин, И.А. Состав и свойства твердых коммунальных отходов, учитываемые при выборе технических методов обращения с отходами / И.А. Соломин, В.И. Афанасьева // Природообустройство. – 2017. – С.82-89.

65. Рузанова, М.А. Основные способы утилизации и обезвреживания твердых бытовых отходов / М.А. Рузанова // Вестник технологического университета. – 2015. – Т.18. – № 10. – С. 219-221.

66. Либерман, Б.А. Экологические проблемы транспортировки опасных грузов по железным дорогам России / Б.А. Либерман, А.С. Хмелев // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2016. – Т. 6. – № 1. – С. 51-54. DOI: 10.18503/2222-9396-2016-6-1-51-54.

67. Han, J. A method for estimating higher heating value of biomass-plastic fuel / J. Han, X.i Yao, Y. Zhan, S.-Y. Oh, L.-H. Kim, H.-J. Kim // Journal of the Energy Institute. – 2017. – Vol. 90, Issue 2. – P. 37-45. DOI: 10.1016/j.joei.2016.01.001.

68. Boumanchar, I. Effect of materials mixture on the higher heating value: Case of biomass, biochar and municipal solid waste / I. Boumanchar, Y. Chhiti, F.E. M'hamdi Alaoui, A.E. Amal El Ouinani, A. Sahibed-Dine, F. Bentiss, C. Jama, M.

Bensitel // Waste Management. – 2017. – Vol. 61. – P. 78-86. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.11.012.

69. Shi, H. Characterization, thermochemical conversion studies, and heating value modeling of municipal solid waste / H. Shi, N. Mahinpey, A. Aqsha, R. Silbermann // Waste Management. – 2016. – Vol. 48. – P. 34-47. DOI: 10.1016/j.wasman.2015.09.036.

70. Буянов, В.П., Рискология (управление рисками). Уч. пос. / В.П. Буянов, К.А. Кирсанов, Л.М. Михайлов – М.: Экзамен, 2003. – 235 с.

71. Гражданская защита. Понятийно-терминологический словарь; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева. – М.: Издательство «Флайст», 2001. – 240 с.

72. О техническом регулировании: Федер. закон Рос. Федерации от 27 декабря 2002 № 184-ФЗ (в ред. от 29.07.2017) [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/4ceedc6beeab98acfcffe6b042e41a8319e1c922/ (дата обращения 01.03.2018)

73. Акимов, В.А. Основы анализа и управления риском в природной и техногенной сферах. Учебное пособие / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.

74. Ковалевич, О.М. К вопросу об определении «степени риска». / О.М. Ковалевич // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – М.: ВИНТИ, 2004. – Вып. 1. – С. 73-80.

75. Акимов, В.А. Кризисы и риск: к вопросу взаимосвязи категорий / В.А. Акимов, Б.Н. Порфирьев // Проблемы анализа риска. – 2004. – Т. 1. – № 1. – С. 38-49.

76. Ковалев, В.В. Практикум по финансовому менеджменту. Конспект лекций с задачами / В.В. Ковалев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 448 с.

77. Финансовый менеджмент: теория и практика. Учебник; под ред. Е.С. Стояновой. – 6-е изд. – М.: Перспектива, 2010. – 656 с.

78. Ковалев, В.В. Введение в финансовый менеджмент. / В.В. Ковалев. – М.: Финансы и статистика, 2006. – 768 с.
79. Фомичев, А.Н. Риск-менеджмент. Уч. пос. / А.Н. Фомичев. – М.: Изд.-торговая корпорация «Дашков и Ко», 2011. – 372 с.
80. Баландин, К.В. Риск-менеджмент. Учебное пособие / К.В. Баландин, С.Н. Воробьев. – М.: Гардарики, 2005. – 285 с.
81. Ступаков, В.С., Риск-менеджмент. Учебное пособие / В.С. Ступаков, Г.С. Токаренко. – М.: Изд. Финансы и статистика, 2005. – 288 с.
82. Ward, S. Transforming project risk management into project uncertainty management / S. Ward, C. Chapman // International journal of project management. – 2003. – Vol. 21 – № 2. – P. 97.
83. ГОСТ Р ИСО 10006-2005 Руководство по менеджменту качества при проектировании – М.: Стандартиформ, 2007. – 28 с.
84. Дубровский, В.Ф. Определение риска и классификация его количественных оценок [Электронный ресурс] / В.Ф. Дубровский // Дайджест-финансы. – 2006. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-riska-i-klassifikatsiya-ego-kolichestvennyh-otsenok> (дата обращения: 10.03.2018).
85. Управление рисками техногенных катастроф и стихийных бедствий (пособие для руководителей организаций): Монография; под общ. ред. М.И. Фалеева. – М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2016. – 270 с.
86. ГОСТ Р 55059-2012 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Менеджмент риска чрезвычайной ситуации. Термины и определения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102321> (дата обращения: 19.03.2016).
87. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. Основные понятия / Н.Н. Брушлинский, Ю.М. Глуховенко, В.Б. Коробко и др.; под ред. Н.Н. Брушлинского. – М., 2004 – 47 с.

88. Pekka Räisänen Fire Risk and its Management in Cruise Vessel Construction Projects. School of Science: Aalto University publication series Doctoral dissertation 101/2014. – 302 p
89. Chapman, C. Project Risk Management. Processes, Techniques and Insights / C. Chapman, S. Ward. – New York: John Wiley & Sons Ltd., 1997.
90. Chapman, C. Why risk efficiency is a key aspect of best practice projects / C. Chapman, S. Ward // International journal of project management. – 2004. – Vol. 22 – №. 8. – P. 619-621.
91. Patterson, F.D. A Risk Register Database System to aid the management of project risk / F.D. Patterson, K. Neailey // International journal of project management. – 2002. – Vol. 20 – № 5 – P. 365.
92. Raz, T. Use and benefits of tools for project risk management / T. Raz, E. Michael // International journal of project management. – 2001. – Vol. 19. – №. 8. – P. 9.
93. Baccarini, D. The concept of project complexity - a review / D. Baccarini // International journal of project management. – 1992. – Vol. 14. – № 4. – P. 198-204.
94. Del Caño, A. Integrated methodology for project risk management / A. Del Caño, M.P. De la Cruz // Journal of construction engineering and management. – 2002. – Vol. 128. – № 6. – P. 473.
95. Сендайская рамочная программа по снижению риска бедствий на 2015–2030 годы. Резолюция A/ C ONF.224/ L.2 Генеральной ассамблеи ООН [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.unisdr.org/files/43291_russiansendaiframeworkfordisasterri.pdf (дата обращения 24.08.16)
96. Royer, P. Risk management: The undiscovered dimension of project management / P. Royer // Project management journal. – 2000. – Vol. 31. – № 1. – P. 224-236
97. Conroy, G. ConSERV, a project specific risk management concept / G. Conroy, H. Soltan // International journal of project management. 1992. – Vol. 16. – № 6. – P. 353-366.

98. Barber, R.B. Understanding internally generated risks in projects / R.B. Barber // International Journal of Project Management. – 2005. – Vol. 23. – № 8. – P. 584-590.

99. Акимов, В.А., Риски в природе, техносфере, обществе и экономике / В.А. Акимов, В.В. Лесных, Н.Н. Радаев. – М.: Деловой экспресс, 2004. – 352 с.

100. ГОСТ Р 51901.11-2005. Менеджмент риска. Исследование опасности и работоспособности. Прикладное руководство [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru/text/GOSTR51901112005Menedzhme.html> (дата обращения 10.08.16)

101. Datta, S. Developing a risk management matrix for effective project planning--an empirical study / S. Datta, S.K. Mukherjee // Project management journal. – 2001. – Vol. 32, – № 2, – P. 45.

102. Patterson, F.D. Risk Register Database System to aid the management of project risk / F.D. Patterson, K.A. Neailey // International journal of project management. – 2002. – Vol. 20 – № 5– P. 365.

103. Jaafari, A. Management of risks, uncertainties and opportunities on projects: Time for a fundamental shift / A. Jaafari // International journal of project management. – 2001. – Vol. 19. – № 2. – P. 89.

104. Ложкин, В.Н. Надежность технических систем и техногенный риск/ В.Н. Ложкин, О.В. Ложкина, В.И. Веттегрень. – LAP Lambert Academic publishing, 2017 – 461 с.

105. Williams, T.M. The two-dimensionality of project risk / T.M. Williams // International Journal of Project Management. – 1996. – Vol. 14. – № 3. – P. 185-186.

106. Ward, S. Assessing and managing important risks / S. Ward // International Journal of Project Management. – 1999. – Vol. 17. – № 6. – P. 331-336.

107. Chapman, C. Key points of contention in framing assumptions for risk and uncertainty management / C. Chapman // International journal of project management. – 2006. – Vol. 24. – № 4. – P. 303.

108. Pender, S. Managing incomplete knowledge: Why risk management is not sufficient / S. Pender // International journal of project management. – 2001. – Vol. 19. – № 2. – P. 79.
109. Aven, T. A semi-quantitative approach to risk analysis, as an alternative to QRAs / T. Aven // Reliability engineering system safety. – 2008. – Vol. 93. – № 6. – P. 790.
110. Ben-David, I. An integrated approach for risk response development in project planning / I. Ben-David, T. Raz // The journal of the Operational Research Society. – 2001. – Vol. 52. – № 1. – P. 14.
111. Hillson, D. Extending the risk process to manage opportunities / D. Hillson // International journal of project management. – 2002. – Vol. 20. – № 3. – P. 235.
112. Pavlak, A. Project troubleshooting: tiger teams for reactive risk management / A. Pavlak // Project management journal. – 2004. – Vol. 35. – № 4. – P. 5.
113. Watts, J. Introduction to Fire Risk Analysis. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / J. Watts, J. Hall. – Third ed. Quincy: National Fire Protection Association, 2002.
114. Hornby, A.S. Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English/ A.S. Hornby, A.P. Cowie. – Oxford: Oxford University Press, 1980.
115. Kallioniemi, P. Rättö-Ihalainen, E. Industrial Fire Prevention / P. Kallioniemi, A. Santavuori. – Helsinki: Sampo Industrial Insurance Company Ltd, 2002. – 67 p.
116. Rasbash, D. Evaluation of Fire Safety. Chichester. / D. Rasbash, G. Ramachandran, B. Kandola, J.M. Watts, M. Law. – UK: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
117. Zalosh, R. Industrial Fire Protection Engineering. Chichester / R. Zalosh. – UK: John Wiley & Sons, 2003.
118. Schroll, R.C. Industrial Fire Protection Handbook. Boca Raton / R.C. Schroll. – Fl.: CRC Press, 2002.
119. Stollard, P. Fire from first principles: a design guide to building fire safety / P. Stollard, J. Abrahams. – 3rd. ed. – London: E & FN Spon, 1999.

120. Watts, J.M. Systems Concepts for Building Fire Safety. Fire Protection Handbook/ J.M. Watts. – 18. ed. – Quincy Mass.: National Fire Protection Association, 2000.

121. Thomson, N. Fire Hazards in Industry/ N. Thomson – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002.

122. Shields, T.J. Buildings and Fire / T.J. Shields, G.W.H. Silcock. – Harlow: Longman Scientific & Technical, 1987.

123. Якуш, С.Э. Анализ пожарных рисков. Часть 1: подходы и методы / С.Э. Якуш, Р.К. Эксманский // Проблемы анализа риска. – 2009. – Том 6. – № 3. – С. 8-46.

124. Султанов, Р.М. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций при транспортировке нефтепродуктов железнодорожным транспортом / Р.М. Султанов, Л.А. Ибатуллина // Пожарная и промышленная безопасность. – 2017. – № 1(107). – С. 176-185.

125. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС России от 10 июля 2009 № 404 (в ред. от 14.12.2010) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/> (дата обращения 08.09.17)

126. Нормативно-правовое и научно-методическое обеспечение технического регулирования в области пожарной безопасности. Том. 1. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов: отчет о НИР / Лагозин А.Ю. [и др.] – М.: ФГБУВНИИПО МЧС России, 2016 – 265 с.

127. ГОСТ 12.1.004 -91 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) Пожарная безопасность. Общие требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения 30.08.19)

128. Planer, R.G. Fire Loss Control / R.G. Planer. – New York: Marcel Dekker.1979.

129. Sax, N.I. Industrial Fire Protection / N.I. Sax // Dangerous Properties of Industrial Materials. – New York: Van Nostrand Reinhold, 1979.

130. Hall, J.R. Fire in the U.S. and Canada / J.R. Hall. – Quincy MA: National Fire Protection Association, 2003.
131. Hall, J.R. Fire in the U.S. and the United Kingdom. / J.R. Hall. – Quincy MA: National Fire Protection Association, 2003.
132. Hall, J.R. Fire in the U.S. and Japan / J.R. Hall. – Quincy MA: National Fire Protection Association, 2003.
133. Hall, J.R. Fire in the U.S.A. and Sweden through 1997 / J.R. Hall. – Quincy MA: National Fire Protection Association, 1997.
134. Babrauskas, V. Ignition Handbook. Issaquah / V. Babrauskas. – WA: Fire Science Publishers, 2003.
135. Magnusson, S.E. Risk Assessment of Timberframe Multistorey Apartment Buildings, Proposal for a Comprehensive Fire Safety Evaluation Procedure / S.E. Magnusson, T. Rantatalo. – Lund: Dept. of Fire Safety Engineering, Lund Institute of Technology, Lund University, 1998.
136. Netterstrom, R.W. Accident Prevention in Shipbuilding and Repairing. Safety and Healt in Shipbuilding and Repair / R.W. Netterstrom. – Geneva: International Labor Office, 1972.
137. Киселев, Я.С. Стандартный и научный подходы к определению условий возникновения горения / Я.С. Киселев, О.А. Хорошилов // Пожаровзрывобезопасность. – Fire and Explosion Safety. – 2004. – Т. 13. – № 6. – С. 45-52.
138. Киселев, Я.С. Физические модели горения в системе пожарной безопасности: монография / Я.С. Киселев, О.А. Хорошилов, Ф.Н. Демехин; под общ. ред. В.С. Артамонова – СПб: СПб ун-т ГПС МЧМС России, 2009. – 339 с.
139. Киселев, Я.С. Различные неизотермические подходы к определению условий самопроизвольного возникновения горения [Электронный ресурс] / Я.С. Киселев, О.А. Хорошилов, С.А. Турсенев // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2009. – №3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/razlichnye-neizotermicheskie->

podhody-k-opredeleniyu-usloviy-samoproizvolnogo-vozniknoveniya-goreniya (дата обращения: 13.03.2019).

140. 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. – М., 2004. – С. 16-29.

141. Маркова, Л.А. Предупреждение и тушение пожаров на железнодорожном транспорте / Л.А. Маркова // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2013. – № 1 (4). – С. 138-143. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/preduprezhdenie-i-tushenie-pozharov-na-zheleznodorozhnom-transporte> (дата обращения: 14.03.2019).

142. Соболев, П.А. Роль человеческого фактора в повышении безопасности труда на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс] / П.А. Соболев, И.С. Чернявская, В.Е. Кравченко // Сборник научных трудов ДониЖТ. – 2006. – № 8. – С. 73-84 – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-chelovecheskogo-faktora-v-povyshenii-bezopasnosti-truda-na-zheleznodorozhnom-transporte> (дата обращения: 14.03.2015).

143. Kavanian, H.R. Occupational and environmental safety engineering and management / H.R. Kavanian, C.A. Wentz. – New York, NY: Van Nostrand Reinhold, 1990.

144. Howarth, D.J. Fire safety management at passenger terminals / D.J. Howarth C. Kara-Zaitri // Disaster Prevention and Management. – 1999. – Vol. 8. – № 5. – P. 99-111.

145. Ramachandran Fire safety management and risk assessment // Facilities. – 1999. – Vol. 17. – № 9. – P. 34-39.

146. Watts, J. Fire Risk Indexing. SFPE Handbook of Fire Protection Engineering / J. Watts. – Third ed. – Quincy MA: National Fire Protection Association, 2002.

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

148. Беликов, В.С. Обеспечение пожарной безопасности на железнодорожном транспорте: учебное пособие / В.С. Беликов и др. – СПб: Санкт–Петербургский университет ГПС МЧС России, 2014. – 100 с.

149. Cote, A. Principles of Fire Protection / A. Cote, P. Bugbee. – Quincy: National Fire Protection Association, 1998.

150. Van Brunt, J.W. Industrial Fire Hazards Handbook/ J.W. Van Brunt, J.L. Shipyards Linville ed. – Second. ed. – Quincy: National Fire Protection Association, 1984.

151. Hall J. R., Ahrens M. J. Data for Engineering Analysis. In: SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. Third ed. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2002.

152. Юрьев, В.И. Оценка пожарной опасности «дыханий» резервуаров стальных с бензином / В.И. Юрьев [Электронный ресурс] // Технология техносферной безопасности. – 2016. – Выпуск № 3 (67). – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения 01.04.18)

153. Шевцов, С.А. Оценка пожарной опасности “больших дыханий” наземных резервуаров для хранения нефтепродуктов численными методами / С.А. Шевцов, Д.В. Каргашилов, С.В. Потеха, И.А. Быков // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – № 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pozharnoy-opasnosti-bolshih-dyhaniy-nazemnyh-rezervuarov-dlya-hraneniya-nefteproduktov-chislennymi-metodami> (дата обращения: 08.07.2017).

154. Таранцев, А.А., Способ подачи огнетушащей жидкости на охлаждение дыхательной арматуры и орошение резервуаров с нефтепродуктами / А.А. Таранцев, П.Н. Марухин, Н.Ю. Пивоваров, А.В. Матвеев [Электронный ресурс] // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2016. – № 3. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposob-podachi-ognetushaschey-zhidkosti-na-ohlazhdenie-dyhatelnoy-armatury-i-oroshenie-rezervuarov-s-nefteproduktami> (дата обращения: 08.07.2017).

155. Марухин, П.Н., Особенности применения сухих огнепреградителей с улучшенными характеристиками теплообмена для обеспечения пожарной безопасности резервуаров [Электронный ресурс] / П.Н. Марухин, А.П. Решетов, А.С. Смирнов // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2016. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-primeneniya-suhih-ognepregraditeley-s-uluchshennymi-harakteristikami-teploobmena-dlya-obespecheniya-pozharnoy> (дата обращения: 08.07.2016).

156. Reason, J. Human Error / J. Reason. – Cambridge: Cambridge University Press, 1999.

157. Heikkonen, P. Arson in Finland 1990-93 / P.Heikkonen. – Helsinki: Fire Protection Council of Finland, 1994.

158. Терещнев, В.В. Принципы управления тушением пожара / В.В. Терещнев, А.О. Семенов, И.В. Бурков // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Том 15. – № 6. – С. 66-71.

159. Чурмантаева, Э.М. Совершенствование тушения пожаров резервуара нефтепродуктов Уфимского нефтеперерабатывающего завода с использованием стационарного пеноподъемника [Электронный ресурс] / Э.М. Чурмантаева // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – №1 (6). – С. 214-215. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-tusheniya-pozharov-rezervuara-nefteproduktov-ufimskogo-neftepererabatyvayuschego-zavoda-s-ispolzovaniem> (дата обращения: 15.03.2017).

160. Керимов, У.А. Анализ влияния охлаждения стенок резервуаров струями воды на процесс горения и тушения легковоспламеняющихся жидкостей при низких температурах окружающей среды [Электронный ресурс] / У.А. Керимов // Проблемы науки. – 2017. – №2 (15). – С. 34-37. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-ohlazhdeniya-stenok-rezervuarov-struyami-vody-na-protsess-goreniya-i-tusheniya-legkovosplamenyayuschih-sya-zhidkostey> (дата обращения: 15.03.2018).

161. Заряева, Н.П. К вопросу тушения лесных пожаров авиацией МЧС / Н.П. Заряева, Н.П. Малышева, С.А. Пысин // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – Том 1. – С. 224-226

162. Arvidson, M. Evaluation of different freezing protection methods for sprinkler systems (In Swedish.) / M. Arvidson, M. Månsson. – Borås: Swedish National Testing and Research Institute, 1999.

163. Ramachandran, G. The Economics of Fire Protection / G. Ramachandran. – London: E & FN Spon, 1998.

164. О введении в действие Регламента проверки пожарной безопасности на железнодорожном транспорте: распоряжение ОАО «РЖД» от 14 августа 2013 г. № 1773р (ред. от 11.09.2018) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/> (дата обращения 04.04.19).

165. Kallioniemi, P. Rättö-Ihalainen E. Industrial Fire Prevention / P. Kallioniemi, A. Santavuori. – Helsinki: Sampo Industrial Insurance Company, 2001.

166. Правила пожарной безопасности на железнодорожном транспорте ППБО 109-92 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/> (дата обращения 07.06.19)

167. Инструкция по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах ЦЭ -191 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200056970> (дата обращения 07.07.18).

168. Косарев, Б.И. Электробезопасность в системе электроснабжения железнодорожного транспорта / Б.И. Косарев, Я.А. Зельвянский, Ю.Г. Сибаров. – М.: Транспорт, 1983. – 200 с.

169. Данилов, А.М. Применение присадок в топливах: Справочник / А.М. Данилов. – СПб.: Химиздат, 2010. – 368 с.

170. Хайдаров, А.Ф. Компоненты антистатических присадок к дизельному топливу [Электронный ресурс] / А.Ф. Хайдаров, Г.Ю. Климентова // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – №1. – Режим доступа:

<https://cyberleninka.ru/article/n/komponenty-antistaticheskikh-prisadok-k-dizelnomu-toplivu> (дата обращения: 16.03.2017).

171. Шатило, С.Н. Пожарная безопасность на железнодорожном транспорте / С.Н. Шатило. – Гомель, 2006. – БелГУТ, 2006. – 364 с.

172. Охапкин, А.Ю. Оценка взрывобезопасности дискретных нагретых элементов электрооборудования для смесей на категории взрывоопасности [Электронный ресурс] / А.Ю. Охапкин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – № 7. – С. 100-106. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vzryvobezopasnosti-diskretnyh-nagretyh-elementov-elektrooborudovaniya-dlya-smesey-na-kategorii-vzryvoopasnosti> (дата обращения: 16.03.2019).

173. Огнепреградитель / Ф.С. Шимчук, А.А. Лаптев, В.С. Тюрин [и др.] // Патент Российской Федерации № 2142303 С1. – 1999.

174. Огнепреградитель / Ф.С. Шимчук, А.А. Лаптев, В.С. Тюрин [и др.]// Патент Российской Федерации № 2142304 С1. – 1999.

175. Огнепреградитель / В.А. Керножицкий, Афанасьев К.А., Охочинский Д.М. [и др.] // Патент Российской Федерации № 239473 С1. – 2004. – Бюл. № 31.

176. Огнепреградитель взрывостойкий жидкостной / В.Г. Казанцев, С.С. Золотых, В.С. Пузиков // Патент Российской Федерации № 2286188 С1. – 2006. – Бюл. № 30.

177. Огнепреградитель / Ф.С. Шимчук // Патент Российской Федерации № 2296603 С1. – 2007. – Бюл. № 10.

178. Огнепреградитель / Шимчук Ф.С. // Патент Российской Федерации № 2142303 С1. – 2007. – Бюл. № 10.

179. Дыхательный клапан / И.Д. Ефремов, Ю.С. Зацепин, Ю.А. Кондратьев, А.А. Лаптев // Патент Российской Федерации № 2306248 С1. – 2007. – Бюл. №10.

180. Огнепреградитель / С.Ю.Панчева // Патент Российской Федерации № 2317123 С1. – 2008. –Бюл. № 5.

181. Дыхательный клапан для резервуаров с нефтью и нефтепродуктами / И.Д. Ефремов, Ю.С. Зацепин, Ю.А. Кондратьев, А.А. Лаптев // Патент Российской Федерации № 2317463 С1. – 2008. – Бюл. № 5.

182. Дыхательный клапан для резервуара / Ф.С. Шимчук, В.С.Тюрин // Патент Российской Федерации № 2327921 С1. – 2008. – Бюл. № 18

183. Клапан с огнепреградителем / О.С. Кочетов // Патент Российской Федерации № 2384783 С1. – 2010. – Бюл. № 8.

184. Кассетный огнепреградитель / О.С. Кочетов, Е.Ф. Баранов, Л.М. Кривченко [и др.] // Патент Российской Федерации № 2386462 С1. – 2010. – Бюл. № 11.

185. Насадочный огнепреградитель / О.С. Кочетов // Патент Российской Федерации № 2389522 С1. – 2010. – Бюл. № 14.

186. Сухой огнепреградитель / О.С. Кочетов // Патент Российской Федерации № 2389523 С1. – 2010. – Бюл. № 14.

187. Клапан с огнепреградителем ленточного типа / О.С. Кочетов // Патент Российской Федерации № 2483768 С1. – 2013. – Бюл. № 16.

188. Металлокерамический огнепреградитель / О.С. Кочетов // Патент Российской Федерации № 2483769 С1. – 2013. – Бюл. № 16.

189. Клапан дыхательный предохранительный / В.С. Мигаль, А.Г. Зуев, С.А. Борбела, Е. М. Черепяхин // Патент Российской Федерации № 2514808 С1. – 2014. – Бюл. № 13.

190. Огнепреградитель / М.С. Королев, Г.А. Ромашкова // Патент Российской Федерации № 2541500 С1. – 2015. – Бюл. № 5.

191. Огнепреградитель / Г.Г. Баженов, А.В. Хоботов // Патент Российской Федерации № 2646732 С1. – 2018. – Бюл. № 7.

192. Клапан для резервуара / Ф.С. Шимчук, А.А. Лаптев, В.С. Мигаль [и др.] // Патент Российской Федерации № 33631 С1. – 2003. – Бюл. № 30.

193. Огнепреградитель / Ф.С. Шимчук // Патент Российской Федерации № 44942 С1. – 2005. – Бюл. № 10.

194. Огнепреградитель для быстрогорящих газовоздушных и паровоздушных смесей / Г.К. Ивахнюк, В.Н. Смирнов, И.В. Трофимов [и др.] // Патент Российской Федерации № 103074 С1. – 2011. – Бюл. № 9.

195. Коммуникационный огнепреградитель / Г.К. Ивахнюк, В.Н. Смирнов, И.В. Трофимов [и др.]// Патент Российской Федерации № 106123 С1. – 2011. – Бюл. № 19.

196. Дыхательная система резервуара для легкоиспаряющихся жидкостей / А.А. Браилко, Н.А. Дружинин, Л.А. Дружинин, А.В. Сиульский // Патент Российской Федерации № 106123 С1. – 2018. – Бюл. № 25.

197. Гаврилов, Л.Е. Одоризация топливных углеродных газов коммунально-бытового назначения как элемент обеспечения пожаро- и взрывобезопасности [Электронный ресурс] /Л.Е. Гаврилов // Пожаровзрывобезопасность. – 2003. – №5. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/odorizatsiya-toplivnyh-uglerodnyh-gazov-kommunalno-bytovogo-naznacheniya-kak-element-obespecheniya-pozharo-i-vzryvobezopasnossh> (дата обращения: 17.03.2019).

198. Сидорук, В.И. Пожарная профилактика систем отопления / В.И. Сидорук. – М.: Стройиздат, 1988. – 79 с.

199. Черневич, О.В. Исследование пожарной безопасности печного отопления [Электронный ресурс] // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. – 2015. – №1 (6). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-pozharnoy-bezopasnosti-pechnogo-otopleniya> (дата обращения: 28.03.2016).

200. Бадагуев, Б.Т. Работы с повышенной опасностью. Огневые работы / Б.Т. Бадагуев. – М.: Альфа-Пресс, 2011 – 96 с.

201. Буякевич, А.Л. Пожарная опасность процессов окраски [Электронный ресурс] / А.Л. Буякевич, Н.Л. Сторта // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pozharnaya-opasnost-protsessov-okraski> (дата обращения: 16.03.2016).

202. Беспалова, О.В. Основные требования и подходы по снижению пожарных опасностей на различных объектах [Электронный ресурс] / О.В. Беспалова // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 1 (5). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-trebovaniya-i-podhody-po-snizheniyu-pozharnyh-opasnostey-na-razlichnyh-obektah> (дата обращения: 30.03.2019).

203. Акимов, В.А. Культура безопасности жизнедеятельности как системообразующий фактор снижения рисков чрезвычайных ситуаций в современных условиях [Электронный ресурс] / В.А. Акимов, Р.А. Дурнев // Технологии гражданской безопасности. – 2008. – № 4. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/kultura-bezopasnosti-zhiznedeyatelnosti-kak-sistemoobrazuyuschiy-faktor-snizheniya-riskov-chrezvychaynyh-situatsiy-v-sovremennyh> (дата обращения: 28.03.2017).

204. Верескун, А.В. Основные направления формирования культуры безопасности жизнедеятельности в сфере полномочий МЧС России [Электронный ресурс] / А.В. Верескун, А.Ю. Тараканов, Н.В. Твердохлебов // Технологии гражданской безопасности. – 2011. – № 4. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-formirovaniya-kultury-bezopasnosti-zhiznedeyatelnosti-v-sfere-polnomochiy-mchs-rossii> (дата обращения: 28.03.2019).

205. Коваленко, Р.И. Сокращение времени прибытия пожарно-спасательных подразделений с помощью использования автоматизированных систем дистанционного управления дорожным движением [Электронный ресурс] / Р.И. Коваленко // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – № 1 (6). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sokraschenie-vremeni-pribytiya-pozharno-spasatelnyh-podrazdeleniy-s-pomoschyu-ispolzovaniya-avtomatizirovannyh-sistem> (дата обращения: 30.03.2017).

206. Брушлинский, Н.Н. О нормировании времени прибытия пожарных подразделений к месту пожара [Электронный ресурс] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – № 9. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/o-normirovanii-vremeni-pribytiya-pozharnyh-podrazdeleniy-k-mestu-pozhara> (дата обращения: 30.03.2016).

207. Порошин, А.А. Изучение факторов, влияющих на формирование обстановки с пожарами в сельских поселениях субъектов Российской Федерации с использованием факторного анализа [Электронный ресурс] / А.А. Порошин, В.В. Харин, Е.В. Бобринев, Е.Ю. Удавцова, А.А. Кондашов // Безопасность техногенных и природных систем. – 2018. – № 1-2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-faktorov-vliyayuschih-na-formirovanie-obstanovki-s-pozharami-v-selskih-poseleniyah-subektov-rossiyskoy-federatsii-s> (дата обращения: 30.03.2016).

208. Красавин, А.В. Нормативное время прибытия пожарных к месту вызова. Реальность или миф? [Электронный ресурс] / А.В. Красавин // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/normativnoe-vremya-pribytiya-pozharnyh-k-mestu-vyzova-realnost-ili-mif> (дата обращения: 30.03.2016).

209. Селезнев, С.В. Противопожарная защита сливо-наливных эстакад [Электронный ресурс] / С.В. Селезнев, Р.В. Хакимов, Н.М. Фролов, Д.Р. Байков // Молодой ученый. – 2011. – Том I. – № 4(27). – С.52-53. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/27/2892/> (дата обращения: 30.03.2015).

210. Крот, А.А. Опасные факторы пожара на территории Республики Беларусь и оценка ущерба от чрезвычайных ситуаций: история вопроса [Электронный ресурс] / А.А. Крот, Т.В. Мысло // Вестник Полесского государственного университета. Серия общественных и гуманитарных наук. – 2018. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/opasnye-factory-pozhara-na-territorii-respubliki-belarus-i-otsenka-uscherba-ot-chrezvychaynyh-situatsiy-istoriya-voprosa> (дата обращения: 30.03.2019).

211. Воронов, С.И. Экономика чрезвычайных ситуаций: классификация и методы расчета ущерба [Электронный ресурс] / С.И. Воронов // Вестник Института экономики РАН. – 2018. – № 1. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomika-chrezvychaynyh-situatsiy-klassifikatsiya-i-metody-rascheta-uscherba> (дата обращения: 30.03.2019).

212. Волгин, Н.А. Негативы последствий чрезвычайных ситуаций в экономике [Электронный ресурс] / Н.А. Волгин, А.С. Зимин // Современная наука. – 2016. – № 4. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/negativy-posledstviy-chrezvychaynyh-situatsiy-v-ekonomike> (дата обращения: 30.05.2017).

213. Федорец, А. Г. Основные направления совершенствования системы обеспечения пожарной безопасности на основе методологии управления пожарными рисками [Электронный ресурс] / А.Г. Федорец // Пожаровзрывобезопасность. – 2009. – № 9. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/osnovnye-napravleniya-sovershenstvovaniya-sistemy-obespecheniya-pozharnoy-bezopasnosti-na-osnove-metodologii-upravleniya-pozharnymi> (дата обращения: 30.03.2016).

214. Бакиров, И.К. Правомерность применения Технического регламента о требованиях пожарной безопасности и других нормативных документов в области пожарной безопасности [Электронный ресурс] / И.К. Бакиров, А.М. Ханова // Пожаровзрывобезопасность. – 2014. – № 9. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/pravomernost-primeneniya-tehnicheskogo-reglamenta-o-trebovaniyah-pozharnoy-bezopasnosti-i-drugih-normativnyh-dokumentov-v-oblasti> (дата обращения: 30.03.2017).

215. Белянин, В.А. Проблемы и перспективы планирования проверок состояния пожарной безопасности объектов защиты [Электронный ресурс] / В.А. Белянин // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2009. – № 2. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-i-perspektivy-planirovaniya-proverok-sostoyaniya-pozharnoy-bezopasnosti-obektov-zaschity> (дата обращения: 30.03.2017).

216. Складенко, З.А. Независимая оценка пожарного риска (аудит пожарной безопасности) и декларирование пожарной безопасности [Электронный ресурс] / З.А. Складенко // Бухгалтерский учет в бюджетных и некоммерческих организациях. – 2010. – № 3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nezavisimaya-otsenka-pozharnogo-riska-audit-pozharnoy-bezopasnosti-i-deklarirovanie-pozharnoy-bezopasnosti> (дата обращения: 30.03.2017).

217. Жилин, О.И. Организация и осуществление государственной функции по надзору за выполнением требований пожарной безопасности [Электронный ресурс] / О.И. Жилин // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2008. – № 4. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-i-osuschestvlenie-gosudarstvennoy-funktsii-po-nadzoru-za-vypolnieniem-trebovaniy-pozharnoy-bezopasnosti> (дата обращения: 30.03.2019).

218. ГОСТ Р 53323–2009. Огнестойкие перегородки и противопожарные двери. Общие технические требования. Методы испытаний. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200071870> (дата обращения 03.05.17).

219. Стрижевский, И.И. Промышленные огнестойкие перегородки / И.И. Стрижевский, В.Ф. Заказов. – М.: Химия, 1974.

220. Малинин, В.Р. Огнестойкие устройства для защиты технологического оборудования от распространения пожара: учеб-метод. Пособие / В.Р. Малинин, О.А. Хорошилов. – СПб: СПб ВПТШ МВД РФ, 1997.

221. Огнестойкие металлические сетки для ограничения распространения пожаров / В.Р. Малинин, А.С. Крутолапов // Патент Российской Федерации №22422 U1. – 2002. – Бюл. № 10.

222. Способ тушения и противопожарной защиты / В.Р. Малинин, А.С. Крутолапов, А.Г. Земцов // Патент Российской Федерации № 2246976 C2. – 2005. – Бюл. № 5.

223. Устройство противопожарной защиты однослойно или многослойно проложенных кабелей / Е.М. Феськов, В.И. Берман, Н.Т. Гаврилова, А.М. Найфельд // Патент Российской Федерации № 21683141 C1. – 2001.

224. Средство противопожарной защиты волновода / Е.М. Феськов, В.И. Берман, Е.В. Гришин, Т.Ю. Дмитриева // Патент Российской Федерации № 22 050 U1. – 2002. – Бюл. № 7.

225. Техническая ткань / И.В. Слугин, В.Ю. Лакунин, Н.П. Михайлова, В.В. Дьяченко, М.В. Шаблыгин // Патент Российской Федерации № 2258105 С1. – 2005. – Бюл. № 7.

226. Изготовление ткани для создания специальной защитной одежды и изделий для защиты от баллистического удара, огня, теплового излучения, напалма / Л.А. Мальков, А.И. Слугин, М.В. Шаблыгин, И.В. Слугин, А.И. Слугин // Патент Российской Федерации № 2338016 С1. – 2008. – Бюл. № 31.

227. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 48–2017. Повышение энергетической эффективности при осуществлении хозяйственной и (или) иной деятельности. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456096365> (дата обращения: 06.06.2018).

228. Шаргут, Я. Эксергия /Я. Шаргут, Р. Петела; пер. с польск. Ю.И. Батурина и Д.Ф. Стржижовской; под ред. В.М. Бродянского – М.: Энергия, 1968. – 280 с.

229. Бродянский, В.М. Эксергетический метод и его приложения / В.М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 286 с.

230. Рант, З. Эксергия – новый термин для обозначения «технической работоспособности» / З. Рант // Вопросы термодинамического анализа. Сб.; под ред. В.М. Бродянского. – М.: Мир, 1965. – С. 11-14.

231. Гиббс, Дж. В. Термодинамические работы / Дж.В. Гиббс; пер. с англ. – М.-Л, 1950. – 492 с.

232. Gouy, G. Sur l'énergie utilisable / G. Gouy // Journal de Physique. – 1889. – V 118. – P. 501-518.

233. Бродянский, В.М. Эксергетический метод термодинамического анализа / В.М. Бродянский. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.

234. Кинан, Д. Термодинамика / Д. Кинан; пер. с англ. А.Ф. Котина; под ред. М.П. Вукаловича – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 280 с.
235. Бошнякович, Ф. Техническая термодинамика / Ф. Бошнякович; пер. с нем. и ред. М.П. Вукаловича и В.А. Кириллина – М-Л.: Госэнергоиздат, 1955. – Ч.1– 438 с.
236. Бродянский, В.М. Вечный двигатель – прежде и теперь / В.М. Бродянский. – М.: Физмалит, 2001. – 260 с.
237. Лейтес, И.Л. Теория и практика химической энерготехнологии / И.Л. Лейтес, М.Х. Сосна, В.П. Семенов. – М.: Химия, 1988. – 280 с.
238. Сажин, Б.С. Эксергетический метод в химической технологии / Б.С. Сажин, А.П. Булеков. – М.: Химия, 1992. – 208 с.
239. Сорин, М.В. Выбор оптимальной структуры теплообменных систем химических производств / М.В. Сорин, В.М. Бродянский, И.Л. Лейтес // Химическая промышленность. – 1987. – № 8. – С. 466-471.
240. Rantz, Z. Thermodynamic evaluation of chemical processes / Z. Rantz // Chem. Ind. Tech. – 1969. – № 16. – P. 891-898.
241. Степанов, В.С. Химическая энергия и эксергия веществ / В.С. Степанов. – Новосибирск: Наука, 1985. – 104 с.
242. Степанов, В.С. Оценка энергетического потенциала топлив по их химической энергии и эксергии / В.С. Степанов, Т.Б. Степанова // Изв. вузов. Энергетика. – 1994. – №1-2. – С. 95-98.
243. Британ, И.М. Эксергетический анализ процесса мембранного разделения газовых смесей / И.М. Британ, И.Ф. Голубев // Химическая промышленность. – 1987. – № 8. – С. 462-466.
244. Калинина, Е.И. Техникоэкономический анализ систем разделения газовых смесей / Е.И. Калинина, В.М. Бродянский. – М.: Изд-во МЭИ, 1979. – 69 с.
245. Бродянский, В.М. Энергетика и экономика комплексного разделения воздуха / В.М. Бродянский. – М.: Металлургия, 1966. – 174 с.

246. Андрющенко, А.И. Основы технической термодинамики реальных процессов / А.И. Андрющенко. – М.: Высшая школа, 1975. – 264 с.
247. Гохштейн, Д.П. Анализ тепловых схем атомных электростанций/ Д.П. Гохштейн, Г.П. Верхивкор. – Киев: Высшая школа, 1977. – 240 с.
248. Ильин, Р.А. Термодинамический анализ эффективности комбинированных теплоэнергетических технологий (в промышленной теплоэнергетике): автореф. дис. ... канд. техн. наук: 01.04.14 / Ильин Роман Альбертович. – Астрахань, 2004. – 21 с.
249. Шаргут, Я. Теплоэнергетика в металлургии / Я. Шаргут. – М.: Металлургия, 1976. – 151 с.
250. Вукович, Л.К. Эксерготопологическое моделирование сложных систем теплообменников /Л.К. Вукович, В.Р. Никульшин // Промышленная теплотехника. – 1980. – № 2. – С. 52-60.
251. Bejan, A. General criterion for rating heat-exchanger performance / A. Bejan // Int. J. Heat and Mass Transfer. – 1978. – Vol. 21. – P. 655-672.
252. Андреев, Л.П. Эксергетические характеристики эффективности теплообменных аппаратов / Л.П. Андреев, Г.М. Костенко // Изв. вузов. Энергетика. – 1982. – №3. – С. 77-82.
253. Соколов, В.Я. Энергетические основы трансформации тепла и процессов охлаждения / В.Я. Соколов, В.М. Бродянский. – М.: Энергоиздат, 1981. – 320 с.
254. Нестеров, Б.П. Термодинамический анализ процессов сжижения газов / Б.П. Нестеров, Н.В. Коровин, В.М. Бродянский // Инж.-физ. журн. – 1963.– Т. 5, № 7. – С. 36-42
255. Бродянский, В.М. Комбинированные процессы в холодильной технике и второе начало термодинамики / В.М. Бродянский // Холодил. техника. – 1971. – № 8. – С. 36-40
256. Биотехнология. Принципы и применения / пер. с англ. А.С. Антонова; под ред. И. Хиггинса, Д. Беста, Д. Джонса. – М.: Мир, 1988. – 480 с.

257. Ясников, Г.П. Процессы переноса в гетерогенных системах с фазовыми и химическими превращениями: Автореф. дис. ... докт. ф-м. наук: 01.04.14 / Ясников Геннадий Пантелеймонович. – Свердловск, 1982. – 42 с.

258. Левшаков, А.М. Эксергетический баланс для полидисперсных потоков газовзвеси / А.М. Левшаков // Изв. вузов. Энергетика. – 1979. – № 1. – С. 123-126

259. Zhang, Y. Is there a general relationship between the exergy and HHV for rice residues? / Y. Zhang, Q. Wang, B. Li, H. Li, W. Zhao. // Renewable Energy – 2018. – Vol. 117. – P. 37-45. DOI: 10.1016/j.renene.2017.10.022.

260. Huang, Y.W. A critical evaluation on chemical exergy and its correlation with high heating value for single and multi-component typical plastic wastes/ Y.W. Huang, M.Q. Chen, Q.H. Li, W. Xing. – Energy, 2018. – Vol. 156 – P. 548-554. DOI: 10.1016/j.energy.2018.05.116.

261. London, A.L. Economics and the second law: an engineering view and methodology / A.L. London // Int. J. Heat Mass Transfer. – 1982. – Vol. 25 – № 6. – P. 743-751.

262. Калинина, Е.И. Основные положения методики термодинамического анализа комплексных процессов / Е.И. Калинина, В.М. Бродянский // Изв. вузов. Энергетика. – 1977. – № 12. – С. 57-64.

263. Ноздренко, Г.В. Алгоритм расчета стандартной стоимости единицы продукции электростанции на основе эксергетического анализа / Г.В. Ноздренко // Журнал прикладной физики. – 1989. – Т. 3 – № 1. – С. 166-172.

264. Evans, R.B. Thermoeconomics and the design of heat systems / R.B. Evans, Y.V. El-Sayed // Trans. ASME., J. Eng. Power, 1970. – Vol. 92. – P. 27-35.

265. Гохштейн, Д.П. Энтропийный метод расчета энергетических потерь / Д.П. Гохштейн. – М.-Л.: ГЭИ, 1963. – 112 с.

266. Попов, В.Г. Оценка энергэкологической эффективности / В.Г. Попов, Ю.Н. Боровков, Ф.И. Сухов // Мир транспорта. – 2012. – Т. 10, № 3. – С. 96-101.

267. Воробьев, О.Г. Анализ техногенных потоков загрязняющих веществ судостроительного завода [Электронный ресурс] / О.Г. Воробьев, А.В. Шамшин. –

Режим доступа: <http://inftech.webservis.ru/it/conference/scm/1999/session12/vorobev.html> (дата обращения 12.12.16)

268. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года: распоряжение ОАО «РЖД» от 15 декабря 2011 г. № 2718р. – М., 2011. – 96 с.

269. Byers, E.A. A framework for the exergy analysis of future transport pathways: Application for the United Kingdom transport system 2010-2050 / E.A. Byers, A. Gasparatos, A. C. Serrenho // *Energy*. – 2015. – Vol. 88. – P. 849-862. DOI: 10.1016/j.energy.2015.07.021.

270. Seckin, C. Extended exergy analysis of Turkish transportation sector / C. Seckin, E. Sciubba, A.R. Bayulken // *Journal of Cleaner Production*. – 2013. – Vol. 47. – P. 422-436. DOI: 10.1016/j.jclepro.2012.07.008.

271. Zhang, M. Energy and exergy efficiencies in the Chinese transportation sector, 1980-2009 / M. Zhang, G. Li, H.L. Mu, Y.D. Ning // *Energy*. – 2011. – Vol. 36, Issue 2. – P. 770-776. DOI: 10.1016/j.energy.2010.12.044.

272. Motasemi, F. Energy and exergy utilization efficiencies and emission performance of Canadian transportation sector, 1990-2035 / F. Motasemi, M.T. Afzal, A.A. Salema, M. Moghavvemi, M. Shekarchian, F. Zarifi, R. Mohsin // *Energy*. – 2014. – Vol. 64. – P. 355-366. DOI: 10.1016/j.energy.2013.09.064.

273. Federici, M. A thermodynamic, environmental and material flow analysis of the Italian highway and railway transport systems / M. Federici, S. Ulgiati, R. Basosi // *Energy*. – 2008. – Vol. 33, Issue 5. – P. 760–775. DOI: 10.1016/j.energy.2008.01.010.

274. Zarifi, F. Current and future energy and exergy efficiencies in the Iran' s transportation sector / Zarifi F., T.M.I. Mahlia, F. Motasemi, M. Shekarchian, M. Moghavvemi // *Energy Conversion and Management*. – 2013. – Vol. 74. – P. 24-34. DOI: 10.1016/j.enconman.2013.04.041.

275. Lior, N. The exergy fields in transport processes: Their calculation and use / N. Lior, W. Sarmiento-Darkin, H. S. Al-Sharqawi // *Energy*. – 2006. – Vol. 3, Issue 5. – P. 553–578. DOI: 10.1016/j.energy.2005.05.009.

276. Кузьмин, И.И. Безопасность и риск: эколого-экономические аспекты / И.И. Кузьмин, Н.А. Махутов, С.В.Хетагуров. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета экономики и финансов, 2007. – 164 с.

277. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2014 году [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://depjkkc.admhmao.ru/upload/iblock/922/gosudarstvennyy_doklad_po_energoberezheniyu_za_2014_god.pdf (дата обращения 01.04.16).

278. Об охране окружающей среды: Фед. закон от 10 января 2002 N 7-ФЗ (в ред. от 29.07.2018) [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/f7291076465c714b5d509c0a88ad72cbc2744f95/ (дата обращения 06.12.18).

279. Ощепкова, А.З. Совершенствование нормирования техногенного воздействия на окружающую среду / А.З. Ощепкова // Экология и промышленность России. – 2008. – № 6. – С.49-53.

280. ГОСТ Р 56828.15-2016 Наилучшие доступные технологии. Термины и определения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.docs.cntd.ru/document/12001407382> (дата обращения 07.09.19).

281. О порядке определения технологии в качестве наилучшей доступной технологии, а также разработки, актуализации и опубликования информационно-технических справочников по наилучшим доступным технологиям: постановление Правительства Рос. Федерации от 23 декабря 2014 г. N 1458 (09.03.2019) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_172796/ (дата обращения 07.09.19).

282. Об утверждении поэтапного графика создания в 2015 - 2017 годах отраслевых справочников наилучших доступных технологий: распоряжение Правительства РФ от 31 октября 2014 №2178-р (с изм. на 07.07.2016) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/document>

/cons_doc_LAW_170718/f62ee45faefd8e2a11d6d88941ac66824f848bc2 (дата обращения 09.09.19).

283. Дриц К.В. Наилучшие доступные технологии: проблемы использования и возможные меры государственной поддержки [Электронный ресурс] // Скиф. – 2016. – № 5. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nailuchshie-dostupnye-tehnologii-problemy-ispolzovaniya-i-vozmozhnye-mery-gosudarstvennoy-podderzhki> (дата обращения: 03.05.2017).

284. Наилучшие доступные технологии. Предотвращение и контроль промышленного загрязнения. Этап 2: Подходы к определению наилучших доступных технологий (НДТ) в странах мира / Управление по окружающей среде, здоровью и безопасности Дирекции по окружающей среде ОЭСР. – Москва, 2018. – 156 с.

285. Экологическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2017 года и перспективу до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=6415&layer_id=5104 (дата обращения 06.07.16).

286. Машуков, А.А. Наилучшие доступные технологии для решения экологических проблем предприятий железнодорожного транспорта [Электронный ресурс] / А.А. Машуков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2012. – № 2 (34). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/nailuchshie-dostupnye-tehnologii-dlya-resheniya-ekologicheskikh-problem-predpriyatiy-zheleznodorozhnogo-transporta> (дата обращения: 03.05.2019).

287. ГОСТ Р ИСО 19011-2012. Руководящие указания по аудиту систем менеджмента [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200095049> (дата обращения 06.07.16).

288. Международный стандарт аудита МСА 610 (пересмотренный, 2013 г.). Использование работы внутренних аудиторов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.consultant.ru/document/ (дата обращения 06.07.19).

289. Международные основы профессиональной практики внутреннего аудита. Международные профессиональные стандарты внутреннего аудита (Стандарты) [Электронный ресурс]. – М.: НП «ИВА», 2016. – Режим доступа: <http://www.iaa.ru> (дата обращения: 01.05.2019 г.).

290. Герасимова, Ю.В. Внутренний аудит: понятие, задачи и необходимость постановки в современной компании / Ю.В. Герасимова // Академический вестник. – 2008. – № 4. – С. 107-109.

291. МСА 330. Аудиторские процедуры в ответ на оцененные риски [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.consultant.ru/document/ (дата обращения 01.02.19).

292. Голубева, А.Ю. Организация внутреннего аудита в Российской практике: проблемы и тенденции развития [Электронный ресурс] / А.Ю. Голубева, В.В. Колесников, Ю.Ю. Черевко // Ученые записки Тамбовского отделения РоСМУ. – 2017. – № 8. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/organizatsiya-vnutrennego-audita-v-rossiyskoy-praktike-problemy-i-tendentsii-razvitiya> (дата обращения: 04.03.2019).

293. Вершинина, Г.В. Внутренний аудит: сущность, проблемы и пути их решения / Г.В. Вершинина // Актуальные вопросы экономических наук. – 2009. – № 9-2. С. 149-152.

294. Архипов, А.А. Организация внутреннего аудита на предприятиях железнодорожного транспорта: дис. ... к. экон. наук: 08.00.12 / Архипов Андрей Анатольевич. – Воронеж, 2005. – 216 с.

295. Утешева, Д.Т. Внутренний аудит: проблемы и перспективы развития / Д.Т. Утешева, В.П. Шегурова // Молодой ученый. – 2013. – № 7. – С. 255-257.

296. Сахарова, О.В. Технологический аудит и стратегическое управление предприятием [Электронный ресурс] / О.В. Сахарова // Вестник ЛГУ им. А.С. Пушкина. – 2011. – №3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskii-audit-i-strategicheskoe-upravlenie-predpriyatiem> (дата обращения: 19.01.2018).

297. Шантаренко, С.Г. Технологический аудит как инструмент обеспечения эксплуатационной надежности локомотивов [Электронный ресурс] / С.Г. Шантаренко, М.Ф. Капустьян // Известия Транссиба. – 2011. – № 4 (8). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologicheskii-audit-kak-instrument-obespecheniya-ekspluatatsionnoy-nadezhnosti-lokomotivov> (дата обращения: 04.05.2019).

298. Бобровская, Т.А. Управление пожарными рисками при осуществлении технологического аудита на предприятиях судоремонтного комплекса [Электронный ресурс] / Т.А. Бобровская, Г.К. Ивахнюк, И.Л. Скрипник // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2018. – № 1. – С. 31-40. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/> (дата обращения: 04.05.2018).

299. Королева, Л.А. Место и роль противопожарной службы России как государственной организации / Л.А. Королева, С.В. Воронин, А.Н. Веригин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2017. – № 3. – С. 116-122.

300. Блауберг, И.В. Системный подход в современной науке / И.В. Блауберг и др. // Проблемы методологии и системного исследования. – М.: Мысль, 1970. – 59 с.

301. Минцберг, Г. Структура в кулаке / Г. Минцберг. – СПб.: Питер, 2004. – 512 с.

302. Кицай, Ю.А. Предпринимательские и непредпринимательские организации: вопросы терминологии и классификации / Ю.А. Кицай // Вестник пермского университета. Юридические науки. – 2014. – Выпуск 1 (23). – С. 206-210.

303. Семиков, В.Л. Теория организации: Учебник / В.Л. Семиков. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003 – 220 с.

304. Мацкевич, И.В. Толкотт Парсонс и развитие теории организации / И.В. Мацкевич // Вестник бурятского государственного университета. – 2013. – № 6. – С.17-21.

305. Латфуллин, Р.Г. Теория организации: Учебник для вузов /

Р.Г. Латфуллин, А.В. Райченко. – 2-е изд., доп. и перер. – СПб: Питер, 2012. – 464 с.

306. Пригожин, А.И. Дезорганизация: причины, виды, преодоление / А.И. Пригожин. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. – 402 с.

307. Ольховикова, С.В. Организация в теории организации и социологии: учебное пособие / С.В. Ольховикова, И.В. Тесленко. – Екатеринбург: УГТУ – УПИ, 2009. – 201 с.

308. Королева, Л.А. Системный подход к изучению организаций и возможность его применения для исследования функционирования Государственной противопожарной службы / А.Н. Веригин, Л.А. Королева, А.С. Крутолапов // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2016. – № 4 (40). – С. 112-118.

309. Королева, Л.А. Организация как объект исследования: Монография / Л.А. Королева, А.Н. Веригин; под общ. ред. Э.Н. Чижикова; науч. ред. А.Н. Веригин. – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016. – 396 с.

310. Попов, Б.М. Учение о системах и структурах организаций / Б.М. Попов. – Воронеж: Концерн «Созвездие», 2009. – 86 с.

311. Королева, Л.А. Принципы построения жизнеспособных развивающихся организационных систем [Электронный ресурс] / А.Н. Веригин, Л.А. Королева // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2016. – № 2. – С. 91-94. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/> (дата обращения 09.09.2016).

312. Баранцев, Р.Г. Становление тринитарного мышления / Р.Г. Баранцев. – М.: Ижевск, 2005. – 124 с.

313. Королева, Л.А. Особенности построения организационной экономической системы для структур МЧС России [Электронный ресурс] / А.Н. Веригин, А.К. Черных, Л.А. Королева // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2016. –

№ 3. – С. 81-87. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/> (дата обращения 09.12.2016).

314. Дружинин, В.В. Системотехника / В.В. Дружинин, Д.С. Конторов. – М.: Радио и связь, 1989. – 200 с.

315. Бейтсон, Г. Экология разума. Избранные статьи по антропологии, психиатрии и эпистемологии / Г. Бейтсон; пер. с англ. – М.: Смысл, 2000. – 476 с.

316. Урманцев, Ю.А. Общая теория систем: состояние, приложения и перспективы развития / Ю.А. Урманцев. – М.: Мысль, 1988. – 59 с.

317. Франчук, В.И. Основы построения организационных систем / В.И. Франчук. – М.: Экономика, 1991. – 109 с.

318. Шляков, С.А. Программно-целевой подход в области защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах: оценки и перспективы / С.А. Шляков // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2015. – № 1 (8). – Том 5. – С. 13-22.

319. Ковалева, Е.Г. Применение системного подхода при осуществлении надзорной деятельности сотрудниками ГПС МЧС России / Е.Г. Ковалева, В.Ю. Радоуцкий, А.В. Павленко // Инновационная наука. – 2015. – № 9. – С. 256-259.

320. Обозов, С.А. Программно-целевой метод как инструмент развития инвестиционного потенциала города/ С.А. Обозов. – Н. Новгород: ВВАГС, 1998. – 42 с.

321. Звягинцев, П.С. Программно-целевой метод планирования как основа создания новой индустриализации России / П.С. Звягинцев // Вопросы экономики и права. – 2013. – № 9. – С. 41-46.

322. Рамин, М.Л. Региональное программно-целевое планирование и управление / М.Л. Рамин, В.И. Мишин. – Рига: АВОТС, 1985. – 9 с.

323. Валуев, С.А. Системный анализ в экономике и организации производства/ С.А. Валуев, [и др.]; под общ. ред. С.А. Валуева, В.Н. Волковой. – Л.: Политехника, 1991. – 398 с.

324. Дмитриев, О.Н. Системный анализ в управлении / О.Н. Дмитриев. – М.: Издательство «Гном и Д», 2002. – 182 с.

325. Лейбкинд, А.Р. Проблемы методологии и разработки комплексных программ / А.Р. Лейбкинд, Е.В. Руднева, Б.Л. Рудник. – М.: Наука, 1983. – 112 с.

326. Ходачек, А.М. Управление экономикой в крупном городе: вопросы теории и практики государственного регулирования / А.М. Ходачек. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. гос. ун-та экономики и финансов, 2000. – 347 с.

327. Модин, А.А. Основы разработки и развития АСУ/ А.А. Модин. – М.: Наука, 1984. – 279 с.

328. Владимиров, В.А. О стратегии развития системы МЧС России на период до 2020 года (взгляды и предложения) / В.А. Владимиров // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. – 2014. – № 2. – Том 4. – С. 309-339.

329. Веригин, А.Н. Проблемы моделирования при создании организационных систем [Электронный ресурс] / А.Н. Веригин, Л.А. Королева // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2017. – № 1. – С. 84-91. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/> (дата обращения 03.05.17).

330. Локтаев, С.В. Математические модели и методы принятия решений при управлении организационными системами дис. ... д. тех. наук: 05.13.01 /Локтаев Сергей Викторович. – СПб, 2001. – 425 с.

331. Королева, Л.А. Перспективы развития теории надежности / Л.А. Королева, В.Н. Ложкин // Надежность и долговечность машин и механизмов: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия, 2015. – С. 117-119.

332. Королева, Л.А. О перспективе автономных атомных электростанций на плавучих транспортных средствах в условиях Арктики / Л.А. Королева, М.П. Солодских // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Арктика – регион стратегических интересов: правовая политика и современные технологии обеспечения безопасности в Арктическом регионе: материалы

Всероссийской научно-практической конференции. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016. – С. 43-46.

333. Виттих, В.А. Концепция управления открытыми организационными системами / В.А. Виттих // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 1999. – Выпуск 1. – Том 1. – С. 17-19.

334. Ларина, Р.Р. Логистический подход к управлению региональными организационно-экономическими системами: Монография / Р.Р. Ларина. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2012. – 224 с.

335. Вятчинин, Д.А. Моделирование и абстракция / Д.А. Вятчинин // Онтология проектирования. – 2013. – №1 (7). – С.51-64.

336. Королева, Л.А. Явление изоморфизма и математическое моделирование при управлении безопасной эксплуатацией атомных объектов [Текст] / Л.А. Королева, Г.Б. Свидзинская // Предупреждение. Спасение. Помощь: материалы XXVII Международной научно-практической конференции. – М.: Химки, 2017. – С. 54-59.

337. Мелихова, О. А. Приложение матлогики к проблемам моделирования / О.А. Мелихова // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – №7 (156). – С. 204-214.

338. Воронин, А.А. Математические модели организаций: Учебное пособие / А.А. Воронин, М.В. Губко, Д.А. Мишин, Д.А. Новиков. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 360 с.

339. Koontz, H. The Management Theory Jungle Revisted / H. Koontz // Academy of Management Review. – 1980. – V.5. – № 2. – P. 176-187.

340. Попов, Г.Х. Проблемы теории управления / Г.Х. Попов. – М.: Экономика, 1970. – С. 5.

341. Моисеев, Н.Н. Оптимизация и управление (эволюция идей и перспективы) /Н.Н. Моисеев // Техн. кибернетика. – № 4. – 1974. – С. 3-16.

342. Ивахненко, А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами/ А.Г. Ивахненко. – Киев: Техника, 1975. – 311 с.

343. Васильев, В.И. Распознающие системы: Справочник / В.И. Васильев. –

Киев: Наукова думка, 1983. – 422 с.

344. Ивахненко, А.Г. Самообучающиеся системы распознавания и автоматического управления / А.Г. Ивахненко. – Киев: Техника, 1969. –392 с.

345. Цыпкин, Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Я.З. Цыпкин. – М.: Наука, 1968. –399 с.

346. Кунцевич, В.М. Синтез оптимальных и адаптивных систем управления / В.М. Куйевич, М.М. Лычак. – Киев: Наукова думка, 1985. –248 с.

347. Фельдбаум, А.А. Основы теории оптимальных автоматических систем / А.А. Фельдбаум. – М.: Наука, 1966. –624 с.

348. Васильев, В.И. Имитационное управление неопределенными объектами / В.И. Васильев, В.В. Коноваленко, Ю.И. Горелов. – Киев: Наукова думка, 1989. – 216 с.

349. Васильев, В.И. Имитационное управление сталеплавильными процессами с использованием теории распознавания образов / В.И. Васильев, П.И. Коваль, В.В. Коноваленко // Автоматика. –1982. –№ 1. –С. 60–69. –№ 2. – С. 58–65.

350. Туркенич, Д.И. Управление плавкой стали в конвертере / Д.И. Туркевич. – М.: Металлургия, 1975. – 360 с.

351. Искусственный интеллект: Теория и приложения: Межвуз. сб. науч. тр. Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1993.

352. Бондарев, В.Н. Искусственный интеллект: Учеб. пособие для студентов вузов / В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 613 с.

353. Горбатов, В.А. Искусственный интеллект в САПР: Учеб. пособие / В.А. Горбатов, А.Г. Огиренко, М.И.Смирнов. – М.: МГГУ, 1994. – 183 с.

354. Кьюсиак, Э. Искусственный интеллект: Применение в интегрированных производственных системах / Э. Кьюсиак [и др.]; перев. с англ. А.П. Фомина; под ред. Э. Кьюсиака. – М.: Машиностроение, 1991. – 539 с.

355. Курейчик, В.М. Искусственный интеллект в САПР: Текст лекций / В.М. Курейчик, Б.К. Лебедев. – Таганрог: ТРТИ, 1989. – 47 с.

356. Большакова, Е.И. Искусственный интеллект. Алгоритмы

эвристического поиска: Учеб. пособие / Е.И. Большакова, М.Г. Мальковский, В.Н. Пильщиков. – М.: Фак. ВМК МГУ, 2002. – 81 с.

357. Люгер, Дж.Ф. Искусственный интеллект: Стратегии и методы решения сложных проблем / Дж.Ф. Люгер; пер. с англ. Н.И. Галагана – 4-е изд. – М.: Вильямс, 2003. – 863 с.

358. Тейз, А. Логический подход к искусственному интеллекту: От классической логики к логическому программированию / А. Тейз [и др.]; перев. с франц. П.П. Пермякова; под ред. Г.П. Гаврилова – М.: ВЦ РАН, 1990. – 429 с.

359. Ашихмин, А.А. Разработка и принятие управленческих решений: формальные модели и методы выбора: Учеб. пособие для студентов вузов / А.А. Ашихмин. – М.: Изд-во МГГУ, 1995. – 79 с.

360. Арсеньев, Ю.Н. Принятие решений. Интегрированные интеллектуальные системы: Учеб. пособие для студентов вузов / Ю.Н. Арсеньев, С.И. Шелобаев, Т.Ю. Давыдова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 269 с.

361. Методы и модели оптимизации ресурсов в интеллектуальных системах принятия решений в экономике, технике, финансах и образовании: Сб. науч. ст. / под ред. Ю.Н. Арсеньева. – М., 2000. – 214 с.

362. Гаврилова, Т.А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Т.А. Гаврилова. – М.: Радио и связь, 1992. – 199 с.

363. Малышев, Н.Г. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР / Н.Г. Малышев, Л.С. Берштейн, А.В. Боженюк. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 134 с.

364. Варфоломеев, В.И. Принятие управленческих решений в сложных ситуациях / В.И. Варфоломеев, С.Н. Воробьев. – М.: Кудиц-образ, 2001. – 287 с.

365. Воробев, С.Н. Управленческие решения: Учеб. для вузов / С.Н. Воробьев, В.Б. Уткин, К.В. Балдин. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 317 с.

366. Азаров, Н.И. Анализ возможности каскадного развития аварии на взрывопожароопасных объектах / Н.И. Азаров [и др.] // Безопасность труда в промышленности. – 2007. – № 5. – С.42 - 46.

367. Королева, Л.А. Эксергетический подход к оценке энергоэкологической эффективности и пожарной опасности грузовых перевозок на железнодорожном транспорте / Л.А. Королева, А.Г. Хайдаров, Г.К. Ивахнюк, Д.Н. Коваль // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Том 27. – № 7-8. – С. 43-52.

368. ГОСТ 22.0.04-97 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Биолого-социальные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 2000 – 11 с.

369. Пильнов, Г. Как проводить технологический аудит / Г. Пильнов, О. Тарасова, А. Яновский // Проект EuropeAid «Наука и коммерциализация технологий». – 2006. – 96 с.

370. Королева, Л.А. Управление пожарными рисками на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса / Л.А. Королева, Г.К. Ивахнюк, М.А. Марченко // Экология и развитие общества. – 2018. – № 3 (26). – С. 66-72

371. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности: Приказ МЧС Рос. Федерации от 30 июня 2009 г. № 382 (в ред. от 02.12.2015) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902167776> (дата обращения 01.12.18).

372. ГОСТ 12.1.044-2018 Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 195 с.

373. Веригин, А.Н. Особенности применения парадигмы для жизнеспособных развивающихся систем [Электронный ресурс] / А.Н. Веригин, Л.А. Королева // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2016. – № 4. – С. 95-100. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/> (дата обращения 01.02.2017).

374. Сандакова, Н.Ю. К вопросу об использовании теории развивающихся систем как основы социально-экономического развития региона / Н.Ю. Сандакова // Проблемы современной экономики. – 2014. – № 2 (50). – С. 407-410.

375. Тищенко, Н.М. Введение в проектирование систем управления / Н.М. Тищенко. – М.: Энергоиздат, 1986. – 248 с.

376. Павловский, Ю.Н. Имитационное моделирование: Учеб. пос. для студ. высш. уч. заведений / Ю.Н. Павловский. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 236 с.

377. Бир, С. Кибернетика и управление производством / С. Бир; перев. с англ. В.Я. Алтаева; под ред. А.Б. Челюсткина – М.: Физматгиз, 1963. – 273 с.

378. Усов, А.В. Методы и алгоритмы прогнозирования устойчивого развития экономических систем / А.В. Усов, Е.Н. Гончаренко // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2013. – № 11 (114). – Том 16. – С.121-127.

379. Анализ состояния пожарной безопасности на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в 2018 году. – М.: ОАО «РЖД», 2019 – 14 с.

380. Анализ осуществления профилактики пожаров на объектах и подвижном составе ОАО «РЖД» в 2018 году. – М.: ФГП «ВО ЖДТ РФ», 2019 – 23 с.

381. Об экологическом аудировании в системе Госкомэкологии России: приказ Государственного комитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 30 марта 1998 г. № 181 [Электронный ресурс] – Режим доступа: docs.cntd.ru/document/901718717 (дата обращения 01.02.17).

382. ГОСТ Р ИСО 14001-2016 Системы экологического менеджмента. Требования и руководство по применению [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://base.garant.ru/71544070/> (дата обращения 25.11.17).

383. Dincer, I. Exergy as a potential tool for sustainable drying systems / I. Dincer // Sustainable Cities and Society. – 2011. – № 1 (2). – P. 91-96.

384. Rosen, M.A. Role of exergy in increasing efficiency and sustainability and reducing environmental impact / M.A. Rosen, I. Dincer, M. Kanoglu // Energy Policy. – 2008. – № 36 (1). – P.128-137.

385. ГОСТ Р 54934-2012/OHSAS 18001:2007 Системы менеджмента безопасности труда и охраны здоровья. Требования. [Электронный ресурс] – Режим доступа: docs.cntd.ru/document/ (дата обращения 10.10.18).

386. СТО РЖД 15.014-2012 Система управления охраной труда в ОАО «РЖД». Организация контроля и порядок его проведения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200102122> (дата обращения 30.12.16).

387. СТО РЖД 1.15.009-2014 Система управления пожарной безопасностью в ОАО «РЖД». Основные положения [Электронный ресурс] – Режим доступа: docs.cntd.ru/document/1200102122 (дата обращения 30.12.16).

388. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30 декабря 2001 №197-ФЗ (в ред. от 02.08.19). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901807664> (дата обращения 01.09.19).

389. Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий: приказ МЧС России от 21 ноября 2008 г. № 714 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902133628> (дата обращения 08.11.18).

390. Хайдаров, А.Г. Эксергетическая концепция оценки эффективности, экологической и пожарной опасности процессов получения и использования энергии / А.Г. Хайдаров, Л.А. Королева // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2018. – № 3 (47). – С. 29 - 36

391. Kotas, T.J. The Exergy Method of Thermal Plant Analysis / T.J. Kotas. – USA: Krieger Publishing Company, Malabar, 1985. – 320 p.

392. Szargut, J. Exergy analysis of thermal, chemical and metallurgical processes / J. Szargut, D.R. Morris, F.R. Steward. – New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1988. – 332 p.

393. Szargut, J. Standard chemical exergy of some elements and their compounds base dupon the concentration in the Earth's crust / J. Szargut // Bull. Polish Acad. Sci., Techn. Ser. – 1987. – Vol. 35. – P. 53–60.

394. Rivero, R. Standard chemical exergy of elements updated / R. Rivero, M. Garfias // Energy. – 2006. – Vol. 31. – P. 10-26.

395. Королева, Л.А. Оценка пожарной опасности перевозок сжиженных газов на железнодорожном транспорте эксергетическим методом / Л.А. Королева, А.Ю. Иванов, А.Г. Хайдаров // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2019. – № 1 (49). – С. 6-14.

396. Королева, Л.А. Программный комплекс для проведения эксергетического анализа и оценки пожаро-взрывоопасности веществ, материалов и изделий (ПК эксергетика) / Л.А. Королева, А.Г. Хайдаров // Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2019610945 от 18.01.2019 г. М.: – ФИПС, 2019.

397. Hinderink, A.P. Exergy analysis with a flowsheeting simulator-I. Theory; calculating exergies of material streams / A.P. Hinderink // Chemical Engineering Science. – 1996. – Vol. 51 (20). – P. 4693–4700.

398. Abdollahi-Demneh, F. Calculating Exergy in a Widely-Used Flowsheeting Simulator / F. Abdollahi-Demneh // Energy. – 2011. – Vol. 36 (8). – P. 5320-5327.

399. Ghannadzadeh, A. General methodology for exergy balance in ProSimPlus process simulator / A. Ghannadzadeh // Energy. – Vol. 44 (16). – P. 38-59.

400. Критические температуры, давления и плотности органических соединений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://chemanalytica.com/book/novyy_spravochnik_khimika_i_tekhnologa/12_obshchie_svedeniya/6069 (дата обращения 01.12.15).

401. Химия нефти [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://proofoil.ru/Oilchemistry/Oilchemistry3.html> (дата обращения 01.12.15).

402. База данных свойств веществ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://chemister.ru/Database/search.php> (дата обращения 01.12.15).

403. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200071156> (дата обращения 03.08.18).

404. Корольченко, А.Я. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справочник: в 2 ч. / А.Я. Корольченко, Д.А. Корольченко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Пожнаука, 2004. – Ч. I. – 713 с.; Ч. II. – 774 с.

405. Perry, R.H. Chemical Engineer's Handbook / R.H. Perry, C.H. Chilton. – 5th ed. – New York: McGraw-Hill, 1973. – 1550 p.

406. Ayres, R.U. Exergy, waste accounting, and life-cycle analysis / R.U. Ayres, L.W. Ayres, K. Martínás // Energy. – 1998. – Vol. 23, Issue. 5. – P. 355-363. DOI: 10.1016/S0360-5442(97)00076-5.

407. Королева, Л.А. Оценка пожарной опасности веществ топливно-энергетического назначения на железнодорожном транспорте с применением эксергетического анализа / Л.А. Королева, А.Г. Хайдаров // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной году культуры и безопасности – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 61-65.

408. ГОСТ Р ИСО 13736-2010 Жидкости горючие. Определение температуры вспышки в закрытом тигле Абеля. – М.: Стандартинформ, 2012. – 18 с.

409. ГОСТ Р ИСО 3679-2010. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Ускоренный метод определения температуры вспышки в равновесных условиях в закрытом тигле. – М.: Стандартинформ, 2012. – 15 с.

410. Алексеев, С.Г. Температура вспышки. Часть I. История вопроса, дефиниции, методы экспериментального определения / С.Г. Алексеев, В.В. Смирнов, Н.М. Барбин // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21, № 5. – С. 35-41.

411. Демидов, П.Г. Горение и свойства горючих веществ / П.Г. Демидов, В.А. Шандыба, П.П. Щеглов. – 2-е изд., перераб. – М.: Химия, 1981. – 272 с.

412. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам (с изм. на 15.05.2019) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=283771&fld=13>

[4&dst=100001,0&rnd=0.533703433304924#058489913804586](http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=203655852601413795045269226&cacheid=822C6ACA187BA1AADDE37CA58F334F64&mode=splus&base=LAW&n=303986&dst=102329&rnd=0.533703433304924#30wmf10qojo) (дата обращения 12.09.19).

413. Аварийные карточки на опасные грузы, перевозимые по железным дорогам СНГ, Латвийской республики, Литовской республики, Эстонской республики (с изм. на 12.10.2018) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&ts=203655852601413795045269226&cacheid=822C6ACA187BA1AADDE37CA58F334F64&mode=splus&base=LAW&n=303986&dst=102329&rnd=0.533703433304924#30wmf10qojo> (дата обращения 12.11.18).

414. ГОСТ Р 57431-2017 (ИСО 16903:2015) Газ природный сжиженный. Общие характеристики. – М.: Стандартиформ, 2017 – 12 с.

415. ГОСТ 27578-87 Газы углеводородные сжиженные для автомобильного транспорта. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004 – 16 с.

416. Королева, Л.А. Теплофизические условия возникновения горения пористых и дисперсных материалов, изделий при перевозке железнодорожным транспортом и захоронении на полигонах / Л.А. Королева, А.Г. Хайдаров, Г.К. Ивахнюк // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2019. – № 3. – С.12 – 19.

417. Франк-Каменецкий, Д.А. Распределение температур в реакционном сосуде и стационарная теория теплового взрыва / Д.А. Франк-Каменецкий // Физ. Химия. – 1939. – Т.13, № 6. – С. 738-755.

418. Семенов, Н.Н. Теория горения и взрыва / Н.Н. Семенов // Успехи физических наук. – 1940. – Вып. 3. – Т.23. – С. 251-292.

419. Gundersen, T. The concept of exergy and energy quality / T. Gundersen. – Norway: Department of Energy and Process Engineering Norwegian University of Science and Technology Trondheim, 2009 – 25 p.

420. Методика определения теплового самовозгорания веществ и материалов. – М.: ВНИИПО, 2004 – 67 с.

421. Методика обеспечения пожарной безопасности складирования самовозгорающихся материалов. – М.: ВНИИПО, 2008 – 46 с.

422. Горшков, В.И. Самовозгорание веществ и материалов / В.И. Горшков. – М.: ВНИИПО, 2003 – 446 с.

423. Методика обеспечения пожарной безопасности перевозки самовозгорающихся грузов. – М.: ФГУВНИИПО, 2006. – 39 с.

424. Таубкин, И.С. Микробиологическое самовозгорание как причина пожаров: методические рекомендации для следователей и экспертов / И.С. Таубкин // Теория и практика судебной экспертизы. – 2016. – № 4 (44). – С.73-85.

425. Хайдаров, А.Г. Эксергетическая оценка пожарной опасности перевозок на железнодорожном транспорте / А.Г. Хайдаров, Л.А. Королева, Г.К. Ивахнюк // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Том 27. – № 10. – С. 26-37.

426. Song, G. A unified correlation for estimating specific chemical exergy of solid and liquid fuels / G. Song, J. Xiao, H. Zhao, Shen // Energy. – 2012. – Vol. 40, Issue 1, – P. 164-173. DOI: 10.1016/j.energy.2012.02.016.

427. Eboh, F.C. Estimating the specific chemical exergy of municipal solid waste / F.C. Eboh, P. Ahlström, T. Richards // Energy Science & Engineering – 2016. – Vol. 4, Issue 3. – P. 217-231. DOI: 10.1002/ese3.121

428. Zhou, H. Classification and comparison of municipal solid waste based on thermochemical characteristics / H. Zhou, A. Meng, Y. Long, Q. Li, Y. Zhang // Journal of the Air & Waste Management Association. – 2014. – Vol. 64(5). – P. 597–616. DOI: 10.1080/10962247.2013.873094.

429. ТБО: взгляд изнутри [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://clean-future.ru/info-tbo-vzgljad-iznutri.html> (дата обращения 05.07.18).

430. Королева, Л.А. Эксергетическая оценка пожарной опасности и энергетической эффективности твердых коммунальных отходов при захоронении, перевозке и сжигании [Электронный ресурс] / Л.А. Королева, А.Г. Хайдаров // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2019. – № 2. – С. 22-29. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/> (дата обращения 05.05.19).

431. Laner, D. Resource recovery from residual household waste: An application of exergy flow analysis and exergetic life cycle assessment / D. Laner, H. Rechberger, W. De Soete, S. De Meester, T.F. Astrup // Waste Management. – 2015. – Vol. 46. – P. 653-667.

432. Шаимова, А.М. Утилизация отходов производства и потребления на полигонах твердых бытовых отходов с получение альтернативного источника энергии – свалочного биогаза / А.М. Шаимова, Л.А. Насырова, Г.Г. Ягафарова. – Уфа: Нефтегазовое дело, 2009. – 153 с.

433. Хайдаров, А.Г. Программный комплекс для моделирования кинетики биохимических процессов, протекающих при перевозке и захоронении пожаровзрывоопасных отходов, с использованием методов интервального анализа (ПК МКХБ) / А.Г. Хайдаров, Л.А. Королева // Свидетельство о государственной регистрации ПРЭВМ, рег. № 2019610670 от 15.01. 2019 – М.: ФИПС, 2019.

434. Королева, Л.А. Моделирование процессов образования пожаровзрывоопасных газов при захоронении и перевозке твердых коммунальных отходов. [Электронный ресурс] / А.Г. Хайдаров, Л.А. Королева // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2019. – № 1. – С. 27-35. – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/> (дата обращения 08.04.2019).

435. Omar Hecham, M. Treatment of Landfill Waste, Leachate and Landfill Gas: Modelling, Simulation and Experimental Studies / M. Omar Hecham // Electronic Thesis and Dissertation Repository. – 2016. – 173 p.

436. Банк данных об отходах, объектах их переработки и размещения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://db.wastebase.ru/wastebase.aspx> (дата обращения 24.08.16).

437. Об утверждении перечня видов отходов производства и потребления, в состав которых входят полезные компоненты, захоронение которых запрещается: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 25 июля 2017 г. № 1589-р [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71635154/> (дата обращения 01.05.19).

438. Об отходах производства и потребления: Фед. закон Рос. Федерации от 24.06.1998 № 89-ФЗ (ред. от 02.08.2019) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/e41cf8ee068df95f71d18e2bd3244499e393d3c6/ (дата обращения 01.09.19).

439. Нормативно-правовое и научно-методическое обеспечение технического регулирования в области пожарной безопасности. Раздел 2. Том 1. Пособие по определению расчетных величин пожарного риска для производственных объектов: отчет о НИР – М.: ВНИИПО, 2016 – 265 с.

440. Минкин, Д.Ю. Теплофизические закономерности развития пожарной опасности на промышленных предприятиях и нефтегазовых объектах. Монография / Д.Ю. Минкин, В.А. Федоров, А.А. Кузьмин, Н.Н. Романов. – СПб: СПбУГПС МЧС России, 2018. – 464 с.

441. Об утверждении руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей»: приказ Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 сентября 2015 г. № 366 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420302829> (дата обращения 12.12.17).

442. Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности: Руководство по безопасности. Серия 09. Выпуск 45. – М.: ЗАО «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2016 – 44 с.

443. ГОСТ 12.3.047 – 2012 Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. – М.: Стандартинформ, 2014. – 65 с.

444. Адсорбционно-дыхательный клапан / Г.К. Ивахнюк, С.А. Головин, М.А. Пименова, Л.А. Королева [и др.] // Патент Российской Федерации № 192622 U1, 2019. – Бюл. № 27.

445. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов / А.Г. Касаткин. – 10-е издание, стереотипное, доработан. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 753 с.

446. Плаксин, Г.В. Создание новых типов пористых углеродных материалов для процессов адсорбции и катализа: дис. ... д. хим. наук: 02.00.15 / Плаксин Георгий Валентинович. – Новосибирск, 2001. – 383 с.

447. Лихолобов, В.А. Способ выделения ароматических соединений из водных растворов / В.А. Лихолобов, С.Ю. Троицкий. // Патент Российской Федерации № 2140879 С1, 1998.

448. Плаксин, Г.В. Углеродные материалы семейства сибунит и некоторые методы регулирования их свойств / Г.В. Плаксин, О.Н. Бакалова, А.В. Лавренов, В.А. Лихолобов // Химия твердого топлива. – 2016. – № 6. – С.26-32.

449. Плаксин, Г.В. Пористые углеродные материалы типа сибунита / Г.В. Плаксин // Химия в интересах устойчивого развития. – 2001. – № 9. – С. 609-620.

450. Надежность и эффективность в технике: Справочник: В 10 т. Т. 10. Справочные данные по условиям эксплуатации и характеристикам надежности. – М.: Машиностроение, 1990. – 336 с.

451. Огнегасительная базальтовая сетка / Г.К. Ивахнюк, С.А. Головин, Ю.Ю. Осмонов, Л.А. Королева [и др.] // Решение о выдаче патента от 08.10.2019, заяв. № 2019108340/05(016070).

452. Королева, Л.А. Модель альтернативного выбора действий пожарно-спасательных подразделений Государственной противопожарной службы Л.А. Королева, Г.К. Ивахнюк, А.Н. Веригин // Экология и развитие общества. – 2018. – № 1(24). – С. 63-70.

453. Семенов, А.О. Компьютерный модуль системы поддержки и принятия решений при тушении крупных пожаров / А.О. Семенов, В.В. Булгаков, Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности. – 2011. – Выпуск № 1 (35). – С 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20278988> (дата обращения: 30.08.2017).

454. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

455. Королева, Л.А. Подразделение Государственной противопожарной службы как объект управления / Л.А. Королева, Г.К. Ивахнюк, А.Н. Веригин // Экология и развитие общества. – 2017. – № 3 (22). – С. 58-63.

456. Королева, Л.А. Ситуационная модель управления подразделением Государственной противопожарной службы / Л.А. Королева, А.Н. Веригин, А.В. Калач // Вестник Воронежского института ФСИН России. – 2017. – № 3. – С. 81-87.

457. Алиев, Р.А. Производственные системы с искусственным интеллектом / Р.А. Алиев, Н.М. Абдикеев, М.М. Шахназаров. – М.: Радиосвязь, 1990. – 264 с.

458. Сысоев, В.В. Представление диалога для организационного управления предприятием математического моделирования и обработки информации в задачах автоматического управления / В.В. Сысоев, М.Г. Матвеев, И.О. Павлов // Сб. науч. тр. – Рязань: РГРТА, 1995. – С. 20–25.

459. Королева, Л.А. Прогнозирование в структурах управления пожарно-спасательным подразделением Государственной противопожарной службы / Л.А. Королева, А.Н. Веригин // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2017. – № 4 (44). – С. 108-113.

460. Веригин, А.Н. Технология лингвистического прогнозирования при управлении финансами / А.Н. Веригин, С.В. Локтаев // Финансы. – 2004. – № 2. – С. 60–63.

461. Усов, А.В. Методы и алгоритмы прогнозирования устойчивого развития экономических систем / А.В. Усов, Е.Н. Гончаренко // Известия Волгоградского Государственного технического университета. – 2013. – Том 16. – № 11 (114). – С.121-127.

462. Медич, Дж. Статистически оптимальные линейные оценки и управление / Дж. Медич; перев. с англ. С.А. Шаталова; под ред. А.С. Шаталова – М.: Энергия, 1973. – 440 с.

463. Гмошинский, В.Г. Инженерное прогнозирование / В.Г. Гмошинский. – М.: Энергоиздат, 1982. – 208 с.
464. Блох, М. Я. Теоретические основы грамматики: Учеб. / М.Я. Блох. – 2-е изд. испр. – М.: Высш. шк., 2000. – 160 с.
465. Николаева, Т.М. Определенности – неопределенности категория / Т.М. Николаева // Лингв. энцикл. словарь. – М.: Сов. энц., 1990. – 349 с.
466. Zadeh, L.A. Fuzzy Algorithm / L.A. Zadeh // In-Formation Control. – 1968. – Vol. 12, – № 2. – P. 94–102.
467. Королева, Л.А. Содержание причинной модели прогнозирования тушения пожаров / Л.А. Королева, Г.К. Ивахнюк, А.Н. Веригин // Экология и развитие общества. – 2017. – № 4 (27). – С. 70-76
468. Королева Л.А. Тактика прогнозирования тушения пожаров на основе причинной модели / Л.А. Королева, Г.А. Сикорова // Актуальные проблемы и инновации в обеспечении безопасности: материалы Дней науки с международным участием. – Екатеринбург: Уральский институт ГПС МЧС России, 2018. – С. 75-80.
469. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году: Статистический сборник; под общ. ред. Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2017. – 124 с.
470. Об утверждении Порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны: приказ МЧС России от 31 марта 2011 г. № 156. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/55171543/#ixzz4xrpXRCMh> (дата обращения 04.11.17)
471. Mizumoto, M. Some properties of fuzzy sets of type 2 / M. Mizumoto, K. Tanaka // Information and Control. – 1976. – Vol. 31. – P. 312–340.
472. Оптнер, С.Л. Системный анализ для решения проблем бизнеса и промышленности / С.Л. Оптнер; пер. с англ. С.П. Никанорова – 3-е изд., стер.– М.: Концепт, 2006. – 205 с.
473. Заде, Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применения к принятию приближенных решений /Л.А. Заде; пер. с англ. Н.И. Ринго; под ред. Н.Н. Моисеева и С.А. Орловского – М.: Мир, 1976. – 165 с.

474. Королева, Л.А. Человеческий аспект в системе управления при боевых действиях пожарно-спасательных подразделений Государственной противопожарной службы [Электронный ресурс] / Л.А. Королева, А.Н. Веригин // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2017. – № 4. – С. 125-132 – Режим доступа: <https://vestnik.igps.ru/> (дата обращения 07.01.2018).

475. Алексеева, М.Б. Основы теории систем и системного анализа: Учеб. пособие / М.Б. Алексеева, С.Н. Балан. – СПб.: СПбГИЭУ, 2002. – 88 с.

476. Гаврилова, Т.А. Извлечение и структурирование знаний для экспертных систем / Т.А. Гаврилова. – М.: Радио и связь, 1992. – 199 с.

477. Дворянкин, А.М. Искусственный интеллект. Моделирование рассуждений и формальные системы: Учеб. пособие / А.М. Дворянкин, М.Б. Сипливая, И.Г. Жукова. – Волгоград: Политехник, 2003. – 140 с.

Приложение А

Протокол аудирования для управления пожарной безопасностью путем предотвращения и минимизации рисков возникновения ЧС, связанных с пожарами

Группа аудиторов оценивает выполнение требований СУПБ на объекте, подлежащем проверке, по определенным конкретным вопросам. Вопрос не оценивается (н/о) в случае, если предмет вопроса не применяется на данном объекте.

Группа аудиторов оценивает выполнение требований СУПБ на объекте, подлежащем проверке, по определенным конкретным вопросам. Вопрос не оценивается (н/о) в случае, если предмет вопроса не применяется на данном объекте.

За каждый вопрос протокола выставляется оценка н/о, 2, 4, 6, 8, 10. В Таблице А1 приведена оценочная шкала.

Таблица А1 – Оценочная шкала для проведения аудирования СУПБ

Баллы	Оценка
0	Работа по данному вопросу не проводится
2	Определена процедура/задокументирована, не выполняются определенные требования нормативных документов
4	Разработанная документация не доведена до причастных работников, не изучена в установленном порядке. Руководители не в полной мере выполняют свои должностные обязанности по обеспечению ПБ
6	Работники обучены мерам ПБ, применяют инструкции, нормы и правила по ПБ, технологии производства работ соответствуют требованиям ПБ, допускаются нарушения противопожарного режима, в отражении требований пожарной безопасности в документах имеются недостатки, требования отражены не в полном объеме.
8	Создана и действует СУПБ, определены оценочные показатели, ведется работа по контролю и анализу работы руководством, присутствуют незначительные отступления
10	Работа по данному вопросу проводится в полном объеме и полностью соответствует нормативным документам и (или) установленным требованиям
н/о	Не оценивается

Признаки несоответствия требованиям фиксируются аудитором при оценке, отличной от 10 баллов. Все вопросы Протокола являются равнозначными.

Итоговая оценка рассчитывается следующим образом:

$$\text{Итоговая оценка} = \frac{\text{Общее количество баллов}}{\text{Количество вопросов, подлежащих оценке}} \cdot 100\%$$

Оценочная шкала соответствия СУПБ установленным требованиям приведена в Таблице А2.

Таблица А2 – Оценка соответствия СУПБ

Итоговая оценка, %	Вывод о соответствии
95-100	Полностью соответствует
80-95	В основном соответствует
60-80	Частично соответствует
0-60	Не соответствует

Контрольные вопросы для внутренних аудиторов приведены в Таблице А3.

Таблица А3 – Список вопросов для оценки соответствия СУПБ объекта при проведении внутреннего аудирования

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центральной ном	региональной ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
1. Основные элементы системы управления пожарной безопасностью						
1.1. Создана и задокументирована СУПБ филиала (структурного подразделения), включающая основные элементы согласно нормативным требованиям?	Подтверждается наличием руководителей и специалистов, отвечающих за организацию и управление ПБ, документов регламентирующих их обязанности в вопросах ПБ.	+	+	+		
1.2. Установлены цели и задачи в области ПБ объекта на текущий год согласно целям и задачам ОАО «РЖД»?	Подтверждается наличием документально оформленного списка целей и задач в области ПБ на текущий год.	+	+	+		
1.3. Разработаны планы работы по повышению пожарной безопасности объектов и подвижного состава ОАО «РЖД»?	Наличием Планов работы по повышению пожарной безопасности объектов и подвижного состава ОАО «РЖД»?	+	+	+		
1.4. Проводится анализ состояния ПБ	Подтверждается наличием Анализа состояния ПБ	+	+	+		
1.5. Осуществляется нормативно-методическое обеспечение организации работы по декларированию пожарной безопасности	Подтверждается наличием нормативных и методических документов по организации работы по декларированию пожарной безопасности	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	региональ- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
объектов защиты						
1.6. Определен перечень объектов защиты, на которые разрабатываются декларации пожарной безопасности?	Подтверждается наличием перечня объектов защиты, на которые разрабатываются декларации пожарной безопасности, разработанным руководителем филиала или структурного подразделения		+	+		
1.7. Разработаны декларации пожарной безопасности на объекты защиты?	Подтверждается наличием деклараций пожарной безопасности и ведением реестра деклараций пожарной безопасности с указанием регистрационного номера декларации		+	+		
1.8. Своевременно подаются декларации пожарной безопасности в надзорные органы МЧС, уточняется их содержание и вносятся изменения?	Подтверждается ведением реестра деклараций пожарной безопасности с указанием даты		+	+		
1.9. Назначается рабочая группа для разработки декларации пожарной безопасности, уровень подготовки специалистов рабочей группы?	Наличие приказа о назначении рабочей группы. Наличие документов о прохождении обучения пожарнотехническому минимуму специалистов группы		+	+		
1.10. Хранятся на объекте защиты оригиналы декларации	Подтверждается наличием оригиналов деклараций пожарной безопасности			+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	регионально- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
пожарной безопасности?						
1.11. Разработана и совершенствуется организационная структурная схема управления пожарной безопасностью объекта?	Подтверждается наличием приказа о создании служб (отделов или др.) ПБ объекта; наличием приказов об изменении функций службы, линии подчиненности и др. (необходимо оценить их влияние с точки зрения совершенствования первоначальной структуры).	+	+			
1.12. Наделены руководители и специалисты объекта обязанностями и ответственностью в области ПБ согласно требованиям в отрасли и нормативных документов?	Подтверждается содержанием положений, трудовых договоров, должностных инструкций, организационно-распорядительных документов.	+	+	+		
1.13. Соответствуют должностные обязанности руководителей в полном объеме требованиям ТК РФ и СТО ОАО «РЖД»? «Тест-вопрос»	Подтверждается наличием и полнотой обязанностей в должностных инструкциях руководителей (приказе о распределении обязанностей между руководителями).	+	+	+		0 или 10
1.14. Выполняются руководителями объекта в полном объеме обязанности в вопросах ПБ?	Подтверждается наличием документов.	+	+	+		
1.15. Известна и понятна	Проверяется при проведении интервью с	+	+	+		0 или

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	региональ- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
Политика в области ПБ на всех уровнях организации объекта? «Тест-вопрос»	руководителями и работниками объекта, наличие копий Политики предприятия на стендах по ПБ и в других общедоступных местах передачи информации, записями в соответствующих документах об изучении Политики.					10
1.16. Определены и установлены приоритеты деятельности объекта в области ПБ согласно основным направлениям Политики в области ПБ?	Подтверждается заявлениями руководства объекта из интервью; наличием документально подтвержденной документации на рабочих местах объекта.	+	+	+		
1.17. Разработаны ли планы и/или программы достижения поставленных целей и задач по ПБ на текущий год?	Подтверждается наличием утвержденного плана по ПБ на текущий год и отчетами о его выполнении; выборочно проверяется соответствие на практике.	+	+			
1.18. Своевременно вносятся соответствующие изменения в нормативные документы ОАО «РЖД» в случае внесения изменений в государственные нормативные требования в области пожарной безопасности, распространяющиеся на ОАО	Проверяется выборочно (на основе документов и соответствия практики на местах).	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
«РЖД»?						
1.19. Выявляются пожаро- и взрывоопасные вещества и производственные факторы и оцениваются соответствующие им риски, оказывающие наиболее существенные воздействия на пожарную безопасность?	Проверяется выборочно на базе деклараций пожарной безопасности и документально оформленных форм по оценке риска и соответствия практики на местах.	+	+	+		
1.20. Осуществляется производственный контроль пожарной безопасности?	Подтверждается наличием организационно-распорядительных документов проведения производственного контроля ПБ, программы производственного контроля ПБ.	+	+	+		
1.21. Обучены работники, привлекаемые к проведению производственного контроля ПБ?	Подтверждается документами о прохождении обучения.	+	+	+		
1.22. Созданы и функционируют пожарно-технические комиссии (ПТК)?	Подтверждается наличием приказов о создании ПТК, планов, положений ПТК, наличием актов проверки пожарной безопасности, сведения о ежедневных осмотрах.	+	+	+		
1.23. Проводится анализ эффективности работы системы	Протоколы заседаний ПТК, протоколы совещаний с руководителями структурных	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
производственного контроля ПБ?	подразделений и филиалов по вопросам эффективности работы системы производственного контроля ПБ, отчетов о выполнении организационно-технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности на объектах ОАО "РЖД".					
1.24. Осуществляется мониторинг пожарной безопасности на объектах защиты?	Подтверждается наличием документов о проведении пожарно-технических обследований и документов о создании и работе ПТК.	+	+	+		
1.25. Доведены до сведения работников объекта цели и задачи СУПБ?	Проверяется выборочно на местах при проведении бесед с работниками объекта.	+	+	+		
2. Обучение руководителей и работников по пожарной безопасности						
2.1. Осуществляется контроль и учет за сроками обучения пожарно-техническому минимуму и проверкой знаний пожарно-технического минимума руководителей и работников объекта? «Тест-вопрос»	Подтверждается наличием графиков, данными о прохождении обучения по пожарно-техническому минимуму. Результаты проверки знаний должны быть зарегистрированы в журнале обучения и оформлены в виде протокола заседания квалификационной комиссии.	+	+	+		0 или 10
2.2. Присутствуют случаи нарушения сроков обучения и проверки знаний пожарно-	Осуществляется выборочная проверка документов руководителей и протоколов проверки знаний работников.	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	региональ- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
технического минимума?						
2.3. Создана и аттестована установленным порядком квалификационная комиссия по проверке знаний работников, прошедших обучение пожарно-техническому минимуму?	Устанавливается наличие приказа о создании комиссии и документов, подтверждающих ее обучение и проверку знаний в установленном порядке.	+	+	+		
2.4. Разработана и соответствует установленным требованиям программа проведения вводного инструктажа по ПБ с работниками?	Подтверждается наличием инструкции, ее соответствием установленным требованиям, проведением своевременной корректировки.	+	+	+		
2.5. Осуществляется учет и контроль проведения вводного инструктажа по ПБ? «Тест-вопрос»	Подтверждается наличием графиков и журналов учета инструктажей, их своевременным заполнением.	+	+	+		
2.6. Назначено лицо ответственное (или его замещающее) за проведение вводного инструктажа по ПБ?	Подтверждается наличием приказа и документами об обучении.	+	+	+		
2.7. Оборудованы помещения для проведения вводного инструктажа? «Тест-вопрос»	Подтверждается наличием помещений и оборудование их необходимыми документами, макетами, орг-техникой и т.д.			+		
2.8. Соблюдены сроки прове-	Проверяется выборочно на основе	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	регионально- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
дения первичных, повторных, внеплановых и целевых инструктажей по пожарной безопасности с руководителями и работниками?	журналов инструктажей и из опроса работников.					
2.9. Оборудованы уголки (стенды) пожарной безопасности?	Подтверждается наличием уголков (стендов) по пожарной безопасности на рабочих местах			+		
3. Информирование работников по вопросам пожарной безопасности						
3.1. Своевременно доводятся до сведения работников законы, нормативные правовые акты Российской Федерации, вновь разработанные ОАО «РЖД» документы по ПБ и внесенные в них изменения?	Подтверждается изучением с работниками и доведением до сведения работников нормативных правовых актов Российской Федерации, вновь разработанных документов по ПБ и внесенных в них изменений и из интервью с работниками.	+	+	+		
3.2. Имеются в наличии и в необходимом количестве нормативные документы по ПБ?	Подтверждается наличием у работников и на рабочих местах необходимой нормативной документации по ПБ и из интервью с работниками.	+	+	+		
3.3. Созданы (имеется ли доступ к имеющимся) автоматизированные базы нормативных документов и другие информационно-справочные	Проверяется наличием автоматизированных баз и (или) возможностью доступа работников к внешним информационно-справочным базам и из интервью с работниками.	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
базы по ПБ?						
3.4. Планируются и проводятся лекции, семинары и конференции по ПБ?	Подтверждается наличием в планах, наличием программ проведения и из интервью с работниками.	+	+	+		
3.5. Организовано обновление стендов и плакатов, видеофильмов, необходимой литературы и учебных пособий по ПБ?	Подтверждается наличием обновленной информации на стендах, наличие современных плакатов, видеофильмов, необходимой литературы и учебных пособий.	+	+	+		
3.6. Организовано изучение и использование отечественного и зарубежного передового опыта по ПБ?	Подтверждается наличием информации, организацией лекций, бесед, семинаров по изучению передового опыта.	+	+	+		
4. Участие работников в управлении пожарной безопасностью						
4.1. Рассматриваются предложения работников по обеспечению ПБ?	Подтверждается наличием документальных фактов и свидетельств из интервью.	+	+	+		
5. Основные функции по осуществлению Политики в области обеспечения ПБ, достижению целей и решению задач системы управления ПБ						
5.1. Планирование и финансирование мероприятий по улучшению состояния ПБ						
5.1.1. Задokumentирован процесс перспективного, текущего планирования мероприятий по ПБ?	Подтверждается наличием документов.	+	+	+		
5.1.2. Существует	Подтверждается наличием инвестиционных	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
перспективное планирование (план мероприятий) по ПБ?	программ и планов для перспективного планирования, утвержденных в установленном порядке.					
5.1.3. Разработан план мероприятий по ПБ на текущий год?	Подтверждается наличием ежегодных планов мероприятий по обеспечению ПБ по различным направлениям для текущего планирования, утвержденных в установленном порядке.	+	+	+		
5.1.4. Представлял объект свои предложения для составления программы, планов мероприятий по ПБ в вышестоящие организации?	Подтверждается наличием соответствующих документов (писем, предложений).	+	+	+		
5.1.5. Предусматривает план мероприятий на текущий год достижение целей и выполнение основных задач СУПБ и проводится корректировка утвержденного плана с учетом анализа материалов расследования пожаров, нарушений и недостатков, выявленных в результате проверок?	Подтверждается наличием и достаточностью мероприятий, наличием необходимых корректировок.	+	+	+		
5.1.6. Ведется ежеквартальный	Подтверждается наличием протоколов	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
контроль (рассмотрение выполнения) за выполнением перспективного и текущего планов мероприятий по ПБ на объекте?	рассмотрения и отчетов, предоставляемых в вышестоящую организацию.					
5.1.7. Существуют и выполняются планы мероприятий по устранению нарушений и недостатков, выявленных в результате проверок на объекте?	Подтверждается наличием мероприятий по результатам проверок и отчетами об их устранении.	+	+	+		
5.2 Разработка и пересмотр нормативных документов по ПБ						
5.2.1. Планируется на ОАО «РЖД» разработка, пересмотр нормативных документов по ПБ?	Подтверждается наличием плана	+	+	+		
5.2.2. Осуществляется разработка и пересмотр нормативных документов по ПБ в соответствие с требованиями?	Подтверждается на соответствие требованиям законодательства, организационно-распорядительным документам ОАО «РЖД», Правилами подготовки нормативных документов	+	+	+		
5.2.3. Существует база данных приказов, распоряжений, инструкции по ПБ для работников применительно к конкретным рабочим местам и	Подтверждается наличием документов.	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	региональ- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
реальным условиям труда, должностям, профессиям, видам выполняемой работы с учетом мнения выборного профсоюзного органа работников на основании действующих нормативных документов в данной отрасли?						
5.2.4. Включена разработка (пересмотр) инструкций по ПБ в годовой план мероприятий по ПБ объекта?	Подтверждается наличием в годовом плане мероприятий.	+	+	+		
5.3. Передача, сбор и обмен информацией						
5.3.1. Принимает объект участие в процессе обмена информацией по вопросам ПБ внутри предприятия и с заинтересованными сторонами?	Подтверждается наличием АСУ, электронной почты, видеосвязи, и др.	+	+	+		
5.3.2. Проводится на объекте своевременный сбор информации, обобщение сведений и соблюдение Порядка учета пожаров, загораний и их последствий?	Под внутренними формами статистической отчетности подразумеваются: – анализ состояния ПБ; – отчет о мерах воздействия на работников по результатам профилактической работы по ПБ; – отчет о количестве руководителей и	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	регионально- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
	специалистов, обученных по ПБ; – статистические данные о пожарах; – учет пострадавших на пожаре; – отчет о выполнении плана мероприятий по обеспечению ПБ; – отчет об использовании финансовых средств на мероприятия по ПБ					
5.3.3. Эффективно используются различные инструменты передачи и обмена информацией по вопросам ПБ?	Под инструментами передачи и обмена информацией понимаются: – конференции, семинары, показы- конкурсы и выставки; – размещение информации по ПБ в СМИ и в сети Интранет; – тиражирование нормативных документов, подготовка и приобретение сборников нормативных документов, справочников, учебных и методических пособий и видеофильмов по вопросам ПБ; – использование автоматизированных информационно-справочных систем «Консультант Плюс», «Гарант», авто- матизированной системы правовой информации на железнодорожном транс- порте, информационно-справочной систе- мы, единой корпоративной автомати-	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	региональ- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
	зированной системы и других информационных систем в области ПБ.					
5.4. Расследование, учет пожаров и их последствий						
5.4.1. Проводится расследование, учет пожаров и их последствий в соответствие с требованиями?	Под требованиями понимаются: 1. Федеральный закон от 21.12.1994 N 69-ФЗ «О пожарной безопасности»; 2. Федеральный закон от 10.01.2003 N 17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации»; 3. Приказ МЧС «Об утверждении Порядка учета пожаров и их последствий»; 4. Приказ Росстата «Об утверждении статистического инструментария для организации МЧС России федерального статистического наблюдения за пожарами и последствиями от них»; 5. Инструкция по служебному расследованию, учету пожаров и последствий от них на железнодорожном транспорте; 6. Регламент по организации служебных расследований, учета пожаров и их последствий в ОАО «РЖД».	+	+	+		
5.4.2. Осуществляется статистический учет пожаров,	Наличие документов внутреннего статистического учета. Наличием	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	региональ- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
загораний, учет пострадавших и материального ущерба	документов, подтверждающих направление статистических данных в соответствующие департаменты, управления, филиалы (дирекции) ОАО «РЖД», на объектах которых допущены пожары и загорания, в Департамент надзорной деятельности МЧС России (ежеквартально). Наличие бухгалтерской справки, сведений страховых компаний, выписок из решений судебных органов, документов юридических и физических собственников имущества.					
5.4.3. Проводится рассмотрение результатов служебного расследования в соответствии с Инструкцией и Регламентом по служебному расследованию, учету пожаров и последствий от них в ОАО «РЖД»?	Проверяется наличием актов служебного расследования пожара. Проверяется своевременным рассмотрением материалов руководителем объекта и направлением их в вышестоящий филиал, наличием протокола о внеочередном заседании ПТК, Пожары на подвижном составе, повлекшие гибель людей, значительный материальный ущерб, должны рассматриваться на специальных совещаниях в причастных департаментах (управлениях), функциональных дирекциях или у руководства ОАО "РЖД" с участием руководства ФГП ВО ЖДТ.	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
5.4.4. Своевременно издаются приказы о формировании комиссии по служебному расследованию пожаров, комиссии по расследованию крушений и аварий?	Проверяется наличием приказов о создании комиссии формирования комиссии по служебному расследованию пожаров, комиссии по расследованию крушений и аварий. Комиссия создается немедленно.	+	+	+		
5.4.5. Своевременно передается извещение о пожаре в соответствующие инстанции?	Извещение передается в течение суток.	+	+	+		
5.4.6. Своевременно оформляются результаты расследования?	Служебное расследование пожара должно быть закончено в 5-ти дневный срок с момента его возникновения. Срок может быть продлен председателем комиссии по согласованию с Управлением охраны труда, промышленной безопасности и экологического контроля ОАО «РЖД» и Управлением ФГП ВО ЖДТ России. Наличием актов о результатах служебного расследования.	+	+	+		
5.4.7. Мероприятия по результатам расследования выполняются в установленные сроки?	Подтверждается фактическим выполнением мероприятий.	+	+	+		
5.4.8. Руководитель Объекта контролируют ход выполнения	Подтверждается наличием протоколов рассмотрения.	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
мероприятий по результатам служебного расследования пожаров?						
5.4.9. Проводится на объекте анализ влияния человеческого фактора на возникновение пожаров?	Подтверждается наличием расчетов, в соответствии с принятыми нормативными документами	+	+	+		
5.5. Выявление и предотвращение опасностей						
5.5.1. Проводится расчет пожарного риска с последующей разработкой мероприятий по предупреждению возможных опасностей и снижению риска?	Наличие результатов по расчету пожарного риска. Оценка рисков должна осуществляться для выявленных ранее опасных производственных объектов, в зданиях, сооружениях и строениях различных классов функциональной пожарной опасности.	+	+	+		
5.5.2. Прошли необходимое обучение и соблюдают работники, вовлеченные в выявление опасностей и оценку рисков, требования нормативных документов?	Подтверждается наличием обученных работников.	+	+	+		
5.5.3. Разрабатываются на объекте мероприятия по предупреждению и устранению причин, приводящих к пожарам,	Подтверждается наличием мероприятий и инструкций.	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	регионально- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
а также планы (инструкции) о порядке действия работников в случае пожара и схемы эвакуации?						
5.5.4. Проводятся тренировки по отработке действий при эвакуации в случае пожара?	Подтверждается наличием графиков и планов проведения тренировок, справок по итогам тренировок.	+	+	+		
5.5.5. Разработаны документы предварительного планирования (план, карточка тушения пожаров)?	При возникновении пожароопасной ситуации или пожара, работники должны действовать в соответствии с планом локализации и ликвидации пожароопасных ситуаций и пожаров, согласованным с органами государственного или ведомственного пожарного надзора.	+	+	+		
6. Оценка состояния пожарной безопасности и эффективности функционирования СУПБ						
6.1. Учет и анализ						
6.1.1. Проводится своевременный учет и анализ данных по вопросам ПБ?	Учету и анализу подлежат сведения о: – пожарах и загораниях; – пострадавших при пожаре; – проведенных пожарно-технических обследованиях, комплексных проверках и т.д.; – обучении, проверке знаний работников по пожарной безопасности; – аттестации работников, эксплуатирующих	+	+	+		

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
	опасные производственные объекты; – пожарной безопасности технологических процессов и производственного оборудования; – выполнении программ, планов мероприятий по ПБ.					
6.1.2. Проводится анализ эффективности СУПБ объекта?	Подтверждается наличием в анализе оценки эффективности СУПБ.	+	+			
6.1.3. Разрабатываются и выполняются планы корректирующих действий?	Подтверждается наличием в анализе.	+	+			
6.1.4. Доводится анализ работы по пожарной безопасности до работников объекта?	Подтверждается наличием и изучением анализа пожарной безопасности на рабочих местах и из интервью.	+	+	+		
6.1.5. Доводятся анализы работы по ПБ корпоративного уровня и центральных дирекций до работников объекта?	Подтверждается наличием и изучением анализа пожарной безопасности на рабочих местах и из интервью.	+	+	+		
6.1.6. Выполняются корректирующие мероприятия, предусмотренные в анализах, в установленные сроки?	Подтверждается наличием отчетов. Протоколами рассмотрения хода выполнения.	+	+	+		
6.2. Проверка состояния пожарной безопасности						

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
6.2.1. Разработан график проверок (аудита) состояния ПБ на текущий год? (комплексных, целевых, пожарно-технических обследований)	Подтверждается наличием утвержденного графика.	+	+	+		
6.2.2. Доводится данный график до всех подразделений объекта?	Подтверждается наличием в подразделениях объекта и из интервью с работниками.	+	+			
6.2.3. Выполняется график проверок в установленные сроки?	Подтверждается выполнением графика, наличием соответствующих актов проверок.	+	+			
6.2.4. Выполняются организационные моменты при подготовке к проверке?	Подтверждается наличием распоряжения, своевременно направленного на проверяемый объект о: времени проведения проверки, составе комиссии, цели проверки.	+	+			
6.2.5. Участвуют в проверке причастные руководители и специалисты объекта?	Подтверждается материалами проверки.	+	+			
6.2.6. Своевременно и качественно оформляются акты по результатам проверок? Доводятся они до руководителей проверяемых подразделений?	В актах проверок должны быть отражены вопросы по поставленным в плане проверки цели, в том числе: – недостатки, выявленные в процессе проверки; – эффективность функционирования элементов СУПБ в проверяемом	+	+			

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использовании «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально- ном	регионально- ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
	подразделении; –результативность деятельности руководителей проверяемых подразделений; –соответствие проводимых в подразделении мероприятий принятой политике, поставленным целям и задачам СУПБ; –соответствие организации работ по ПБ трудовому законодательству, нормативным правовым актам РФ и нормативным документам в отрасли; –эффективность участия работников подразделения в обеспечении ПБ, проводимых проверках и анализе их результатов; –рекомендации по повышению эффек- тивности и совершенствованию СУПБ.					
6.2.7. Рассматриваются результаты проверок в установленном на предприятии порядке? Принимаются соответствующие меры?	Подтверждается наличием протоколов (приказов) соответствующих руководи- телей.	+	+			
6.2.8. По результатам проверки разрабатываются в полном	Подтверждается наличием необходимых (полных) мероприятий.					

Вопрос	Пояснения для внутреннего аудитора Пункт нормативного документа	Возможность на уровне управления (при возможности использования «+»)			Факты / Наблюдения	Оценка в баллах (от 0 до 10)
		центрально-ном	регионально-ном	локальном	(заполняется внутренним аудитором)	
объеме мероприятия по устранению выявленных недостатков?						
6.2.9. Осуществляет контроль выполнения мероприятий по результатам проверок до полного устранения недостатков?	Подтверждается наличием отчетов о полном устранении недостатков и отсутствии ранее выявленных недостатков при следующих проверках на подразделении.	+	+	+		
6.3. Проведение оперативных проверок						
6.3.1. Проводятся ли оперативные проверки за состоянием ПБ?	Подтверждается наличием актов	+	+	+		
7. Стимулирование работ по обеспечению пожарной безопасности						
7.1. Существует на объекте форма и порядок материального и морального стимулирования за работу по обеспечению ПБ?	Проверяется выборочно из интервью с работниками. Вопрос не оценивается в баллах. Если применяемые виды поощрений дают положительные результаты, может быть использован в качестве рекомендованной практики на других объектах.	+	+	+		
7.2. Привлекаются работники к различным видам дисциплинарной ответственности за нарушение требований Правил ПБ	Подтверждается наличием бланков представления для привлечения к дисциплинарной ответственности лиц, нарушивших требования Правил ПБ на ЖДТ.	+	+	+		

Форма отчета по результатам проведения внутреннего аудирования представлена в Таблице А4.

Таблица А4 – Форма отчета по результатам проведения внутреннего аудирования

Название проверяемого объекта	
Даты проведения внутреннего аудирования СУПБ	
ФИО аудиторов	
Оценка степени соответствия СУПБ (в %)	
Дата составления отчета по результатам проведения внутреннего аудирования	

I. Введение (объем и цели аудирования; план проведения аудирования; состав команды)

II. Основные выводы (сильные позиции; области, требующие улучшения, эффективные инновационные решения, направленные на предотвращение и минимизацию пожарных рисков)

III. Приоритетные рекомендации по совершенствованию СУПБ

IV. Сводная таблица выводов по результатам проведенного внутреннего аудирования (Таблица А5)

V. Заключение

Таблица А5 – Сводная таблица выводов по результатам проведенного внутреннего аудирования

№	Вывод /несоответствие	Статус	Категория	Рекомендация	Уровень рекомендации
1					
2					
N					

Форма отчета по плану корректирующих действий приведена в Таблице А6.

Таблица А6 – Форма отчета по плану корректирующих действий

Название проверяемого объекта	
Даты проведения внутреннего аудирования СУПБ	
ФИО аудиторов	
Оценка степени соответствия СУПБ (в %)	
Дата составления отчета по плану корректирующих действий	

№	Вывод /несоответствие, его статус, категория	Рекомендация	Уровень рекомендации	Корректирующее действие	Ответственный за исполнение	Срок исполнения	Статус (сведения о выполнении)
1							
...							
N							

Приложение Б

Таблица Б1 – Характеристика углеводородных грузов железнодорожного транспорта

№ п/ п	Название вещества	Брутто- формула	$e_{хим}$		$T_{всп}, ^\circ C$	$Q_n, кДж/моль$ [12]	Классификаци онный шифр груза	Класс и подкласс опасности по ГОСТ 19433- 88/ Предлагаемый класс опасности	$T_{кип},$ $^\circ C$	$T_{кр},$ $^\circ C$	Категория [45]
			Значение, кДж/моль	Значение, МДж/кг							
1	метан	CH_4	831,7	52,0	–	802,0	2113 (жидкий) 2111 (сжатый)	2.3/2.3	-164,0	-82,0	1 (газ)
2	ацетилен	C_2H_2	1265,8	48,7	–	1301,0	2112 2114 (растворен.)	2.3/2.3	-83,6	35,9	2 (пар)
3	этилен	C_2H_4	1361,1	48,6	-136	1318,0	2111 2113 (жидкий)	2.3/2.3	-103,7	9,5	1 (газ)
4	этан	C_2H_6	1495,8	49,9	-130	1576,0	2112 2113 (жидкий)	2.3/2.3	-88,6	32,2	2 (пар)
5	метилацетиле н	C_3H_4	1899,5	47,5	–	1939,0	2112	2.3/2.3	-23,2	129,24	2 (пар)
6	пропен	C_3H_4	2003,9	50,1	-103	1919,0	2112	2.3/2.3	-47,7	91,9	2 (пар)
7	циклопропан	C_3H_6	2043,2	48,6	-92	2091,0	2112	2.3/2.3	-32,9	124,6	2 (пар)
8	пропан	C_3H_8	2154,0	49,0	-96	2044,0	2112	2.3/2.3	-42,0	96,8	2 (пар)
9	1,3-бутадиен	C_4H_6	2500,0	46,3	-73	2411,0	2112	2.3/2.3	-4,47	152,0	2 (пар)
10	1-бутин	C_4H_6	2552,3	47,3	-50	2599,0	–	2.3/2.3	8,0	190,5	2 (пар)
11	циклобутан	C_4H_8	2516,2	44,9	-61	2544,0	2112	2.3/2.3	12,9	–	2 (пар)

№ п/ п	Название вещества	Брутто- формула	$e_{\text{хим}}$		$T_{\text{всп}}, ^\circ\text{C}$	$Q_{\text{н}}, \text{кДж/моль}$ [12]	Классификаци онный шифр груза	Класс и подкласс опасности по ГОСТ 19433- 88/ Предлагаемый класс опасности	$T_{\text{кип}},$ $^\circ\text{C}$	$T_{\text{кр}},$ $^\circ\text{C}$	Категория [45]
			Значение, кДж/моль	Значение, МДж/кг							
12	2-метил-1-пропен	C_4H_8	2646,0	47,3	–	2577,0	–	2.3/2.3	-6,9	144,7	2 (пар)
13	цис-бутен-2	C_4H_8	2652,0	47,4	-73	2528,0	2112	2.3/2.3	3,73	157	2 (пар)
14	бутен-1	C_4H_8	2659,7	47,5	-80	2542,6	2112	2.3/2.3	-6,26	146,4	2 (пар)
15	транс-бутен-2	C_4H_8	2650,0	47,3	-73	2525,0	2112	2.3/2.3	0,88	–	2 (пар)
16	изобутан	C_4H_{10}	2804,0	48,3	-73	2649,0	2112	2.3/2.3	-11,7	135,0	2 (пар)
17	н-бутан	C_4H_{10}	2805,8	48,4	-69	2657,0	2112	2.3/2.3	-0,5	152,3	2 (пар)
18	3-метил-1-бутен	C_5H_{10}	3307,0	47,2	-53	3143,0	3011	3.1/2.3	20,1	197,0	3 (жидкость)
19	циклопентан	C_5H_{10}	3268,0	46,7	-37	3071,0	3012	3.1/3.1	49,3	238,6	3 (жидкость)
20	2-метил-2-бутен	C_5H_{10}	3291,0	47,0	-45	3175,0	3012	3.1/2.3	38,5	–	3 (жидкость)
21	пентен-1	C_5H_{10}	3310,0	47,3	-28	3154,0	–	3.1/2.3	30,0	201,0	3 (жидкость)
22	н-пентан	C_5H_{12}	3461,8	48,1	-49	3272,0	3011; 3012	3.1/3.1	36,1	197,2	3 (жидкость)
23	2,2-диметилпропан	C_5H_{12}	3453,0	48,0	-7	3253,0	2112	2.3/2.3	9,50	159,0	2 (пар)
24	2-метилбутан	C_5H_{12}	3453,0	40,0	-51	3264,0	–	3.2/2.3	27,9	187,7	3 (жидкость)
25	бензол	C_6H_6	3294,0	42,2	-12	3169,4	3012	3.2/3.2	80,2	289,5	3 (жидкость)
26	гексен-1	C_6H_{12}	3967,9	47,2	-23	3767,7	3012	3.1/3.1	63,5	–	3 (жидкость)
27	метилциклопентан	C_6H_{12}	3910,8	46,6	-20	3705, 0	–	3.1/3.1	71,8	259,6	3 (жидкость)
28	циклогексан	C_6H_{12}	3909,2	46,5	-17	3689,0	3112	3.2/3.2	80,7	280,0	3 (жидкость)
29	3-метилпентан	C_6H_{14}	4110,0	47,8	-26	3882,0	–	3.1/3.1	63,3	231,4	3 (жидкость)

№ п/ п	Название вещества	Брутто- формула	$e_{\text{хим}}$		Твсп, °С	Q_n , кДж/моль [12]	Классификаци онный шифр груза	Класс и подкласс опасности по ГОСТ 19433- 88/ Предлагаемый класс опасности	$T_{\text{кип}}$, °С	$T_{\text{кр}}$, °С	Категория [45]
			Значение, кДж/моль	Значение, МДж/кг							
30	2,3- диметилбутан	C_6H_{14}	4108,0	47,8	-29	3868,0	3012	3.1/3.1	58,0	227,1	3 (жидкость)
31	н-гексан	C_6H_{14}	4114,5	47,8	-34	3887,0	—	3.1/3.1	68,7	234,3	3 (жидкость)
32	2,2- диметилбутан	C_6H_{14}	4100,02	47,7	-48	3868,0	—	3.1/3.1	49,7	216,2	3 (жидкость)
33	толуол	C_7H_8	3931,0	42,7	4	3771,9	3012	3.2/3.2	110,6	320,6	3 (жидкость)
34	метилцикло- гексан	C_7H_{14}	4556,9	46,5	-4	4293,0	3012	3.2/3.2	101,0	299,1	3 (жидкость)
35	2,3- диметилпента н	C_7H_{16}	4755,0	47,6	-8	4490,0	—	3.2/3.2	89,5	264,6	3 (жидкость)
36	2,4- диметилпен- тан	C_7H_{16}	4758,0	47,6	-12	4487,0	—	3.2/3.2	80,5	247,1	3 (жидкость)
37	2,2,3- триметилбу- тан	C_7H_{16}	4759,0	47,6	-14	4484,0	—	3.2/3.2	80,8	258,3	3 (жидкость)
38	н-гептан	C_7H_{16}	4761,7	47,6	-4	4501,0	3012	3.2/3.2	98,4	277,0	3 (жидкость)
39	2- метилгексан	C_7H_{16}	4759,0	47,6	-8	4494,0	—	3.2/3.2	90,0	257,9	3 (жидкость)
40	п- ксилол	C_8H_{10}	4573,0	43,1	26	4375,0	3012; 3013	3.3/3.3	138,3 5	344,4	3 (жидкость)
41	этилбензол	C_8H_{10}	4587,9	43,3	20	4386,9	3012	3.2/3.2	136,1	346,4	3 (жидкость)
42	о-ксилол	C_8H_{10}	4573,1	43,1	31	4376,0	3012; 3013	3.3/3.3	144,4 1	358,3	3 (жидкость)

№ п/ п	Название вещества	Брутто- формула	$e_{\text{хим}}$		Твсп, °С	$Q_{\text{н}}$, кДж/моль [12]	Классификаци онный шифр груза	Класс и подкласс опасности по ГОСТ 19433- 88/ Предлагаемый класс опасности	$T_{\text{кип}}$, °С	$T_{\text{кр}}$, °С	Категория [45]
			Значение, кДж/моль	Значение, МДж/кг							
43	этилциклогексан	C_8H_{16}	5205,9	46,5	18	4911,0	—	3.2/3.2	129,4	336,0	3 (жидкость)
44	2,2,4-триметилпентан	C_8H_{18}	5413,0	47,5	-9	5100,0	—	3.2/3.2	99,2	271,1	3 (жидкость)
45	2,4-диметилгексан	C_8H_{18}	5411,0	47,5	5	5105,0	—	3.2/3.2	109,4	282,0	3 (жидкость)
46	2,2,3-триметилпентан	C_8H_{18}	5416,0	47,5	5	5104,0	—	3.2/3.2	109,8	294,0	3 (жидкость)
47	п-октан	C_8H_{18}	5413,1	47,5	12	5116,0	3012	3.2/3.2	125,7	296,2	3 (жидкость)
48	2,3-диметилгексан	C_8H_{18}	5416,0	47,5	9	5111,0	—	3.2/3.2	115	293,0	3 (жидкость)
49	2-метил-3-этилпентан	C_8H_{18}	5420,0	47,5	9	5113,0	—	3.2/3.2	115,6	295,0	3 (жидкость)
50	кумол	C_9H_{12}	5233,0	43,6	37	5268,1	3013	3.3/3.3	152,4	362,7	3 (жидкость)
51	1,3,5-триметилбензол	C_9H_{12}	5213,0	43,4	44	4993,0	3013	3.3/3.3	165,0	370,5	3 (жидкость)
52	н-пропилбензол	C_9H_{12}	5249,1	43,7	47	4996,9	3013	3.3/3.3	159,0	365,6	3 (жидкость)
53	1-метил-2-этилбензол	C_9H_{12}	5226,0	43,6	41	4993,0	—	3.3/3.3	165,2	380,0	3 (жидкость)

№ п/ п	Название вещества	Брутто- формула	$e_{\text{хим}}$		Т _{всп} , °С	Q_n , кДж/моль [12]	Классификаци онный шифр груза	Класс и подкласс опасности по ГОСТ 19433- 88/ Предлагаемый класс опасности	Т _{кип} , °С	Т _{кр} , °С	Категория [45]
			Значение, кДж/моль	Значение, МДж/кг							
54	1,2,3- триметилбенз ол	C ₉ H ₁₂	5216,0	43,5	44	4993,0	3012	3.3/3.3	176,1	395,0	3 (жидкость)
55	1-метил-4- этилбензол	C ₉ H ₁₂	5222,0	43,5	39	4993,0	–	3.3/3.3	162,0	363,0	3 (жидкость)
56	1,2,4- триметилбенз ол	C ₉ H ₁₂	5211,0	43,4	48	4993,0	–	3.3/3.3	169,0	381,2	3 (жидкость)
57	1-метил-3- этилбензол	C ₉ H ₁₂	5222,0	43,5	38	4993,0	–	3.3/3.3	161,3	363,0	3 (жидкость)
58	н- пропилцикло- гексан	C ₉ H ₁₈	5857,7	46,5	31	5525,0	–	3.3/3.3	155,8	–	3 (жидкость)
59	н-нонан	C ₉ H ₂₀	6064,9	47,4	31	5731,0	–	3.3/3.3	150,8	322,8	3 (жидкость)
60	нафталин	C ₁₀ H ₈	5255,0	41,1	80	5050,0	4113	4.1/4.1	218,0	469,0	3 (крист.)
61	н- бутилбензол	C ₁₀ H ₁₄	5892,0	44,0	60	5608,9	3013	3.3/3.3	183,5	386,1	3 (жидкость)
62	н- бутилцикло- гексан	C ₁₀ H ₂₀	6511,5	46,5	48	6134,0	–	3.3/3.3	180,9	–	3 (жидкость)
63	н-декан	C ₁₀ H ₂₂	6716,8	47,3	47	6346,0	3013	3.3/3.3	174,0	346,1	3 (жидкость)
64	пентаметил- бензол	C ₁₁ H ₁₆	6516,0	44,0	93	6224,6	–	9.1/9.1	232,0	–	3 (жидкость)
65	н-ундекан	C ₁₁ H ₂₄	7376,9	47,3	62	6960,0	–	9.1/9.1	195,9	367,0	3 (жидкость)
66	н-додекан	C ₁₂ H ₂₆	8029,4	47,2	71	7575,0	–	9.1/9.1	216,3	386,0	3 (жидкость)

№ п/ п	Название вещества	Брутто- формула	$e_{\text{хим}}$		Твсп, °С	$Q_{\text{н}}$, кДж/моль [12]	Классификаци онный шифр груза	Класс и подкласс опасности по ГОСТ 19433- 88/ Предлагаемый класс опасности	$T_{\text{кип}}$, °С	$T_{\text{кр}}$, °С	Категория [45]
			Значение, кДж/моль	Значение, МДж/кг							
67	н-тридекан	$\text{C}_{13}\text{H}_{28}$	8682,0	47,2	79	8190,0	—	9.1/9.1	235,4	404,0	3 (жидкость)
68	1,1- дифенилэтан	$\text{C}_{14}\text{H}_{14}$	7665,9	42,1	129	7330,0	—	-/9.1	285,8	—	3 (жидкость)
69	н-тетрадекан	$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$	9334,5	47,1	103	8804,0	—	-/9.1	253,6	422	3 (жидкость)
70	н-пентадекан	$\text{C}_{15}\text{H}_{32}$	9984,8	47,1	115	9419,0	—	-/9.1	270,6	437	3 (жидкость)
71	н-гексадекан	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	10639,7	49,7	128	10034,0	—	-/9.1	286,8	452	3 (жидкость)
72	н-октадекан	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$	11937,4	47,0	147	11263,0	—	9.2/9.2	317,4	477	3(крист. вещество)
73	трифенилмет ан	$\text{C}_{19}\text{H}_{16}$	10109,2	41,4	160,3	9660,0	—	9.2/9.2	359,0	—	3(крист. вещество)

Таблица Б2 – Исходные данные и результаты расчета физической и химической эксергии самовозгорающихся грузов

№ п/п	Наименование материала	Ср, кДж/(кг*К)	ρ, кг/м ³	λ, Вт/(м ·К)	Е, кДж/моль	Т _{нач} , К	Т _{тл} , К	Т _{св} , К	Физическая эксергия, кДж/кг		e _{хим} , Мдж/кг
									при Т ₀ =Т _{нач} Т= Т _{тл}	при Т ₀ =Т _{нач} Т= Т _{св}	
1	Травяная мука	2,3	400	0,16	61,0	285	467	763	94,8	453,9	18,36
2	Опилки древесные	2,5	250	0,09	51,0	263	503	593	173,7	290,4	21,9
3	Торф	2,0	170	0,05	81,0	322	460	678	46,6	233,1	
4	Крилевая мука	1,5	670	0,10	46,0	237					
5	Рыбная мука	1,7	830	0,14	41,0	220		758		451,9	27,92
6	Хлопок	1,5	80	0,04	129,0	369	478	680	20,5	129,0	22,98
7	Костная мука	0,8	660	0,14	50,7	278					24,50
8	ДВП	1,4	270	0,05	101,0	331		633		122,4	30,66
9	Гетинакс	1,4	540	0,23	55,0	293		753		260,5	30,66
10	Сено	0,8	70	0,05	179,1	393	477	763	6,3	87,4	18,36
11	Шламовая мука	1,6		0,055	66,6	289		735		273,2	21,95
12	Ржаная мука	1,1	655	0,152	88,1	353	598	723	61,9	122,8	21,95
13	Дрожжи кормовые	0,9	300	0,066	256,2	418	585	773	24,4	90,2	21,95
14	Мука кормовая	1,2	600	0,145		310	443	743	26,8	194,4	17,11
15	Дрожжи товарные влажность 8%	0,9		0,043	106,1	345	493	733	22,9	117,8	21,95
16	Дрожжи товарные влажность 15 %	1,0		0,054	92,3	332					21,95

Таблица Б3 – Исходные данные и результаты расчета теплоты сгорания и эксергии ТКО по фракциям

Фракция	Состав фракции	Элементный состав, %						Экспресс- анализ, %			$\epsilon_{\text{хим}}$, МДж/кг	$Q_{\text{н}}$, МДж/кг	$Q_{\text{в}}$, МДж/кг
		C	H	O	N	S	Cl	A	V	FC			
Бумажные отходы	Бумажные бланки	45,12	5,31	48,91	0,38	0,28		10,69	79,33	9,98	17,9	15,06	16,89
	Туалетная бумага	45,18	6,13	48,32	0,25	0,11		0,52	90,47	9,01	18,9	15,93	17,94
	Газеты	48,01	5,71	45,86	0,33	0,09		8,07	79,54	12,39	19,8	16,91	18,83
	Журналы	41,04	8,99	49,15	0,42	0,40		29,49	62,44	8,07	19,1	15,71	18,367
	Писчая бумага	43,66	5,84	50,16	0,16	0,18					17,9	14,93	16,88
	Картон	46,09	5,36	48,02	0,32	0,21		5,27	81,75	12,97	18,5	15,63	17,47
	Картонная коробка	48,97	6,14	44,52	0,21	0,16		7,22	83,95	8,82	20,5	17,51	19,53
	Печатная бумага	47,51	5,98	46,25	0,14	0,03	0,09	9,7	82,83	17,17	19,9	16,97	18,95
	Упаковочная бумага	46,92	5,92	46,74	0,22	0,09	0,1	12,2	85,88	14,12	19,5	16,58	18,55
Пластмассовые отходы	Полистирол	86,06	6,27	1,93	5,73			0,04	99,57	0,39	37,6	35,25	36,75
	Полиэтилен высокого давления	85,98	11,2	2,61	0,21				99,98	0,02	41,1	38,15	40,77
	Полиэтилен низкого давления	85,35	12,7	1,9	0,05	0,14		0,18	99,57	0,25	41,9	38,70	41,66
	Поливинилхлорид	38,34	4,47		0,23	0,61	56,35		94,93	5,07	22,9	19,22	20,32
	Полиэтилентетрафталат	63,01	4,27	32,69	0,04			0,09	90,44	9,47	25,2	23,12	24,17
	Полиэтилен	85,45	14,32		0,16	0,07		0,15	99,85		43,4	40,03	43,35
	Полипропилен	85,41	12,51	1,85	0,23			0,02	99,97	0,01	42,0	38,84	41,75
	Пластиковая упаковка	75,75	9,78	12	0,35	0,03	2,08	3,9	95,21	4,79	35,8	32,91	35,20
	Другие пластмассы	84,90	9,63	0,97	3,35	0,03	1,11	1,3	99,09	0,91	39,8	36,99	39,26
Резиновые отходы	Резина	77,72	10,12	7,42	0	2,66	2,08	8,36	84,77	6,86	33,0	30,37	32,25
	Шины	79,19	8,45	11,38	0,69	0,28		25,7	68,05	6,25	35,5	32,29	34,83
Древесные отходы	Дерево тополя	51,36	5,86	41	1,52	0,22		7,54	73,85	18,61	21,3	18,53	20,36
	Лист тополя	49,54	5,24	43,3	1,32	0,59		15,69	68,74	15,57	19,4	16,69	18,38
	Лист дуба	52,95	4,88	40,51	1,01	0,65		9,23	69,74	21,03	20,5	17,81	19,41
	Сосновая древесина	50,51	5,95	43,39	0,11	0,03		0,95	83,5	15,54	21,2	18,37	20,22
	Опилки	49,42	7,26	42,92	0,39	0,01		0,42	81	18,58	21,9	18,89	21,03
	Дерево	50,1	6,16	43,47	0,17	0,02	0,07	1	81,62	18,38	21,2	18,38	20,27

Фракция	Состав фракции	Элементный состав, %						Экспресс- анализ, %			ε _{хим} , МДж/кг	Q _н , МДж/кг	Q _в , МДж/кг
		C	H	O	N	S	Cl	A	V	FC			
Фракция	Древесная щепа	49,54	6,21	44,06	0,12	0,04	0,03	1,95	82,66	15,4	21,0	18,12	20,03
	Бамбук	50,46	6,32	42,73	0,22	0,1	0,16	0,69	81,03	18,27	21,4	18,54	20,47
	Листья	47,25	5,57	46,26	0,19	0,73		8,92	73,7	17,38	18,4	15,59	17,35
	Сосновые иглы	52,57	6,3	40,44	0,54	0,16					22,2	19,37	21,293
	Трава	46,91	5,89	46,3	0,7	0,21		7,44	74,12	18,43	19,4	16,53	18,36
	Марля	46,74	5,69	47,23	0,27	0,08		0,14	94,85	5,01	19,2	16,22	18,26
Отходы текстиля	Хлопчатобумажная ткань	56,49	5,87	33,3	3,52	0,18	0,65	3,09	78,71	18,21	23,9	20,90	22,98
	Шерсть	60,07	4,24	31,48	2,65	1,55		1,24	84,76	14	21,9	19,00	20,701
	Акриловые волокна	66,78	5,2	7,31	20,26	0,45		0,14	75,25	24,61	29,0	26,15	28,08
	Химические волокна	48,09	7,16	34,06	9,43	1,26					20,3	16,97	19,34
	Полиэфирная тафта	60,1	4,5	35,11	0,28	0,01		0,44	90,63	8,93	24,1	21,35	23,12
	Лавсан	62,16	4,14	33,12	0,29	0,28		0,49	88,6	10,91	24,3	21,58	23,267
	Текстиль	52,54	6,19	39,26	1,76	0,2	1,42	1,4	82,86	17,14	22,3	19,18	21,33
	Мука	42,78	6,19	48,39	2,48	0,15					18,1	13,95	17,11
Пищевые отходы	Рис	45,97	6,35	45,74	1,67	0,25		0,4	84,42	15,18	19,4	15,23	18,42
	Скорлупа арахиса	53,6	6,7	38,3	1,2	0,2					23,0	18,86	22,13
	Горох	42,13	5,88	48,62	3,14	0,22					17,5	13,41	16,49
	Лук	48,12	6,27	41,74	3,09	0,78					19,6	15,44	18,61
	Картофель	44,41	5,33	47,82	1,81	0,64		3,15	79,52	17,33	17,3	13,22	16,18
	Шпинат	47,58	6,48	43,93	1,57	0,43		15,97	65,26	18,77	19,9	15,74	18,96
	Сельдерей	38,46	6,16	54,52	0,21	0,65		14,58	65,36	20,06	15,2	11,02	14,17
	Капуста	43,37	5,93	48,64	1,25	0,81		18,44	63,97	17,59	17,0	12,87	15,97
	Мандариновая кожура	48,74	5,92	43,83	1,43	0,08		2,91	76,49	20,6	20,4	16,38	19,47
	Банановая кожура	35,8	4,79	54,93	4,37	0,1		10,85	64,38	24,77	14,1	10,17	13,00
	Апельсиновая корка	43,93	5,64	48,93	1,34	0,07	0,08	2,44	76,27	21,29	18,1	14,09	17,12
	Кости животных	52,92	8,83	25,63	2,29	0,32					25,0	20,75	24,50
	Кости рыбы	63,87	8,01	19,08	8,39	0,64		39,82	56,25	3,93	28,7	24,35	27,92
	Прочие пищевые отходы	51,54	7,14	37,06	3,13	0,21	0,92	6,1	82,11	18	22,8	18,57	21,95
Прочие	Другие горючие материалы	70,48	8,79	17,53	1,63	0,83	0,74	20,4	90,83	9,17	31,4	28,68	30,66

Таблица БЗ – Определение класса опасности отходов с учетом значения эксергии

№ п/п	Категория	Эксергия, МДж/кг	Код по ФККО	Наименование вида отхода	Класс опасности	Предлагаемый класс опасности
1.	пластмасса	39,7	3 35 151 31 20 3	брак гетинакса при его производстве	3	3
2.	печатная бумага, картон	17,9	4 05 810 01 29 4	отходы бумаги и картона, содержащие отходы фотобумаги	4	4
3.	дерево	21,9	3 05 313 12 43 4	опилки разнородной древесины (например, содержащие опилки древесно-стружечных и/или древесно-волоконистых плит)	4	4
4.	дерево	21,9	3 05 313 31 20 4	опилки и стружка разнородной древесины (например, содержащие опилки и стружку древесно-стружечных и/или древесно-волоконистых плит)	4	4
5.	текстиль	22,3	7 41 281 11 20 4	отходы разнородных текстильных материалов при разборке мягкой мебели	4	4
6.	текстиль	22,3	9 21 521 71 60 4	текстильные материалы сидений автомобильных в смеси, утратившие потребительские свойства	4	4
7.	пластмасса	22,7	4 35 100 02 29 4	отходы поливинилхлорида в виде пленки и изделий из нее незагрязненные	4	4
8.	пластмасса	22,7	4 35 100 03 51 4	отходы поливинилхлорида в виде изделий или лома изделий незагрязненные	4	4
9.	текстиль	23,9	3 02 119 11 61 5	отходы низких стандартов (включая очесы, прядильные отходы и расщипанное сырье) при подготовке и прядении текстильных волокон из хлопка	4	4
10.	мешки бумажные	23,9	4 05 212 11 60 4	отходы бумаги и мешки бумажные с полиэтиленовым слоем незагрязненные	4	4

№ п/п	Категория	Эксергия, МДж/кг	Код по ФККО	Наименование вида отхода	Класс опасности	Предлагаемый класс опасности
11.	дерево	27,8	3 05 313 11 43 4	опилки древесно-стружечных и/или древесно-волоконистых плит	4	4
12.	дерево	31,8	3 05 312 21 43 4	опилки фанеры, содержащей связующие смолы	4	4
13.	пластмасса, загрязненная пищевыми отходами	32,8	4 38 127 17 51 4	упаковка полипропиленовая, загрязненная рыбной мукой и минеральными кормами	4	4
14.	резина	33,0	3 31 192 11 20 4	отходы прокладок из листовой резины при их производстве	4	4
15.	резина	33,0	4 31 112 31 52 4	шланги и/или рукава из вулканизированной резины с нитяным каркасом, утратившие потребительские свойства, незагрязненные	4	4
16.	резина	33,0	4 31 141 21 51 4	спецодежда из резины, утратившая потребительские свойства, незагрязненная	4	
17.	резина	33,0	4 31 199 81 72 4	отходы изделий технического назначения из вулканизированной резины незагрязненные в смеси	4	4
18.	резина	33,0	9 22 527 11 20 4	отходы изделий из резины при ремонте и обслуживании железнодорожного подвижного состава	4	4
19.	резина	35,4	3 31 211 11 29 4	отходы вулканизированной резины при производстве автомобильных покрышек	4	4
20.	резина	35,4	9 21 112 11 52 4	шины резиновые сплошные или полупневматические отработанные с металлическим кордом	4	4
21.	резина	35,4	9 21 110 01 50 4	шины пневматические автомобильные отработанные	4	4
22.	резина	35,4	9 21 112 11 52 4	шины резиновые сплошные или полупневматические отработанные с металлическим кордом	4	4
23.	резина	35,4	9 23 111 11 52 4	шины и покрышки пневматические для использования в авиации отработанные	4	4

№ п/п	Категория	Эксергия, МДж/кг	Код по ФККО	Наименование вида отхода	Класс опасности	Предлагаемый класс опасности
24.	пластмасса	39,7	4 35 100 01 20 4	отходы пенопласта на основе поливинилхлорида незагрязненные	4	4
25.	пластмасса	39,7	8 27 990 01 72 4	смесь незагрязненных строительных материалов на основе полимеров, содержащая поливинилхлорид	4	4
26.	пластмасса	39,7	4 34 241 11 29 4	изделия из гетинакса, утратившие потребительские свойства	4	4
27.	бумага для письма	17,9	4 05 122 02 60 5	отходы бумаги и картона от канцелярской деятельности и делопроизводства	5	4
28.	пищевые	18,1	4 01 711 11 39 5	влажные корма для животных, утратившие потребительские свойства	5	5
29.	картон	18,5	3 06 121 41 29 5	отходы картона от резки и штамповки	5	4
30.	мешки бумажные	19,0	4 05 181 01 60 5	мешки бумажные невлагопрочные (без битумной пропитки, прослойки и армированных слоев), утратившие потребительские свойства, незагрязненные	5	4
31.	журналы	19,1	4 05 122 01 60 5	использованные книги, журналы, брошюры, проспекты, каталоги	5	5
32.	древесная зелень	19,4	1 52 110 03 23 5	зелень древесная	5	5
33.	бумага	19,8	3 06 262 11 60 5	отходы бумажные при производстве туалетной бумаги и бумажных салфеток	5	5
34.	газеты	19,8	4 05 122 03 60 5	отходы газет	5	5
35.	текстиль	20,3	4 34 181 21 51 4	обрезки ленты полиэстеровой, утратившей потребительские свойства	5	5
36.	упаковка из бумаги, картона	20,5	4 05 811 01 60 5	отходы упаковочных материалов из бумаги и картона несортированные незагрязненные	5	5
37.	упаковка из бумаги, картона	20,5	4 05 189 11 60 5	упаковка из бумаги и/или картона в смеси незагрязненная	5	4
38.	дерево	21,0	3 05 220 03 21 5	щепа натуральной чистой древесины	5	5
39.	дерево	21,9	3 05 230 01 43 5	опилки натуральной чистой древесины	5	5

№ п/п	Категория	Эксергия, МДж/кг	Код по ФККО	Наименование вида отхода	Класс опасности	Предлагаемый класс опасности
40.	дерево	21,9	3 05 291 11 20 5	опилки и стружка натуральной чистой древесины несортированные	5	5
41.	дерево	21,9	3 05 319 21 49 5	опилки и пыль при обрезке листов фанеры и шпона	5	4
42.	пищевые	22,8	3 01 179 04 10 5	дрожжи хлебопекарные отработанные	5	5
43.	пищевые	22,8	3 01 240 07 39 5	дрожжи пивные отработанные	5	5
44.	пищевые	22,8	4 01 711 21 29 5	сухие корма для животных, утратившие потребительские свойства	5	4
45.	пищевые	22,8	4 01 721 11 52 5	корма для животных в разнородной упаковке, утратившие потребительские свойства	5	4
46.	текстиль	23,9	3 02 111 02 23 5	волокно хлопковое регенерированное	5	4
47.	резина	33,0	3 31 151 02 20 5	обрезки вулканизированной резины	5	4
48.	резина	33,0	4 31 110 01 51 5	трубы, трубки из вулканизированной резины, утратившие потребительские свойства, незагрязненные	5	4
49.	резина	33,0	4 31 110 02 51 5	шланги и рукава из вулканизированной резины, утратившие потребительские свойства, незагрязненные	5	4
50.	резина	33,0	4 31 199 91 72 5	отходы прочих изделий из вулканизированной резины незагрязненные в смеси	5	4
51.	резина	33,0	7 43 732 01 49 5	отходы гранулированной резины при переработке отработанных шин	5	4
52.	резина	33,0	4 31 141 11 20 5	резиновые перчатки, утратившие потребительские свойства, незагрязненные практически неопасные	5	4
53.	пластмасса	37,5	4 34 141 02 51 5	отходы пленки полистирола и изделий из нее незагрязненные	5	4
54.	пластмасса	37,5	4 34 141 03 51 5	лом и отходы изделий из полистирола незагрязненные	5	4

№ п/п	Категория	Эксергия, МДж/кг	Код по ФККО	Наименование вида отхода	Класс опасности	Предлагаемый класс опасности
55.	пластмасса	39,7	4 34 141 01 20 5	отходы пенопласта на основе полистирола незагрязненные	5	4
56.	пластмасса	42,0	3 35 229 12 20 5	брак изделий из полипропилена при их производстве практически неопасный	5	4
57.	пластмасса	42,0	4 34 120 02 29 5	отходы пленки полипропилена и изделий из нее незагрязненные	5	4
58.	пластмасса	42,0	4 34 120 03 51 5	лом и отходы изделий из полипропилена незагрязненные (кроме тары)	5	4
59.	пластмасса	42,0	4 34 120 04 51 5	отходы полипропиленовой тары незагрязненной	5	4

АВАРИЙНАЯ КАРТОЧКА N

Номер ООН	Наименование груза	Классификационный шифр
1972	Метан охлажденный жидкий или газ природный охлажденный жидкий с высоким содержанием метана	3012

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ВИДЫ ОПАСНОСТИ

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА	При нормальных условиях – газ. При температуре ниже -162°C – криогенная жидкость без цвета и запаха, состоящая в основном из метана, которая может содержать небольшие количества этана, пропана, бутана, азота и других компонентов, присутствующих в природном газе. При повышении температуры – бесцветный газ. Без запаха. При испарении объем увеличивается в 600 раз. По мере смешения газовой фракции метана с воздухом и выравнивания его температуры плотность метана уменьшается в 2,6 раза: с $1,86 \text{ кг/м}^3$ в момент испарения ($t = -162^{\circ}\text{C}$) до $0,72 \text{ кг/м}^3$ ($t = 20^{\circ}\text{C}$).
ВЗРЫВО-ПОЖАРО-ОПАСНОСТЬ	И Горючий. Воспламеняются от искр и пламени. С воздухом могут образовывать взрывоопасные смеси. Баллоны (емкости) могут взрываться при нагревании. В порожних емкостях могут образовываться взрывоопасные смеси. Концентрационные пределы распространения пламени 5,28–14,1 % об. Относятся к веществам с высокой эксергией (класс Э3). Возможно каскадное развитие техногенный пожаров.
ОПАСНОСТЬ ДЛЯ ЧЕЛОВЕКА	В больших концентрациях опасны при вдыхании. Головокружение, удушье, головная боль. Соприкосновение с охлажденным газом вызывает обморожение. При пожаре и взрывах возможны ожоги и травмы.

СРЕДСТВА ИНДИВИДУАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ

Для химразведки и руководителя работ – ПДУ-3 (в течение 20 минут). Для аварийных бригад – изолирующий противогаз ИП-4М и спецодежда. При возгорании – огнезащитный костюм в комплекте с самоспасателем СПИ-20.

НЕОБХОДИМЫЕ ДЕЙСТВИЯ

ОБЩЕГО ХАРАКТЕРА	Отвести вагон в безопасное место. В радиусе не менее 300 м изолировать опасные факторы. По результатам химразведки откорректировать указанное расстояние. Людей, не занятых в ликвидации аварии вывести из опасной зоны. Находиться с наветренной стороны. Соблюдать меры пожарной безопасности. Не курить. Устранить источники огня и искр. В опасную зону входить в защитных средствах. Пострадавшим оказать первую помощь.
ПРИ УТЕЧКЕ, РАЗЛИВЕ И РОССЫПИ	Вызвать газоспасательную службу района. Сообщить в органы санитарно-эпидемиологического надзора. В опасной зоне прекратить маневровые работы и движение поездов. Устранить течь с соблюдением мер предосторожности. При интенсивной утечке дать газу полностью выйти. Изолировать район, пока газ не рассеется. Не прикасаться к пролитому веществу.
ПРИ ПОЖАРЕ	Не приближаться к емкостям. Охлаждать емкости водой с максимального расстояния. Не прекращать горения при наличии утечки. Производить тушение разлива газа с наветренной стороны с максимального расстояния тонкораспыленной водой, порошковыми составами, пеной низкой и средней кратности. Защищать находящиеся в опасной зоне цистерны и соседние объекты, создавая водяные завесы. Во время ликвидации аварии в опасной зоне контролировать содержание газа. Если концентрация приближается к нижнему концентрационному пределу распространения пламени (5,28 % об.), необходимо снизить концентрацию метана, подавая распыленную воду, инертный газ. После полного освобождения цистерны от газа необходимо провести ее дегазацию.

НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ

Место разлива покрыть воздушно-механической пеной, инертным материалом.

МЕРЫ ПЕРВОЙ ПОМОЩИ

Вызвать скорую помощь. Свежий воздух, покой, тепло, чистая одежда. Глаза и кожу промыть водой. При ожоге - асептическая повязка.

Приложение Г

Пример построения причинно-следственной модели прогнозирования тушения пожара для объектов железнодорожного транспорта

Процесс тушения пожара характеризуется состояниями:

a_1 – пожар не локализован; a_2 – пожар локализован; a_3 – ликвидировано открытое горение; a_4 – пожар ликвидирован.

Возможные ситуации, отражающие тушение пожара, обозначены s_1, s_2, s_3 и т.д.

Действия, которые могут быть предприняты в конкретных ситуациях:

- m_1 – увеличить количество СиС на пожаре;
- m_2 – сохранить имеющееся количество СиС на пожаре;
- m_3 – уменьшить количество СиС на пожаре;
- m_4 – приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения;
- m_5 – вернуть СиС, находящиеся в пути следования к месту пожара;
- m_6 – не дожидаясь прибытия, вызвать дополнительное количество СиС;
- m_7 – увеличить ранг пожара;
- m_8 – уменьшить ранг пожара;
- m_9 – увеличить количество СиС на пожаре, доложить старшему должностному лицу гарнизона об обстановке на пожаре и принятых решениях;
- m_{10} – создать оперативный штаб пожаротушения;
- m_{11} – временно прекратить действия по тушению пожара, использовать имеющиеся СиС для спасения людей;
- m_{12} – объявление ЧС.

Пусть символ m_t отражает текущие действия, которые должны быть исполнены на данном шаге прогнозирования, символ p_t определяет текущий «прогнозирующий параметр» (прогноз), а символ $:=$ операцию присвоения (выполнения).

Для одного случая может быть построено четыре прогнозирующего текста. Первые три отражают тушение пожара за 30 предыдущих минут. При этом каждый из них действителен только в течение 30 минут. Затем старший текст перестает существовать и возникает новый. На основе этих трех текстов может быть построен обобщающий их прогнозирующий текст, необходимый для прогнозирования пожара конкретного объекта. При этом представляется возможным учесть взаимосвязь эффективности тушения пожара и применения СиС.

Если горит не один объект, то количество текстов возрастает пропорционально их числу. Выстраивается некоторая иерархическая структура прогнозирующих текстов. На первом уровне прогноз по пожарам отдельных объектов – при одновременном горении нескольких объектов на одной площадке. Второй уровень – прогноз развития пожара одного объекта. Третий уровень – прогноз пожара различных объектов. Возможны следующие варианты предложений и соответствующих им прогнозирующих текстов.

Первое предложение. Текст отсутствует. Есть исполняемое действие: сформулировать текущую ситуацию s_t .

Второе предложение. Надо увеличить количество СиС, доложить старшему должностному лицу гарнизона пожарной охраны, что в следующий раз пожар не будет локализован, если текущая ситуация совпадет с s_1 . (Ситуация s_1 : в настоящий момент пожар не локализован, и 10 минут назад пожар не локализован). Второе предложение имеет следующую структуру:

$\langle \text{ПСД} \rangle$ и $\langle \text{ПСД} \rangle$, ЧТО $\langle \text{ПСД} \rangle$, ЕСЛИ $\langle \text{ПСД} \rangle$,

где ПСД- структура предложения (подлежащее, сказуемое, дополнение).

Его можно выразить в виде трех предложений:

- (в следующий раз) пожар останется не локализован, ЕСЛИ текущая ситуация совпадет с s_1 ,
- увеличить количество СиС, ЕСЛИ текущая ситуация совпадает с s_1 ,
- доложить старшему должностному лицу гарнизона пожарной охраны,

ЕСЛИ текущая ситуация совпадает с s_1 ,

В символьной записи $p_\tau := a_1, m_\tau := m_9$, ЕСЛИ $s_\tau = s_1$.

Третье предложение. Надо сохранить имеющееся количество СиС, потому что в следующий раз пожар будет локализован, если текущая ситуация совпадет с ситуацией s_2 . (Ситуация s_2 : в настоящий момент пожар локализован, и 10 минут назад пожар не локализован). Третье предложение имеет следующую структуру:

$\langle \text{ПСД} \rangle$, ПОТОМУ ЧТО $\langle \text{ПСД} \rangle$, ЕСЛИ $\langle \text{ПСД} \rangle$,

которую можно выразить в виде двух предложений:

– (в следующий раз) пожар будет локализован, ЕСЛИ текущая ситуация совпадает с s_2 ,

– имеющихся СиС достаточно, ЕСЛИ текущая ситуация совпадает с s_2 .

В символьной записи $p_\tau := a_2, m_\tau := m_2$, ЕСЛИ $s_\tau = s_2$.

Четвертое предложение. Надо уменьшить количество СиС, потому что в следующий раз будет ликвидировано открытое горение, если текущая ситуация совпадает с ситуацией s_3 . (Ситуация s_3 : в настоящий момент ликвидировано открытое горение, и 10 минут назад пожар не локализован). Предложение имеет следующую структуру:

$\langle \text{ПСД} \rangle$, ПОТОМУ ЧТО $\langle \text{ПСД} \rangle$, ЕСЛИ $\langle \text{ПСД} \rangle$.

Его можно выразить в виде двух предложений:

– (в следующий раз) будет ликвидировано открытое горение, ЕСЛИ текущая ситуация совпадает с s_3 ,

– уменьшить количество СиС, ЕСЛИ текущая ситуация совпадает с s_3 .

В символьной записи $p_\tau := a_3, m_\tau := m_3$, ЕСЛИ $s_\tau = s_3$.

Аналогично могут быть представлены следующие предложения.

Пятое предложение. Надо приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения, потому что в следующий раз пожар будет ликвидирован, если текущая ситуация совпадает с ситуацией s_4 .

В символьной записи $p_\tau := a_4, m_\tau := m_4$, ЕСЛИ $s_\tau = s_4$.

Шестое предложение. Надо сохранить имеющееся количество СиС, потому что в следующий раз пожар будет локализован, если текущая ситуация совпадает с ситуацией s_5 .

В символьной записи $p_\tau := a_2, m_\tau := m_2, \text{ ЕСЛИ } s_\tau = s_5$.

Седьмое предложение. Надо уменьшить количество СиС, потому что в следующий раз будет ликвидировано открытое горение, если текущая ситуация совпадает с ситуацией s_6 .

В символьной записи $p_\tau := a_3, m_\tau := m_3, \text{ ЕСЛИ } s_\tau = s_6$.

Восьмое предложение. Надо приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения, потому что в следующий раз пожар будет ликвидирован, если текущая ситуация совпадает с ситуацией s_7 .

В символьной записи $p_\tau := a_4, m_\tau := m_4, \text{ ЕСЛИ } s_\tau = s_7$.

Девятое предложение. Надо уменьшить количество СиС, потому что в следующий раз будет ликвидировано открытое горение, если текущая ситуация совпадает с ситуацией s_8 .

В символьной записи $p_\tau := a_3, m_\tau := m_3, \text{ ЕСЛИ } s_\tau = s_8$.

Десятое предложение. Надо приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения, потому что в следующий раз пожар будет ликвидирован, если текущая ситуация совпадает с ситуацией s_9 .

В символьной записи $p_\tau := a_4, m_\tau := m_4, \text{ ЕСЛИ } s_\tau = s_9$.

Каждое предложение предполагает соответствующие действия руководителя тушения пожара (РТП), которые сведены в Таблицу Г.1. На каждом шаге анализа таблицы проверяется совпадение текущей ситуации с одной из возможных (с одним из предложений текста). Если ситуации совпали, выполняется текст предложения. В противном случае анализируется следующее предложение текста.

Таблица Г.1 – Построение детерминированного текста

Действия РТП		
Сформулировать текущую ситуацию s_{τ}		
Проверить совпадение ситуаций s_{τ} и s_1 .	Увеличить количество СиС	Доложить старшему должностному лицу гарнизона
Проверить совпадение ситуаций s_{τ} и S_2 .	Сохранить имеющееся количество СиС	
Проверить совпадение ситуаций s_{τ} и S_3 .	Сохранить имеющееся количество СиС	
Проверить совпадение ситуаций s_{τ} и S_4 .	Приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения	
Проверить совпадение ситуаций s_{τ} и S_5 .	Сохранить имеющееся количество СиС	
Проверить совпадение ситуаций s_{τ} и S_6 .	Уменьшить количество СиС	
Проверить совпадение ситуаций s_{τ} и S_7 .	Приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения	
Проверить совпадение ситуаций s_{τ} и S_8 .	Уменьшить количество СиС	
Проверить совпадение ситуаций s_{τ} и S_9 .	Приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения	

Представленные примеры могут быть расширены до размеров необходимых для практики прогнозирования. Построение предложений с учетом модальностей приведено в Таблице Г.2.

Таблица Г.2 – Вариации модальностей в предложениях прогнозирующего текста

№ предложения	Текст предложения на естественном языке
	Сомнения в выборе комплекса действий: различные возможности в левой части прогнозирующего текста
3	<i>Вероятно</i> , надо сохранить имеющееся количество СиС, потому что в следующий раз пожар будет локализован, если текущая ситуация совпадет с ситуацией S_2 .

№ предло- жения	Текст предложения на естественном языке
	<i>Наиболее вероятно</i> надо сохранить имеющееся количество СиС, потому что в следующий раз пожар будет локализован, если текущая ситуация совпадет с ситуацией S_2 .
5	<i>Возможно</i> приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения, потому что в следующий раз пожар будет ликвидирован, если текущая ситуация совпадает с ситуацией S_4 .
	<i>Естественно</i> приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения, потому что в следующий раз пожар будет ликвидирован, если текущая ситуация совпадает с ситуацией S_4 .
Сомнения в выборе прогноза: различные возможности в левой части прогнозирующего текста	
2	<i>Вероятно</i> , в следующий раз пожар не будет локализован и надо обязательно доложить старшему должностному лицу гарнизона пожарной охраны, если текущая ситуация совпадет с s_1 .
	<i>Вряд ли</i> в следующий раз пожар не будет локализован и надо доложить диспетчеру, ЕСЛИ текущая ситуация совпадет с s_1 .
	<i>Мало вероятно</i> , что в следующий раз пожар не будет локализован и надо увеличить количество СиС, ЕСЛИ текущая ситуация совпадет с s_1 .
5	<i>Возможно</i> , в следующий раз пожар будет ликвидирован и сейчас надо приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения, ЕСЛИ текущая ситуация совпадает с ситуацией s_4 .
	Наверняка в следующий раз пожар будет ликвидирован и поэтому сейчас надо приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения, ЕСЛИ текущая ситуация совпадает с ситуацией s_4 .
Сомнения в адекватности соответствия множества событий множеству состояний: различные возможности в правой части прогнозирующего текста	
6	Надо сохранить имеющееся количество СиС для локализации пожара в следующий раз, ЕСЛИ текущая ситуация <i>близка</i> к ситуации s_5 .
	Надо сохранить имеющееся количество СиС для локализации пожара в следующий раз, ЕСЛИ текущая ситуация <i>похожа</i> на ситуацию s_5 .
	Надо сохранить имеющееся количество СиС для локализации пожара в следующий раз, ЕСЛИ текущая ситуация <i>только напоминает</i> ситуацию s_5 .
Сомнение более сложного вида: различные возможности в правой части и левой части прогнозирующего текста	
8	<i>Вероятнее всего</i> в следующий раз пожар будет ликвидирован, поэтому <i>следовало бы</i> приступить к сбору СиС и возвращению к месту постоянного расположения, ЕСЛИ текущая ситуация совпадает с ситуацией s_7 .
3	<i>Наверяд ли</i> надо ожидать в следующий раз локализации пожара, поэтому <i>неправильно</i> сохранить имеющееся количество СиС, ЕСЛИ все-таки текущая ситуация <i>не совсем разительно</i> отличается от ситуации s_2 .

Утверждаю
 Заместитель начальника ФГБОУ ВО
 Санкт-Петербургский
 университет ГПС МЧС России
 по научной работе
 доктор политических наук
 Т.В. Мусяенко
 «30» ноября 2019 г.



Акт

**о внедрении результатов диссертационного исследования
 Людмилы Анатольевны Королевой на тему «Концептуальные основы
 обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных
 грузов» по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность
 (транспорт)**

в образовательную и научно-исследовательскую деятельность ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Комиссия в составе:

председателя - начальника кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, доцента, подполковника внутренней службы М.Р. Сытдыкова;

членов комиссии:

доцента кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, полковника внутренней службы А.М. Филиановского,

доцента кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук, доцента А.А. Печурина,

доцента кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства, кандидата технических наук А.В. Скрипка,

настоящим подтверждает, что результаты диссертационного исследования Л.А. Королевой, а именно:

1. Условия каскадного развития техногенных пожаров, определенные на основании проведенного анализа тенденций развития железнодорожного транспорта, выявленных противоречий в системе обеспечения пожарной безопасности и позволяющие обосновать необходимость разработки и реализации новой концепции обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов.

2. Метод управления пожарными рисками на железнодорожном транспорте, включающий:

- методику комплексного технологического аудирования для управления пожарной безопасностью объектов железнодорожного транспорта;
- процедуру комплексного технологического аудирования;
- введение эксергетического анализа в процедуру аудирования.

3. Эксергетический анализ как инструмент прогнозирования и управления пожарными рисками при перевозках пожароопасных грузов на железнодорожном транспорте, включающий:

- обоснованный методический инструмент для применения эксергетического анализа при комплексной энергоэкологической оценке и определении

пожарной опасности грузовых перевозок железнодорожного транспорта и методику для расчета и прогнозирования эксергии;

- зависимости между эксергией и показателями пожарной опасности грузов железнодорожного транспорта;

- теоретическое обоснование возможности учета теплофизических условий возникновения горения через эксергию и введение эксергетического показателя в оценку склонности грузов к самовозгоранию;

- методику классификации пожароопасных грузов с учетом эксергетического показателя;

- расчетно-экспериментальные исследования эксергии с определением условий и закономерностей ее изменения применительно к пожароопасным грузам железнодорожного транспорта.

4. Способ минимизации пожарного риска, основанный на применении инновационных технических решений для предотвращения и тушения техногенных пожаров при железнодорожных перевозках нефтепродуктов, включающий:

- конструкцию и научно-техническое обоснование применения адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя и огнегасительной базальтовой сетки для предотвращения и тушения пожаров, снижения риска их каскадного развития и обеспечения экологической безопасности при железнодорожных перевозках нефтепродуктов;

- результаты расчетно-аналитических исследований изменений пожарного риска с определением условий и закономерностей его снижения при применении адсорбционно-предохранительного клапана – огнепреградителя при железнодорожных перевозках нефтепродуктов.

5. Комплекс управленческих решений, основанный на моделировании ситуаций, возникающих при тушении пожаров на объектах железнодорожного транспорта в процессе организованного межведомственного взаимодействия, включающий:

- обоснование организации систем управления подразделениями Государственной противопожарной службы и ведомственной пожарной охраны железнодорожного транспорта в пределах единой методологии;

- классификацию нештатных ситуаций, возникающих в процессе функционирования подразделений, участвующих в ликвидации пожаров на объектах железнодорожного транспорта и разработанную ситуационную модель управления;

- единый подход к построению причинно-следственной модели прогнозирования тушения пожаров,

внедрены в образовательную и научно-исследовательскую деятельность ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России

Первый, второй, третий и четвертый научные результаты, полученные автором диссертации, используются при изучении темы «Классификация чрезвычайных ситуаций, аварий и катастроф. Причины возникновения и прогнозирование чрезвычайных ситуаций в техносфере, на промышленных предприятиях и транспорте» дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» (специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность», 40.05.03 «Судебная экспертиза», направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»)

Второй, третий, четвертый и пятый научные результаты используются при изучении темы «Основы теории управления техногенными рисками» дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» (специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность», 40.05.03 «Судебная экспертиза», направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»).

Пятый научный результат используется при рассмотрении темы «Аварийные подготовленность и реагирование на пожарный риск. Спасание людей при пожарах» дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» (специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность», 40.05.03 «Судебная экспертиза», 20.03.01 направление подготовки «Техносферная безопасность»).

Рассматриваемый результат представлен в монографии «Организация как объект исследования» (Королева, Л.А. Организация как объект исследования: монография / Л.А. Королева, В.Н. Веригин. – СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2016 – 396 с.) и используется в научно-исследовательской деятельности при оценке эффективности действий и разработке практических рекомендаций по совершенствованию Государственной противопожарной службы МЧС России.

Первый, второй, третий и четвертый научные результаты используются при изучении темы «Ограничения и перспективы развития в области современной теории и практики надежности и риска технических систем» дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск» (специальности 20.05.01 – «Пожарная безопасность», 40.05.03 «Судебная экспертиза», направление подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»).

Первый научный результат используется при изучении темы 8 «Эксплуатация ТС и особенности их использования» дисциплины «Устройство и эксплуатация транспортных средств» (специальность 40.05.03 «Судебная экспертиза»).

Третий результат используется при изучении темы «Неметаллические и композиционные материалы» дисциплин «Материаловедение», «Материаловедение и технология конструкционных материалов» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность», направление подготовки 27.03.03).

Пятый научный результат применяется при изучении темы 12 «Правила и порядок безотказной работы на пожарной технике», темы 13 «Мобильные средства пожаротушения на базе железнодорожного транспорта и судов. Приспособленные технические средства» дисциплины «Пожарная техника» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность»).

Председатель комиссии:

Начальник кафедры ПАСТИАХ

к.т.н., доцент

подполковник внутренней службы



М.Р. Сытдыков

Члены комиссии:

Доцент кафедры ПАСТИАХ

к.т.н.,

полковник внутренней службы



А.М. Филановский

Доцент кафедры ПАСТИАХ

к.т.н., доцент



А.А. Печурин

Доцент кафедры ПАСТИАХ

к.т.н.



А.В. Скрипка

«30» мая 2019 г.

Утверждаю
Врио начальника ФГКУ «СПСЧ ФПС
по городу Санкт-Петербургу»
майор внутренней службы



2019 г.

**о внедрении результатов диссертационного исследования
Королевой Людмилы Анатольевны на тему «Концептуальные
основы обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных
перевозках опасных грузов» по специальности 05.26.03 – пожарная и
промышленная безопасность (транспорт) в практическую деятельность
ФГКУ «СПСЧ ФПС по городу Санкт-Петербургу»**

Комиссия в составе:

Председатель комиссии:

- заместитель начальника части (по проведению аварийно-спасательных работ) – начальник службы тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ ФГКУ «СПСЧ ФПС по городу Санкт-Петербургу» майор внутренней службы Смирнов С.Н.

Члены комиссии:

– начальник группы кадровой и воспитательной работы ФГКУ «СПСЧ ФПС по городу Санкт-Петербургу» майор внутренней службы Крапивина Е.Д.;

- инспектор (по боевой и физической подготовке) службы тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ ФГКУ «СПСЧ ФПС по городу Санкт-Петербургу» капитан внутренней службы Алдатов А.В.;

- старший инженер – руководитель смены ФГКУ «СПСЧ ФПС по городу Санкт-Петербургу» капитан внутренней службы Мелентьев Ю.О.

настоящим Актом подтверждает, что результаты диссертационного исследования Королевой Л.А.:

– условия каскадного развития техногенных пожаров на транспорте;

– расчетно-экспериментальные исследования эксергии с определением условий и закономерностей ее изменения применительно к пожароопасным грузам железнодорожного транспорта;

комплекс управленческих решений, основанный на моделировании ситуаций, возникающих при тушении пожаров на объектах железнодорожного транспорта в процессе организованного межведомственного взаимодействия

используются в практической деятельности ФГКУ «СПСЧ ФПС по городу Санкт-Петербургу».

В частности, результаты диссертационного исследования применяются при разработке планов и карточек тушения пожаров и планов ликвидации аварийных ситуации на объектах железнодорожного транспорта; при подготовке и проведении учений на указанных объектах, в рамках проведения

профессиональной подготовки сотрудников ФГКУ «СПСЧ ФПС по городу Санкт-Петербургу».

Председатель комиссии:

заместитель начальника части (по АСР)
– начальник службы тушения пожаров
и проведения аварийно-спасательных работ
ФГКУ «СПСЧ ФПС
по городу Санкт-Петербургу»

Смирнов С.Н.

Члены комиссии:

- начальник группы КиВР
ФГКУ «СПСЧ ФПС
по городу Санкт-Петербургу»

Крапивина Е.Д.

- инспектор (по боевой и физической подготовке)
службы тушения пожаров и проведения
аварийно-спасательных работ
ФГКУ «СПСЧ ФПС
по городу Санкт-Петербургу»

Алдатов А.В.

- старший инженер – руководитель смены
ФГКУ «СПСЧ ФПС
по городу Санкт-Петербургу»

Мелентьев Ю.О.

«07» июня 2019 г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования

**«Балтийский государственный технический
университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)**

Санкт-Петербург, 190005, 1-я Красноармейская ул., д. 1
Тел.: (812) 316-2394, Факс: (812) 490-0591
E-mail: komdep@bstu.spb.su. www.voenmeh.ru
ИНН 7809003047

от 21.06.19 № 01/168а

На № _____ от _____

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор БГТУ «ВОЕНМЕХ»

им. Д.Ф. Устинова

доктор технических наук, профессор
К.М. Иванов

2019 г.



Акт

**о внедрении результатов диссертационного исследования
Королевой Людмилы Анатольевны на тему «Концептуальные основы
обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках
опасных грузов» по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная
безопасность (транспорт)**

в образовательную и научно-исследовательскую деятельность ФГБОУ ВО
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.
Устинова

Комиссия в составе:

председателя - заведующего кафедрой «Экология и безопасность
жизнедеятельности», д.т.н., профессора Н.И. Иванова;

членов комиссии:

профессора кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», д.т.н.,
Куклина Дениса Александровича,

профессора кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», д.т.н.,
Патрушевой Тамары Николаевны

профессора кафедры «Экология и безопасность жизнедеятельности», к.т.н.,
Дроздовой Людмилы Филипповны,

составила настоящей акт о том, что следующие результаты
диссертационного исследования Королевой Л.А.:

- метод управления пожарными рисками на железнодорожном транспорте;
- эксергетический анализ как инструмент прогнозирования и управления
пожарными рисками при организации перевозок опасных грузов и обращении с
отходами на железнодорожном транспорте,

обладают актуальностью, представляют практический интерес и могут быть представлять интерес, как при проведении научно-исследовательских работ, так и в образовательном процессе.

Рассматриваемые результаты используются в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» (дисциплина «Пожарная безопасность»), а также при подготовке магистров по направлению подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность, магистерская программа «Инженерная защита окружающей среды».

Применение разработанной Королевой Л.А. методики для расчета дает возможность получать достоверные данные значений эксергии, что позволяет строить объективные прогнозы экологической и пожарной опасности транспортных грузов.

Председатель комиссии:

заведующий кафедрой «Экология и
безопасность жизнедеятельности»
д.т.н., профессор

Н.И. Иванов

Члены комиссии:

профессор кафедры «Экология и
безопасность жизнедеятельности»
д.т.н.,

Д.А. Куклин

профессор кафедры «Экология и
безопасность жизнедеятельности»
д.т.н.,

Т.Н. Патрушева

профессор кафедры «Экология и
безопасность жизнедеятельности»
к.т.н.

Л.Ф. Дроздова

«20 » июня 2019 г.

Утверждаю

Начальник ФГКУ «2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу»

подполковник внутренней службы

Гарашук В.Н.

« 7 » 2019 г.

Акт

о внедрении результатов диссертационного исследования Королевой Людмилы Анатольевны на тему «Концептуальные основы обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов» по специальности 05.26.03 – Пожарная и промышленная безопасность (транспорт) в практическую деятельность ФГКУ 2 Отряда ФПС по Санкт-Петербургу.

Комиссия в составе:

Председателя:

Начальник ФГКУ «2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу»

подполковник внутренней службы _____ Гарашук В.Н.

Членов комиссии:

– Начальник 64 ПСЧ ФГКУ
«2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу»
майор внутренней службы

В.Ю. Самсонов

– Заместитель начальника 64 ПСЧ ФГКУ
«2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу»
капитан внутренней службы

И.Н. Шкляев

– Начальник караула 64 ПСЧ ФГКУ
«2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу»
капитан внутренней службы

М.В. Зыков

Настоящим актом удостоверяет, что результат диссертационного исследования Королевой Л.А.: модели и принципы принятия управленческих решений, направленных на тушение пожаров и проведение аварийно-спасательных работ на объектах железнодорожного транспорта при организованном межведомственном взаимодействии, используется в

практической деятельности ФГКУ «2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу» при разработке документов предварительного планирования (планов и карточек тушения пожаров), организации боевых действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ на объектах железнодорожного транспорта.

Пожары на железнодорожном транспорте отличаются особой сложностью. Использование представленного Королевой Л.А. результата в практической деятельности, позволяет своевременно принимать адекватные условиям управленческие решения, осуществлять эффективное межведомственное взаимодействие, что определяет успех тушения пожаров.

Председатель комиссии:

Начальник ФГКУ «2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу»

подполковник внутренней службы _____ Гаращук В.Н.

Членов комиссии:

– Начальник 64 ПСЧ ФГКУ
«2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу»
майор внутренней службы

– Заместитель начальника 64 ПСЧ ФГКУ
«2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу»
капитан внутренней службы

– Начальник караула 64 ПСЧ ФГКУ
«2 отряд ФПС по Санкт-Петербургу»
капитан внутренней службы

В.Ю. Самсонов

И.Н. Шкляев

М.В. Зыков

10.09.2019 г.



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ФЕДЕРАЛЬНАЯ ПАССАЖИРСКАЯ
КОМПАНИЯ»
(АО «ФПК»)

СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ ФИЛИАЛ

Невский просп., д. 85, г. Санкт-Петербург, 191036
Тел.: (812) 457-62-71, факс: (812) 436-14-02

УТВЕРЖДАЮ
Начальник Северо-Западного
филиала АО «ФПК»



М.Г.Поярков

«10» октября 2019г. № 599/ФПКФ СЗАП

На № _____ от _____ 2019 г.

Акт

о внедрении результатов диссертационного исследования Королевой Людмилы Анатольевны на тему «Концептуальные основы обеспечения пожарной безопасности при железнодорожных перевозках опасных грузов» по специальности 05.26.03 – пожарная и промышленная безопасность (транспорт) в практическую деятельность Северо-Западного филиала акционерного общества «Федеральная пассажирская компания»

Комиссия в составе: председатель – главный инженер филиала Благов Илья Владимирович;

члены комиссии: помощник начальника филиала (по специальным программам) Пулинец Владимир Григорьевич;

начальник производственно-технического отдела Черников Дмитрий Александрович,

подтверждает, что результаты диссертационного исследования Королевой Людмилы Анатольевны, а именно:

методика комплексного технологического аудирования для управления пожарной безопасностью объектов железнодорожного транспорта,

обоснование организации систем управления подразделениями Государственной противопожарной службы (ГПС МЧС РФ) и ведомственной пожарной охраны железнодорожного транспорта (ФГП ВО ЖДТ) в пределах единой методологии,

используются в практической деятельности Северо-Западного филиала АО «ФПК».

В частности, методика комплексного технологического аудирования для управления пожарной безопасностью объектов железнодорожного транспорта использована при разработке документов по обеспечению пожарной безопасности структурных подразделений Северо-Западного филиала, что позволяет учитывать пожарные риски, возникающие при доставке и хранении наливных и навалочных грузов, используемых в качестве топлива на стационарных объектах Северо-Западного филиала.

Обоснование организации систем управления подразделениями Государственной противопожарной службы и ведомственной пожарной охраны железнодорожного транспорта в пределах единой методологии рассматриваются и учитываются при разработке Регламентов взаимодействия Северо-Западного филиала, ФГП ВО ЖДТ и ГПС МЧС РФ по обеспечению пожарной безопасности и Планов действий по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

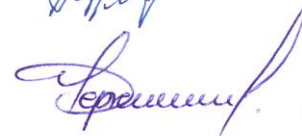
Применение предложенных Королевой Л.А. методик позволяет повысить эффективность профилактической работы, как приоритетного направления в системе обеспечения пожарной безопасности филиала.

Представленные в диссертационной работе научные результаты нашли применение при подготовке материалов для проведения занятий по пожарно-техническому минимуму, разработке организационно-распорядительных документов и программ проведения производственного контроля пожарной безопасности. Используются в практической работе пожарно-технических комиссий.

Председатель комиссии
главный инженер филиала

члены комиссии:
помощник начальника филиала
(по специальным программам)

начальник производственно-
технического отдела

 И.В.Благов
 В.Г.Пулинец
 Д.А.Черников

УТВЕРЖДАЮ

Начальник Главного управления
МЧС России по г. Санкт-Петербургу
генерал-лейтенант внутренней службы
А.Г. Аникин

«11» октября 2019 года

АКТ

о внедрении результатов диссертационного исследования Л.А. Королевой
на тему: «Концептуальные основы обеспечения пожарной безопасности при
железнодорожных перевозках опасных грузов» по специальности 05.26.03 –
пожарная и промышленная безопасность (транспорт) в практическую деятельность
Главного управления МЧС России по г. Санкт-Петербургу

Комиссия в составе:

председатель:

Первый заместитель начальника Главного управления МЧС России по
г. Санкт-Петербургу генерал-майор внутренней службы Д.Ю. Легенький;

члены комиссии:

Заместитель начальника Главного управления МЧС России по
г. Санкт-Петербургу полковник внутренней службы И.В. Титенок;

Начальник управления организации пожаротушения и проведения
аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России
по г. Санкт-Петербургу подполковник внутренней службы С.А. Лаврухин;

Главный пожарный инспектор на Октябрьской железной дороге – заместитель
директора филиала по пожарно-технической части ФГП «Вневедомственная охрана
железнодорожного транспорта Российской Федерации» филиал на Октябрьской
железной дороге Г.Б. Захарян;

подтверждает, что при разработке порядка привлечения сил и средств
территориального пожарно-спасательного гарнизона Санкт-Петербурга для тушения
пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на территории
Санкт-Петербурга, а также межведомственного взаимодействия при осуществлении
информационного обмена и совместного тушения пожаров на объектах ОАО «РЖД»
в границах Октябрьской железной дороги и подвижном составе, использовались
результаты диссертационной работы Королевой Людмилы Анатольевны, а именно:

«условия каскадного развития техногенных пожаров на транспорте»;

«комплекс управленческих решений, основанный на моделировании
ситуаций, возникающих при тушении пожаров на объектах железнодорожного
транспорта в процессе организованного межведомственного взаимодействия».

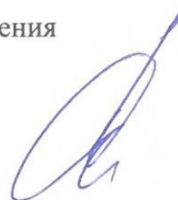
Указанные результаты были учтены при подготовке следующих проектов документов:

«Расписание выезда пожарно-спасательных подразделений и аварийно-спасательных формирований территориального пожарно-спасательного гарнизона Санкт-Петербурга для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ на территории Санкт-Петербурга»;

«Соглашение о взаимодействии подразделений Главного управления МЧС России по г. Санкт-Петербургу, Октябрьской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» и филиала ФГП ВО ЖДТ РФ на Октябрьской железной дороге по совместному тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ на территории Санкт-Петербурга».

Председатель:

Первый заместитель начальника Главного управления
МЧС России по г. Санкт-Петербургу
генерал-майор внутренней службы



Д.Ю. Легенький

Члены комиссии:

Заместитель начальника Главного управления
МЧС России по г. Санкт-Петербургу
полковник внутренней службы



И.В. Титенок

Начальник управления организации пожаротушения
и проведения аварийно-спасательных работ
Главного управления МЧС России по г. Санкт-Петербургу
подполковник внутренней службы



С.А. Лаврухин

Главный пожарный инспектор на Октябрьской железной дороге –
заместитель директора филиала по ПТЧ «ВО ЖДТ РФ»
филиал на Октябрьской железной дороге



Г.Б. Захарян

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

КОПИЯ

**СВИДЕТЕЛЬСТВО**

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019610945

**Программный комплекс для проведения эксергетического
анализа и оценки пожаро-взрывоопасности веществ,
материалов и изделий (ПК эксергетика)**

Правообладатели: *Хайдаров Андрей Геннадьевич (RU), Королева
Людмила Анатольевна (RU)*

Авторы: *Хайдаров Андрей Геннадьевич (RU),
Королева Людмила Анатольевна (RU)*

Заявка № **2018665631**Дата поступления **28 декабря 2018 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **18 января 2019 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

Сачко-

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2019610670

Программный комплекс для моделирования кинетики
биохимических процессов, протекающих при перевозке и
захоронении пожаровзрывоопасных отходов, с использованием
методов интервального анализа (ПК МКХБ)

Правообладатели: *Королева Людмила Анатольевна (RU), Хайдаров
Андрей Геннадьевич (RU)*

Авторы: *Королева Людмила Анатольевна (RU),
Хайдаров Андрей Геннадьевич (RU)*



Заявка № 2018665490

Дата поступления 28 декабря 2018 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 15 января 2019 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Изrael

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 192622

АДСОРБЦИОННО-ДЫХАТЕЛЬНЫЙ КЛАПАН

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий" (RU)*

Авторы: *Ивахнюк Григорий Константинович (RU), Головин Сергей Алексеевич (RU), Пименова Марина Александровна (RU), Королева Людмила Анатольевна (RU), Хайдаров Андрей Геннадьевич (RU), Выголова Екатерина Николаевна (RU)*

Заявка № 2019106049

Приоритет полезной модели 04 марта 2019 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 24 сентября 2019 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 04 марта 2029 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

07.07.2019

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
(РОСПАТЕНТ)**

Бережковская наб., 30, корп. 1, Москва, Г-59, ГСП-3, 125993. Телефон (8-499) 240-60-15. Факс (8-495) 531-63-18

На № 4562-7-1-11 от 08.10.2019

Наш № 2019108340/05(016070)

При переписке просим ссылаться на номер заявки

Исходящая корреспонденция от

22.10.2019

Чугунову В.И.
Московский пр-кт, 149
Санкт-Петербург
196105

РЕШЕНИЕ

о выдаче патента на полезную модель

(21) Заявка № 2019108340/05(016070)

(22) Дата подачи заявки 21.03.2019

В результате экспертизы заявки на полезную модель установлено, что заявленная группа полезных моделей относится к объектам патентных прав, соответствует условиям патентоспособности, сущность заявленной полезной модели в документах заявки раскрыта с полнотой, достаточной для осуществления полезной модели, в связи с чем принято решение о выдаче патента на полезную модель.

Заключение по результатам экспертизы прилагается.

Приложение: на 3 л. в 1 экз.

Начальник Управления
организации
предоставления
государственных услуг

Документ подписан электронной подписью
Сведения о сертификате ЭП
Сертификат
2F34FB0080AAD69A48DC1BAFF5C30FCB
Владелец Травников
Дмитрий Владимирович
Срок действия с 04.07.2019 по 08.02.2027

Д.В. Травников



ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕРТИЗЫ

(21) Заявка № 2019108340/05(016070)

(22) Дата подачи заявки 21.03.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента 21.03.2019

ПРИОРИТЕТ УСТАНОВЛЕН ПО ДАТЕ

(22) подачи заявки 21.03.2019

(72) Автор(ы) Ивахнюк Григорий Константинович, Головин Сергей Алексеевич, Осмонов Юнус Юсупович, Королева Людмила Анатольевна, Хайдаров Андрей Геннадьевич, Иванов Евгений Андреевич, Краснов Павел Евгеньевич, Бармин Антон Эдуардович, Нахин Анатолий Николаевич, RU

(73) Патентообладатель(и) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий", RU

(54) Название полезной модели ОГНЕГАСИТЕЛЬНАЯ БАЗАЛЬТОВАЯ СЕТКА

(см. на обороте)

03	2	ДОМ 08.10.2019	050258
		ИЗФ 08.10.2019	

ВНИМАНИЕ! С целью исключения ошибок просьба проверить сведения, приведенные в заключении, т.к. они без изменения будут внесены в Государственный реестр полезных моделей Российской Федерации, и незамедлительно сообщить об обнаруженных ошибках.