Министерство транспорта Российской Федерации
Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный государственный
университет путей сообщения»

В.Д. Катин, А.Н. Луценко

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Монография

Хабаровск
Издательство ДВГУПС
2018

УДК 656.073.436:665.6:504.5
ББК 0284.88
К 29

Рецензенты:
Кафедра «Инженерные системы и техносферная безопасность»
Тихоокеанского государственного университета
(заведующий кафедрой доктор технических наук,
заслуженный эколог РФ, профессор *М.Н. Шевцов*)

Доктор географических наук, заместитель директора по науке
Института водных и экологических проблем ДВО РАН *А.Н. Махинов*

Катин, В.Д.
К29 Повышение безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом и охрана окружающей среды : монография / В.Д. Катин, А.Н. Луценко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2018. – 138 с. : ил.
ISBN 978-5-262-00817-9

В монографии рассмотрены и обобщены результаты теоретических и экспериментальных исследований, связанных с решением проблемы повышения безопасности перевозки нефтепродуктов по железной дороге в условиях Дальнего Востока. Рекомендованы авторские новые рациональные установки, предупреждающие и ликвидирующие последствия разливов нефти и нефтепродуктов, перевозимых железнодорожным транспортом. Разработаны и предложены к внедрению методики ранжирования территории влияния железной дороги на основе кластерного анализа уязвимостей при оптимизации принятия правильных решений по рациональному размещению средств реагирования на ЧС техногенного характера. Изложены эффективные технические и технологические решения, снижающие загрязнение окружающей среды при перевозке нефтепродуктов железнодорожным транспортом.

Издание предназначено научным и инженерно-техническим работникам служб ОАО «РЖД», МЧС, специалистам-экологам, занятым решением производственных задач предотвращения и ликвидации последствий разливов нефти, перевозимой железнодорожным транспортом. Может быть полезно преподавателям, студентам и аспирантам транспортных вузов, изучающим проблемы снижения негативного воздействия нефтяных загрязнений на окружающую среду.

УДК 656.073.436:665.6:504.5
ББК 0284.88

ISBN 978-5-262-00817-9
© ДВГУПС, 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ НАИМЕНОВАНИЙ 5

ВВЕДЕНИЕ 6

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ 9

1.1. Развитие транспортной инфраструктуры Дальнего Востока и анализ состояния безопасности железнодорожных перевозок 9

1.1.1. Анализ развития транспортной инфраструктуры на Дальнем Востоке 9

1.1.2. Экологические аспекты аварий на железнодорожном транспорте 11

1.1.3. Анализ безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом в Сахалинском регионе 14

1.1.4. Состояние экологической безопасности перевозок опасных грузов на Дальневосточной железной дороге 16

1.2. Теоретические вопросы повышения безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов по железной дороге 20

1.3. Анализ проблемы минимизации риска на железнодорожном транспорте и технологии управления рисками 26

1.4. Разработка модели оценки риска для сегмента железной дороги 34

1.5. Классификация уязвимостей на железнодорожном транспорте 39

2. СНИЖЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, СВЯЗАННЫЕ С РАЗЛИВАМИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ, ПЕРЕВОЗИМЫХ ПО ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ 40

2.1. Обоснование разработки новых технических решений с целью повышения безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов 40

2.2. Результаты исследования влияния железной дороги на особо охраняемые природные территории и рекомендации по снижению негативного воздействия 43

2.3. Обоснование применения спутниковых навигационных систем для отслеживания опасных грузов, перевозимых по железной дороге 47

2.4. Снижение времени оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации при помощи электронных карт уязвимости 51

2.5. Организация внедрения спутниковых навигационных систем при перевозке опасных грузов по железной дороге 54
2.6. Ранжирование уязвимостей территории влияния железной дороги на основе единичных матриц и метода кластерного анализа 55
2.7. Пример практического применения методики ранжирования уязвимости территории влияния участка Хабаровск–Корфовская Дальневосточной железной дороги 68

3. РАЗРАБОТКА НОВЫХ АВТОРСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ПО ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ 73
3.1. Анализ существующих технических решений, применяемых для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов 73
3.2. Разработка планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов 75
3.3. Анализ современных методов исследования грунтов, загрязненных нефтью, и рекомендации по их применению 79
3.4. Комплексный подход при принятии технических и технологических решений 82
3.5. Авторские новые разработки по восстановлению эксплуатационных свойств железнодорожного полотна с целью охраны окружающей природной среды 98
3.6. Разработка новой эффективной установки для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов 103
3.7. Разработка новой конструкции гибкого вкладыша для предотвращения разлива нефти при перевозке в вагонах-цистернах 106
3.8. Авторская новая установка для производства углеродных сорбентов 116

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 124

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 126

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ НАИМЕНОВАНИЙ

БАК – биологически активная композиция

ГИС – геоинформационная система

ДВостЖД – Дальневосточная железная дорога

ДВ – Дальневосточный

ДФО – Дальневосточный федеральный округ

ЖДТ – железнодорожный транспорт

ЗВ – загрязняющее вещество

КАСАНТ – комплексная автоматизированная система учета, контроля устранения отказов технических средств ОАО «РЖД» и анализа их надежности

КТК – комплексный территориальный коэффициент

ННП – нефть и нефтепродукты

ОАО – открытое акционерное общество

ОГ – опасные грузы

ООПТ – особо охраняемые природные территории

РЖД – Российские железные дороги

СНС – спутниковая навигационная система

ФЗ – федеральный закон

ЧС – чрезвычайная ситуация

ПЛАРН – план ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов

ОПО – опасный производственный объем

ВВЕДЕНИЕ

Приоритетная и стратегическая значимость региона подтверждается Государственной программой «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Байкальского региона» [24]. В связи с этим освоению, развитию и укреплению Дальнего Востока в последнее время уделяется особое внимание.

Железнодорожный транспорт (ЖДТ) является ведущим по значимости и объему перевозок в регионе, на его долю приходится около 90 % грузооборота [11]. Основными грузами, перевозимыми по Дальневосточной железной дороге (ДВостЖД), а это более 40 % от общего объема, являются нефть и нефтепродукты (ННП). Из этого числа собственной погрузки 25 % (более10,8 млн т в 2013 г.) [82]. Планами развития региона предполагается увеличение грузопотока в разы [24].

Основные объемы ННП по Дальневосточной железной дороге перевозят в вагон-цистернах, парк которых характеризуется большим процентом изношенности. Следует отметить, что ДВостЖД занимает лидирующее положение по количеству инцидентов с перевозкой опасных грузов по сети железных дорог. Свыше 90 % от общего количества происшествий связано с перевозкой ННП, которые в соответствии с международными требованиями классификации веществ по характеру опасных свойств относятся к третьему классу «Легковоспламеняющиеся жидкости» [99].

Более 40 % происшествий из этого числа связано с эксплуатацией цистерн, срок службы которых превышает нормативный. Из-за изношенности парка цистерн и невозможности единовременно вывести из эксплуатации цистерны с продленным сроком службы тенденция к увеличению рисков чрезвычайных ситуаций (ЧС) будет только нарастать. Парк цистерн, используемый на сети для перевозки нефти и нефтепродуктов (более 275 тыс. единиц), в настоящее время является приватным, что усложняет контроль за соответствием нормативным требованиям используемых транспортных средств [100].

Дальневосточный регион имеет уникальную по составу и значимости флору и фауну. На территории нашего региона расположены нерестовые реки ценных промысловых рыб, насчитывается более 170 видов редких и исчезающих животных, занесенных в Красную книгу МСОП, Красную книгу РФ, а так же эндемиков Дальнего Востока [92], 138 видов растений, занесенных в Красную книгу РФ, и 261 вид эндемиков [39].

Специфика региона связана с наличием большого количества особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [83] и пересечением с многочисленными водными объектами. Эти факторы значительно увеличивают

риски возникновения ЧС. Любой факт попадания нефти и нефтепродуктов в водоохранную зону водных объектов, вызванный аварийным разливом, вне зависимости от объема, относится к чрезвычайной ситуации [78].

Уникальность территории, через которую проходит железная дорога, и риск необратимых последствий всегда требуют особого внимания к задаче повышения безопасности перевозок с учетом современных требований охраны окружающей природной среды от сопутствующего загрязнения.

Поскольку статистические данные указывают на высокий уровень и тенденцию к увеличению ЧС с перевозкой ННП, актуальным является разработка и применение принципиально новых устройств и средств, обеспечивающих минимизацию рисков их возникновения. В условиях ограниченности материальных ресурсов особенно важными являются меры по предупреждению ЧС и организации эффективного комплекса мер по ликвидации последствий разливов ННП.

Отметим, что проблемам повышения безопасности функционирования железнодорожного транспорта были посвящены научные труды следующих отечественных ученых: Краснова О.Г., Лисенкова В.М., Мартынюка И.В., Медведева В.И., Пономарева В.М., Тесленко И.О., Тишанина А.Г., Филиппова В.Н. и др. [42, 48, 55, 56, 94, 120, 121, 126].

Одним из направлений решения этой важной проблемы является ранжирование территории влияния железной дороги по степени восприимчивости к воздействию опасности. Вопросы районирования и зонирования железной дороги в аспекте риска ЧС были рассмотрены во многих работах [55, 119, 120]. В то же время требуется дальнейшее изучение поставленной задачи в аспекте более точной ситуационной привязки к территории инцидента с учетом региональных особенностей Дальнего Востока.

В этой связи нельзя не отметить, что разработанные авторами новые технические и технологические решения можно отнести в соответствии с Указом Президента РФ № 899 от 07.07.2011 г. к приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в РФ и критических технологий РФ (раздел «Технологии предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера») [75]. В то же время применительно к Дальнему Востоку недостаточно исследованы и в неполной мере разработаны устройства для предотвращения и ликвидации разливов ННП. В подобных условиях становится актуальным повышение эффективности действующих методов и технологий для предотвращения и ликвидации последствий ЧС, связанных с разливами нефти, с акцентом на решение сопутствующей актуальной проблемы снижения негативного воздействия на окружающую природную среду. При написании данной монографии авторы преследовали цель показать приоритетные пути су-

щественного снижения загрязняющего воздействия перевозок ННП на окружающую природную среду и предложить принципиально новые методики и технические решения, отличающиеся от существующих новизной и повышенной эффективностью.

С учетом важности поставленной проблемы и ее недостаточной изученности назрела также необходимость обобщения опыта применения способов и устройств для ликвидации разливов ННП применительно к Дальневосточному региону с экологической точки зрения.

В монографии представлены результаты научно-исследовательской работы, проведенной авторами на кафедре «Техносферная безопасность» ДВГУПС в течение последних семи лет. В связи с этим авторы считают необходимым выразить слова благодарности всем коллегам, лично доктору биологических наук, заведующему кафедрой профессору Мидхату Хайдаровичу Ахтямову за помощь в проведении исследований.

Особую признательность и благодарность авторы выражают заведующему кафедрой «Инженерные системы и техносферная безопасность» Тихоокеанского государственного университета, заслуженному экологу РФ, доктору технических наук, профессору Михаилу Николаевичу Шевцову и заместителю директора по науке Института водных и экологических проблем РАН ДВО Алексею Николаевичу Махинову за большой труд по рецензированию рукописи монографии и методические пожелания при подготовке ее к изданию. Авторы будут благодарны всем читателям, приславшим свои отзывы и замечания по содержанию монографии.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

1.1. Развитие транспортной инфраструктуры Дальнего Востока и анализ состояния безопасности железнодорожных перевозок

1.1.1. Анализ развития транспортной инфраструктуры на Дальнем Востоке

Развитию Дальнего Востока и его транспортной инфраструктуры в последнее время уделяется приоритетное внимание. Спецификой региона является его огромная протяженность, суровость климата и вечная мерзлота на большей части территории.

Отметим, что занимая значительную часть территории Российской Федерации, Дальний Восток имеет недостаточно развитую транспортную сеть. Фактически основной объём перевозок осуществляют сильно перегруженные железные дороги по Транссибу и БАМу, обеспечивающим выход к морским портам Приморского и Хабаровского краев [115].

Эксплуатационная длина железнодорожных путей общего пользования составляет 13,8 % эксплуатационной длины всех железных дорог Российской Федерации, а плотность железнодорожных путей общего пользования в расчете на 10 тыс. кв. км в 3,6 раза меньше, чем в среднем по стране [24].

Основные транспортные артерии Дальнего Востока требуют усиления и развития, поскольку в настоящее время до 90 % их направлений работают с критическим уровнем загрузки, прежде всего на подходах к портам, крупным промышленным районам и новым месторождениям [51].

Ввиду того, что на современном этапе наблюдаются общие тенденции в организации перевозок опасных грузов именно ЖДТ, предполагается обеспечить опережающее развитие опорной транспортной сети на территории нового освоения Дальнего Востока, в том числе в северо-восточной части ДФО [24].

В связи с увеличением объемов перевозок опасных грузов, а также видов перевозимых веществ по железной дороге возникает ряд серьезных проблем с точки зрения охраны окружающей среды и здоровья человека.

Требования к безопасности постоянно ужесточаются. Но даже при ужесточении правил перевозок различных опасных грузов все же происходит воздействие вредных веществ на окружающую природную среду с причинением ей ущерба.

Основными причинами возникновения ЧС на ЖДТ в Дальневосточном регионе являются недопустимо высокий уровень износа основных производственных фондов, эксплуатационные ошибки и нерациональное размещение производительных сил, приведшее к концентрации производств повышенного риска на небольших площадях вблизи крупных населенных пунктов и охраняемых природных территорий [51].

Государственной программой предусматривается организация зон опережающего развития Забайкалья и Дальнего Востока. Предполагается, что развитие транспортной инфраструктуры станет условием для формирования таких зон и территории в целом. В связи с этим планируется существенно увеличить объем грузоперевозок, в том числе опасных грузов. В этом контексте необходимо отметить, что эксплуатация существующих дорог и строительство новых требует особого внимания к обеспечению безопасности перевозок.

Спецификой региона является то, что Дальний Восток имеет уникальную и очень ранимую экосистему. Географической особенностью расположения железной дороги является сопряжение железнодорожных линий с многочисленными водными объектами, особо охраняемыми природными территориями и расположение вблизи населенных пунктов, что существенно повышает риски ЧС.

Вопросы обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте являются одними из наиболее приоритетных в обеспечении развития транспортной сферы РФ. Концепция транспортной безопасности в РФ [23] основана на принципе допустимых рисков и описывается формулой «настолько низко, насколько возможно». На реализацию такого подхода в вопросах обеспечения безопасности железнодорожного транспорта в РФ направлен целый ряд законодательных актов и нормативных документов, среди которых отметим ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» [63], ФЗ «О транспортной безопасности» [68] и ФЗ «О техническом регулировании» [71].

Для реализации задач по снижению рисков была принята Федеральная целевая программа «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации» [124].

Развитие мер по совершенствованию системы безопасности на железнодорожном транспорте предусматривает «Стратегия развития РЖД до 2030 года» [116], в соответствии с которой определены задачи: модернизация и ведение баз данных по оценке уязвимости категорированных объектов; паспортизация категорированных объектов; эксплуатация, техническая поддержка и модернизация единой государственной информацион-

ной системы обеспечения транспортной безопасности в части железнодорожного транспорта; оснащение объектов железнодорожного транспорта техническими средствами защиты.

Общие правила управления рисками на железнодорожном транспорте, связанными с функциональной безопасностью объектов инфраструктуры и подвижного состава, устанавливает ГОСТ Р 54505-2011«Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте» [22].

Вопросы повышения безопасности населения и территорий при осуществлении деятельности с нефтью и нефтепродуктами регулируются постановлениями Правительства РФ от 21 августа 2000 г. № 613 «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» [70] и от 15 апреля 2002 г. № 240 «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации» [65].

Опережающее развитие железнодорожной транспортной составляющей региона требует специальных опережающих мер по организации устойчивого функционирования транспорта и снижения рисков до нормативных величин [24].

Эти задачи регламентируются законами и нормативными документами [22–24, 63, 65, 68, 70–72, 77, 116, 124] и поддерживаются Комплексной программой инновационного развития ОАО «РЖД» до 2020 г., в которой ставятся цели создания условий устойчивого, безопасного и эффективного функционирования железнодорожного транспорта как организующего элемента транспортной системы страны.

Безопасное функционирование необходимо для реализации основных геополитических и геоэкономических целей России, приведения уровня качества транспортных услуг и безопасности перевозок в соответствие с требованиями населения и экономики и лучших мировых стандартов [102].

С этой целью было принято решение о разработке четырех инвестиционных проектов РЖД, одним из которых является реконструкция восточного участка Байкало-Амурской магистрали на направлении Тында–Комсомольск-на-Амуре–Советская Гавань. Реализация проекта позволит обеспечить увеличение провозной способности на участке до 32,6 млн т грузов в год и повысить безопасность перевозок ННП.

1.1.2. Экологические аспекты аварий на железнодорожном транспорте

Транспортные процессы относятся к экологически опасным, т.е. таким, которые приводят к биологическим, механическим и физико-химическим загрязнениям экосистем и наносят экологический ущерб ее составляющим.

Наибольшая опасность появляется при переходе на аварийные режимы эксплуатации транспорта. Они возникают вследствие крайней изношенности подвижного состава и оборудования, использования устаревших технологий, превышения пределов пропускной и провозной способности, нарушения скоростного режима движения, а также неучета субъективных причин, влияющих на поведение участников транспортных процессов.

По продолжительности периода негативного воздействия транспорта на здоровье населения и природные комплексы различают два вида экологической опасности – ***постоянно присутствующую*** и ***краткосрочную*** [3].

Постоянно присутствующая экологическая опасность является следствием обычного функционирования транспортного комплекса. Она проявляется в повышенном по сравнению с естественным уровне загрязнения атмосферы и шума вдоль транспортных магистралей.

Краткосрочная экологическая опасность возникает в аварийных ситуациях при транспортировке опасных грузов, в результате которых происходят загрязнение атмосферы, воды, почвы, поражение и гибель растительности и другие последствия.

Экологическая опасность напрямую связана с уровнем экологического риска.

Основой данной концепции в мире признана теория экологического риска. Экологическую опасность можно уменьшить, но нельзя устранить. В этой связи возникает задача определения риска для человека и окружающей природной среды. Процесс принятия решения в условиях риска состоит из трех этапов [3]:

- ***оценки риска;*** основной результат этого этапа – получение количественных значений его последствий, например заболеваемости или смертности;
- ***анализа рисков;*** цель этапа – сравнение количественных величин рисков при разных вариантах;
- ***управления риском;*** предусматривает перевод аналитических результатов в организационно-технические решения;
- ***цели управления;*** определяет очередность решения проблем риска и средства повышения безопасности.

Применительно к транспорту оценка риска включает определение ближних и отдаленных во времени последствий для населения и других компонентов экосистем от систематических выбросов загрязняющих веществ при нормальном функционировании транспорта, а также в случаях аварий, в том числе при транспортировке опасных грузов на железнодорожных магистралях.

Существуют методики, позволяющие оценивать и прогнозировать экологический риск функционирования транспорта и дорожной сети как в нормальном, так и аварийном режиме. Полученные количественные оценки позволяют сравнивать различные варианты решений по предотвращению экологического риска или сведению к минимуму его негативных последствий. В ходе управления экологическим риском ведется выбор средств и мероприятий по повышению экологической безопасности транспорта, в том числе решаются вопросы экологического страхования транспортировки опасных грузов и других видов деятельности.

Транспортные аварии и катастрофы приводят к экономическим потерям для общества, нанося огромный непоправимый ущерб.

К прямым потерям относятся потери транспортных предприятий, связанные с ликвидацией последствий аварий, затраты органов транспортной инспекции и юридических органов на расследование дел о происшествиях, медицинских учреждений на лечение потерпевших, компенсации пострадавшим из фондов социального страхования и др.

Косвенными потерями являются потери общества в связи с утратой трудоспособности (*временной* или *полной*) работника, социальные, моральные и др.

Проблема обеспечения транспортной безопасности населения и окружающей среды в России стала особенно острой с середины 90-х гг. XX в., когда произошло резкое увеличение численности подвижного состава железнодорожного транспорта на фоне недостаточно развитой транспортной инфраструктуры.

На железнодорожном транспорте наибольший вред наносят аварийные происшествия при перевозке опасных грузов, особенно в черте крупных городов. Аварии приводят к пожарам, взрывам, разливам опасных грузов, утечкам ядовитых веществ в окружающую среду.

Факторами экологического риска и основными причинами аварий на железнодорожном транспорте являются отказы технических средств и оборудования, низкое качество подготовки подвижного состава под погрузку опасных грузов, ошибки при проектировании и проведении строительных работ, неудовлетворительное состояние путевого хозяйства.

По данным [3], из-за неисправности железнодорожных путей произошло более 60 % всех сходов вагонов, загруженных опасными грузами. Многие мосты, тоннели и другие искусственные сооружения железных дорог находятся в критическом состоянии. Их длительная эксплуатация с превышением нормативных сроков службы привела к возникновению множества дефектов, грозящих авариями.

Грузовой парк вагонов находится в чрезмерно изношенном состоянии. Более 1/4 грузовых вагонов построены по устаревшим нормам прочности и полностью выработали свой ресурс.

Отмечено много случаев возгораний вагонов, груженых твердыми легковоспламеняющимися веществами: комовой серой, хлопком и др. В местах перегрузки нефтепродуктов на подъездных путях предприятий из-за устаревшей технологической оснастки происходят возгорания при выгрузке.

1.1.3. Анализ безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом в Сахалинском регионе

Одним из регионов обслуживания ДВостЖД является Сахалинский. Объем грузовых перевозок в год составляет около 1,5 млн т, в структуре железнодорожных грузовых перевозок ведущее место занимают уголь, лесные и строительные грузы, рыбопродукция и нефтепродукты. Сахалинская железная дорога ввиду своего географического расположения (оторванность от материка и гористый рельеф, расположение вблизи линии моря) и климатических характеристик (интенсивные осадки и метели, сильные зимние ветра) имеет ряд особенностей по обеспечению безопасности перевозок. Еще одним немаловажным фактором является уникальная для территории Российской Федерации ширина железнодорожной колеи, которая почти на полметра уже материковой – 1067 мм. Ширина колеи обусловлена историческими особенностями – основная часть дороги была построена в период, когда остров находился под суверенитетом Японии и назывался Карафуто. Такая ширина колеи, которая еще называется Капской колеей, эксплуатируется в государствах Южной и Центральной Африки, в Индонезии, на Тайване и Филиппинах, в Новой Зеландии, а также частично в Австралии и Японии. Исторические железнодорожные пути на острове Сахалин, доставшиеся СССР в 1945 г. от Японии после освобождения Южного Сахалина, были построены согласно стандарту 16–18 т на ось. Хотя после Второй мировой войны Сахалин полностью перешел под контроль России, на острове по-прежнему использовались японские стандарты колеи и еще долгое время вагоны и локомотивы. Два снегоуборочных поезда японского производства 1920-х гг. до сих пор используются для очистки от снега.

Железнодорожное сообщение острова с сетью континентальной России осуществляется 267-километровой паромной переправой Ванино–Холмск, которая была введена в эксплуатацию в 1973 г. В настоящее время на линии работает три железнодорожных парома, каждый вместимостью 26 вагонов. Возникает необходимость переставлять вагоны, после их доставки на Саха-

лин, на тележки, предназначенные под узкую колею. Это вызывает дополнительные эксплуатационные и финансовые затраты. Кроме того, на острове функционирует однопутная дорога с сильно изношенной железнодорожной техникой. Сроки ее дальнейшей эксплуатации ограничены требованиями техрегламента безопасности подвижного состава Евразийского экономического союза. После 2020 г. в зону риска попадают все колесные тележки и пригородные поезда – фактически их будет нельзя использовать.

В связи с вышесказанным было принято решение о реконструкции колеи на общесетевую ширину в 1520 мм. Более широкая колея предпочтительнее для железных дорог, которые планируется использовать для перевозки тяжелых грузов; широкая колея обеспечивает стабильность железнодорожного полотна, снижает нагрузку на рельсы и увеличивает срок службы компонентов железной дороги и таким образом повышает безопасность перевозок. Производство работ началось в 2003 г. Из общей длины железнодорожных путей, которая составляет 806 км, сейчас завершено более 70 % работ. Необходимо отметить, что в этот объем включен ремонт мостов и тоннелей. Окончание реконструкции планируется на 2020 г. Ниже дана характеристика аварийных разливов ННП [26].

Основным источником аварий (более 80 % случаев) является перевозка нефтепродуктов. При механическим повреждении специальных цистерн происходит выход ННП в окружающую среду с последующим воспламенением либо загрязнением территорий или акваторий.

Так, 8 сентября 2004 г. в результате сильного ветра и сильного проливного дождя произошел подмыв железнодорожного полотна, в ходе чего с рельс сошел железнодорожный состав в 50 м от моря. Получили повреждения 4 цистерны с нефтепродуктами. Произошел выброс нефтепродуктов в акваторию моря. Ущерб от разлива нефти составил более 57 млн руб. Работы по ликвидации загрязнения начались только 10 сентября. Сутки с момента аварии были потеряны из-за неорганизованности системы ликвидации аварийных разливов нефти. Следует отметить, что установленное время реагирования на подобные аварии не должно превышать 4 часов, так как любое попадание нефтепродуктов в водные объекты классифицируется как чрезвычайная ситуация техногенного характера.

31 января 2009 г. в нефтепарке Эхаби (Охинский район) произошел аварийный разлив нефти. О происшедшей аварии предприятие в нарушение действующего законодательства не уведомило в надлежащем порядке природоохранный орган и ГУ МЧС РФ по Сахалинской области. В ходе активного таяния снега последствия разлива нефти проявились в ручье Огородный и в реке Гиляко-Абунан. Согласно данным НГДУ «Оханефтегаз» общее количество нефти, разлившееся в результате аварии, составило 2,7 т.

16 августа 2010 г. на территории Долинского района Сахалинской области произошел разлив нефти. Утечка нефтепродуктов произошла вдоль автодороги Долинск–Быков, где из-за сильных дождей произошел подмыв железнодорожного полотна, в ходе чего с рельс сошел железнодорожный состав в 65 м от лесопосадочной зоны. Повреждения получили 2 цистерны с нефтепродуктами, что привело к разливу нефти и попаданию нефти в ручей.

10 апреля 2013 г. в 23:30 в Охинском районе в результате схода оползня с рельс сошел железнодорожный состав, который принадлежал РН-Сахалинморнефтегазу, в ходе чего цистерны получили серьезные повреждения, что привело к разливу нефти в районе 800 м от Южного куста. Объем разлива составил 10 куб. м. На момент проверки авария была устранена, замазученный снег и грунт вывезены на шламонакопитель.

Анализ причин аварийных разливов показывает, что основными являются экстремальные климатические факторы и, как следствие, не соответствие защитных сооружений железнодорожного полотна этим вызовам.

Таким образом, аварии на железнодорожном транспорте (ЖДТ) при перевозке нефтепродуктов наносят огромный ущерб окружающей среде. Оптимизация транспортировки нефтепродуктов железнодорожным транспортом является актуальной инженерно-экологической задачей, решение которой поможет уменьшить общее число аварийных ситуаций. Выбор объекта исследования обусловлен, с одной стороны, опасностью и токсичностью, с другой – частотой аварий, связанных с проливами и разрушениями цистерн, в которых они транспортируются. Для перевозки нефтепродуктов на ЖДТ используются вагоны-цистерны, которые специально оборудованы для этой цели. В зависимости от вида перевозимых грузов вагоны-цистерны подразделяются на цистерны общего назначения и специальные. К цистернам общего назначения относятся цистерны для перевозки широкой номенклатуры жидких нефтепродуктов, не требующих подогрева при наливе и сливе в диапазоне климатических изменений температуры груза. Цистерны общего назначения составляют основную часть парка вагонов-цистерн.

1.1.4. Состояние экологической безопасности перевозок опасных грузов на Дальневосточной железной дороге

Анализ статистических данных за последние годы, приведенных в работе [49], показывает, что количество инцидентов с опасными грузами при перевозке в вагонах-цистернах на Дальневосточной железной дороге неуклонно растет, а значит, увеличивается негативное воздействие на окружающую природную среду. Численные значения по количеству инцидентов с разбивкой по причинам представлены в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Инциденты с опасными грузами на Дальневосточной железной дороге

Причина инцидента	Количество инцидентов за 2009–2015 гг.							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Всего
Течь из-за дефекта котла	17	26	15	20	29	24	34	165
Течь через сливной прибор	14	17	9	12	28	25	24	129
Течь через аппаратуру котла	3	1	2	0	4	10	1	21
Течь через неплотно закрытый люк	1	4	3	11	3	1	1	24
Течь из специальной цистерны-контейнера	2	1	0	0	0	0	0	3
Течь из универсального или специального контейнера	3	1	1	1	1	2	1	10
Течь (просыпание) из вагонов других типов	1	5	1	1	1	0	1	10
Возгорание груза	1	0	1	0	2	1	5	10
Всего	42	31	32	45	24	63	67	372

Железная дорога – это инженерная система, обеспечивающая процесс перевозок, в то же время она представляет собой отчужденную у природной среды полосу, искусственно приспособленную к движению поездов, с заданными техническими и экологическими показателями. Поэтому одной из задач, требующих решения, является поддержание эксплуатационных параметров на нормативном уровне и сведение к минимуму негативного воздействия этого объекта влияния.

Почва на территориях, прилегающих к железнодорожному полотну, является активным аккумулятором нефтесодержащих жидкостей, поэтому поступление загрязняющих веществ даже в малых концентрациях, но в течение продолжительного времени, приводит к их существенному накоплению. В результате накопления загрязняющих веществ меняются физические свойства балластного слоя, что приводит к повышению риска ЧС.

На этапе сооружения и эксплуатации железнодорожного полотна предусматривается комплекс мероприятий по охране окружающей природной среды, а также защите животного и растительного мира [49]. Несмотря на принимаемые меры, в процессе эксплуатации происходят постоянные изменения свойств и загрязнение балластного слоя и близлежащих почв и грунтов нефтепродуктами и их химическими реагентами. Наибольший ущерб приносят ЧС с разливами ННП, когда в окружающую природную среду попадает большое количество агрессивной жидкости одномоментно.

В связи с этим актуальным является поиск путей эффективного реагирования на ЧС. Обеспечить устойчивое состояние равновесия в приле-

гающей к железнодорожному полотну природной среде возможно при помощи комплекса правовых, организационных и технических методов.

Отдельную проблему составляет обеспечение экологической безопасности при перевозках опасных грузов, особенно по железным дорогам ввиду больших объемов транспортирования таких грузов. Аварийные ситуации и происшествия приводят не только к экономическим потерям, но и наносят значительный ущерб здоровью людей и окружающей среде.

К опасным грузам относятся вещества, материалы, изделия, отходы производства и иной деятельности, которые в силу присущих им свойств и особенностей при наличии определенных факторов в процессе транспортирования, при производстве погрузочно-разгрузочных работ и хранении могут нанести вред окружающей природной среде, послужить причиной взрыва, пожара или повреждения транспортных средств, устройств, зданий и сооружений, а также гибели, травмирования, отравления, ожогов или заболевания людей, животных и птиц.

Большое количество аварий при перевозке опасных грузов разными видами транспорта, часто с очень тяжелыми последствиями, вынудили международное сообщество и национальные органы власти в отдельных государствах разработать нормативно-правовые акты, регламентирующие перевозку таких грузов. Разработка рекомендаций на международном уровне по перевозке опасных грузов для всех видов транспорта осуществляется Комитетом экспертов по перевозке опасных грузов Экономического и социального совета Организации Объединенных Наций. Комитет экспертов разрабатывает Рекомендации по перевозке опасных грузов в форме «Типовых правил перевозки опасных грузов». Система международного регулирования перевозок опасных грузов достаточно сложна и включает 13 конвенций и соглашений, основными из которых для железнодорожного транспорта являются:

1) Правила международной перевозки опасных грузов по железным дорогам (МПОГ=RID);

2) Приложение 2 Правила перевозок опасных грузов к Соглашению о международном грузовом сообщении (СМГС);

3) Правила перевозок опасных грузов железными дорогами, утвержденные на 15-м заседании Совета по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества 5 апреля 1996 г.;

4) Базельская Конвенция о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением;

5) Директива 2003/105/ЕС Европейского парламента и Совета от 16 декабря 2003 г. об изменении Директивы Совета 96/82/ЕС о контроле крупных аварий, связанных с опасными веществами;

6) Правила перевозки жидких грузов наливом в вагонах-цистернах и вагонах бункерного типа для перевозки нефтебитума. Утверждены Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от 21–22 мая 2009 г. № 50) с изменениями и дополнениями, утвержденными на 64-м заседании СЖТ СНГ 18–19.05.2016 г.;

7) Аварийные карточки на опасные грузы, перевозимые по железным дорогам СНГ, Латвийской Республики, Литовской Республики, Эстонской Республики. Утверждены Советом по железнодорожному транспорту государств-участников Содружества (протокол от 30 мая 2008 г. № 48) с изменениями и дополнениями, утвержденными на 64-м заседании СЖТ СНГ 18–19.05.2016 г.

Опасные грузы в соответствии с международными требованиями, установленными Типовыми правилами ООН (Рекомендации по перевозке опасных грузов) классификации веществ и изделий, по характеру опасных свойств подразделяются на следующие классы.

Класс 1. Взрывчатые вещества и изделия.

Класс 2. Газы.

Класс 3. Легковоспламеняющиеся жидкости.

Класс 4.1. Легковоспламеняющиеся твердые вещества, самореактивные вещества и твердые десенсибилизированные взрывчатые вещества.

Класс 4.2. Самовозгорающиеся вещества.

Класс 4.3. Вещества, выделяющие воспламеняющиеся газы при взаимодействии с водой.

Класс 5.1. Окисляющие вещества.

Класс 5.2. Органические пероксиды.

Класс 6.1. Ядовитые (токсичные) вещества.

Класс 6.2. Инфекционные вещества.

Класс 7. Радиоактивные материалы.

Класс 8. Едкие (коррозионные) вещества.

Класс 9. Прочие опасные вещества.

Все ядовитые загрязняющие вещества от подвижных и стационарных источников по степени опасности делятся на 4 класса:

1) чрезвычайно опасные (тетраэтилсвинец, свинец, ртуть и др.);

2) высокоопасные (марганец, медь, серная кислота, хлор и др.);

3) умеренно опасные (ксилол, метиловый спирт и др.);

4) малоопасные (аммиак, бензин топливный, керосин, оксид углерода, скипидар, ацетон и др.).

Ввиду большой опасности экологических последствий перевозка опасных грузов железнодорожным транспортом регламентируется целым рядом нормативных и законодательных актов, среди которых можно выделить:

• Федеральный закон от 04.05.2011 г. № 99-ФЗ «О лицензировании отдельных видов деятельности», в котором, в частности, говорится, что лицензированию подлежит и деятельность по перевозкам железнодорожным транспортом опасных грузов. Лицензирование указанного вида деятельности осуществляется Федеральной службой РФ по надзору в сфере транспорта на основании Положения о лицензировании деятельности по перевозкам железнодорожным транспортом опасных грузов, утвержденного постановлением Правительства РФ от 21.03.2012 г. № 221;

• Правила безопасности при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом РД 15-73-94, устанавливающие общие требования:

– по изготовлению, ремонту и эксплуатации подвижного состава для этих перевозок;

– подготовке опасных грузов к перевозкам;

– пригодности тары и упаковки, используемой для перевозки опасных грузов;

– организации перевозочного процесса на магистральном и промышленном железнодорожном транспорте;

– организации контроля за перевозкой опасных грузов.

Правила направлены на охрану жизни и здоровья людей, защиту окружающей среды и обеспечение сохранности материальных ценностей при перевозке опасных грузов.

Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам определяют меры безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам и являются обязательными для работников железнодорожного транспорта, отправителей и получателей опасных грузов, а также для предприятий и организаций, осуществляющих транспортно-экспедиционное обслуживание грузоотправителей и грузополучателей и ликвидацию последствий аварийных ситуаций. Правила содержат аварийные карточки на опасные грузы, а также перечень-минимум технических средств, материалов для ликвидации последствий аварийных ситуаций с целью минимизации экологического ущерба.

1.2. Теоретические вопросы повышения безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов по железной дороге

Для решения вопроса минимизации рисков ЧС при перевозке ННП необходимо рассмотреть понятийный аппарат и теоретические основы обеспечения безопасности в аспекте выбранной цели работы.

Основной постулат – функционирование железнодорожного транспорта, как и других видов транспорта, должно обеспечивать необходимый уровень транспортной безопасности.

В соответствии с [47] под безопасностью понимается защита человека от чрезмерной опасности, а опасность – это воздействие на человека неблагоприятных и несовместимых с жизнью факторов, снижающих качество жизни.

Под транспортной безопасностью понимают состояние транспортной системы Российской Федерации, позволяющее обеспечивать национальную безопасность и национальные интересы в области транспортной деятельности, устойчивость транспортной деятельности, предотвращать (минимизировать) вред здоровью и жизни людей, ущерб имуществу и окружающей среде, общенациональный экономический ущерб при транспортной деятельности [23] .

Мероприятия по обеспечению безопасности основываются на определении степени риска или, другими словами, мере опасности возникновения аварий и обеспечении её приемлемого уровня, необходимого для равновесного состояния системы антропогенно-природного взаимодействия.

Под риском понимают количественную меру опасности, сочетающую в себе частоту или вероятность опасного или неблагоприятного события и тяжесть (серьезность) его последствий [26]. Обеспечение нулевого риска, т.е. абсолютной безопасности в действующих системах невозможно на основании многофакторности или многопричинности опасностей.

Рассматривая проблему риска и обеспечения технологической безопасности на железнодорожном транспорте, необходимо уделить внимание процессу идентификации опасностей и оценки риска для персонала, населения, объектов, окружающей природной среды и других объектов рассмотрения. Другими словами, необходим комплексный подход к изучению и учету многообразных факторов, которые формируют показатели риска.

Этот процесс называется анализом риска с целью однозначности определения опасности и оценки предполагаемых негативных последствий при нарушении работы рассматриваемых технологических систем, а также представления этих последствий в количественных показателях [60].

В общем виде алгоритм анализа риска схематично можно записать в следующем виде:

Идентификация опасностей → Анализ частоты → Анализ последствий.

Основным элементом анализа риска является идентификация опасности, обнаружение возможных нарушений, ведущих к негативным последствиям.

Алгоритм первого этапа – идентификации – можно записать в следующем виде:

Выявление опасности → Оценка уязвимости → Разработка рекомендаций.

На этапе выявления производится анализ информации о происшествиях, формулировка опасностей и определение уязвимостей, присущих системе железнодорожных перевозок. Следует отметить, что невыявленные на этом этапе опасности существенно снижают эффективность мероприятий по минимизации риска.

Таблица 1.2

Структура чрезвычайных происшествий

Источник происшествия	Доля в общем количестве, %
Техногенный	64
Природный	32
Социальный (включая терроризм)	4

Анализ сведений о чрезвычайных ситуациях, происшедших на территории Российской Федерации, позволяет определить общую структуру чрезвычайных происшествий (табл. 1.2) [108].

Из общей структуры можно выделить приоритеты в распределении прилагаемых усилий по повышению уровня транспортной безопасности.

Подавляющий процент происшествий является техногенным по природе, что позволяет сделать вывод, что основные усилия должны быть сконцентрированы в сфере технико-технологического фактора транспортной безопасности. Вслед за анализом риска необходимо производить оценку риска.

Оценка риска используется в определении величины риска анализируемой опасности, влияющей на здоровье человека, наносящей ущерб материальным ценностям и окружающей природной среде [40].

На этапе оценки риска опасности на железнодорожном транспорте оцениваются на основе критериев приемлемого риска. Приоритетное внимание на этой стадии необходимо уделять опасностям с неприемлемо высоким уровнем риска, с последующей разработкой мер по снижению этих опасностей до нормативного уровня.

Результаты оценки риска выражаются в качественных и количественных показателях. Выделяют два основных направления в оценке риска.

Логико-вероятностный, в его основе лежат два понятия: степень риска и уровень безопасности на основе статистики поломок и аварий и вероятностном анализе безопасности. Уровень безопасности системы можно описать формулой

$$\Xi(y) = 1 - \Psi(y), \qquad (1.1)$$

где y – логическая функция, характеризующая функционирование системы обеспечения безопасности; $\Psi(y)$ – степень риска; $\Xi(y)$ – уровень безопасности [85].

Такой подход может включать в себя построение деревьев событий и деревьев отказов на основании ориентированных графов [107]. В основе лежит постулат, что любое внешнее поражающее воздействие на один из элементов системы обязательно отразится некоторым образом на показателях надежности элементов и всей системы.

В этом случае деревья событий определяют, каким образом может трансформироваться отказ техники, деревья отказов показывают логическую взаимосвязь между неполадками технической системы, приводящими к возникновению ЧС. На основе этих деревьев определяется вероятность реализации каждой ветви, и в итоге – общая вероятность аварии [41, 109].

Недостатком является сложность математического аппарата, неполный объем и недостаточная достоверность исходных данных.

При экспертном подходе вероятности, связи между событиями и последствиями аварий определяются на основе экспертных опросов. Недостатком этого метода является зависимость от выбора экспертов, их уровня квалификации, опыта и владения исходной информацией.

Следует отметить, что величина риска – это вектор, состоящий из нескольких компонент, определяющий многокритериальный подход принятия решений, базирующийся на синергических принципах [138].

В обеспечении безопасности железнодорожного транспорта на современном этапе используется концепция приемлемого или допустимого риска. Концепция произошла от термина «принцип приемлемого риска», определенного как принцип ALARA «As Low As Reasonable Achievable», что переводится «так низко, как это в разумных пределах достижимо». Она базируется на социальном и экономическом уровне развития отрасли и государства в целом. Основополагающее утверждение в том, что нельзя обеспечить абсолютную безопасность на основе использования абсолютно безопасных технологий, но следует достигать такого уровня риска, с которым на данном этапе общество способно мириться.

Рассматриваемая концепция приемлемого риска является сочетанием технических, экономических, социальных аспектов и характеризуется возможностью достижения устойчивости и безопасности перевозочного процесса.

Уровень приемлемого риска может быть оценен количественно и должен быть обеспечен на приемлемом уровне в отрасли. Такой подход основан на компромиссе между уровнем безопасности и экономическими возможностями его достижения [142].

В настоящее время используются следующие методы определения рисков: статистические, детерминированные, вероятностные, имитационные, логико-вероятностные и комбинированные.

Кроме того, выделяются следующие категории расчетных ситуаций рисков: гипотетические с предельно малыми уровнями вероятностей и максимальными невосстановимыми катастрофическими ущербами; запроектные с низкими вероятностями и с высокими и частично восстановимыми катастрофическими ущербами; проектные с определенными уровнями вероятностей и с повышенными, но восстановимыми кризисными ущербами; режимные с повышенными вероятностями и предсказуемыми и восстановимыми ущербами; штатные с вероятностями, реализуемыми при нормальных уровнях функционирования компонент системы и восстановимыми ущербами.

При рассмотрении критериев расчетных рисков $R(t)$ и нормативных рисков $Rn(t)$ необходимо предусматривать определение основных источников возникновения рисков, развития опасных процессов $R(t)$ и ситуаций в системе природных $Rg(t)$, антропогенных (исполнительских) $Ra(t)$ и техногенных $Rt(t)$ рисков или их комбинаций [59]:

$$R(t) = Rg(t) + Ra(t) + Rt(t). \qquad (1.2)$$

Приемлемый риск характеризуется нормами для классов деятельности на основе объективной статистики.

Формулу приемлемого риска можно записать в виде

$$R(t) \leq Rn(t), \qquad (1.3)$$

где $R(t)$ – расчетный риск; $Rn(t)$ – нормативный риск. В этом случае система находится в состоянии устойчивого равновесия.

При $R(t) > Rn(t)$ наблюдается бифуркационное состояние системы, движение к катастрофе, когда накопленные незащищенные уязвимости приводят к нарушению равновесного и безопасного состояния системы.

В данном случае типичные признаки бифуркации – чувствительность к малым воздействиям вблизи точки бифуркации (малые причины могут иметь большие следствия), т.е. система становится предельно уязвимой при малом запасе прочности и, например, температурном перепаде либо динамическом воздействии, когда происходит потеря несущей способности конструкции вагона.

Бифуркацию можно определить как неустойчивость предшествующего состояния и возможность катастрофических скачков – конечного отклика на бесконечно малые воздействия [117].

Таким образом, важным является установление обоснованных величин риска при эксплуатации железнодорожного транспорта. Выше отмечено,

что приемлемый уровень риска определяется допустимым уровнем риска, обусловленным как естественными факторами, так и состоянием экономики и социально-культурным уровнем развития.

В этой связи из-за неравномерности фоновых рисков и степени опасности ЧС представляется возможным осуществлять перевозку категорий грузов по разным регламентам в зависимости от опасности воздействия на человека и окружающую среду (опасные, особо опасные грузы).

Анализ опыта эксплуатации показывает, что, например, для безопасной эксплуатации локомотивов, приемлемым является риск порядка 10^{-4}, что технически и экономически оправданно. Принимая во внимание, что количество грузовых вагонов и цистерн, участвующих в процессе перевозок, в разы больше количества локомотивов и взаимосвязь *ЧС → средство перевозки* более высокая, поскольку в данном случае осуществляется непосредственный контакт с опасными и особо опасными грузами, то приемлемый уровень риска можно принять 10^{-5} [134].

Концепция приемлемого риска подразумевает, исходя из экономической ситуации, поддержание максимального уровня риска, возможного для обеспечения физической, физиологической и экологической безопасности объектов и субъектов, участвующих в процессе перевозок.

Отсюда максимально приемлемый риск

$$Rn(t) - R(t) = \Delta R(t) \rightarrow \min, \qquad (1.4)$$

где $\Delta R(t)$ – запас прочности системы, характеризующий уровень безопасности.

Такой подход диктуется оптимизацией затрат на обеспечение безопасности системы перевозок на железнодорожном транспорте.

Таким образом, достижение приемлемого уровня риска невозможно без вложения необходимых финансовых ресурсов в поддержание нормального технического состояния техники и оборудования, создание новых методик и технических решений, подготовку специалистов и обслуживающего персонала.

Затраты на поддержание приемлемых рисков $Z(t)$ возрастают по мере увеличения техногенных рисков на железнодорожном транспорте:

$$Rn(t) = R(t) \cdot Z(t), \qquad (1.5)$$

где $Z(t)$ – затраты на снижение рисков $R(t)$ до приемлемых $Rn(t)$.

Рассматривая приемлемые риски на железнодорожном транспорте, необходимо иметь в виду, что существуют уровни риска, которые можно считать пренебрежимо малыми. В этом случае нет смысла в мерах по повышению безопасности, так как величина дополнительных затрат не со-

поставима с эффектом по снижению рисков. Но наряду с этим существуют уровни максимального приемлемого риска, величина расходов на снижение которых может быть очень большой, но работы по снижению рисков проводить необходимо.

Баланс между уровнем безопасности и финансовыми убытками, связанными с вложениями, направленными на повышение безопасности, является механизмом управления рисками.

Определение уровня приемлемого риска в процессе железнодорожных перевозок носит не только технический, но и политический характер и определяется экономическими возможностями страны и отрасли.

Вектор усилий в данном направлении обозначен Концепцией создания системы независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [114].

В концепции предложена система взглядов на вопросы создания и развития комплекса, определены цели, принципы, правила и процедуры организации и проведения независимой оценки рисков, состав системы независимой оценки рисков, а также функции, права и обязанности ее участников, взаимоотношения между ними.

На базе концепции разработано и утверждено Положение о системе независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера на территории Российской Федерации [15].

Изменения в современном состоянии вопроса требуют дальнейшего развития, проработки и принятия нормативных документов.

Таким образом, основная задача – обеспечение приемлемых рисков. Решение – в эффективном использовании сил и средств по минимизации рисков, применении высокоэффективного оборудования, а также в перераспределении ответственности за нанесение вреда или причинение ущерба в результате техногенных чрезвычайных ситуаций между государством и перевозчиком.

1.3. Анализ проблемы минимизации риска на железнодорожном транспорте и технологии управления рисками

Известно, что минимизация – это снижение вероятности возникновения неблагоприятного результата и возможных потерь, вызванных его реализацией. Для того, чтобы минимизировать риски, ими необходимо управлять.

Управление аварийными рисками лежит в междисциплинарном поле организационных процессов управления.

В общем виде под управлением риском понимается процесс рационального перераспределения затрат на снижение различных видов риска в условиях ограниченности материальных ресурсов общества. Другими словами, достижение такого уровня безопасности населения и окружающей среды, который возможен в существующих в данном обществе экономических и социальных условиях [2].

Управление аварийными рисками подразумевает совокупность мероприятий, направленных на снижение уровня технологического риска, уменьшение потенциальных материальных потерь и других негативных последствий аварий [40]. Иными словами, речь идет о минимизации рисков или предотвращении возникновения аварийных ситуаций и мерах по локализации негативных последствий аварий.

Из анализа формулы приемлемого риска (1.3) имеем: риск $R(t)$ – это произведение частоты опасного события P_D на тяжесть последствия S_D:

$$R(t) = P_D \cdot S_D\,. \tag{1.6}$$

Таким образом, цель – в минимизации опасного события D, а оно произойдет, если агент вызова T (опасность) взаимодействует с уязвимостью V, таким образом

$$D = T + V, \tag{1.7}$$

где T – агент вызова (потенциальный источник ущерба), характеризующий неблагоприятное или опасное воздействие природного, антропогенного или техногенного характера, обусловленное процессом перевозки грузов; D – опасное событие в виде отказа, аварии или ЧС в зависимости от степени тяжести последствий; V – уязвимость, характеризующаяся степенью восприимчивости объекта к агенту вызова – опасности.

Отсюда можно сделать вывод, что опасность не синонимична понятию риска, она не приведет к опасному событию, если не затронет людей или свойств окружающей среды.

Анализируя формулу опасного события (1.7), можно прийти к выводу, что риск ЧС наиболее вероятен, если есть слабые стороны в планировании процесса перевозок, системы предупреждения слабо развиты, мерами профилактики пренебрегают и географическое местоположение содержит совокупность опасных факторов в виде уязвимостей. Анализ причинно-следственных отношений необходим для организации адекватной реакции ответа, исправления ситуации.

Для минимизации рисков на железнодорожном транспорте необходимо распространить область управляемых объектов и состояний как на источник (опасность), так и на объекты восприятия аварийных ситуаций – уязвимости, являющиеся основным фактором, поддающимся управлению.

Необходим научный подход к принятию решений в целях обеспечения безопасности человека и окружающей его среды, основанный на количественном анализе риска и последствий от принимаемых решений.

Эти решения принимаются в рамках системы минимизации рисков, которая включает в себя:

– систему мониторинга, анализа риска и прогнозирования чрезвычайных ситуаций как основу деятельности по минимизации рисков;

– систему предупреждения чрезвычайных ситуаций;

– систему ликвидации, включающую оперативное реагирование на чрезвычайные ситуации, технические средства и технологии проведения аварийно-спасательных работ по первоочередному жизнеобеспечению и реабилитации пострадавшего населения;

– систему подготовки специалистов и руководящего состава органов управления в области снижения рисков и уменьшения масштабов чрезвычайных ситуаций [123].

Процесс управления рисками на железнодорожном транспорте можно описать следующей схемой (рис. 1.1) [22].

Основными этапами процесса управления рисками являются:

– идентификация (процесс нахождения, составления перечня и описания элементов риска);

– оценка (процесс сравнения оцененного риска с допустимыми с целью определения значимости риска);

– обработка (принятие решений по минимизации);

– мониторинг риска (постоянная проверка и определение текущего состояния с целью выявления изменений).

В настоящее время отмечается общая тенденция увеличения ущербов от ЧС, часто из-за нескоординированных мер по ликвидации последствий. Поэтому целью управления аварийными рисками является их минимизация, подразумевающая снижение степени воздействия опасного события и улучшение функции восстановления в ЧС на железнодорожном транспорте.

Первостепенную важность в данном контексте приобретает понятие конвергенции – концентрации сил и средств, человеческих и материальных ресурсов, направляемых для адекватного ответа на вызовы, вытекающие из чрезвычайной ситуации.

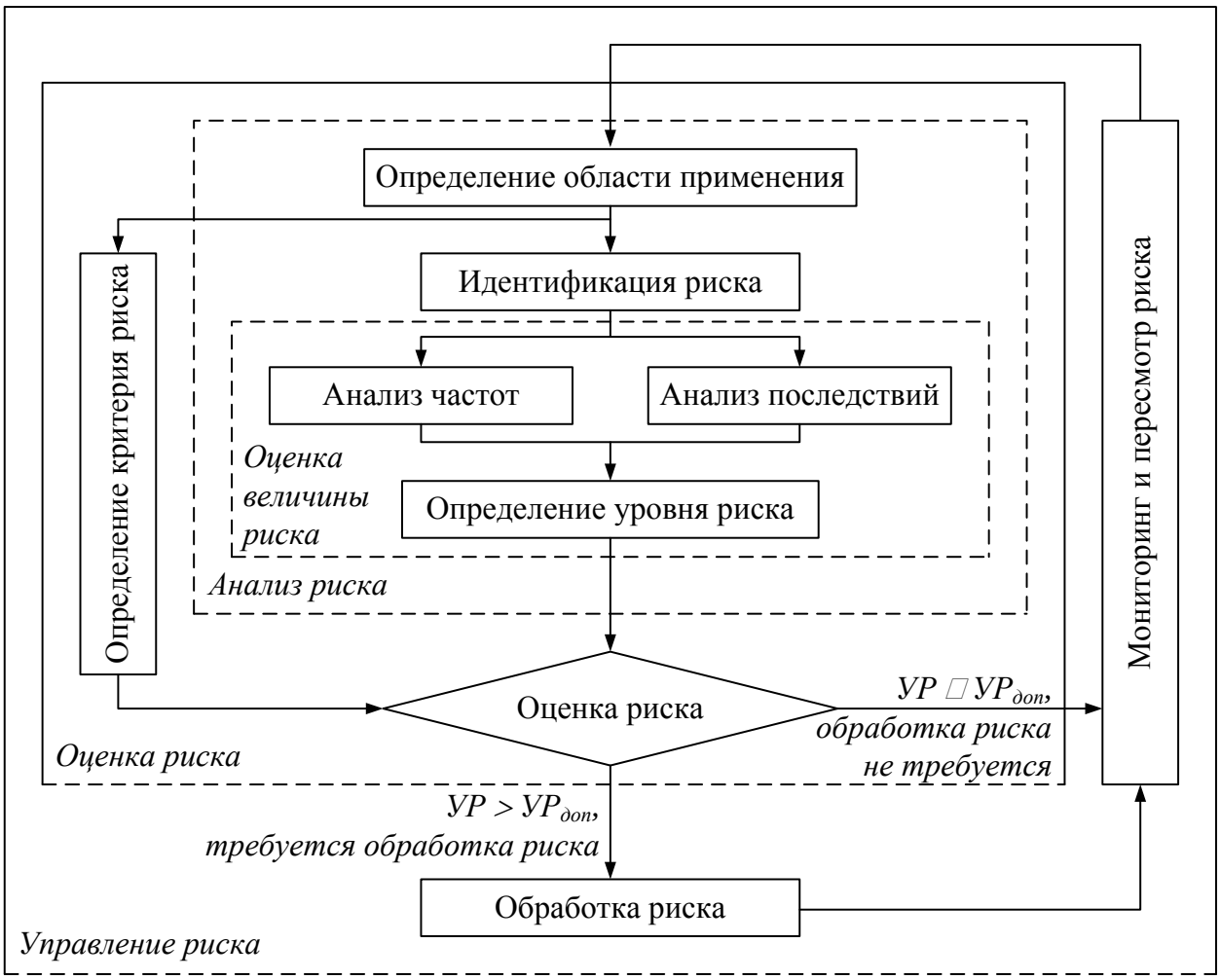


Рис. 1.1. Схема процесса управления рисками на железнодорожном транспорте: *УР* – уровень риска; $УР_{доп}$ – допустимый уровень риска

Другим важным понятием является интеграция, характеризующая степень взаимодействия между структурами, участвующими в процессе. Успешная стратегия управления рисками должна быть основана на адаптивном подходе к изменяющейся обстановке, поэтому очень важным в данном контексте является следующий алгоритм [140]:

Мониторинг → Анализ → Реагирование → Анализ.

Модель зависимости оценки риска и его управления показана на рис. 1.2.

Оценка риска строится на всестороннем изучении источника (перевозка нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом) и факторов риска (нефть как загрязняющее вещество в контексте особенностей экологической обстановки и применяемой технологии), а также механизма взаимодействия между этими составляющими.

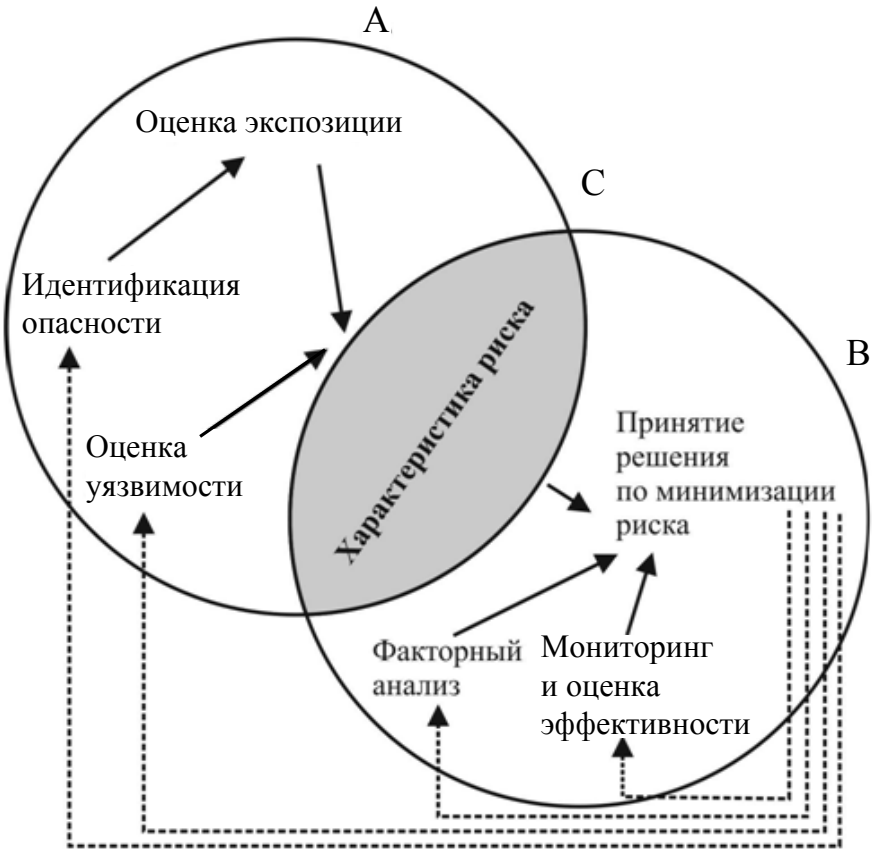


Рис. 1.2. Модель зависимости оценки риска и его управления:
А – оценка риска; В – управление риском;
С – зона, характеризующая риск

Процедура оценки риска необходима для процесса исследования и определения мер для управления риском исходя из алгоритма действий. Характеристика риска является заключительной фазой в процедуре оценки риска, она же является первым звеном в процедуре минимизации риска.

Управление риском опирается, прежде всего, на законодательную базу, а также на экономический и технологический анализ. Выше показано, что главной целью управления риском является ***минимизация риска***.

Интерес представляет работа [60], в которой учитывались следующие типы риска: медицинский, экологический, экономический и совокупный. В результате ранжирования автором выделены следующие проблемы с различной степенью риска [60].

1. Проблемы средней и высокой степени совокупного риска:

– загрязнение воздуха загрязняющими веществами;

– истончение озонового слоя;

– ЧС, связанные с разливами ННП.

2. Проблемы высокой степени медицинского риска и малой степени экологического риска:

– загрязнение воздуха токсичными загрязняющими веществами;

– другие виды загрязнения воздуха;

– качество питьевой воды;

– экспозиция персонала воздействию химических веществ.

3. Проблемы малой степени медицинского риска и высокой степени экологического и экономического риска:

– глобальное потепление климата;

– загрязнение поверхностных вод.

4. Проблемы малой или средней степени совокупного риска (проблемы подземных вод):

– действующие свалки опасных отходов;

– подземные хранилища отходов.

5. Проблемы различной (малой или средней) степени риска различных типов:

– загрязнение активного ила;

– аварийные выбросы токсичных веществ;

– аварийные разливы нефти.

Известно, что риски принято разделять на природные и антропогенные (вытекающие из деятельности человека).

Природные риски в чистом виде недоступны управлению человеком (землетрясения, лавины, катастрофические наводнения, падения метеоритов и т.д.). Эти риски могут быть просчитаны и измерены, но они неуправляемы в чистом виде.

Управление аварийным риском в принципе возможно лишь тогда, когда источник риска доступен воздействию человека, в нашем случае это антропогенные риски.

Важное значение при рассмотрении управления рисками должно придаваться синергическому принципу, когда суммарный эффект от комплекса мероприятий намного превышает воздействие от единичных нескоординированных усилий по реагированию на ЧС [143].

Таким образом, основное внимание при минимизации рисков необходимо уделять антропогенным рискам, которые можно разделить на две основные группы:

– исполнительские риски, связанные с непосредственной деятельностью человека в управлении процессами;

– техногенные риски, связанные с объектами деятельности человека и информационными ресурсами: нормативной документацией, технологией, и т.д.

Такие риски возможно и необходимо регулировать.

Принятые на железнодорожном транспорте технологии управления рисками позволяют аргументированно оценивать уровни рисков производственной деятельности как ОАО «РЖД», так и коалиционных внешних компаний, участвующих в процессе перевозок. Для решения этой задачи создается национальная нормативная база по управлению рисками на железнодорожном транспорте.

Для управления рисками на железнодорожном транспорте и организации доказательной базы обеспечения безопасности перевозочного процесса приняты национальные стандарты. На базе национальных стандартов принято шесть стандартов ОАО «РЖД», регламентирующих деятельность Компании в этом направлении. Внедрена, используется на сети железных дорог ОАО «РЖД» и постоянно совершенствуется комплексная автоматизированная система контроля устранения отказов, анализа надёжности технических средств и их учёта (КАСАНТ) [31]. Данная система служит для мониторинга состояния объектов инфраструктуры и подвижного состава на сети железных дорог. Унифицирует порядок учёта и расследования случаев отказов технических средств и повышает оперативность и достоверность собранной информации за счёт использования «безбумажной» технологии. Система КАСАНТ позволила использовать комплексные методы оценки эффективности эксплуатационной деятельности при использовании общесетевой единой базы данных учёта отказов технических средств [121].

Система КАСАНТ обеспечивает расследование, проведение анализа и учет случаев отказов в работе технических средств железной дороги. Эти сведения являются информационной базой данных для расчета показателей стандарта нормативно-методического обеспечения управления ресурсами, рисками и надежностью (УРРАН) на этапах жизненного цикла. Внедрение системы КАСАНТ позволяет автоматически фиксировать факты отказа. Информация получается из автоматизированного графика движения поездов системы ГИД, разработанной Урал-ВНИИЖТом. Достоверность данных складывается из возможности получения информации об отказах технических средств из различных источников. Достоверность учета факта отказа, информация по которому поступила из нескольких источников, обеспечивается специальным алгоритмом верификации собираемых данных на возможное дублирование [121].

Автоматизированная технология учета (КАСАТ), созданная на базе системы КАСАНТ, предназначена для расследования и анализа случаев технологических нарушений. Важнейшую роль играет мониторинг отказов и анализ надёжности работы системы. Информация, получаемая на

основе технологии, позволяет структурировать и подготовить ответные меры по ликвидации причин нарушений (рис. 1.3) [19].

Отказы 1-й категории – это отказы, приведшие к задержке пассажирского, пригородного или грузового поезда на перегоне (станции) на 1 час и более либо приведшие к транспортным происшествиям или событиям, связанным с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта [74]; отказы 2-й категории – отказы, приведшие к задержке пассажирского, пригородного или грузового поезда на перегоне (станции) продолжительностью от 6 минут до 1 часа либо к ухудшению эксплуатационных показателей [74].

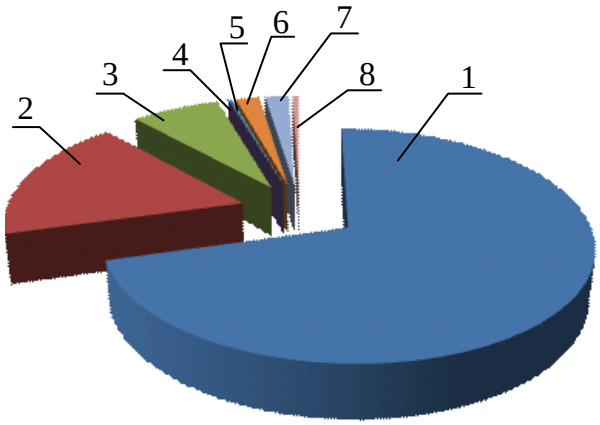


Рис. 1.3. Схема распределения отказов технических средств первой и второй категорий в вагонном комплексе по характеру причин: *1* – эксплуатационный (70,5 %); *2* – производственный при ремонте (17,7 %); *3* – из-за внешнего воздействия (7,1 %); *4* – производственный при монтаже (0,1 %); *5* – производственный при испытаниях (0,2 %); *6* – производственный при изготовлении (1,9 %); *7* – конструкционный (1,9 %); *8* – деградационный (износ) (0,5 %)

Ввиду того, что система организована для учета и анализа отказов, недостатком её является сложность применения в организации эффективного оперативного реагирования на инцидент ввиду отсутствия привязки к конкретному транспортному средству (цистерна) и точке события.

Наиболее потенциально опасными являются отказы в технических средствах, связанных с перевозкой опасных грузов, таких как ННП. В этой связи необходима разработка дополнительных мер по совершенствованию системы мониторинга и управления рисками.

Доступными и менее затратными в регулировании являются исполнительские риски, хотя расчет таких рисков представляется затруднительным и даже невозможным. Управление исполнительскими рисками возможно через повышение профессионального, культурного и психологического уровня персонала во всех структурах, участвующих в процессе перевозок грузов железнодорожным транспортом.

Исполнительские риски возможно перевести в разряд условно-техногенных путем создания технических устройств, контролирующих и, в опасных ситуациях, блокирующих неправомерные действия исполнителей. Фактор присутствия человека остается актуальным и проблема исполнительских рисков с применением специальных технических решений

не исчезает, а только меняется структурно. Эффективным в данном аспекте может быть непрерывный многоуровневый мониторинг персонала, включающий в себя мероприятия по аттестации, профессиональной переподготовке и инструктажу.

Мониторинг должен включать в себя плановые мероприятия по безотрывной проверке уровня и степени квалификации работников путем удаленной тестовой проверки по схеме

Работник → Центр тестирования → Работник.

Данная схема позволяет проверить уровень профессионально-психологического соответствия и, при необходимости, внести коррективы. В области мониторинга уровня подготовки специалистов, таким образом, необходимо иметь:

– централизованные программы обучения и переподготовки для специалистов по основным направлениям;

– региональные и отраслевые программы подготовки и переподготовки специалистов по проблемам безопасности в техногенной и природно-техногенной сфере;

– международные программы подготовки специалистов по проблемам защиты от аварий и катастроф с глобальными национальными и региональными последствиями [101].

Для гармонизации усилий субъектов, принимающих участие в реагировании на чрезвычайные ситуации на железнодорожном транспорте, могут быть использованы положения Стандарта ИСО 22320:2011 «Общественная безопасность. Управление в чрезвычайных ситуациях. Требования к реагированию на инциденты», в котором приводится глобальная передовая практика создания структур оперативного управления, процедур, системы поддержки принятия решения, мониторинга, информационного менеджмента [79].

Наиболее показательным (доступным в цифровом выражении) является управление техногенными рисками. Такие риски можно измерять, просчитывать и регулировать. Численные значения вероятности наступления такого нежелательного события и результатов его нежелательных последствий в этом случае характеризуются количественным показателем ущерба [5].

1.4. Разработка модели оценки риска для сегмента железной дороги

Рассмотрим одну из моделей оценки риска, связанного с перевозкой нефти железнодорожным транспортом (рис. 1.4).

На схеме представлены факторы и связи, влияющие на риск ЧС с перевозкой ННП и его оценку: исходные условия, узлы неопределенности, об-

работка. Для выражения в численных параметрах используем модель количественной оценки риска [139]. В зависимости от степени точности, требуемой для рассмотрения проблемы, могут быть использованы различные уровни анализа.

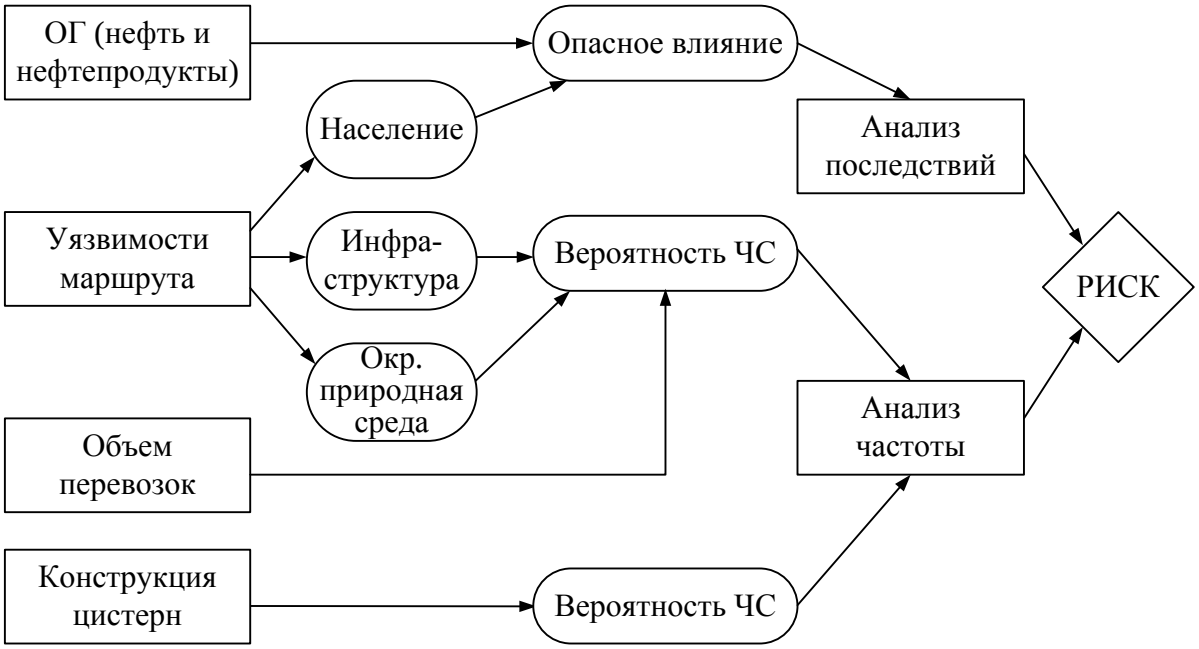


Рис. 1.4. Модель влияния входных условий на риск ЧС при перевозке нефти и нефтепродуктов

Наиболее очевидными характеристиками оценки риска в рассматриваемой ситуации являются число несчастных случаев и популяционная плотность Y_i на уровне отслеживаемого сегмента. Необходимо отметить, что Y_i берем как один из параметров. В комплексной оценке необходимо расширить число учитываемых параметров, принимая во внимание хозяйственную значимость K_{xi}, природоохранную K_{ni}, биоресурсную $K_{бi}$, культурно-историческую $K_{кi}$ характеристики сегмента. Известно, что потоки событий, переводящие систему из состояния в состояние, являются пуассоновскими [48].

Чтобы сформулировать модель риска, мы предполагаем, что возникновение чрезвычайной ситуации – случайное событие с известной нормой возникновения, так что оно может быть смоделировано с использованием распределения Пуассона. Тогда мы можем выразить вероятность k возникновений несчастного случая на отслеживаемом сегменте длины L, $P\{N(L) = k\}$ как

$$P\{N(L) = k\} = \frac{(Zl)^k}{k!} e^{-Zl}, \tag{1.8}$$

где $N(L)$ – число несчастных случаев на сегменте следа длины L, $k = 0, 1, 2 \ldots, Z$ – норма на единицу длины отслеживания (сегмента), в котором происходят несчастные случаи.

Пусть событие A состоит в появлении инцидента с железнодорожной цистерной, а A_i – появление инцидента во время перевозки на сегменте i. Тогда вероятность инцидента на сегменте i может быть представлена в виде

$$P(A_i) = 1 - P\{N(L_i) = 0\} = 1 - \exp(-Z_i l_i) \approx Z_i l_i, \qquad (1.9)$$

где Z_i – число несчастных случаев для следа, разделенного на сегменты i; l_i – длина сегмента i.

Для маршрута, включающего n сегментов, можем также выразить вероятность инцидента с перевозкой опасных грузов в цистернах $P(A)$, рассматривая негомогенный процесс Пуассона:

$$P(A) = 1 - \exp\left(-\int_0^L Z dl\right) = 1 - \exp\left(-\sum_{i=1}^{n} Z_i l_i\right) \approx \sum_{i=1}^{n} Z_i l_i. \qquad (1.10)$$

Число несчастных случаев Z_i может быть определено из статистики инцидентов для данного сегмента или других сегментов с подобными особенностями. Сделаем предположение, что вероятность ЧС не зависит от типа транспортируемого опасного груза [134].

Обозначим R – случайное событие, состоящее в появлении опасного разлива из цистерны, а R_i – появление разлива на сегменте i соответственно. Тогда, рассматривая вероятность опасного разлива на сегменте $P(R_i)$, допустим, что разлив не может произойти при отсутствии опасного инцидента, т.е.

$$P(R|A)\, P(A_i) = 0,$$

таким образом:

$$P(R_i) = P(R|A)\, P(A_i), \qquad (1.11)$$

где $P(R|A)$ – условная вероятность опасного разлива в результате инцидента.

Авторы, оценивая вероятность разлива $P(R|A)$ [144], не принимали во внимание конструктивные особенности цистерн, хотя разные конструкции имеют различные показатели надежности. В нашем случае имело место предположение, что использовался только один тип цистерн для перевозки опасного груза.

Если же используются несколько типов железнодорожных цистерн, то, опуская конструктивные особенности, обобщим условную вероятность

$P(R|A)_{agg}$, которая может быть определена путем использования средневзвешенных условных вероятностей:

$$P(R|A)_{agg} = \sum_t w_t P(R|A)_t \Big/ \sum_t w_t , \qquad (1.12)$$

где w_t – весовое значение процента цистерн с типом t проектных особенностей; $P(R|A)_t$ – условная вероятность риска инцидента цистерны с типом t проектных особенностей.

Для такого специфического опасного груза, как нефть, уровень последствия также зависит от количества разлитого груза, контактирующего с окружающей средой, который, в свою очередь, может меняться в зависимости от серьезности инцидента и окружающей природной среды. Чтобы учесть различные сценарии разлива, выразим вероятность определенного сценария разлива s для сегмента i следующим образом:

$$P(I_{si}) = P(I|R, A)_s \, P(R|A)_{agg} \, P(A_i), \qquad (1.13)$$

где $P(I|R, A)_s$ – условная вероятность реализации сценария s с разливом данного опасного груза от инцидента с цистерной.

Выразим последствие опасного разлива в популяционном аспекте, реализуемом в возможной эвакуации людей из затронутой области из-за инцидента. Так, последствие определенного сценария s на сегменте i запишем как

$$C_{si} = H_s Y_i, \qquad (1.14)$$

где H_s – площадь экспозиции разлива, откуда люди должны быть эвакуированы или защищены в реализации определенного сценария разлива s; Y_i – средняя популяционная плотность в области, соответствующей сегменту i.

Заключительный шаг должен определить количественный показатель риска U, другой количественный показатель для сравнения сегмента – средний индивидуальный риск V, определенный как полный ежегодный риск, разделенный на общее число населения, подверженного воздействию:

$$U = \sum_{si} P(I_{si})(C_{si}); \qquad (1.15)$$

$$V = \frac{\sum_{si} P(I_{si})(C_{si})}{2M \sum_i (Y_i)(L_i)}, \qquad (1.16)$$

где M – эвакуационный максимум в месте реализации сценария для специфического опасного материала.

При учете вероятности и последствий риска необходимо рассматривать профиль риска таким образом, чтобы изменение вероятности инцидента было соотнесено с изменениями в популяционном уровне и проанализировано отдельно для каждого случая.

Таким образом, рассматривая математическую модель описания популяционного риска, выделим одну из основных характеристик – ***популяционную плотность сегмента***. Под сегментом в нашем случае понимаем область реализации сценария, которая имеет весовую характеристику в виде популяционной плотности.

Определение вероятности инцидента необходимо производить, учитывая влияние опасности не только на человека как наиболее важную составляющую территориальной уязвимости, но и на все остальные территориальные параметры сегмента реализации сценария. В общем виде последствие разлива

$$C_{si(\mathrm{T})} = H_{s(\mathrm{T})} K_i, \qquad (1.17)$$

где K_i –численный показатель, характеризующий уязвимость территории.

Площадь экспозиции разлива H_s рассматриваем с учетом статистической модели, включающей в себя сложную форму эмиссии и дисперсии в зависимости от времени, статистику ЧС с разливами нефти, метеорологические наблюдения в районе ЧС и аварийные карточки как руководящие токсикологические принципы воздействия. Таким образом, $T = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$, где T – время реагирования; t_1 – время от происшествия до принятия сигнала «опасное событие»; t_2 – время обработки входящей информации и анализа риска; t_3 – время принятия решения; t_4 – время ликвидации последствий.

Выше было сказано, что природные риски являются неуправляемыми в «чистом» виде, но их можно сделать управляемыми в случае создания технических устройств, защищающих объекты, людей, природную среду от катастрофических явлений. В этом случае природные явления фактически переводятся в разряд антропогенных. Тогда риск будет определяться тем, обеспечивает техническое устройство защиту или нет, хотя исключить риск самого природного явления невозможно.

Таким образом, риск – это еще и дифференциальная характеристика возможных потерь. Количественный показатель риска можно выразить в денежной сумме, которую нужно резервировать для покрытия потерь. Некоторые потери трудно выразить деньгами – потерю жизни и здоровья, ущерб природе. В таких случаях применяется характеристика риска в натуральном выражении – годовые дозы загрязнения, выбросов и пр. [28]. Возникает необходимость сравнения этих показателей между собой и, как следствие, приведения к рублевому эквиваленту.

Итоговым значением такого анализа должны являться суммарные затраты на восстановление и компенсацию безвозвратных потерь в результате ЧС. В этом случае расчеты рисков в денежном выражении позволяет вести система страхования [91], когда достигается необходимый баланс между размером страхового взноса и величиной ответственности. Как известно, договор между страхователем и страховщиком заключается тогда, когда риск от сделки обе стороны признают приемлемым.

Делаем вывод, что для управления риском необходим не только его анализ и оценка, но и разработка и совершенствование мероприятий и средств по его минимизации. В этом контексте определен основной вектор внимания – ***уязвимости*** (см. подразд. 1.6).

1.5. Классификация уязвимостей на железнодорожном транспорте

Для идентификации риска более детально рассмотрим уязвимости, возникающие в процессе перевозки ННП по железной дороге. Их можно, по мнению авторов, разделить на три категории.

Природные уязвимости включают в себя [50, 51]:

• *географические*, когда железнодорожное полотно и объекты инфраструктуры расположены в зонах повышенной опасности, подверженных негативным природным факторам, таким как землетрясения, оползни, ураганы, наводнения. Управление уязвимостями в данном случае возможно путем развития системы оповещения, использования специальных конструкций в железнодорожных объектах и объектах инфраструктуры, способных противостоять повышенным опасностям;

• *экологические*, зависящие от способности самовосстановления окружающей природной среды, степени её ранимости и подверженности воздействию физических факторов; предрасположенностью территории, через которую осуществляются перевозки ННП к экологической деградации из-за уникальности видового состава и слабых мер по защите окружающей среды от воздействия железнодорожного транспорта. Управление возможно внедрением экологических программ и технологической оснащенностью по обеспечению безопасности.

Антропогенные уязвимости включают в себя [51]:

• *антропологические*, диктующиеся слабой подготовленностью персонала, неадекватной системой управления и контроля, низким уровнем производственной культуры. Управление в данном случае возможно путем аттестации, переподготовки и рациональной кадровой политики;

• *экономически*е, связанные с уровнем развития государства и, как следствие, железнодорожной отрасли. Данные уязвимости продиктованы

технологической малообеспеченностью и нехваткой материальных ресурсов. Управление в данном случае возможно путем применения системы страхования, т.е. резервации материальных средств на случай ЧС;

• *психосоциологические*, связанные с возрастом, полом, уровнем психологической устойчивости персонала, участвующего в процессе перевозок, неспособностью вовремя распознать риск возникновения ЧС. Управление возможно путем оптимизации поведенческих шаблонов, специальной антикризисной подготовки персонала, проведения имитационных учений;

• *политические*, зависящие от уровня адекватности законов, политических решений и нормативных актов, регулирующих процесс перевозок и взаимоотношений между участниками этого процесса и характеризующиеся неспособностью субъектов реализовывать в полном объёме инструкции. Управление возможно путем совершенствования законов и оптимизации их внедрения в процесс функционирования железной дороги;

• *юридические*, когда уязвимость исходит из игнорирования законодательных актов и норм, регламентирующих процесс перевозок. Управление возможно путем повышения ответственности за соблюдение нормативных актов, аттестации и переподготовки кадров.

Техногенные уязвимости включают в себя [50, 51]:

• *эксплуатационые*, возникающие из-за износа механизмов и узлов, потери прочности несущих конструкций, нарушения целостности ограждающих конструкций;

• *конструкционные,* возникающие из-за несовершенства технических решений объектов и инфраструктуры железнодорожного транспорта;

• *технологические,* возникающие из-за особенностей технологического процесса.

2. СНИЖЕНИЕ ВРЕМЕНИ ОПЕРАТИВНОГО РЕАГИРОВАНИЯ НА ЧРЕЗВЫЧАЙНЫЕ СИТУАЦИИ, СВЯЗАННЫЕ С РАЗЛИВАМИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ, ПЕРЕВОЗИМЫХ ПО ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

2.1. Обоснование разработки новых технических решений с целью повышения безопасности перевозки нефти и нефтепродуктов

Важной задачей, поставленной в монографии, является исследование, обоснование и разработка принципиально новых установок для минимизации рисков ЧС, связанных с разливами ННП.

Одним из определяющих факторов, влияющих на выбор технического решения, является оценка общего состояния окружающей среды на Даль-

нем Востоке. Уникальная пространственно-временная изменчивость природных условий, особенно гидротехнического режима, широкое развитие сезонной и многолетней мерзлоты определяют значительно меньшую относительно западных районов России устойчивость дальневосточных экосистем.

Неустойчивость возрастает с юга на север, что очевидно хотя бы на примере резко континентального климата [131]. Особенно актуальным является вопрос сохранения окружающей природной среды в Дальневосточном регионе, где любое антропогенное негативное воздействие оказывает существенное влияние на уникальный биоценоз.

К основным факторам риска на железнодорожном транспорте относится перевозка большого количества (более 300 млн т в год) опасных грузов, такие грузы составляют более 23 % от общего объема перевозок, и их объем за последние годы постоянно увеличивается. Основную долю в объеме опасных грузов занимают нефть и нефтепродукты [94] .

При транспортировке, а также при различных утечках и несоблюдении правил перевозок происходит загрязнение почв и, как следствие, всей окружающей природной среды. Экологические последствия поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в природную среду сводятся к следующему: изменению свойств почв и почвенного покрова, загрязнению поверхностных и почвенно-грунтовых вод, деградации и трансформации растительного покрова, а также деградации ландшафтов. Разливы нефти могут возникать практически повсюду на этапах хранения и транспортировки нефти [14]. Разливы классифицируются:

– по значимости объекта загрязнения (охраняемые природные территории, акватории);

– местонахождению (водные поверхности, территории городов, малонаселенные или удаленные от поселений территории);

– объему разлива нефти и площади нефтезагрязнения поверхностей;

– наличию подъездных путей и доступности для проведения восстановительных работ и другим параметрам [29].

В свою очередь, необходимо учитывать, что нефть как загрязняющее вещество представляет собой сложную смесь, большая часть которой – различные жидкие углеводороды, составляющие обычно 80–90 % по массе и 4–5 % органические соединения, преимущественно сернистые, азотистые и кислородные, а также металлоорганические соединения. Остальными составными компонентами являются растворённые углеводородные газы (4 %), вода (до 10 %), минеральные соли, растворы солей органических кислот и механические примеси. Соотношение этих компонентов варьируется в нефти различных видов из разных пластов и залежей [46].

Загрязнения наносят огромный ущерб биологическому равновесию окружающей среды и являются причиной всего комплекса проблем, который отрицательно влияет еще годы и десятилетия не только на флору и фауну, но также на людей и экономику.

Ущерб окружающей среде наносится не только в случае аварийных разливов, но и от потери нефтепродуктов при их транспортировке. До последнего времени считалось допустимым, что до 5 % от добытой нефти естественным путем теряется при ее хранении и перевозке.

Таблица 2.1

Нормы естественной убыли нефтепродуктов

Группа нефте-продуктов	Норма, % от массы груза
1, 2	0,210 (0,021)
3, 4	0,140 (0,014)
5	0,070 (0,007)
6	0,100 (0,010)

Нормы естественной убыли нефтепродуктов при перевозке наливом в железнодорожных цистернах (в килограммах на 1 т перевезенного количества, в % от массы груза) [73] представлены в табл. 2.1.

Годовой объем нефтяных загрязнений в России оценивается в размере 10–12 млн т, в то время как загрязнение нефтепродуктами в Европе не превышает 1,6 млн т ежегодно. Годовой экономический ущерб (прямой и косвенный) от чрезвычайных ситуаций, в том числе связанных с разливами нефти, составляет 1,5–2 % валового внутреннего продукта (от 675 до 900 млрд руб.) [69].

Загрязняющие вещества, наиболее распространёнными из которых являются нефть, нефтепродукты (мазут, топливо, смазочные материалы), которые не только негативно воздействуют на окружающую среду, но и ухудшают эксплуатационные свойства основания железнодорожного пути.

Для оценки загрязненности почвы принята классификация показателей уровня загрязнения по концентрации нефтепродуктов в почве [96]. Согласно ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации химических веществ в почве» уровень содержания, например, бензина в грунте не должен превышать 0,3 мг/кг.

Средняя концентрация загрязнения нефтепродуктами составляет 1,5 г/кг, что превышает предельно допустимую величину в 1,5 раза [118, 120]. На отдельных участках количество загрязняющих веществ на железнодорожном полотне достигает 20 г/кг грунта [13]. Такой грунт характеризуется как грунт очень высокого уровня загрязненности и требует неотложных работ по снижению концентрации ЗВ до уровня допустимого [58].

Таблица 2.2

Показатели уровня загрязнения земель нефтью и нефтепродуктами

Загрязняющие вещества	Уровень загрязнения, мг/кг				
	Допусти-мый	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
Нефть и нефтепродукты	ПДК	1000–2000	2000–3000	3000–5000	>5000

Таким образом, авторами предлагается комплексный подход в разработке эффективных технических решений, повышающих безопасность перевозки ННП. В следующем разделе будут рассмотрены опытные исследования влияния железной дороги на ООПТ.

2.2. Результаты исследования влияния железной дороги на особо охраняемые природные территории и рекомендации по снижению негативного воздействия

Спецификой Дальневосточного региона является то, что транспортные сети располагаются рядом с особо охраняемыми природными территориями, а иногда и проходят по ним, что существенно повышает риски ЧС при перевозке ННП. К ООПТ относят территории расположения природных комплексов и объектов особого значения, включающие в себя водные поверхности, поверхность земли и воздушное пространство над ними. ООПТ отнесены к объектам общенационального достояния. Функционирование ООПТ регламентировано федеральным и региональным законодательством [83].

Особо охраняемые природные территории предназначены для сохранения типичных и уникальных природных ландшафтов, разнообразия животного и растительного мира, охраны объектов природного и культурного наследия. Полностью или частично изъятые из хозяйственного использования, они имеют режим особой охраны, а на прилегающих к ним участках земли и водного пространства могут создаваться охранные зоны с регулируемым режимом хозяйственной деятельности.

Всего в Российской Федерации насчитывается около 12 тыс. особо охраняемых природных территорий федерального, регионального и местного значения, общая площадь которых составляет свыше 200 млн га [67]. На Дальнем Востоке ООПТ занимают более 12 % территории [67].

• Каждая из ООПТ имеет свою категорию, профиль и статус. При оценке воздействия ЧС с ННП на окружающую среду необходима оценка степени их влияния на ООПТ, расположенные вблизи железнодорожной

линии. Сложность такой оценки состоит в отсутствии унифицированного метода, а также в необходимости комплексного учета воздействия на все компоненты ООПТ: почву, флору, фауну, воздушную среду, поверхностные и подземные воды, геологические условия и пр. с учетом особой значимости территории.

Проблематичность адекватной оценки воздействия ЖДТ на биоценоз заключается и в том, что параметры, используемые для оценки воздействия на человека, обычно переносятся на окружающую среду. Существующие предельно допустимые нормы концентрации ННП не учитывают особого восприятия загрязнения растительным миром и животными. Многообразие видов и условий существования флоры и фауны не позволяет вывести единые критерии. Сложность выведения каких-либо единых критериев для оценки воздействия на ООПТ заключена также и в широком спектре их категорий, профилей и статуса.

Оптимальная система оценки воздействия ЧС с ННП на ООПТ должна включать в себя комплексную оценку воздействия на каждый из составляющих ее компонентов: воздух, поверхностные и подземные воды, растительный и животный мир, почвы и т.п. Обязателен анализ возможных аварийных ситуаций и их последствий для ООПТ с разработкой особого регламента мер реагирования на ЧС в таких зонах.

Анализируя возможность аварийной ситуации, при разработке плана ликвидаций аварийного разлива нефти в обязательном порядке необходимо учитывать наличие в зоне вероятного разлива ООПТ. Обобщая различные виды воздействия на ООПТ, для каждого из них можно рассчитать либо обосновать зону его негативного влияния. Подобный подход использовался при оценке влияния антропогенных объектов на ООПТ в работе [132], где были определены так называемые буферные зоны для антропогенных объектов по трем основным параметрам (химическое загрязнение, шумовое загрязнение, изменение гидрологического режима). Определение зоны воздействия должно основываться на комбинированной оценке всех возможных потенциальных видов воздействия и их временного масштаба, оценке ущерба для животного и растительного мира, оценке аварийных ситуаций. Учитывая различия в реакции на воздействия у разных компонентов ООПТ, необходимо не приводить к среднему значению зоны разных видов воздействия, а выделять наиболее значимые с учетом специфики охраняемой территории (категория, профиль, статус, международное значение), степени уязвимости объектов охраны, а также существующего антропогенного воздействия на ООПТ с помощью весовых коэффициентов.

Размеры зоны влияния могут интерпретироваться как дальность распространения влияния аварийного разлива ННП. Например, для нефтяных

и газовых промыслов такие зоны приняты 5 км, для трубопроводов – 1 км, соответственно и для железной дороги, транспортирующей ННП, можно принять зону распространения в 1 км. Но, учитывая возможность воздействий на ООПТ как на совокупность различных компонентов природной среды (флора, фауна, воздушная среда, водная среда и т.п.), допускаем, что зона прямого и косвенного воздействия на ООПТ может быть увеличена до 2–5 км для деятельности на суше, 3–10 км в случае воздействий на поверхностные водные объекты [132]. Таким образом, с учетом вышесказанного примем в нашей работе зону воздействия железной дороги на прилегающую территорию шириной в 3 км.

Особенно существенными негативные последствия для ООПТ могут быть в связи с аварийной ситуацией, в частности с разливом нефти или нефтепродуктов. При безаварийном режиме работ наиболее негативное воздействие на ООПТ может быть оказано на этапе эксплуатации (беспокойство, изменение свойств воздушной и водной среды и др.) в связи с накоплением ЗВ в балластном слое железнодорожного полотна. Временной масштаб воздействия при этом может быть хроническим, а интенсивность воздействия на ООПТ может повышаться до значительного уровня.

Оценка негативного влияния ННП на ООПТ должна включать в себя анализ всех возможных потенциальных видов воздействия, их пространственный и временной масштаб, выделение наиболее значимых с учетом специфики охраняемой территории. В системе обеспечения экологической безопасности перевозок нефтепродуктов по железной дороге как составляющей общей безопасности важной представляется содержательная интерпретация данных. Наиболее информационной является картографическая интерпретация информации. На основе сопоставления карты железных дорог и карты ООПТ, а также с учетом расположения водных объектов представлена карта природоохранных уязвимых территорий. Для таких зон необходима проработка особых технических и организационных условий (включая страхование опасных грузов при перевозке через уязвимую территорию) в целях концентрации финансовых возможностей в случае необходимости ликвидации последствий аварийных ситуаций (рис. 2.1).

Неравномерность антропогенной нагрузки, нарушение экологического равновесия прилегающей к железнодорожному полотну территории является одной из главных причин возникновения угрозы чрезвычайной ситуации экологического характера.

Важным аспектом в системе предупреждения аварийных ситуаций является процесс моделирования системы предупреждения, включающий в себя этап сопоставления модели местности, включающей в себя картографическую информацию (уязвимость, рельеф, техническая база) с моделью поведения нефти при разливах на основе аварийных карточек.

Рис. 2.1. Карта сопряжения Дальневосточной железной дороги с особо охраняемыми природными территориями и водными объектами: 1–6 – территории заповедников, в непосредственной близи от которых проходит железная дорога; 7–43 – потенциально опасные места пересечения железной дороги и водных объектов

Результатом является получение показателей (уязвимостей), характеризующих загрязнение: конфигурации нефтяного пятна, площади с концентрацией загрязнителя, а также наличия объектов, воспринимающих негативное влияние [6]. Основную опасность представляет нефть, разлитая непосредственно на земле, где она испаряется, подвергается окислению и воздействию микробов.

При пористой почве и низком уровне грунтовых вод нефть может загрязнять грунтовые воды. Анализ полученной информации позволяет принимать адекватные вызову организационно-технические решения по ликвидации последствий разлива, расчета сил и средств для проведения работ.

Карта уязвимости позволяет определять места концентрации технических средств для ликвидации последствий возможных чрезвычайных ситуаций с учетом экологической сохранности уникальных природных территорий, находящихся под охраной государства.

Карта сопряжения с ООПТ и водными объектами является одним из исходных информационных ресурсов, рассмотренных автором для построения матриц единичных уязвимостей и ранжирования уязвимости территории влияния железной дороги, определения комплексного территориального коэффициента (КТК).

2.3. Обоснование применения спутниковых навигационных систем для отслеживания опасных грузов, перевозимых по железной дороге

Ввиду особого значения обеспечения безопасности перевозок ННП как основного источника ЧС в Дальневосточном регионе требуются «прорывные технологии» для реализации поставленной цели. Наиболее перспективными в этом плане представляются спутниковые системы навигации и контроля. Опыт применения таких технологий в мире насчитывает более 50 лет. Первопроходцами являются системы TRANSIT (США) и ЦИКАДА (бывший СССР), развернутые в начале 1960-х гг. на низких орбитах. Более совершенные системы второго поколения начали реализовываться с запуска в 1977 г. министерством обороны США спутника системы NAVSTAR [30]. В 1983 г. система была открыта для использования в гражданских целях, а с 1991 г. были сняты ограничения на продажу оборудования Global Positioning System (GPS) в нашей стране. Полностью система была развернута в 1993 г., а затраты на её реализацию превысили 15 млрд долл. США [30].

Наиболее распространенным названием американской системы спутниковой навигации NAVSTAR является GPS, главная станция управления которой расположена в Колорадо-Спрингс. Основное предназначение GPS – определение координат объекта на земле, в море и околоземном пространстве. Орбиты спутников и параметры орбит заданы таким образом, чтобы покрывать всю земную поверхность и получать в любой момент времени сигналы от 5 до 12 спутников одновременно [127]. Использование GPS играет важную роль в навигации военных и гражданских объектов, а также в работе спасательных служб в системе КОСПАС-SARSAT [57]. Эта система в соответствии с международно-правовыми документами Международного авиационного и морского наставления по поиску и спасению (INTERNATIONAL AERONAUTICAL AND MARINE SEARCH AND RESCUE – IAMSAR) (ИАМСАР) используется для отслеживания местоположения терпящего бедствие транспортного средства [57].

Так как система GPS была развернута военным ведомством США, то в целях обеспечения обороноспособности нашей страны была разработана своя аналогичная глобальная навигационная спутниковая система (ГЛОНАСС). Первый запуск спутника по программе ГЛОНАСС (Космос 1413) состоялся 12 октября 1982 г., и в настоящее время орбитальная группировка состоит из 24 спутников. Система ГЛОНАСС была официально принята в эксплуатацию 24 сентября 1993 г. Первоначально российская система отличалась более низкой по сравнению с GPS точностью определения координат объектов. Поэтому для повышения конкурентоспособно-

сти и точности определения координат объектов в 2010 г. были запущены 3 космических аппарата «Глонасс-М», а с 2011 г. – серия космических аппаратов российской глобальной навигационной системы «Глонасс-К», обеспечивших соответствие по точности аппаратам GPS [18]. Аппараты «Глонасс-К» являются третьим поколением спутников серии «Глонасс». Новые спутники отличаются существенно увеличившимся гарантийным сроком их активного существования, сниженной массой, негерметичным исполнением, что позволяет работать в условиях открытого космоса. Запуск первого спутника этой серии успешно произведён с космодрома Плесецк 26 февраля 2011 г. [18].

Отличительными особенностями, позволяющими использовать систему для обеспечения безопасности железнодорожных перевозок, являются [18]:

– установка оборудования с новыми навигационными сигналами в формате множественного доступа с кодовым разветвлением (CDMA), совместимыми по формату с системами GPS/Galileo/Compass, которые значительно облегчают использование мультисистемных навигационных приборов;

– вдвое повышенная по сравнению со спутниками «Глонасс-М» интенсивность сигнала в диапазоне L3 точности навигационных определений;

– отсутствие импортных приборов, («Глонасс-К» – полностью российский аппарат, тогда как в «Глонасс-М» используются французские комплектующие);

– запуск с космодрома «Плесецк» РН «Союз-2» с разгонным блоком «Фрегат» (сразу по 2 спутника), что позволяет в 2 раза уменьшить стоимость выведения (после ввода в эксплуатацию космодрома «Восточный» в Амурской области стоимость запуска может быть еще существенно снижена.

Результатом действия программы модернизации спутников и наземных комплексов управления явилось увеличение точности навигационных определений системы ГЛОНАСС в 2–2,5 раза, что составит порядка 2,5–2,8 м для гражданских потребителей [18].

С 1 января 2015 г. введена в промышленную эксплуатацию государственная автоматизированная информационная система «ЭРА-ГЛОНАСС». Предполагается использование и развитие технологической инфраструктуры этой системы в интересах государственных и других информационных систем, создание новых технологий гражданского назначения с использованием возможностей системы, расширение качества и количества предоставляемых услуг, внедрение навигационно-информационных технологий и систем в различные области повседневной жизни и экономики.

Удешевление и развитие качественных характеристик системы ГЛОНАСС позволяет активно внедрять спутниковые навигационные системы

(СНС) для обеспечения безопасности транспортных систем. Международная морская организация через обязательные для исполнения всеми судами международные «инструменты» приняла решение об оснащении морских судов средствами высокоточного определения местоположения с использованием СНС.

К настоящему времени в качестве возможных спутниковых систем одобрены американская GPS и российская ГЛОНАСС. В соответствии с международными нормами морские суда, включая суда под флагом Российской Федерации, обязаны иметь спутниковые средства определения места системы ГЛОНАСС или GPS [38].

Опыт использования СНС на море привел к развитию большого количества прикладных технологий, позволяющих решать задачи судовождения, безопасности мореплавания, морской безопасности, мониторинга и управления судоходством с использованием информации СНС [38].

Системы мониторинга транспорта с момента их появления прошли путь от ненадежных и примитивных устройств, передававших информацию по запросу в коротких текстовых сообщениях или при помощи CSD соединения, до сложных программно-аппаратных комплексов, максимально автоматизированных, использующих последние достижения микроэлектроники и прикладной математики.

Двухсистемный ГЛОНАСС/GPS-трекер позволяет максимально точно определить координаты транспортного средства, а при наличии подключенных датчиков – и его необходимые технические характеристики. При современном уровне развития СНС и невысокой стоимости услуг GSM-операторов становится возможным организовать качественный контроль в реальном времени [18].

В связи с развитием системы спутниковой навигации и необходимостью минимизации рисков, связанных с перевозкой опасных грузов (в частности нефти и нефтепродуктов), становится особенно актуальным применение её для железнодорожного транспорта.

Автоматическое и автономное определение местоположения цистерн с опасным грузом позволяет реализовать систему управления и обеспечения безопасности с использованием минимального дополнительного количества технических средств.

Актуальным является не только оснащение железнодорожных транспортных средств спутниковыми навигационными приемниками, но и обеспечение эффективного использования навигационных данных.

Для достижения реального технического и экономического эффекта необходима организация комплекса по обеспечению безопасности и

управления перевозками опасных грузов, включающего в себя систему отслеживания и идентификацию места события [38].

Для этой цели необходимо решить задачу интеграции СНС с геоинформационными системами (ГИС) – электронными картами уязвимости территории влияния железной дороги.

В этом случае система мониторинга подвижных объектов работает по следующей схеме (рис. 2.2).

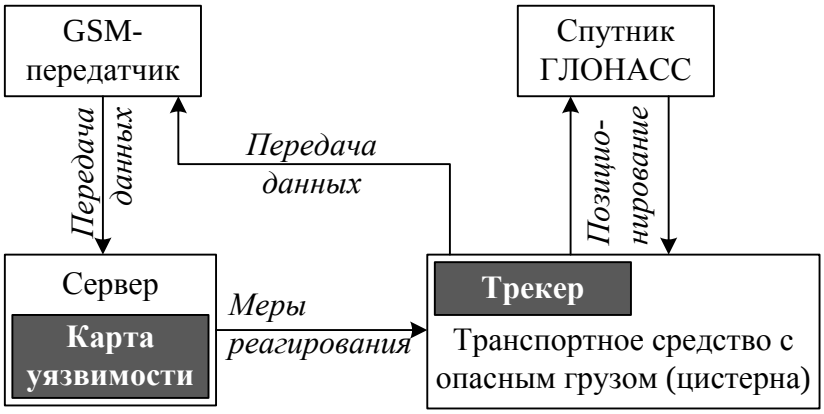


Рис. 2.2. Схема мониторинга железнодорожных цистерн с опасным грузом

В нашем случае комплекс работает следующим образом: на вагон-цистерну устанавливается ГЛОНАСС/GPS/GSM-трекер, который при помощи спутникового приемника определяет координаты, собирает информацию с датчиков (ватерпас, датчики температуры, датчики объема и др.) и по каналам GSM-связи, в виде бинарного Automatic Vehicle Location (AVL) – пакета системы автоматического определения расположения транспортного средства, передает эти данные на сервер для последующей обработки и оперативного использования.

На сервере производится автоматизированная аналитическая обработка данных с уведомлением о критических событиях. Соответствующие службы получают информацию при помощи клиентской части программного обеспечения или через веб-интерфейс. Современные двухсистемные ГЛОНАСС/GPS-модули позволяют фиксировать координаты практически в любых условиях. Трекеры снабжаются интерфейсами RS-232 для подключения к ним периферийных устройств. Для сохранения работоспособности в отсутствие сети GSM устройства снабжаются «черным ящиком» с запоминающим устройством на 64 000 точек, объема которого хватает на неделю работы в режиме вне покрытия сети [81]. При появлении GSM-сигнала происходит автоматическое его считывание и передача с временными характеристиками пакета информации.

Для организации СНС на железнодорожном транспорте при перевозке опасных грузов нет необходимости в разработке оригинального оборудования. В нашем случае с успехом могут применяться уже положительно зарекомендовавшие себя в автомобильном транспорте терминалы Novacom, построенные на базе устройства GPS. Оборудование GNS-GLONASS может быть удачным решением для компаний с государственным участием, таких как ОАО «РЖД», поскольку оно имеет приемники ГЛОНАСС.

Использование трекеров способно поднять на более высокий уровень безопасность перевозок опасных грузов, предотвратить или минимизировать последствия ЧС при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом. Опыт ЧС с большим количеством жертв показывает, что GSM-передатчики с соответствующим оборудованием необходимо также установить в местах пересечения железной дороги и магистральных нефте- и газопроводов для мониторинга физико-химических параметров окружающей среды и оперативного принятия мер реагирования на угрозы ЧС [20]. При своевременном обнаружении утечки газов и принятии соответствующих мер техногенных катастроф удается полностью избежать.

2.4. Снижение времени оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации при помощи электронных карт уязвимости

В связи с возрастающими объёмами перевозок опасных грузов железнодорожным транспортом для оперативного ответа на угрозы ЧС необходима разработка информационных электронных карт уязвимостей и потенциального ответа. Преимущество геоинформационной системы состоит в возможности интеграции информации из различных источников и представлении результатов в виде карты, что позволяет анализировать ситуацию как в региональном масштабе, так и переходить к акцентам на проблемы по конкретным участкам [141].

Электронная карта должна охватывать территорию, прилегающую к железной дороге с отдаленной границей до 3 км [50, 132]. Для составления электронных карт целесообразно использовать возможности навигационных спутников ГЛОНАСС и GPS для дистанционного зондирования (рис. 2.3).

Результаты моделирования пространственных функций неопределенности, полученные при использовании реальных данных о видимом созвездии навигационных спутников и векторе их положения, показали возможность получения разрешений порядка 200×50 м (в дальномерной и азимутальной плоскости). Такое разрешение является вполне достаточным для решения многих задач дистанционного зондирования [44]. Опти-

мизация траектории движения приемника, диаграммы направленности приемной антенны, метода обзора и алгоритмов обработки может существенно повысить разрешающую способность рассматриваемой многопозиционной системы для составления и мониторинга электронных карт [44].

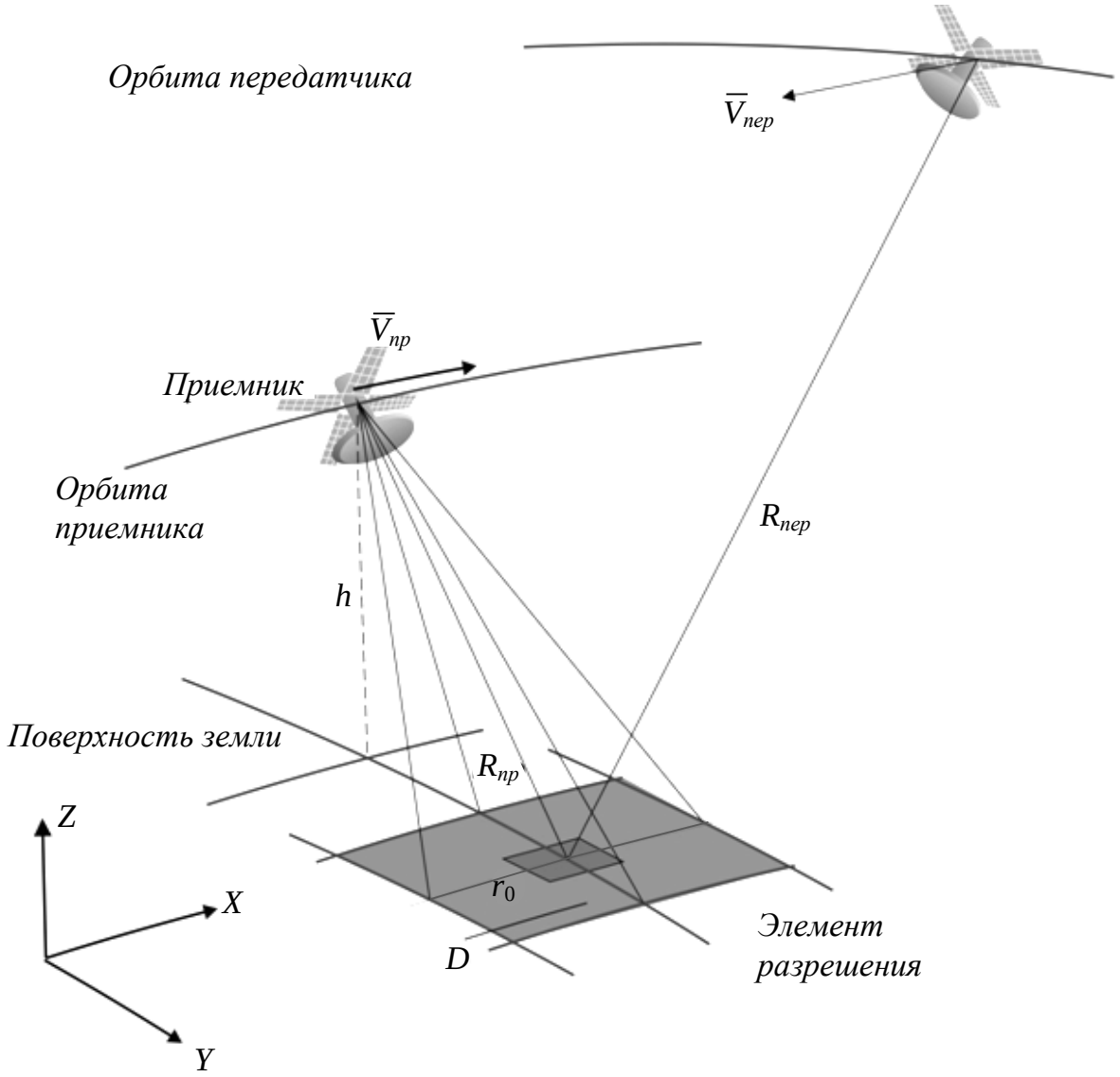


Рис. 2.3. Схема дистанционного зондирования поверхности Земли посредством использования СНС ГЛОНАСС: D – область обзора, представляющая собой пересечение следов диаграмм направленности антенн приемника и передатчика (навигационного спутника); r_0 – точка поверхности внутри области D; $R_{пер}$ и $R_{пр}$ – расстояние от точки поверхности r_0 до передатчика и приемника соответственно

Создание комплекса «ГИС – электронная карта уязвимостей» позволит привлекать необходимые силы и средства, исходя из реальной ситуации и обстановки, совершенствовать режимы эксплуатации участков железных дорог и обеспечивать минимизацию рисков с наименьшими затратами.

Одним из критериев минимизации является сокращение времени оперативного реагирования на ЧС. Под оперативным реагированием мы понимаем осуществление взаимосвязанных действий органов управления по незамедлительному получению информации о факте возникновения чрезвычайных ситуаций, своевременному оповещению о них заинтересованных организаций, а также по уточнению и анализу обстановки, принятию решений и организации ликвидации чрезвычайных ситуаций соответствующими силами и средствами [110].

При решении задач оперативного управления ликвидацией ЧС с ННП требуется привлечение разнородной информации, в том числе координатно привязанной.

Эта информация должна представляться в удобной для анализа форме и обеспечивать принятие оптимальных управленческих решений [43]. Таким требованиям отвечают ГИС и технологии на их основе.

Снижение времени реагирования непосредственно зависит от возможности незамедлительного получения полной информации о месте происшествия и о рациональном размещении сил реагирования. При происшествиях и ЧС на железной дороге, когда счет идет на минуты, эту задачу возможно решить разработкой и интеграцией динамических карт с ГИС диспетчерской службы. В этом случае после поступления через СНС сигнала об инциденте возможно моментальное определение местоположения объекта на электронной карте.

На карте представлена информация как о категории «вызова» (ранжированные уязвимости), так и о категории «ответа» (наличие сил и зоны обслуживания служб быстрого реагирования) [54].

Оперативный доступ к подобной информации через простой в использовании интерфейс особенно важен для условий Дальнего Востока, где население распределено в основном вдоль железной дороги. На территории региона находятся сотни больших и малых рек, находящихся в зоне влияния железной дороги. Здесь же расположено большое число охраняемых природных территорий и уникальных природных объектов, что является определяющим фактором в переводе происшествия в разряд чрезвычайной ситуации.

Обновление информации в цифровой базе данных – одно из существенных преимуществ таких карт. Для ввода новых данных необходим мониторинг территории влияния железной дороги, организация и использование специальной подсистемы, учитывающей текущие изменения параметров.

Таким образом, очевидна необходимость создания и поддержания в актуализированном состоянии региональной железнодорожной ГИС, в

ежедневной реальной проверке эффективности которой заинтересованы службы оперативного реагирования железной дороги.

Комплекс работает следующим образом. На подвижной состав, перевозящий опасные и особо опасные грузы, устанавливаются ГЛОНАСС-трекеры, к передающим устройствам которых подключаются информативные датчики (объема, координационного соответствия, давления, температуры и т.д.). При срабатывании датчика передающее устройство автоматически дополнительно передает сигнал «угроза» с указанием координат и скорости объекта. Сигнал поступает на сервер, а затем техническим службам (в непосредственной доступности) для оперативной обработки сигнала. В случае неподтверждения информации сигнал «угроза» снимается, в противном случае принимаются оперативные меры по его отработке с привлечением необходимых сил и средств. Планирование и оперативное руководство функцией ответа в данном случае благодаря наличию ГИС моментально имеет всю необходимую информацию о статусе и категории территории, позволяющую мгновенно оценить обстановку и принять необходимые меры по ликвидации ЧС и её последствий.

Организация такого комплекса позволит оперативно и адекватно реагировать на ЧС с привлечением необходимых сил и средств и обеспечить безопасность перевозок грузов на более высоком уровне. Применение СНС в комплексе с ГИС позволит повысить эффективность деятельности сил и средств по реагированию на возникновение ЧС.

2.5. Организация внедрения спутниковых навигационных систем при перевозке опасных грузов по железной дороге

В связи с большим количеством перевозчиков, владеющих собственным парком подвижного состава, необходимо принятие мер законодательного уровня для внедрения СНС.

Такой мерой может быть внесение поправок в закон о лицензировании. Согласно Федеральному закону РФ от 4 мая 2011 г. № 99-ФЗ лицензированию подлежит деятельность по перевозкам железнодорожным транспортом опасных грузов и погрузочно-разгрузочная деятельность применительно к опасным грузам на железнодорожном транспорте [4].

В дополнение и развитие этого закона принято постановление Правительства РФ от 21.03.2012 г. № 221 (ред. от 16.11.2012 г.) «О лицензировании отдельных видов деятельности на железнодорожном транспорте», в соответствии которым в состав лицензируемой деятельности входят (п. 3) погрузочно-разгрузочные операции с опасными грузами, осуществляемые на железнодорожном транспорте общего и необщего пользования.

Для осуществления перевозок ОГ необходимо [64]:

– п. 4, б) наличие у соискателя лицензии (лицензиата) в собственности (или каком-либо ином законном основании) железнодорожного подвижного состава и оборудования, соответствующего установленным требованиям, а также технической и эксплуатационной документации, предусмотренным статьей 17 Федерального закона «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации»;

– п. 4, в) наличие в структуре соискателя лицензии (лицензиата) специализированного подразделения по ликвидации чрезвычайных ситуаций или соответствующего договора со сторонними специализированными организациями, предусмотренного статьей 24 Федерального закона «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации»; в редакции постановления Правительства РФ от 16.11.2012 г. № 117.

Для реализации предлагаемых мер в Положение о лицензировании деятельности по перевозкам железнодорожным транспортом опасных грузов необходимо добавить в п. 4 «Оборудование» требование установки систем СНС на подвижной состав для перевозок опасных грузов, а также наличие квалифицированного, аттестованного персонала для установки и обслуживания данного оборудования [63].

2.6. Ранжирование уязвимостей территории влияния железной дороги на основе единичных матриц и метода кластерного анализа

Для эффективной работы ГИС на железнодорожном транспорте предлагается ранжирование уязвимостей территории, прилегающей к железной дороге.

Вопросам ранжирования железной дороги по категориям опасности посвящены работы [55, 120], в которых предложено категорирование железнодорожной линии по рангам опасности и использование карты комплексного риска, обобщающей природные опасности без дифференциации по различным видам уязвимостей и привязки к точке события. В работе [7] рассматривается вопрос районирования территории при транспортировке нефти и нефтепродуктов с использованием карт чувствительности.

В отличие от предложенных выше методов для более точной характеристики места события целесообразно «точечное» ранжирование уязвимостей зоны влияния железной дороги с применением единичных матриц уязвимостей. В качестве единичной «точки» принимается ячейка разбиения.

Методика основана на ранжировании по экологической, хозяйственной, природоохранной, биоресурсной, культурной значимости посредст-

вом определения матриц единичных коэффициентов, описывающих каждую точку события [32].

Матрица единичного коэффициента отражает степень уязвимости по одной из категорий с присвоением численного значения весовой характеристики каждой ячейке. Рассматриваемая территория разбивается на ячейки сеткой с меридионально ориентированной одной стороной.

Площадь фрагментируется на ячейки с присвоением весового единичного коэффициента [32]. Наложение единичных матриц позволяет определить комплексный территориальный коэффициент (КТК)[49]. На основе КТК составляется электронная карта. На электронную карту заносится информация об уязвимостях, силах и средствах ответа, покрывающих данную территорию, таким образом, что под курсором определяются следующие показатели [49]:

– информация категории «уязвимости»: наличие населенных пунктов, промышленных предприятий и сооружений (включая трубопроводы); наличие естественных и искусственных водоемов и водозаборов; наличие особо охраняемых природных объектов; наличие краснокнижных и эндемичных природных объектов (растения, животные, ландшафтные объекты); наличие нерестилищ и мест размножения животных, путей миграции животных (экологических коридоров); наличие сельскохозяйственных угодий, свойства грунтов и рельефа поверхности;

– информация категории «потенциального ответа»: наличие формирований службы ЧС; расстояние до ближайших спасательных и противопожарных формирований, специальных воинских формирований; территориальная расположенность сил и средств ответа, наличие подъездных путей [54].

За основу построения электронной карты уязвимостей железной дороги возможно принять уже существующие электронные карты и дополнительно ранжировать территорию, прилегающую к железной дороге, по экологической, хозяйственной, природоохранной, культурной значимости.

В качестве методической базы для определения набора характеристик территории влияния железной дороги при разливах нефтепродуктов может быть использован Регламент [76].

Документ разработан в целях установления порядка действий подразделений аппарата управления, филиалов открытого акционерного общества «Российские железные дороги» и их структурных подразделений при возникновении аварийных ситуаций с экологическими последствиями на объектах хозяйственной и иной деятельности.

Регламент определяет список рекомендуемых нормативных документов по определению ущерба окружающей среде в результате аварийной ситуации. Поскольку уязвимость – это возможность реагирования объекта

с ущербом, то на основе нормативных документов определяются показатели территориальной уязвимости. Величина ущерба от загрязнения окружающей среды в результате пролива опасных грузов определяется суммой ущербов и складывается [76]:

– из ущерба, причиненного загрязнением атмосферного воздуха;

– ущерба, причиненного загрязнением водного объекта;

– ущерба, причиненного загрязнением, деградацией, засорением и захламлением земель;

– ущерба, наносимого фауне и флоре;

– ущерба от отдаленных последствий аварийной ситуации.

Наряду с потенциальным ущербом окружающей природной среде учитывается ущерб инфраструктуре и историко-культурный аспект.

По каждому виду потенциального ущерба составляется матрица единичных коэффициентов уязвимости таким образом, что ячейке присваивается весовой коэффициент, если на площадь ячейки попадает хотя бы часть объекта ранжирования [32].

Весовые коэффициенты распределяются на основе нормативных документов, в случае отсутствия таковых возможно использование экспертных оценок как произведение нормированного частного показателя на его весовой коэффициент:

$$\kappa_i = \alpha_i \, (x_i / x_{i\max}), \tag{2.1}$$

где x_i – численное значение i-го частного показателя ячейки матрицы; $x_{i\max}$ – максимальное значение i-го частного показателя ячейки матрицы; α_i – весовой коэффициент [119], учитывающий значимость i-го частного показателя ячейки матрицы $0{,}1 \le \alpha_i \le 1$, $\alpha_i = 1$ в случае сопряжения ячейки с водными объектами, так как любой разлив нефти на водный объект классифицируется как ЧС.

Единичные матрицы коэффициентов уязвимости необходимы для определения комплексных территориальных коэффициентов (КТК), предлагаемых для оценки степени чувствительности к воздействию разливов нефтепродуктов территории и возможного эколого-хозяйственного ущерба от ЧС.

В нашем случае имеем

$$КТК = К_{во} + К_{ис} + К_{н} + К_{пр} + К_{о}\,, \tag{2.2}$$

где $К_{во}$ – водоохранный коэффициент; $К_{ис}$ – коэффициент искусственного сооружения; $К_{н}$ – коэффициент населенного пункта; $К_{пр}$ – природоохранный коэффициент; $К_{о}$ – коэффициент особо важных сооружений [54].

В общем виде можно записать:

$$КТК = \sum_{1}^{n} K_i \,, \qquad (2.3)$$

где K_i – коэффициенты единичных матриц уязвимостей; n – количество единичных матриц уязвимости на сегменте.

На основе анализа нормативных документов и состояния прилегающей к железной дороге территории положим, что при $0{,}1 \leq КТК \leq 0{,}5$ – *умеренно уязвимая территория;* $0{,}5 < КТК \leq 1{,}0$ (при $n > 1$) – *высокоуязвимая территория;* $1{,}0 < КТК \leq n$ – *чрезвычайно уязвимая территория.*

Ранжирование, необходимое для оптимизации реагирования в случае возникновения происшествия или ЧС с опасными грузами, перевозимыми железной дорогой, может производиться на основе кластерного анализа единичных матриц уязвимостей.

Методы кластерного анализа можно применять в различных ситуациях, встречающихся в исследованиях как научных, так и чисто прикладного характера. Впервые термин «кластерный анализ» (англ. cluster гроздь, сгусток, пучок) был предложен математиком Р. Трионом [145]. Впоследствии возник ряд терминов, которые в настоящее время принято считать синонимами термина «кластерный анализ»: автоматическая классификация, численная токсономия, численная классификация, ботриология и т.д.

Кластерный анализ используется для разбиения множества рассматриваемых объектов или признаков на группы или кластеры, объединяющиеся по определенным критериям. Данные в каждой группе обладают некоторыми общими чертами – близостью по определенной мере (расстоянию – алгоритма объединения) [35].

Назначением этого алгоритма является объединение объектов (показателей уязвимости) в достаточно большие кластеры с использованием некоторой меры сходства или расстояния между объектами.

Посредством кластерного анализа возможно решить задачу классификации множества данных, а также определить её структуру. По сути, это задача многомерной классификации данных.

В нашем случае основным преимуществом применения метода кластерного анализа является возможность производить распределение объектов по набору различных параметров. Эти параметры, в отличие от большинства математико-статистических методов, могут быть произвольной природы, что позволяет рассматривать их без каких-либо ограничений. Более того, кластерный анализ позволяет сопоставлять несопоставимые по своей природе факторы.

Цель кластерного анализа – на основании данных, содержащихся в некотором множестве X, разбить анализируемые объекты I на целое (m) число кластеров $\pi_1, \pi_2, \ldots, \pi_m$ таким образом, чтобы объекты одного кластера были сходными, а разных кластеров – разнородными, в то же время каждый объект I_i принадлежал бы только одному подмножеству разбиения [12].

Таким образом, разбиения, удовлетворяющие некоторому критерию оптимальности, являются решением задачи кластерного анализа.

Целевой функцией может быть функционал, выражающий уровни желательности различных разбиений и группировок. В качестве целевой функции можно принять внутригрупповую сумму квадратов отклонения:

$$W = \sum_{j=1}^{n}(x_j - \bar{x})^2 = \sum_{j=1}^{n} x_j^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{j=1}^{n} x_j\right)^2, \qquad (2.4)$$

где x_j – это значения j-го объекта.

Определим понятия сходства и разнородности таким образом: i-й и j-й элементы попадут в один и тот же кластер, если расстояние между точками X_i и X_j будет относительно маленьким, в то время как элементы попадут в разные кластеры, если расстояние будет достаточно большим. Иначе говоря, возможность попадания в одну или в разные группы объектов диктуется расстоянием между X_i и X_j из E_p, где E_p – евклидово p-мерное пространство. Неотрицательная вещественнозначная функция $d(X_i, X_j)$ называется функцией расстояния (метрикой), если:

а) $d(X_i, X_j) \geq 0$, для всех X_i и X_j из E_p;

б) $d(X_i, X_j) = 0$, при $X_i = X_j$;

в) $d(X_i, X_j) = d(X_j, X_i)$;

г) $d(X_i, X_j) \leq d(X_i, X_k) + d(X_k, X_j)$, где X_i, X_j и X_k – любые три вектора из E_p [36].

В этом случае расстоянием между X_i и X_j будет $d(X_i, X_j)$, оно эквивалентно расстоянию между I_i и I_j соответственно выбранным характеристикам ($F_1, F_2, \ldots, F_p$).

Представим n измерений $X_1, X_2, \ldots, X_n$ в виде матрицы данных $p \times n$ [12]:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \ldots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \ldots & x_{2n} \\ x_{p1} & x_{p2} & \ldots & x_{pn} \end{pmatrix} = (X_1, X_2, \ldots, X_n). \qquad (2.5)$$

Аналогичным образом расстояния между парами векторов $d\ (X_i, X_j)$ могут быть представлены в виде симметричной матрицы расстояний:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & 0 & \dots & d_{2n} \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix}. \qquad (2.6)$$

Заметим, что диагональные элементы $d_{ii} = 0$ для $i = 1, 2, \dots, n$.

Понятие сходства между двумя объектами I_i и I_j является понятием, противоположным расстоянию. Функция $s(X_i, X_j) = s_{ij}$ будет называться мерой сходства в следующих случаях:

1) $0 \le s\ (X_i, X_j) < 1$ при $X_i \ne X_j$;

2) $s\ (X_i, X_i) = 1$;

3) $s\ (X_i, X_j) = s\ (X_j, X_i)$.

Объединим пары значений мер сходства в матрицу сходства:

$$S = \begin{pmatrix} 1 & s_{12} & \dots & s_{1n} \\ s_{21} & 1 & \dots & s_{2n} \\ s_{n1} & s_{n2} & \dots & 1 \end{pmatrix}. \qquad (2.7)$$

В этом случае s_{ij} называют коэффициентом сходства. Если каждый вектор измерения X_i состоит из нулей и единиц, эту величину называют коэффициентом ассоциации, или парным коэффициентом сопряженности.

Иерархические методы представляют собой процедуры создания последовательности вложенных разбиений, исходя из данных матрицы близости [135].

Представим объекты $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$ как множество кластеров $\{I_1\}$, $\{I_2\}$, ..., $\{I_n\}$. Выберем два из них, например, I_i и I_j, которые более близки друг к другу, и объединим их в один кластер.

Тогда новое множество кластеров будет размерности $n - 1$: $\{I_1\}$, $\{I_2\}$, …, $\{I_i, I_j\}$, …, $\{I_n\}$.

Повторяя процесс, получим последовательные множества кластеров: $(n - 2)$, $(n - 3)$, $(n - 4)$, ... В итоге получим кластер, совпадающий с первоначальным множеством $I = (I_1, I_2, \dots, I_n)$ и состоящий из n объектов.

В качестве меры расстояния примем d_{ij}^2 – квадрат евклидовой метрики.

Для наглядности вычислим матрицу $D = \{\, d_{ij}^2 \,\}$, где d_{ij}^2 – квадрат расстояния между I_i и I_j [12]:

	I_1	I_2	I_3	...	I_n
I_1	0	d_{12}^2	d_{13}^2	...	d_{1n}^2
I_2		0	d_{23}^2	...	d_{2n}^2
I_3			0	...	d_{3n}^2
...				...	...
I_n					0

Предположим, что расстояние между I_i и I_j будет минимально, т.е. что $d_{ij}^2 = \min \{ d_{ij}^2, i \neq j\}$.

Образуем с помощью I_i и I_j новый кластер $\{I_i, I_j\}$. Построим новую $((n-1)(n-1))$ матрицу расстояния:

	$\{I_i, I_j\}$	I_1	I_2	I_3	...	I_n
$\{I_i, I_j\}$	0	d_{ij1}^2	d_{ij2}^2	d_{ij3}^2	...	d_{ijn}^2
I_1		0	d_{12}^2	d_{13}^2	...	d_{1n}^2
I_2			0	d_{23}^2	...	d_{2n}^2
I_3				0	...	d_{3n}^2
...						...
I_n						0

где $(n-2)$ строки в последней матрице взято из предыдущей, первая строка вычислена заново. Очевидно, вычисления будут сведены к минимуму, если удастся выразить d_{ijk}^2, $k = 1, 2,\ldots, n$; $(k \neq i \neq j)$ через элементы первоначальной матрицы.

Таким образом, определено расстояние между одноэлементными кластерами. Один из способов для определения расстояния между кластерами, содержащими более чем один элемент, – представить расстояние между кластером $i+j$ и некоторым другим кластером k как среднее арифметическое расстояний между кластерами i и k , j и k: $d_{i+j,k} = 1/2\ (d_{ik} + d_{jk})$. Определим $d_{i+j,k}$ как минимальное из двух расстояний: $d_{i+j,k} = \min\ (d_{ik}, d_{jk})$.

Таким образом, задан первый шаг иерархического алгоритма. Последующие шаги аналогичны.

Общая формула для перерасчета расстояний [12]:

$$d_{i+j,k} = A(w) \min\ (d_{ik}, d_{jk}) + B(w) \max\ (d_{ik}, d_{jk}), \qquad (2.8)$$

где $$A(w) = \frac{wn_i}{wn_i + n_j}, \text{ если } d_{ik} \le d_{jk};$$

$$A(w) = \frac{wn_j}{wn_i + n_j}, \text{ если } d_{ik} > d_{jk};$$

$$B(w) = \frac{n_i}{wn_i + n_j}, \text{ если } d_{ik} \le d_{jk};$$

$$B(w) = \frac{n_j}{wn_j + n_i}, \text{ если } d_{ik} > d_{jk};$$

n_i и n_j – множество элементов в кластерах i и j; w – параметр, определяющий алгоритм кластеризации. При $w = 1$ получим алгоритм средней связи, тогда:

$$d_{i+j,k} = \frac{n_i}{n_i + n_j} d_{ik} + \frac{n_j}{n_i + n_j} d_{jk}. \tag{2.9}$$

Получаем: один элемент пары кластера $\in M$, другой $\in N$.

При $w \to \infty$ получаем алгоритм ближайшего соседа: $d_{i+j,k} = \min(d_{ik}, d_{jk})$.

На каждом шаге расстояние между двумя кластерами равно расстоянию между двумя самыми близкими элементами $\in M, N$.

Весовой учет признаков осуществляем по формуле

$$\delta_{ij}^2 = \sum_{h=1}^{m} w_h (x_{ih} - x_{jh})^2, \tag{2.10}$$

мерой различия является «сити-блок» расстояние

$$\Delta_{ij} = \sum_{h=1}^{m} \left| x_{ih} - x_{jh} \right|, \tag{2.11}$$

а мерой сходства характеристик будет коэффициент корреляции

$$r_{ij} = \frac{\sum_{h=1}^{N} \left(x_{hi} - m_i\right)\left(x_{hj} - m_j\right)}{\delta_i \delta_j}, \tag{2.12}$$

где m_i, m_j – средние отклонения; δ_i, δ_j – среднеквадратичные отклонения для характеристик i и j [12]. Величина $1 - r$ является мерой различия между характеристиками. Число кластеров m задаем априорно.

Сумма квадратов отклонений становится критерием объединения:

$$E_j = \sum_{i=1}^{n} r_{ij}^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} r_{ij}\right)^2 . \qquad (2.13)$$

Процессу объединения здесь соответствует последовательное минимальное возрастание критерия E.

Для категорирования уязвимостей ячеек матриц воспользуемся кластерным анализом, применив метод K-средних (K-means), основанный на минимизации суммы квадратов расстояний между каждым элементом исходных данных и центром его кластера.

Алгоритмы кластеризации, оперирующие понятием центра кластера (такие как K-средние или максимизация ожидания), обычно следуют допущению, что внутри каждого кластера данные распределены по определенному унимодальному закону, например гауссовскому (рис. 2.4).

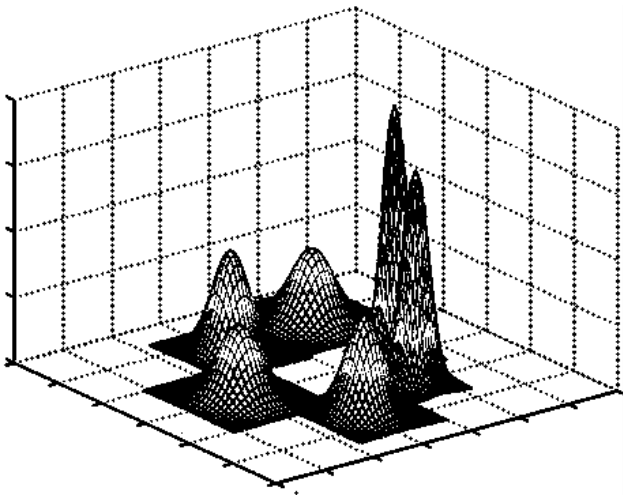


Рис. 2.4. Графики симметричных унимодальных плотностей распределения

Эти методы предполагают, что каждый кластер описывается только одним центром (геометрический центр точек в K-средних или математическое ожидание кластера в методе максимизации ожидания), и этим центром является мода соответствующего распределения.

В качестве исходной информации для кластерного анализа используем единичные матрицы уязвимостей. Под единичными матрицами понимаются совокупности элементарных ячеек, полученные путем разбиения зоны влияния железной дороги сеткой [32]. Каждой ячейке присваивается весовая характеристика в зависимости от расположения на ней объекта уязвимости на основе имеющихся информационных ресурсов [76].

Для осуществления процедуры типологии анализируемых ячеек необходимо определить набор параметров, который предполагает: выбор показателей, выбор весовых коэффициентов, выбор метода обработки исходных данных, выбор определяющей последовательности визуализации.

На этапе выбора показателей на матрицах отображаются весовые характеристики уязвимости в виде коэффициентов потенциального ущерба в результате разлива ОГ. Учитывается восприимчивость территории и способность реагировать на инцидент с ущербом (потерей исходного качест-

ва), причиненным загрязнением атмосферного воздуха; загрязнением водного объекта; загрязнением, деградацией, засорением и захламлением земель; ущерба, наносимого фауне, флоре; ущерба от отдаленных последствий аварийной ситуации, а также ущерба населению и инфраструктуре.

Единичные матрицы уязвимостей, составленные на основе территориальных показателей, согласно требованиям методики [76], являются исходными значениями в построении карт.

В результате проведенного анализа методом объединения появляется возможность обнаружить кластеры и интерпретировать их в ранги. На заключительном этапе на основе полученных результатов производится интерпретация кластеров, включающая в себя оценку размеров и состава кластеров и их содержательный анализ, необходимый для определения ответных мер [70] (рис. 2.5).

Рис. 2.5. Алгоритм ранжирования уязвимостей методом кластерного анализа

Для оптимизации процесса может быть использована программа Hierarchical Clustering Explorer 3,5 (HCE), в которой применяется иерархический алгоритм кластеризации, позволяющий определить естественную группировку с интерактивной визуализацией обратной связи (дендограм-

ма и цветовая мозаика) и динамическим управлением запроса [32]. В результате анализируемые весовые характеристики единичных ячеек отображаются цветной мозаикой, объединяясь в кластеры (рис. 2.6).

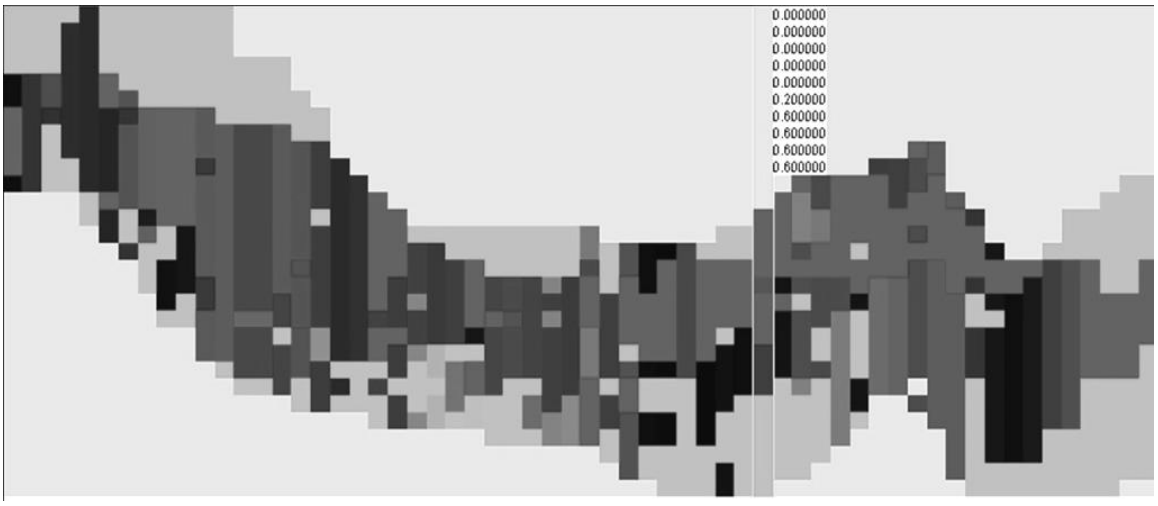


Рис. 2.6. Карта кластеризации уязвимостей

Расположение строк и столбцов на дисплее и цвет мозаики изменяется в соответствии с результатом кластеризации. Графический рисунок на базе данных показывает окраску каждой плитки на основе численной величины, соответствующей плитке. Координаты ячейки соответствуют координатам ячейки исходных матриц уязвимостей, привязанных к географическим координатам. Параметры отображения цвета, а следовательно, диапазона кластера задаются контроллером при помощи гистограммы числовых значений (рис. 2.7).

По умолчанию, высокое значение и, в нашем случае, наиболее высокая уязвимость территории имеет ярко-красный цвет и низкое значение и соответственно меньшая уязвимость имеет ярко-зеленый цвет. Среднее значение имеет черный цвет. Вертикальная красная линия определяет значение, выше которого все значения отображаются в ярком красном цвете, а вертикальная зеленая линия указывает значение, ниже которого все значения отображаются самым ярким зеленым цветом. При этом параметры линии задаются исходя из определения базовых значений интервалов кластера.

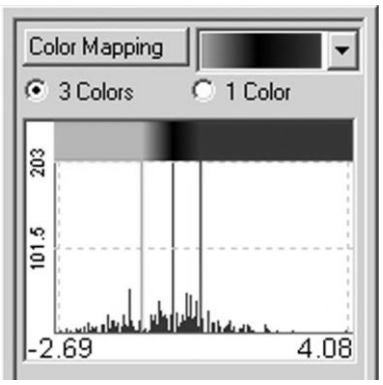


Рис. 2.7. Гистограмма контроллера цветового отображения кластеров

На заключительном этапе на основе полученных результатов производится интерпретация кластеров, включающая в себя оценку размеров и состава кластеров и их содержательный анализ.

По результатам кластеризации на основе численно-цветовых характеристик производится ранжирование уязвимостей территории влияния железной дороги *(умеренно уязвимая, высокоуязвимая, чрезвычайно уязвимая)* с последующей разработкой соответствующего регламента реагирования [32].

Содержательное описание подразумевает анализ показателей и их экстремальных значений для определения необходимых ответных мер и локализации сил реагирования.

Последствие определенного сценария разлива ННП -*s* на сегменте *i*, теперь возможно выразить как

$$C_{si} = N_i \sum_{j=1}^{m} \kappa_j , \qquad (2.14)$$

где N – количество ячеек единичных матриц, характеризующих экспозицию разлива; κ_j – весовой коэффициент j-й единичной матрицы уязвимости; m – число уязвимостей, участвующих в формировании опасного события.

Число уязвимостей определяет число составляющих в расчете экономического и экологического ущерба при использовании актуальных методик [58, 76].

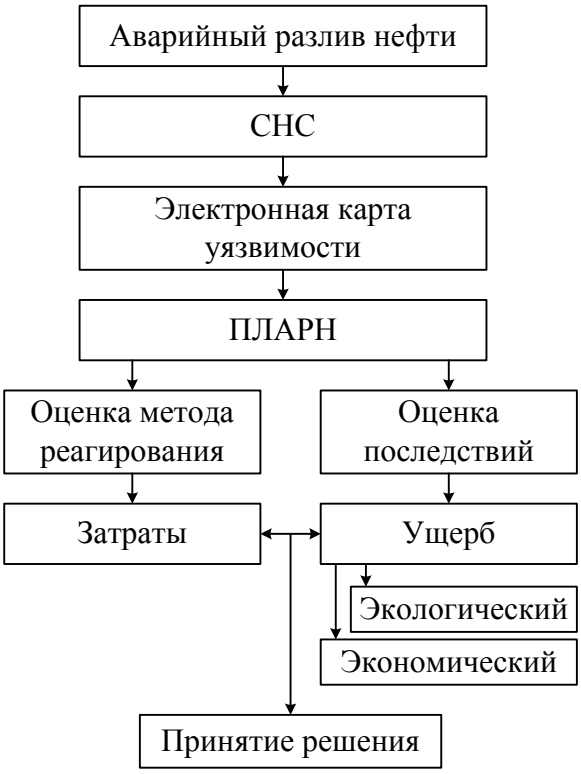


Рис. 2.8. Алгоритм принятия решения по реагированию на ЧС с использованием комплекса «ГИС–электронная карта уязвимостей»

На основе визуализации кластеризации уязвимостей составляется карта уязвимостей зоны влияния железной дороги, позволяющая планировать меры по предупреждению и ликвидации ЧС с разливами ННП, оптимизировать функцию «ответа» на инцидент (рис. 2.8).

Карты уязвимостей представляют собой совокупность электронных карт, позволяющих рассматривать не только комплексную территориальную уязвимость, но и послойно каждый тип уязвимости с доступом к объектной базе данных.

Это, в свою очередь, позволяет определить приоритеты в организации мер по ликвидации и предупреждению ЧС, а геоинформационный подход позволяет интегрировать базу данных в модели механизмов минимизации ЧС с конкретной привязкой к местности.

Критериями оптимальности принятия решений по минимизации ЧС являются скорость реагирования и адекватность привлеченных сил и средств. Использование комплекса «ГИС–электронная карта уязвимостей» позволяет алгоритмизировать и частично автоматизировать процедуру принятия решений.

В соответствии с правилами ликвидации аварийных ситуаций для организации работ необходимо, в частности, разработать план ликвидации аварийной ситуации, в котором предусмотреть следующий порядок действий:

– дать краткую характеристику очага поражения;

– определить силы и средства, необходимые для ликвидации последствий аварии, и порядок их использования;

– установить последовательность аварийно-восстановительных работ [98].

Применение электронных карт позволяет на основе мониторинга территории влияния железной дороги заносить меняющиеся условия в оперативное использование в режиме реального времени. Электронная комплексная карта уязвимостей формируется на основе карт единичных уязвимостей.

Таким образом, в случае необходимости возможен вывод на дисплей карты каждой единичной уязвимости для определения и оптимизации сил реагирования. В случае ЧС с разливами нефти использование ранжированной электронной карты позволяет мгновенно определить функции «ответа» для ликвидации последствий.

На основе разработанных регламентов для каждой категории принимаются решения по привлечению необходимых сил и средств для ликвидации последствий ЧС, связанных с разливами ННП.

Выбор технологии ликвидации зависит не только от комплексного коэффициента уязвимости, но и весовых характеристик составляющих каждой ячейки матрицы. Наличие карт единичных уязвимостей позволяет провести оперативный анализ и выделить наиболее значимые составляющие, требующие максимального приложения сил. Использование электронных карт уязвимостей позволяет:

– мгновенно определить координаты и локализацию ЧС;

– определить набор и категорию территориальных уязвимостей;

– определить объем и состав функции «ответа» (средств и мероприятий для реагирования на ЧС).

На основе анализа полученных категорированных карт уязвимости территории влияния железной дороги определяем наиболее опасные участки для определения регламента действий функции ликвидации последствий ЧС. В нашем случае это места сопряжения железной дороги с вод-

ными объектами, ответственными сооружениями, зоны повышенной популяционной плотности, особо охраняемые природные территории.

Рассматривая уязвимости как функцию потенциального ущерба для каждой категории, исходя из послойного анализа карт единичных уязвимостей, формируем набор необходимых методов и средств для оперативного реагирования. Таким образом, в результате применения метода имеем информационный ресурс, позволяющий в режиме реального времени получать достоверные данные о характеристиках места происшествия, сочетающий инструменты пространственного анализа и обмена данными со средствами графической визуализации категорированной территории.

2.7. Пример практического применения методики ранжирования уязвимости территории влияния участка Хабаровск–Корфовская Дальневосточной железной дороги

Рассмотрим вопрос ранжирования уязвимости территории влияния железногй дороги на примере участка Хабаровск–Корфовская ДВостЖД.

Участок характеризуется наличием населенных пунктов различной категории и ответственных сооружений, пересечением с водными объектами, сопряжением с особо охраняемыми природными территориями.

На первом этапе определяем территорию влияния железной дороги. Для этого разбиваем прилегающую к железнодорожной линии территорию с обеих сторон на ориентированные по сторонам света и привязанные к координатной сетке элементарные ячейки (рис. 2.9).

Для осуществления процедуры типологии анализируемых параметров ячеек определяем набор показателей, исходя из положений методики [76].

Для выбранного участка рассмотрим следующие показатели уязвимости: популяционные; гидрологические; объектные; почвенные; биоценозные.

Каждой ячейке присваиваем весовые характеристики в зависимости от расположения на ней объекта уязвимости на основе имеющихся информационных ресурсов. На следующем этапе распределяем численные весовые коэффициенты по единичным матрицам.

Распределяем на основе анализа топографических карт с учетом этажности застройки и функционального назначения зданий весовые коэффициенты по популяционной единичной матрице и представляем в виде таблицы (рис. 2.10).

Затем распределяем весовые коэффициенты по почвенной единичной матрице и также представляем их в виде таблицы (рис. 2.11).

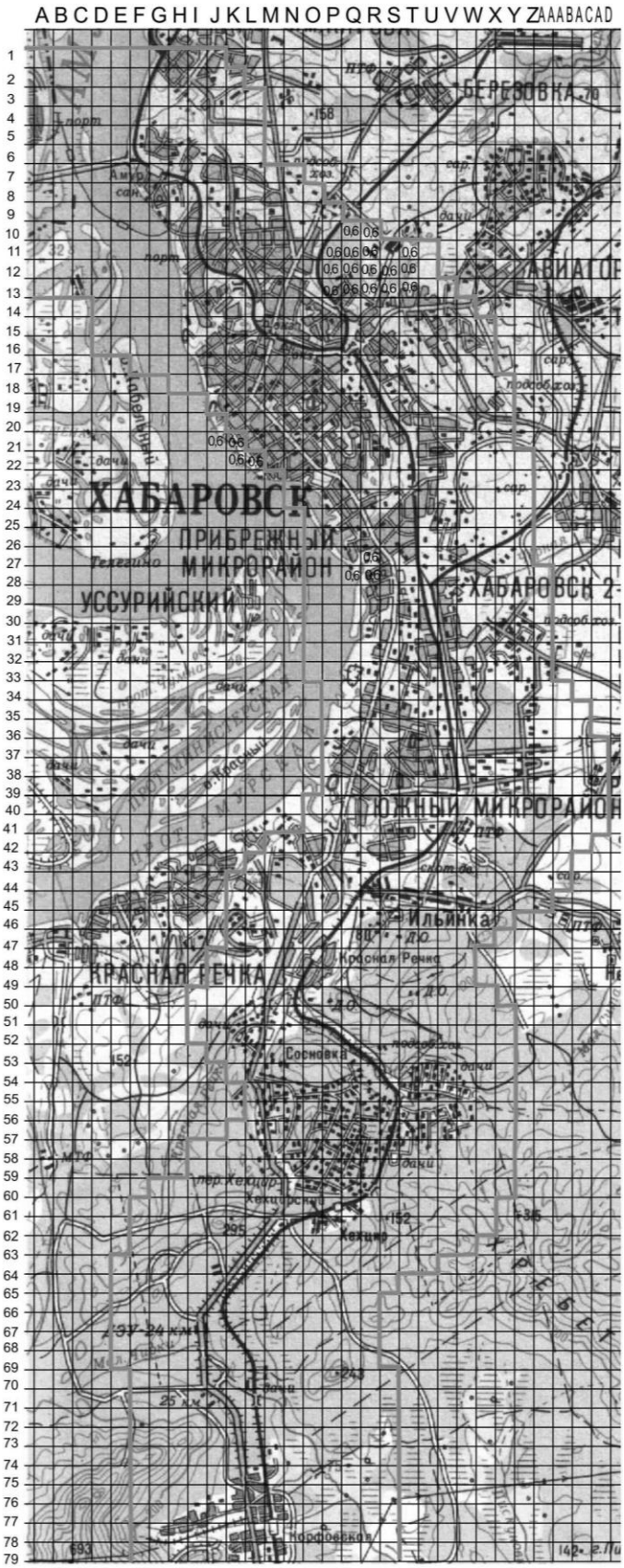


Рис. 2.9. Исходная схема разбиения территории влияния железной дороги на элементарные ячейки

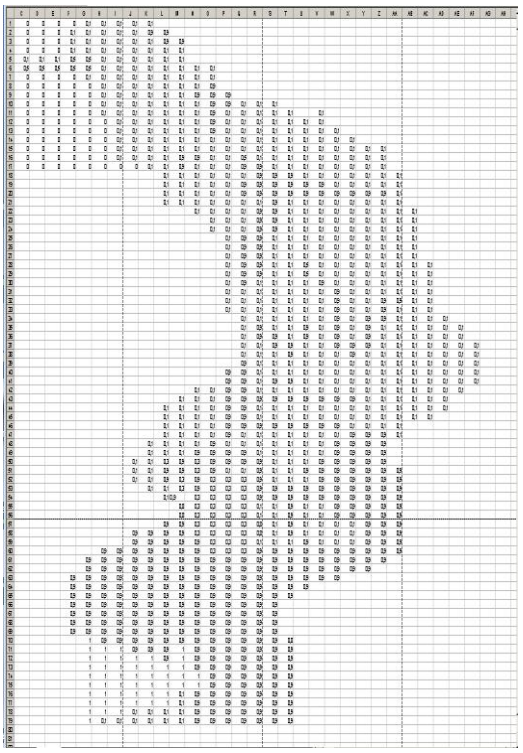


Рис. 2.10. Распределение весовых коэффициентов по единичной матрице почвенной уязвимости

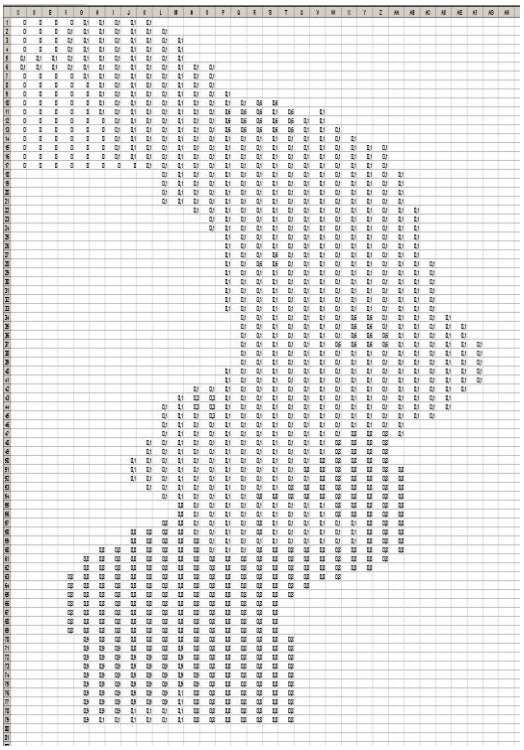


Рис. 2.11. Распределение весовых коэффициентов по единичной матрице биоценозной уязвимости

Коэффициенты этой матрицы приняты согласно рекомендованному Регламентом нормативному документу (приказ Минприроды РФ от 08.07.2010 г. № 238 «Об утверждении Методики исчисления размера вреда, причиненного почвам как объекту охраны окружающей среды»):

– для земель особо охраняемых территорий – 1; для мохово-лишайниковых оленьих и лугово-разнотравных горных пастбищ в составе земель всех категорий – 0,9;

– для водоохранных зон в составе земель всех категорий – 0,9;

– для сельскохозяйственных угодий в составе земель сельскохозяйственного назначения – 0,7;

– для облесненных территорий в составе земель всех категорий – 0,5;

– для земель населенных пунктов (за исключением земельных участков, отнесенным к территориальным зонам производственного, специального назначения, инженерных и транспортных инфраструктур, военных объектов) – 0,3;

– для остальных категорий и видов целевого назначения – 0,1.

Таким же образом составляем матрицы для остальных показателей уязвимости.

На основе таблиц единичных матриц уязвимостей в результате визуализации получаем карты ранжированных по степени подверженности восприятию опасности единичных уязвимостей (рис. 2.12 и 2.13).

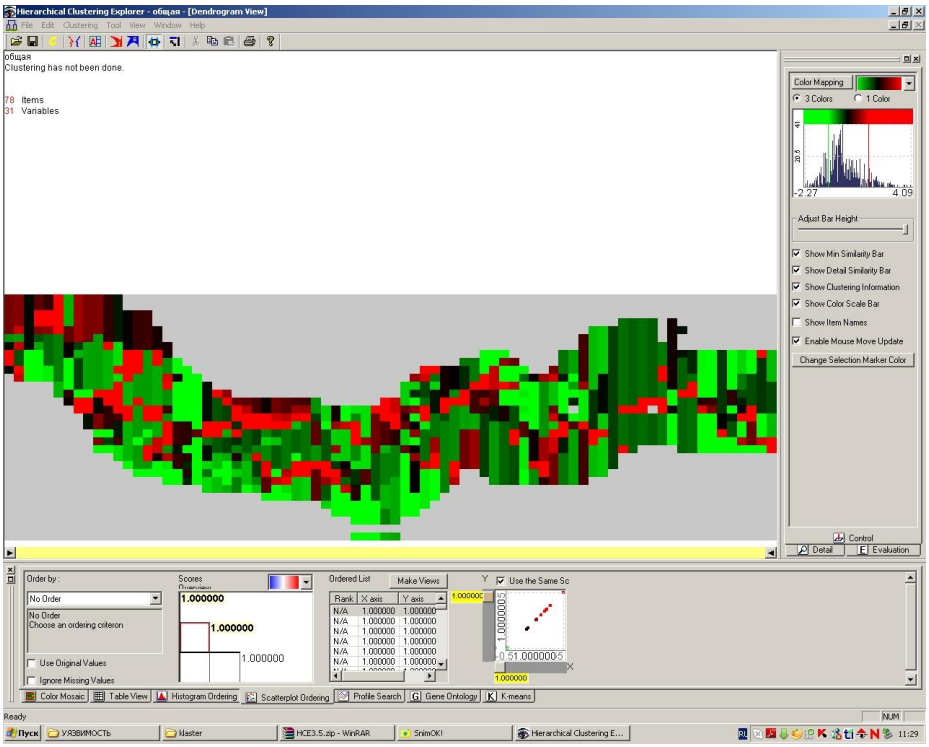


Рис. 2.12. Визуализация кластеризации уязвимостей на участке железной дороги Хабаровск–Корфовская ДВостЖД

На следующем этапе представляем коэффициенты уязвимостей в виде сводной таблицы для последующего кластерного анализа, на основании которого в результате визуализации получаем комплексную карту уязвимостей.

На основе полученной визуализации разбиения на кластеры, в соответствии с заданными параметрами, получаем карту кластеризации. Количество кластеров устанавливаем априорно равным трем в соответствии с поставленной задачей.

Исходя из визуализации кластеров, производим категорирование уязвимостей: зеленые ячейки соответствуют умеренно уязвимой категории, черные – высоко уязвимой и красные – чрезвычайно уязвимой территории влияния железной дороги. На основе сопоставления полученной карты визуализации с географически ориентированной матрицей разбиения получаем карту ранжированных уязвимостей с нанесением железной дороги (рис. 2.13).

На основе анализа полученных категорированных карт уязвимости территории влияния железной дороги определяем наиболее опасные участки для определения регламента действий функции ликвидации последствий ЧС. В нашем случае это места сопряжения железной дороги с водными объектами, ответственными сооруже-

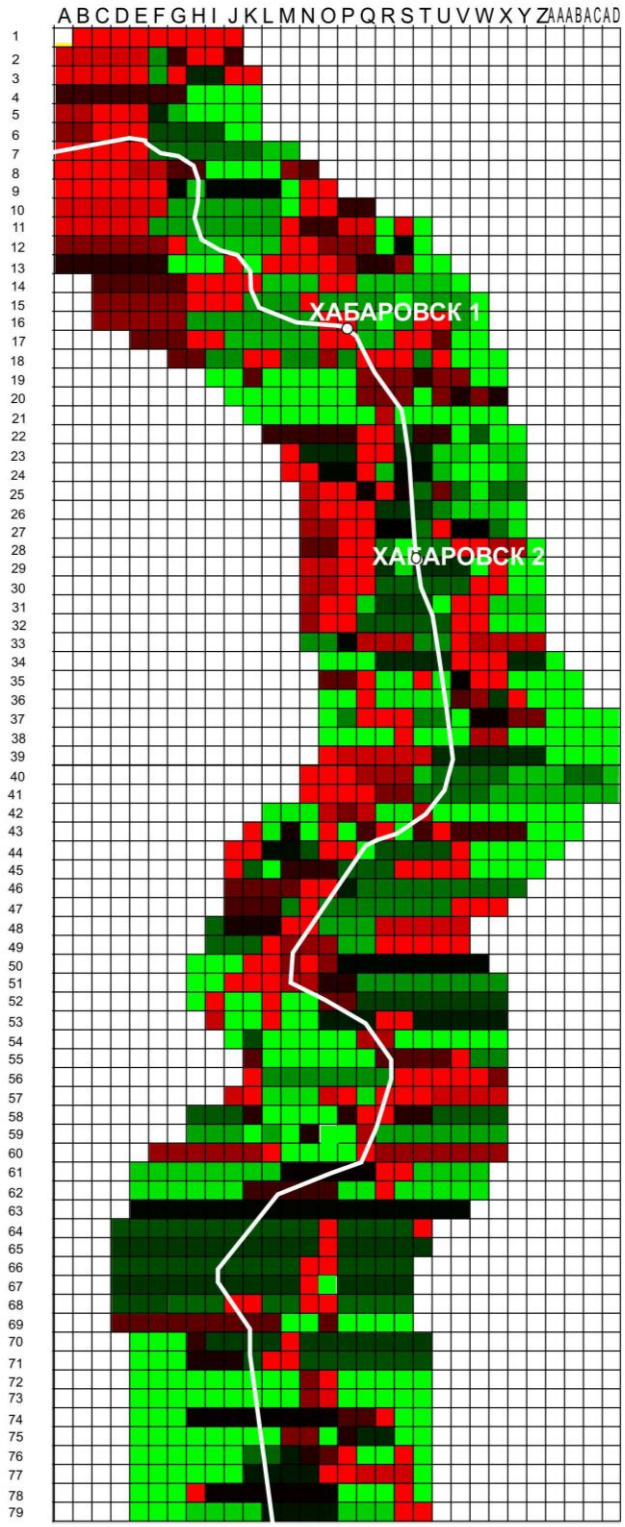


Рис. 2.13. Карта ранжирования уязвимостей в зоне влияния железной дороги на участке Хабаровск–Корфовская ДВостЖД: ■ – умеренно уязвимая территория; ■ – высоко уязвимая территория; ■ – чрезвычайно уязвимая территория

ниями, зоны повышенной популяционной плотности, особо охраняемые природные территории.

Рассматривая уязвимости как функцию потенциального ущерба для каждой категории, исходя из послойного анализа карт единичных уязвимостей, формируем набор необходимых методов и средств для оперативного реагирования. Таким образом, в результате применения метода имеем информационный ресурс, позволяющий в режиме реального времени получать достоверные данные о характеристиках места происшествия, сочетающий инструменты пространственного анализа и обмена данными со средствами графической визуализации категорированной территории.

Применение «ГИС–электронная карта уязвимостей» в комплексе с СНС, отслеживающей цистерны с опасными грузами, позволяет реализовать оптимальные стратегии реагирования на ЧС.

Произведенный авторами анализ позволил правильно определить важные направления дальнейших исследований и тем самым сформулировать следующие основные выводы. Обеспечение безопасности перевозок опасных грузов и организация оперативного реагирования на инциденты и ЧС требует разработки и применения современных средств реализации.

Одним из таких решений является электронная карта ранжированных уязвимостей (уязвимая, особо уязвимая, чрезвычайно уязвимая). При помощи кластерного анализа можно решить задачу классификации и категорирования исходного множества данных территориальных уязвимостей. Для этого необходимо иметь информацию о характеристиках ячейки матрицы, позволяющую судить о сходстве (различии) на основе картографических и статистических данных.

Результатом анализа являются карты ранжирования уязвимостей территории влияния железной дороги, позволяющие эффективно организовать функцию «ответа» при инцидентах и чрезвычайных ситуациях, связанных с перевозкой нефти и других опасных грузов.

Применение карты и разработка соответствующего регламента мероприятий по минимизации последствий ЧС по рангам территории позволяют мгновенно определить местоположение инцидента, предотвратить развитие события по неблагоприятному сценарию, более точно определить возможный ущерб и произвести мобилизацию необходимых сил и средств по ликвидации последствий ЧС. Повышение эффективности достигается:

– сокращением времени на принятие управленческих решений по реагированию на ЧС;

– устранением ошибок в распределении сил и средств;

– обеспечением возможности привлечения сил и средств в количестве, необходимом для ликвидации последствий ЧС на объектах железнодорожного транспорта с возможностью привлечения сил и средств МЧС;

– оперативным получением и анализом данных о районах ЧС, представленных в виде картографической информации, схем размещения, планов объектов;

– ускорением подготовки проектов управленческих решений путем автоматизированного формирования необходимых документов, в том числе графических [43];

– наработкой информационного ресурса по применению эффективных средств для ликвидации последствий ЧС.

3. РАЗРАБОТКА НОВЫХ АВТОРСКИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ПО ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГЕ

3.1. Анализ существующих технических решений, применяемых для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов

Эффективность работ по ликвидации разливов ННП во многом зависит от рационального использования методов и технических средств применительно для каждого конкретного случая. Восстановительные работы регламентируются Правилами безопасности и порядком ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке их по железным дорогам при ликвидации разливов ННП.

В соответствии с классификацией [58] ННП относятся к 3-му классу опасности (легковоспламеняющиеся жидкости – ЛВЖ). Восстановительные работы необходимо обеспечивать прикрытием противопожарными средствами. Алгоритм ликвидации разливов ННП, согласно п. 3.11.3 [58], следующий:

– устранение течи;

– отвод цистерны на безопасное расстояние;

– изоляция опасной зоны в радиусе 200 м;

– перекачка содержимого аварийной цистерны;

– ограждение пролива земляным валом;

– ликвидация пятна разлива;

– при возникновении пожара устройство на пути горящей жидкости земляной запруды, тушение пожара или поддерживание контролируемого горения до полного выгорания вытекающей жидкости;

– срезка поверхностного слоя грунта с загрязнением, сбор и транспортировка для утилизации;

– засыпка места срезов свежим слоем грунта;

– перепахивание почвы.

Наиболее трудозатратным и требующим оперативного решения в этом перечне является вопрос ликвидации пятна разлива.

По данным [16], методы ликвидации разливов ННП подразделяются на механические, термические, физико-химические и биологические.

Из перечисленных основным методом ликвидации разлива является механический сбор нефти. Необходимо отметить, что эффективность такого метода является максимальной в первые часы после инцидента, когда толщина слоя нефти является достаточной для производства работ. При уменьшении толщины нефтяного слоя, а также большой площади его распространения механический сбор достаточно затруднен. Возникают также трудности при очистке от ННП территорий, загрязненных всевозможным мусором.

В контролируемых случаях применяется термический метод, который основан на выжигании слоя нефти. Применение метода оправдано непосредственно после загрязнения, а также при определенной толщине загрязнителя.

В последнее время применяется также физико-химический метод, в реализации которого используются диспергенты и сорбенты. Эффективность его подтверждается даже при малой толщине пленки при невозможности механического сбора ННП. Применение оправдано на экологически уязвимых территориях, например ООПТ. Механизм заключается во взаимодействии сорбента с ННП, при котором происходит насыщение впитываемым материалом. После короткого времени взаимодействия образуются комья твердой фракции, которые можно собрать механическим способом с последующей утилизацией [16].

Обработка диспергентами применяется в случаях, если пятно движется к особо охраняемым природным территориям. Диспергенты – это специальные химические вещества, расщепляющие углеводороды. Существенным недостатком диспергентов является их высокая стоимость и негативное влияние на окружающую среду.

Для получения максимального результата после использования механического и физико-химического методов применяется биологический метод. Он используется при толщине пленки не менее 0,1 мм [125]. За счет применения специальных веществ происходит биоремедиация загрязненной территории [37]. При температуре поверхности 15–25 °С при взаимодействии с кислородом происходит окисление ННП микроорганизмами. Скорость составляет до 2 г/м^2 обрабатываемой поверхности в

день. В случае низких температур бактериальное окисление происходит значительно медленнее [84].

Основным критерием выбора наиболее рационального метода ликвидации разлива является необходимость производства работ в кратчайшие сроки. В то же время негативное воздействие на окружающую природную среду от производства работ по ликвидации разлива ННП должно быть сведено к минимуму, не должно наносить ущерб больший, чем сам аварийный разлив.

3.2. Разработка планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов

Предприятия и организации, деятельность которых связана с разведкой месторождений и добычей нефти, переработкой, транспортировкой, хранением и использованием нефти и нефтепродуктов, согласно ст. 10 Федерального закона от 21.07.1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», должны разрабатывать план ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (ПЛАРН) в целях обеспечения готовности к действиям по ликвидации и локализации последствий возможных аварий и ЧС.

Разработка ПЛАРНа предприятием, так или иначе связанным с нефтепродуктами, является не правом, а обязанностью в соответствии с законодательными актами, регламентирующими разработку ПЛАРНа. Такими документами являются [134]:

- Основные требования к разработке планов по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов (утв. постановлением Правительства РФ от 21 августа 2000 г. № 613);
- Правила организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации (утв. постановлением Правительства РФ от 15 апреля 2002 г. № 240);
- Указания по определению нижнего уровня разлива нефти и нефтепродуктов для отнесения аварийных разливов к чрезвычайной ситуации (утв. приказом МПР РФ от 3 марта 2003 г. № 156);
- приказ МЧС РФ № 144 от 24 марта 2003 г. «О совершенствовании работы в области борьбы с нефтеразливами»;
- Правила разработки и согласования планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации (утв. приказом МЧС РФ от 28 декабря 2004 г. № 621).

ПЛАРН составляется для определения мер по выявлению, ликвидации, профилактике последствий чрезвычайных ситуаций, возникших вследст-

вие утечки нефти и нефтепродуктов на опасном производственном объекте. Таким образом, ПЛАРН – главный документ, который устанавливает систему действий работников и аварийно-спасательных служб предприятия, а также жителей прилегающих к объекту населенных пунктов. Специальных разрешений (например, аккредитации) для разработки ПЛАРНа не предусмотрено. Согласно ПЛАРНу специальные подразделения предприятия обязаны незамедлительно реагировать на любую аварию в зоне действия ПЛАРНа, которая охватывает максимальную территорию вероятного разлива нефтепродуктов. Специфику работы предприятия и действия различных экологических факторов, таких как время года, климатические условия, особенности местности и др., оценивают эксперты для определения зоны действия ПЛАРНа. Сроки введения и действия ПЛАРНа нормированы в соответствии с классификацией ЧС с разливами ННП.

ПЛАРН вводится в действие приказом по предприятию и организации, вместе с уведомлением органов власти, которые его утвердили. На основании этого плана ликвидации разливов нефти спецподразделения организации должны моментально отреагировать на любую аварию по всей зоне действия ПЛАРНа, включающей в себя максимально возможную территорию загрязнения нефтепродуктами. Все аварийные ситуации, связанные с разливами нефти, разделяют на несколько категорий в зависимости от объема ее утечки и загрязненной площади (табл. 3.1) [134].

Таблица 3.1

Категории чрезвычайных ситуаций при разливах ННП на суше

Уровень чрезвычайной ситуации на суше	Органы, согласующие и утверждающие ПЛАРН	Сроки введения ПЛАРНа в действие	Сроки действия ПЛАРНа
Локальный (зона ЧС не выходит за пределы территории потенциально опасного объекта, разлив нефти не более 100 т)	Орган, специально уполномоченный решать задачи гражданской обороны, задачи по предупреждению и ликвидации ЧС, в составе или при органе исполнительной власти местного самоуправления по согласованию с соответствующими территориальными органами федеральных органов исполнительной власти	4 месяца	3 года
Местный (зона ЧС не выходит за пределы населенного пункта, города, района, разлив нефти до 500 т)	Территориальный орган МЧС России по субъекту Российской Федерации по согласованию с соответствующими территориальными органами федеральных органов исполнительной власти	4 месяца	3 года

Окончание табл. 3.1

Уровень чрезвычайной ситуации на суше	Органы, согласующие и утверждающие ПЛАРН	Сроки введения ПЛАРНа в действие	Сроки действия ПЛАРНа
Территориальный (зона ЧС не выходит за пределы субъекта РФ, разлив нефти до 1000 т)	Территориальный орган МЧС России по субъекту Российской Федерации по согласованию с соответствующими территориальными органами федеральных органов исполнительной власти	6 месяцев	4 года
Региональный (ЧС развивается на территории нескольких субъектов РФ, разлив нефти до 5000 т)	Федеральный орган исполнительной власти по ведомственной принадлежности и МЧС России по согласованию с соответствующими федеральными органами исполнительной власти и региональным центром	9 месяцев	5 лет
Федеральный (ЧС развивается на всей территории РФ, разлив нефти более 5000 т)	Федеральный орган исполнительной власти по ведомственной принадлежности и МЧС России по согласованию с соответствующими федеральными органами исполнительной власти и региональными центрами	12 месяцев	5 лет

По истечении указанных сроков планы ликвидации аварийных разливов нефти подлежат корректировке или переработке в зависимости от объема изменений. Помимо этого, планы корректируются или перерабатываются до окончания срока действия по решению одного из утвердивших его органов либо при принятии соответствующих нормативных документов (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Сроки введения и действия ПЛАРНа на акваториях

Уровень чрезвычайной ситуации на акваториях	Органы, согласующие и утверждающие ПЛАРН	Сроки введения ПЛАРНа в действие	Сроки действия ПЛАРНа
Объектовый (разлив нефти до 500 т)	Согласовывается с Администрацией морского порта, соответствующими территориальными органами федеральных органов исполнительной власти, специализированными морскими инспекциями МПР России и утверждаются территориальным органом МЧС России по субъекту РФ	4 месяца	3 года

Окончание табл. 3.2

Уровень чрезвычайной ситуации на акваториях	Органы, согласующие и утверждающие ПЛАРН	Сроки введения ПЛАРНа в действие	Сроки действия ПЛАРНа
Региональный (разлив нефти до 5000 т)	Согласовывается с соответствующими федеральными органами исполнительной власти, специализированными морскими инспекциями МПР России, КЧС органов исполнительной власти субъектов РФ, региональными центрами, соответствующими региональными подразделениями Минтранса России и утверждается федеральным органом исполнительной власти по отраслевой принадлежности, Минтрансом России и МЧС России	9 месяцев	5 лет
Федеральный (разлив нефти более 5000 т)	Согласовывается с КЧС органов исполнительной власти субъекта РФ, региональным центром, соответствующими региональными подразделениями Минтранса России и федеральными органами исполнительной власти и утверждается федеральным органом исполнительной власти по ведомственной принадлежности Минтрансом России и МЧС России	12 месяцев	5 лет

Планирование мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов и чрезвычайных ситуаций, в частности – разработка планов по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, а также календарных планов оперативных мероприятий является сложным, ответственным и многоступенчатым процессом, требующим высокого уровня квалификации и знаний.

В руководящих документах наряду с формулировкой цели операции по ЛРН, задач, планированием действий сил и средств определены также требования к срокам проведения мероприятий по локализации аварийных разливов нефти (6 часов на суше и 4 часа на акватории).

Особенную значимость планирование таких мероприятий принимает в зоне влияния опасных производственных объектов, к которым относится железная дорога. Следует отметить, что на территории субъектов РФ сложилась многопрофильная структура протяженных и площадных опасных

производственных объектов (ОПО) федерального, регионального и территориального значения. ОПО – это производственный объект, при эксплуатации которого могут возникнуть аварии или инциденты (аварийные ситуации). В этой связи обеспечение защиты населения и значительного уменьшения ущерба для затронутых в результате возможных ЧС экологических и социально-экономических ресурсов субъектов возможно только оптимальным применением приемлемых эффективных и безопасных технологий. Поэтому для формирования оптимального ПЛАРНа должны предусматриваться следующие процедуры [134]:

– проведение исследований для изучения экологически чувствительных зон в территории влияния железной дороги;

– оценка объемов, площадей аварийного разлива и возможной меры риска при возникновении ЧС;

– выработка стратегии реагирования (управления риском);

– определение объемов задач (по стратегиям реагирования);

– определение необходимого количества специальных технических средств и объема рецептур;

– сравнительная оценка эффективности действий сил и средств аварийно-спасательных формирований;

– организация разработки ПЛАРНа;

– согласование и введение в действие ПЛАРНа.

При разработке планов ликвидации аварийных разливов нефти для организаций железных дорог – филиалов ОАО «РЖД» необходимо использовать материалы, представленные в Регламенте требований к силам и средствам профессиональных аварийно-спасательных формирований, привлекаемых к проведению работ по ликвидации разливов нефти в операциях по ликвидации ЧС с разливами нефти и нефтепродуктов на железных дорогах – филиалах ОАО «РЖД».

3.3. Анализ современных методов исследования грунтов, загрязненных нефтью, и рекомендации по их применению

Скопления нефти и нефтепродуктов в грунтах и подземных водах, кроме экологической опасности, представляют и определенную взрывопожарную опасность, вызванную образованием высоких концентраций метана и других углеводородных газов в помещениях.

Традиционные геологические и гидрогеологические методы, основанные на исследовании подземного пространства, горных пород и подземных вод путем бурения скважин, отбора и исследования проб пород и вод, на практике довольно «громоздкие» и требуют длительного времени для оценки па-

раметров загрязнения. При этом по целому ряду причин не удается определить источник загрязнения, разделить загрязнение на природную и техногенную составляющие и определить масштабы загрязнения по площади.

Техногенные нефтепродукты содержат газообразные и парообразные углеводороды. Их присутствие в газовой фазе загрязненных нефтепродуктами грунтов при геоэкологических исследованиях определяют газогеохимическими методами. Раздельное исследование газовых показателей при исследованиях грунтов, загрязненных нефтепродуктами, осложнено составам газовой фазы над различными нефтепродуктами, ее изменением в случае загрязненных грунтов при трансформации нефтепродуктов и т.п.

Показатели газовой среды при газоэкологических исследованиях загрязненных нефтепродуктами грунтов необходимы для выявления по площади и разрезу загрязненных нефтепродуктами грунтов и для прогнозирования источника загрязнении. Определяют содержание и состав углеводородов и отдельно присутствие метана.

Согласно [128] для выявления и картирования грунтов, загрязненных нефтепродуктами, используют экспресс-метод, который можно проводить в любой газоаналитической лаборатории, а также в полевых условиях при помощи переносного газоанализатора, отвечающего требованиям эксплуатационной гибкости, удобства и качества при изучении состава газовой среды. Эти приборы обеспечивают обследование грунтов и почв на наличие загрязнений с большой широтой спектра и точностью получаемых данных; измеряют температуру и давление. Качественно новый уровень исследований обеспечивает фотоионизационный детектор, одновременно измеряющий суммарную концентрацию газов и паров в грунтах и почвах (с четырехканальным выборочным анализом содержания метана, оксида углерода, кислорода и суммы углеводородов нефтепродуктов).

Газоанализатор позволяет [128]:

– оценивать уровень загрязнений геологической среды нефтью и нефтепродуктами, утечку последних при эксплуатации подземных сооружений;

– определять объемы рекультивационных работ при ликвидации загрязнений геологической среды;

– определять скопления нефти и нефтепродуктов в грунтах и на поверхности подземных вод, что позволяет оценить их экологическую и взрывопожарную опасность.

На первом этапе систематических производственных экологических исследований проводят газогеохимическую оценку загрязнения территорий и геологической среды.

На следующем этапе проводится создание системы контроля состояния геологической среды (мониторинга) путем рационального комбини-

рования газогеохимических, геологических и гидрогеологических методов. Полученные показатели можно широко использовать при газоэкологических исследованиях грунтов, загрязненных нефтепродуктами, при проведении очистки территорий и подземной среды от нефтяных загрязнений, переработке и утилизации нефтешламов и других отходов.

По результатам исследований [128] установлено, что:

– территории технологических объектов нефтепереработки и нефтепродуктообеспечения, а также других организаций, транспортирующих, хранящих, перерабатывающих и реализующих нефть и нефтепродукты, в силу производственного использования имеют большую потенциальную вероятность наличия нефтяных загрязнений;

– загрязнения окружающей среды нефтью и нефтепродуктами возникают в результате их разлива по поверхности и последующего проникновения в грунты и подземные воды, а также протечек подземных трубопроводов или резервуаров;

– загрязнения могут произойти в результате ЧС (аварии) либо в результате протечки нефти;

– при «свежих» нефтяных загрязнениях территорий, грунтов и подземных вод повышается содержание летучих органических соединений и углеводородов нефти, метана, углекислого газа и кислорода относительно фоновых содержаний;

– «старые» загрязнения характеризуются повышенным уровнем метана, углекислого газа и пониженным содержанием летучих органических соединений и углеводородов нефти;

– повышенные содержания метана и углекислого газа и пониженные кислорода возникают при разложении органических веществ не нефтяного происхождения;

– при обработке данных полевых наблюдений следует также учитывать наличие следов нефтепродуктов на поверхности грунтов и в местах разгрузки грунтовых вод, возможных источников нефтепродуктов выше по направлению движения грунтовых вод за пределами организации предприятия.

По данным [128], предприятия и организации, на территории которых выявлены участки предположительно загрязненные нефтепродуктами, вынуждены:

– диагностировать резервуары и трубопроводы, в районе которых обнаружены загрязненные нефтепродуктами участки;

– проводить обработку загрязненных нефтепродуктами участков для их очистки с использованием специально выбранных для этих целей технологий;

– пробуривать скважины для режимных наблюдений с целью установления нефтяного загрязнения и его возможного масштаба.

При оценке загрязнения на территории промышленного объекта задача упрощается за счет данных о потенциальных источниках загрязнения, о геологических и гидрогеологических характеристиках исследуемой площади, полученных при инженерно-геологических изысканиях на стадии строительства объекта и др.

3.4. Комплексный подход при принятии технических и технологических решений

Рекультивация загрязненных объектов производится для снижения концентрации углеводородов в загрязненной среде, уменьшения их токсичности, восстановления в более короткие сроки нарушенного биоценоза и предполагает произведения определенного комплекса работ. Технологии, используемые для этих целей, с экологической точки зрения могут быть безвредными, не допускающим вторичного загрязнения окружающей среды.

Как уже отмечалось выше, методы ремедиации почв и грунтов, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, условно делятся: на *механические* (локализация, сбор и удаление нефтепродуктов); *термические* (выжигание нефтепродуктов, термоэкстракция); *физико-химические* (экстракция нефти, флотация, химическое окисление, применение сорбентов); *микробиологические* (активизация аборигенной микрофлоры интродукцией микроорганизмов-нефтедеструкторов) *методы* [128].

В каждую группу входят самостоятельные методы, различающиеся по степени воздействия на загрязненную среду, по эксплуатационным затратам и конечному экологическому эффекту.

В [128] рекомендуется наиболее распространенный способ при ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов – их механический сбор и удаление. Для сбора и удаления с загрязненных территорий и почв применяют специализированное насосное оборудование (диаметром не менее 100 мм), временные трубопроводы (быстросборные, переносные), автоцистерны.

Для приема разлитых ННП можно использовать резервуарные емкости на существующих объектах нефтепродуктообеспечения, земляные амбары и котлованы. Объемы используемых емкостей должны обеспечивать прием разлитой (сливающейся) нефти и нефтепродуктов.

Технологические операции по механическому сбору разливов нефти и нефтепродуктов включают откачку; выемку загрязненного грунта; ручной сбор; сбор с использованием сорбентов.

Работы по замене поврежденного участка магистрального нефтепровода связаны с остановкой эксплуатации и отсечением аварийного участка от основной магистрали, с последующим опорожнением трубопровода от нефтепродуктов. Время опорожнения зависит от рельефа местности, по которой проходит трасса нефтепровода, расстояния между задвижками, места повреждения на трубе.

Для сокращения объема откачиваемой нефти и нефтепродуктов и времени их откачки используют герметизирующие специальные тампоны, выдерживающие статическое давление в нефтепроводе.

Для откачки ННП в нефтесборные емкости применяют передвижные насосные агрегаты, установленные на базе автомобилей или прицепов [128]. Производительность таких агрегатов от 100 до 300 $м^2$/ч. Передвижной насосный агрегат должен укомплектовываться пакетом быстро собираемого трубопровода длиной от 100 до 500 м (в собранном виде) и диаметром 100–150 мм. После окончания аварийных работ собранную нефть и нефтепродукты можно обратно закачивать в трубопровод этими же насосными установками.

Для сбора нефтепродуктов из естественных углублений, ям-накопителей, канав, траншей можно применять переносные погружные насосы. Для сбора необходимо использовать оборудование во взрывозащищенном исполнении. Поэтому рекомендуется насосное оборудование с пневмо- или гидроприводом.

После откачки ННП загрязненный грунт в амбаре или в котловане удаляют шнековыми насосами производительностью 10–50 $м^3$/ч [128].

Очистка загрязненного поверхностного слоя грунта достигается с сорбентами, которые после использования становятся загрязненными нефтепродуктами материалами. При помощи сорбентов можно удалить поверхностные остаточные нефтяные загрязнения, которые не могут быть удалены другими известными способами.

Загрязненный грунт удаляют с помощью землеройной техники (бульдозеры, автогрейдеры, автопогрузчики и экскаваторы) и вывозят специализированным транспортом.

По данным [128], выемка загрязненного грунта с небольших площадей (траншеи, канавы, ямы-накопители) и при разливах в труднопроходимых для техники местах, сбор нефти и нефтепродуктов возможна ручным способом, наиболее эффективным для удаления:

– небольших количеств вязкой нефти (например, битумных корок);

– нефти и нефтепродуктов в местах, недоступных для механизмов или на участках, где механизмы в силу объективных причин нельзя использовать.

При проведении работ ручным способом должны быть приняты меры по обеспечению безопасности людей, организована выдача спецодежды, сапог, перчаток, салфеток и обеспечен контроль концентрации паров и газов. Работы по ручной очистке ведутся по направлению от чистых участков к загрязненным.

Данный метод при очистке больших загрязненных зон является трудоемким и малопроизводительным. Более производительными являются механизированные методы удаления загрязненных отходов.

Собранный материал помещают непосредственно в пластиковые мешки, металлические бочки или другие контейнеры для дальнейшей транспортировки. Вес пластиковых мешков, металлических бочек или контейнеров не должен превышать 50 кг. Чтобы избежать повторных разливов, контейнеры не должны переполняться или тащиться волоком по земле [128].

Параллельно с откачкой нефти или нефтепродуктов из амбаров необходимо уменьшить их впитывание в почву. Для этого на поверхность почвы после стока нефти и нефтепродуктов в приямок наносится сорбент из расчета 0,5 $м^3$ сорбента на 10 $м^2$ площади пятна. Пропитанный сорбент аккуратно собирают, не нарушая верхнего слоя почвы, и вывозят на специальные полигоны. Там сорбент складируется для переработки и подготавливается к утилизации. При необходимости операцию по очистке почвы с использованием сорбента повторяют.

Ликвидация загрязнений нефтью и нефтепродуктами на водной поверхности достигается [128]:

– нанесением специальных сорбентов на загрязненную поверхность водоема;

– установкой дополнительных боновых заграждений, в том числе заполненных сорбентами;

– сбором пропитанных сорбентов, их переработкой и утилизацией;

– очисткой береговых участков от загрязнений с применением механических способов, смыванием струей воды или использованием сорбентов.

Методы механической рекультивации предусматривают локализацию объекта загрязнения, обваловку или бонирование загрязненной территории, сбор разлившегося нефтепродукта, выемку и перемещение требующих переработки почвы и грунта. Данные способы не решают проблемы полной ликвидации нефтяного загрязнения. В лучшем случае удается частично понизить концентрацию нефтяных углеводородов или временно перенести источник экологической опасности на другое место. Попытки захоронения нефтесодержащих отходов не решают проблему из-за отсутствия на местах специально оборудованных для этих целей полигонов.

Очистка механическими методами всегда связана с предварительным выявлением и оконтуриванием загрязненных нефтепродуктами участков территорий, определением валового содержания нефтепродуктов в грунтах на загрязненных участках, привлечением специализированной техники, что приводит к значительным дополнительным расходам на проводимые работы. Такие методы обычно используют в качестве предварительных или вспомогательных, предшествующих дальнейшим мерам рекультивации загрязненных нефтепродуктами территорий, акваторий, хозяйственных и природных объектов [128].

Основную роль при очистке окружающей среды от загрязнения нефтью и нефтепродуктами играет биологический фактор – активность микроорганизмов, участвующих в процессах трансформации углеводородов. Основные продукты биодеградации углеводородов нефти: углекислый газ, вода, биомасса микроорганизмов, выросших на углеводородах. Биовосстановление оказывает существенно меньшее негативное воздействие на окружающую среду по сравнению с другими методами очистки. Для активизации микробиологических процессов самоочищения нефтезагрязненных сред используют различные способы биоремедиации. Микробиологические методы очистки эффективны только при концентрации нефти в среде не более 15 %. Поэтому механические методы рекультивации должны предшествовать микробиологическим, так как позволяют снизить концентрацию нефти и создать условия для биоремедиации. Алгоритм принятия технического решения при переработке нефтесодержащих отходов приведен на рис. 3.1.

Самым простым считается способ термического уничтожения, или выжигания, нефтепродуктов. Однако образующиеся при этом выбросы в атмосферу содержат высокие концентрации канцерогенных соединений. В результате окружающая среда загрязняется опасными токсичными соединениями. Соблюдение даже минимальных природоохранных и санитарно-эпидемиологических требований, связанных с уменьшением вредного влияния продуктов при термическом уничтожении нефтесодержащих отходов на специализированном оборудовании, требует дополнительных финансовых затрат для проведения первоначальных и эксплуатационных работ [128].

По данным [128], в отечественной и зарубежной практике применяются различные методы термического обезвреживания нефтесодержащих отходов: каталитическое сжигание, переработка в псевдосжиженном слое; дожигание в специальных высокотемпературных камерах, низкотемпературный крекинг с раздельным восстановлением твердых и жидких фракций, пиролиз и др.

Рис. 3.1. Алгоритм принятия решения при переработке нефтесодержащих отходов

При плазменном сжигании необходимо параллельно решать проблемы обезвреживания и утилизации вторичных загрязнителей атмосферы: диоксида углерода, окислов азота и серы, канцерогенных углеводородов, а также золы, содержащей следы тяжелых металлов.

Для очистки и переработки сильнозагрязненных нефтесодержащих отходов, грунтов и почв, иловых осадков, шламов, для утилизации других нефтесодержащих отходов применяют термокаталитические установки в стационарном или мобильном вариантах. Основные характеристики таких отходов: содержание нефтепродуктов 15–80 %, но не менее 10 %, обводненность не более 20 %, содержание механических примесей и тяжелых металлов не лимитируется [128].

Подобная установка представляет собой вращающуюся трубчатую печь (типа труба в трубе), работающую на принципе термокаталитическо-

го воздействия. Совмещает в себе камеру для газификации и крекинга углеводородов и камеру для термического обезвреживания минеральной составляющей. В ее приемный бункер могут одновременно загружаться несколько видов нефтесодержащих отходов. После смешивания, подогреваясь, они поступают в камеру газификации. В ней смесь постепенно прогревается до температуры перехода углеводородов в газовую фазу. Последняя выводится на каталитический крекинг в блок конденсации. При этом выпаривается вода, легкие углеводороды, газифицируются более тяжелые фракции. Все пары отсасываются, подвергаются циклонной очистке, конденсируются и охлаждаются. Несконденсированные газы после осушки направляются в камеру дожигания. Туда же из камеры унификации поступает минеральная смесь с образовавшимся нефтяным полукоксом. В топке газы и полукокс сжигаются, давая тепло процессу. Отожженная минеральная часть поступает в отводной бункер, после чего подается на отгрузочный конвейер. Остаточное содержание углерода в ней не превышает 0,7 % [128].

Крекинг тяжелых фракций удаляет до 50 % содержащейся в исходном сырье серы и одновременно достигается обессоливание и обезвоживание нефтепродуктов. В полученных после переработки нефтепродуктах преобладают светлые фракции. За счет выделения нефтепродуктов из газовой фазы в 5–10 раз по сравнению с традиционным сжиганием снижается количество газовых выбросов. Выход нефтепродуктов по отношению к их первоначальному содержанию в сырье обычно 85–95 %. Коксовая фракция и газы сжигаются. В зависимости от исходных материалов могут быть получены производственные масла [128].

При переработке материалов с нафтеноароматической нефтью (с содержанием серы 1–2 %, асфальтосмолистых веществ 3–7 %) на выходе можно получить [128]:

– 50 % дизельной фракции или печного топлива;
– 20 % мазутной фракции:
– 15 % нефтяных растворителей и бензинов;
– 8 % кокса;
– 7 % углеводородных газов, содержащих 90–95 % метана.

Коксовая фракция и газы сжигаются в печи.

Нельзя не отметить, что термокаталитический процесс является экологически чистым, вредные выбросы не превышают ПДК, так как при низкотемпературном сжигании газов и кокса (при условии избытка воздуха) образуется относительно незначительное количество оксидов азота и оксида углерода. При сгорании серы и сероводорода в присутствии природных бикарбонатов кальция и магния происходит связывание образующихся сернистых

газов и выпадение сульфатов в осадок. Дымовые газы, пройдя блок газоочистки, смешиваются с насыщенным водяным паром, очищаются и выбрасываются в атмосферу. В результате достигается полная очистка нефтесодержащего материала с выходом кондиционной продукции с улучшенными свойствами при соблюдении экологической чистоты процесса [128].

На практике успешно применяется метод разжижения и перемешивания нефтесодержащих отходов со значительным содержанием углеводородов с помощью теплоносителя. Метод основан на предварительной сепарации осадков внутри емкости. Сбор выпавшего шлама, состоящего из механических примесей, асфальтенов, смол и т.д. с содержанием не более 10–15 % углеводородов, позволяет осуществлять их дальнейшую переработку методом биоремедиации.

С помощью указанного метода достигается очистка исходного нефтесодержащего материала и получение кондиционной продукции. Для реализации данного метода предполагается использование мобильного комплекса для разжижения и перемешивания нефтесодержащих отходов с помощью теплоносителя.

Дальнейшее разрушение углеводородов нефти происходит при участии соответствующих микроорганизмов. Согласно современным данным такие микроорганизмы широко распространены в природе и могут быть выделены из любой почвы, осадочных пород, морской и речной воды, водорослей в виде грибов или бактерий. Известно более 20 родов бактерий и более 10 родов грибов, способных к биодеградации нефтяных углеводородов [128].

Применение биологических методов очистки нефтесодержащих отходов и загрязненных нефтью и нефтепродуктами территорий и почв позволяет с малыми затратами экологически чисто восстановить биологическую среду объекта. Биологические способы при определенных условиях обеспечивают очистку объекта от углеводородов до нормативных уровней. Увеличивающаяся при биоремедиации масса микроорганизмов, которая является основой биопрепаратов, при исчезновении источника загрязнения отмирает и превращается в гумус [128].

Углеводородокисляющие микроорганизмы, широко распространенные в процессе, – это компоненты незагрязненной системы, способные усваивать разнообразные органические соединения: углеводы, белки, жиры и пр. Присутствие таких микроорганизмов в чистых экосистемах составляет 0,05–5 % от общего числа бактерий, растущих на богатых средах. На грунтах и почвах, загрязненных нефтепродуктами, их титр возрастает до 107 кл/г.

На первых этапах при деградации нефтепродуктов существенную роль играют физико-химические факторы. В первые часы после разлива в раз-

рушении доминируют абиотические процессы. Их интенсивность зависит от свойств конкретного вида разливного нефтепродукта, его плотности и вязкости, температуры окружающего воздуха, скорости ветра, солнечного освещения. За первые сутки из загрязненного пятна на поверхности грунта или почвы в летнее время испаряется до 80 % технического бензина (бензин почти полностью улетучивается в течение первых часов), 22 % керосина, 2–15 % нефти и около 0,3 % летучих компонентов мазута. Одновременно с испарением происходит фотоокисление, ветровой вынос нефтепродуктов, вымывание и химическое окисление [128].

Через 15 дней потери нефтепродуктов за счет абиотической деградации могут составить до 36 %. В дальнейшем скорость этого процесса замедляется. Последующее разрушение нефтяных углеводородов обусловлено их биохимическим окислением при участии соответствующих микроорганизмов. Численность микроорганизмов-нефтедеструкторов в естественных биоценозах зависит от климатических условий, типа почвы, степени их обработки. Выделение необходимых для окончательного разрушения индивидуальных микроорганизмов-нефтедеструкторов в настоящее время не представляет технической сложности.

Таким образом, с целью интенсификации микробиологической деструкции нефти и нефтепродуктов используется способность микроорганизмов к активной переработке углеводородов. Для биоремедиации окружающей среды с использованием углеводородокисляющих микроорганизмов приняты два принципиальных подхода [128]:

1) стимулирование активности *аборигенной* углеводородокисляющей микрофлоры;

2) использование активных штаммов углеводородокисляющих организмов и их ассоциаций путем *интродукции* в загрязненные объекты в виде биопрепарата.

Чтобы ускорить темпы ремедиации среды объекта, загрязненной нефтепродуктами, независимо от приведенных подходов необходимо создать оптимальные условия для роста и развития углеводородокисляющих микроорганизмов. Это достигается, согласно данным работы [128], различными способами.

1. *Аэрация среды объекта*, усиление окислительных процессов (рыхление, частая вспашка, дискование, барботирование воздухом), улучшение условия микробиологической деструкции нефтепродуктов, увеличение биологической активности, испарение легких фракций и более равномерное распределение компонентов нефтепродуктов в толще обрабатываемой среды, что способствует снижению концентрации углеводородов. В результате создается оптимальный водный, воздушный и тепловой режимы,

растет численность микроорганизмов и увеличивается их активность, усиливается ферментационная активность среды объекта.

2. *Полив.* Для интенсификации роста и развития растений и микрофлоры необходима оптимальная влажность. Для разных типов почв она составляет 15–35 % от их массы. Вызванная нефтяным загрязнением гидрофобность среды ухудшает водный режим и может уменьшить влажность среды объекта более чем в 7 раз.

3. *Оптимизация температурного режима* развития углеводородокисляющей микрофлоры и интенсификация процесса очистки от нефтяных углеводородов. Оптимальная температура 20–28 °С. При температуре 6–15 °С интенсивность трансформации нефтяных углеводородов снижается в 2,5–4 раза; при 37 °С рост бактерий ограничивается и процесс замедляется. При 45 °С деятельность микроорганизмов полностью угнетается, биоразложение нефтяных углеводородов не происходит. Оптимальная температура разложения нефтепродуктов, как правило, 18 °С.

4. *Внесение минеральных удобрений.* Интенсивность разложения нефтепродуктов напрямую зависит от обеспеченности среды биогенными элементами. Необходимость их внесения обусловлена повышением численности микроорганизмов и значительным изменением соотношения углерод/азот. Для нормального роста бактерий на 10 частей углерода С требуется одна часть азота N. Если это соотношение больше, рост бактерий и утилизация углеводородов замедляется. В среде объекта, загрязненной нефтепродуктами, соотношение углерод/азот может достигать 400–420 по сравнению с соотношением для незагрязненной среды, равным 17.

Кроме того, в загрязненной среде объекта снижается содержание подвижного фосфора и обменного калия. Недостаток биогенных элементов восполняют внесением в среду объекта минеральных удобрений. Потребность в питательных элементах зависит от условий среды. Однако во всех случаях внесение биогенных элементов в виде минеральных удобрений способствует разложению углеводородов в среде, загрязненной нефтепродуктами. Вопрос оптимизации доз минеральных удобрений решается в увязке с потребностями микроорганизмов в каждой конкретной ситуации. Применение этого метода отдельно от других, таких как внесение органических удобрений, агротехнические мероприятия и др., нецелесообразно, а в отдельных случаях малоэффективно [128].

5. *Внесение органических удобрений*. Интенсификация процесса разложения углеводородов в этом случае обусловлена наличием в них биогенных элементов. Однако определяющие факторы – наличие в этих удобрениях микроэлементов, легкоусвояемых и биологически активных веществ

и активной дополнительной микрофлоры. Удобрения – активный ил и торф – имеют высокую поверхностную активность, что определяет их относительно большую адсорбционную способность. Минеральные удобрения увеличивают численность различных групп микроорганизмов комплекса минеральных удобрений в 1,5–2 раза, внесение органоминерального комплекса повышает активность окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов, участвующих в деструкции нефтепродуктов.

6. *Известкованием.* Оптимальными значениями для роста большинства микроорганизмов на углеводородах являются близкие к нейтральным значениям pH. Многие углеводородокисляющие микроорганизмы активно растут в интервале pH 6,0–7,5. При значениях pH меньше 4,0 и больше 9,0 большинство бактериальных культур имеет более низкую активность и скорость разложения нефтепродуктов, чем при pH 7,0–8,0. Кислотная среда при биодеструкции нефтепродуктов в определенных условиях может иметь решающее значение. В таких случаях для создания оптимального pH кислотные среды рекомендуется подвергать известкованию, хотя этот метод эффективен лишь в частных условиях.

7. *Фитомелиорация*. Интенсификация рекультивации фитомелиоративными методами способствует аэрации загрязненных сред объектов, создает условия для последующей интенсификации жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, ускоряет процесс минерализации нефтепродуктов. Фитомелиоративные методы основаны на высеве специальных сортов трав или водорослей, как правило, при относительно низком уровне загрязнения почв или водных объектов нефтепродуктами, они также носят вспомогательный характер на завершающей стадии работ по рекультивации загрязненных нефтью и нефтепродуктами объектов. В случае сильного загрязнения объекта ННП эти приемы неэффективны [128].

Описанные выше методы интенсификации микробиологической деструкции нефти и нефтепродуктов в основном используются для восстановления загрязненных нефтепродуктами почв, грунтов и отходов. Биоремедиация загрязненных водных объектов (поверхностные воды, акватории морей и океанов, рек, озер, грунтовые воды, сточные воды) имеет свои специфичные особенности.

Загрязнение водоемов ННП характеризуется уменьшением запасов водного кислорода, необходимого для окисления органических веществ микроорганизмами. Наличие на поверхности воды нефтяной пленки снижает способность водоемов к самоочищению, поскольку эта пленка препятствует поступлению в воду атмосферного кислорода. В этом случае в водоеме создаются анаэробные условия. В результате повышается содержание в воде токсичных продуктов промежуточного окисления. Кроме

того, для всех водных систем характерна усиленная миграция нефти и нефтепродуктов, что создает значительные трудности при ремедиации.

Относительно проще контролировать процесс биоремедиации сточных вод, поскольку он наиболее полно изучен и осуществляется в специальных сооружениях. Сточные воды характеризуются высокой численностью микроорганизмов, нейтральной или слабощелочной средой и высокой концентрацией биогенных элементов.

Для интенсификации биодеструкции в сточных водах используются:

– аэрация среды (за счет барботирования воздухом);

– поддержание оптимального pH;

– прогрев;

– внесение биогенных элементов, микроэлементов, биостимуляторов, ПАВ;

– фитомелиорационные мероприятия с водными растениями.

Один из возможных путей интенсификации очистки сточных вод – применение адаптированного активного ила – специализированных микроорганизмов.

Наиболее сложный процесс рекультивации – очистка грунтовых вод, поскольку они имеют низкий титр микроорганизмов, практически не содержат биогенных элементов и кислорода. Концентрация солей, солевой состав и значения pH могут сильно варьироваться. Следует учитывать и значительную трудоемкость проведения рекультивации и контроля процесса. Рекультивационные мероприятия сводятся к откачке загрязненных вод и их дальнейшей очистке на поверхности или же барботированию воздухом загрязненного пласта с одновременным внесением биогенных элементов, иногда активных штаммов-деструкторов [128].

В поверхностных водах, загрязненных нефтью и нефтепродуктами, всегда обнаруживаются микроорганизмы, способные окислять углеводороды. Так, количество нефтеокисляющих бактерий в верхнем слое морской воды 1500–7000 кл/мл. С увеличением глубины содержание микроорганизмов падает. Особенность очистки поверхностных вод в том, что из-за гидрофобности и малой удельной плотности нефть и нефтепродукты скапливаются на поверхности воды. Это приводит к уменьшению плотности контакта воды и микроорганизмов; вносимые биогенные элементы и микроорганизмы часто вымываются из загрязненной зоны [128].

Для очистки окружающей среды с применением микроорганизмов-деструкторов использована их способность к эффективной утилизации углеводородных субстратов. Интродукция углеводородокисляющей микрофлоры в почву – один из эффективных и наиболее перспективных методов борьбы с нефтяными загрязнениями, особенно с целью интенсификации

процесса в неблагоприятных условиях, например при непродолжительном вегетационном периоде или когда популяция микроорганизмов-нефтедеструкторов на основе природной микрофлоры имеет низкую активность. Интродукция приводит к быстрому снижению концентрации загрязнителя за относительно короткий промежуток времени [128].

Суть метода интродукции заключается во внесении в среду объекта биопрепарата, состоящего из одного вида бактерий и из смешанных культур (ассоциаций), способных к деградации широкого спектра углеводородов. Интродукция микроорганизмов-нефтедеструкторов признана наиболее эффективным методом при интенсификации микробиологических способов деструкции нефти и нефтепродуктов. Однако до сегодняшнего дня нет однозначной методики составления искусственной ассоциации микроорганизмов-нефтедеструкторов. Чаще всего при составлении ассоциации учитываются: углеводородокисляющая активность культур, рост ее в широком диапазоне температур и значений pH; отсутствие антагонизма по отношению к другим членам ассоциации и другие факторы.

Углеводородокисляющая активность ассоциации не равна сумме активностей отдельных штаммов. Более того, в ряде случаев активность консорциума ниже, чем у их составляющих монокультур. Для составления высокоэффективной ассоциации нефтедеструкторов следует стремиться, чтобы системы углеводородокисляющих ферментов используемых штаммов, входящих в состав консорциума, дополняли друг друга.

По данным [128], отечественная промышленность изготавливает биопрепараты на основе активных микроорганизмов-нефтедеструкторов («Амир», «Путидойл», «Биоприн», «Олиоварин», «ГлаукОйл» «Деваройл», «Руден» и ряд других). Большинство из них («Амир», «Биоприн», «Олиоварин», «Деваройл») – комплексные, т.е. состоят из нескольких видов углеводородокисляющих микроорганизмов. Поэтому они обладают большим запасом приспособительных реакций к изменениям условий окружающей среды и способны окислять более широкий спектр нефтяных соединений.

Однако универсального биопрепарата, способного полностью утилизировать все компоненты нефти, в силу ее многокомпонентности в принципе не может быть создано.

Нефть состоит из более двух сотен соединений, причем сорта нефти разных месторождений отличаются друг от друга по фракционному и композиционному составу.

В практике биоремедиации приходится сталкиваться не только с нефтяными загрязнениями, но и с загрязнениями нефтепродуктами, которые резко отличаются по химическим свойствам от исходной нефти.

Районы добычи, переработки и хранения нефти и нефтепродуктов так же, как и загрязненные ими объекты, значительно отличаются друг от друга по природным, климатическим и гидротермическим и другим условиям. Поэтому для каждого типа нефти и каждого региона возникает необходимость создания специфического биопрепарата, что ни технически, ни практически выполнить нереально.

Возможное решение данной проблемы – выделение из среды загрязненного нефтью или нефтепродуктами конкретного объекта активных углеводородокисляющих микроорганизмов, составление из них ассоциации и интродукция ее в очищаемую среду объекта.

Химические методы переработки нефтесодержащих почв и отходов заключаются в добавлении к нейтрализуемой массе реагентов, вызывающих окислительный распад нефтяных углеводородов, осаждение, замещение, комплексообразование.

В результате диспергирования с гидрофобными реагентами на основе негашеной извести или других материалов происходит затвердевание нефтесодержащих отходов с возможностью дальнейшей их переработки в порошкообразный гидрофобный материал. Химический метод требует применения специального оборудования и, следовательно, значительных финансовых затрат.

Химические вещества и образующиеся в процессе переработки продукты разложения (канцерогенные и мутагенные вещества – бензопирены, фенолы, полициклические углеводороды и другие опасные соединения), как правило, представляют для окружающей среды даже большую опасность, чем первичное нефтяное загрязнение объекта.

Химические вещества могут вызывать неуправляемые мутации и необратимые изменения в структурах биоценозов, что может иметь непоправимые последствия для живых организмов. Использование химических способов требует значительных дополнительных финансовых затрат и неприемлемо с экологической точки зрения [128].

Система комплексной рекультивации объекта, загрязненного нефтепродуктами, приведена на рис. 3.2 [128].

Современная научная практика при обработке загрязненных углеводородами грунтов и нефтесодержащих отходов сталкивается с попытками подмены бактериальных препаратов гумино-минеральными концентратами (гуминовыми кислотами). Гуматы моновалентных и поливалентных металлов, имеющихся в торфе, бурых углях, могут использоваться как стимуляторы для развития почвенной биоты и высших растений. Они – часть гумуса (плодородного слоя почвы), но могут образовывать определенные соединения с катионами тяжелых металлов и радионуклидов.

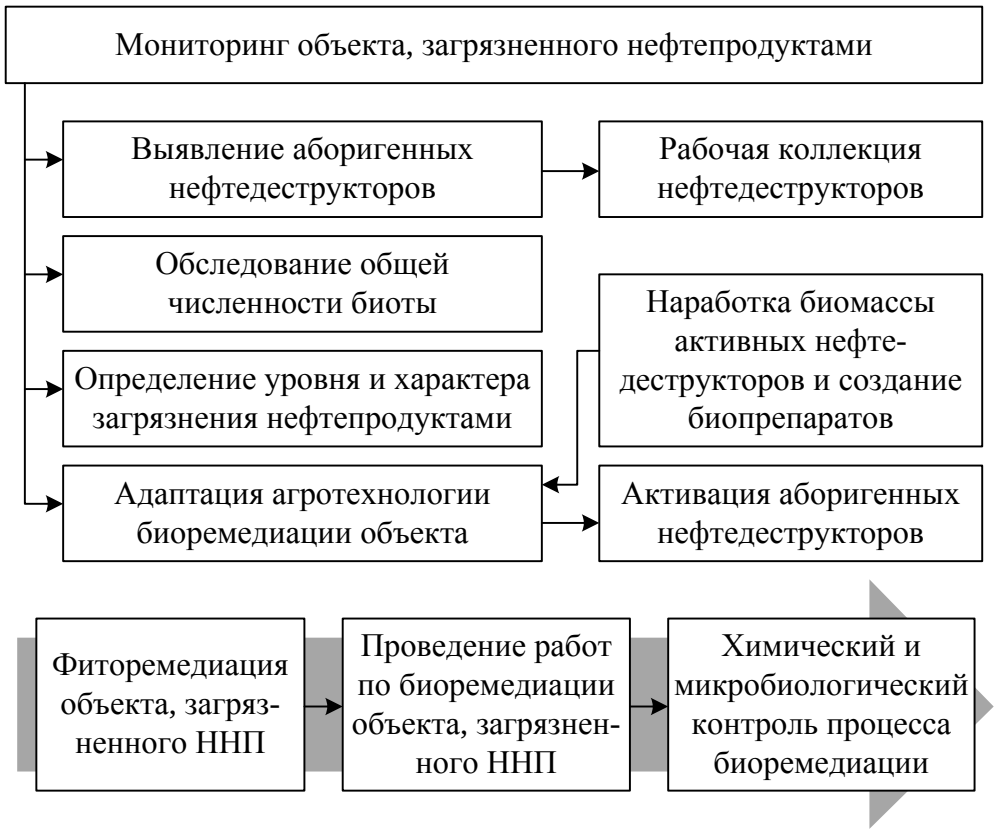


Рис. 3.2. Система комплексной рекультивации объекта, загрязненного нефтепродуктами

Таким образом, ионы токсичных металлов при определенных условиях могут связываться в рекультивационном почвогрунте, определенное время не вымываться, вследствие чего не могут в дальнейшем неблагоприятно воздействовать на окружающую среду. На этом принципе работают многие торфяные сорбенты, гумусосодержащие удобрения и используются при проведении работ по рекультивации нарушенных территорий.

Однако при использовании гумино-минеральных концентратов в технологическом процессе содержание подвижных форм тяжелых металлов и нефтепродуктов не должно превышать предельно допустимых концентраций, что значительно ограничивает рамки их применения. Существенно и то, что в настоящее время научными исследованиями и практикой не подтверждены данные о длительности сохранения опасных для окружающей среды элементов в связанном состоянии. Сказанное дает основание воздерживаться от использования гумино-минеральных концентратов (гуминовых кислот) при переработке нефтесодержащих загрязненных почв в качестве самостоятельного технологического продукта. Но это не исключает их применения в комплексной технологии для увеличения плодородности получаемого рекультивационного техногенного почвогрунта с целью расширения возможности его дальнейшего использования.

Среди известных способов очистки объекта от загрязнений в результате аварийных разливов при хранении, транспортировке и переработке нефти и нефтепродуктов при определенных обстоятельствах применяется метод сорбции. Для этих целей он достаточно эффективен, сочетает высокую степень очистки и эксплуатационную надежность с простотой использования и относительно низкой стоимостью.

Сорбенты целесообразно использовать в составе материально-технических ресурсов при комплектовании аварийно-спасательного резерва для локализации и ликвидации разливов нефтепродуктов. На отечественном рынке представлены сорбенты, отличающиеся между собой: природой материала – основы, показателем сорбционной емкости, скоростью сорбции, технологией применения и стоимостью. Конкретный тип сорбента следует выбирать по природе материала – основы, оптимальным техническим и экономическим показателям.

По природе материала сорбенты делятся на неорганические, природные органические, органоминеральные и синтетические. Из технических характеристик учитываются: плотность, сорбционная емкость, возможность десорбции и регенерации, гидрофобность или гидрофильность, способы утилизации.

На рынке широко представлены формы изделий из сорбентов – экологические салфетки различных размеров, пластины в армирующих сетках, прошитые маты, крошка, ограждающие боны и т.п. [128].

Способность боновых заграждений, скомплектованных из наполненных сорбентной крошкой тканевых рукавов, сохранять плавучесть в течение длительного времени позволяет использовать их не только для локализации и ликвидации последствий аварийных разливов, но и в превентивных целях в местах возможных периодических или эпизодических проливов.

Проблема использования сорбентов для аварийных работ на водной поверхности заключается в необходимости их равномерного распределения по открытой поверхности водоема в естественных природных условиях (течение, ветер, волнение на воде) и последующего сбора.

Тонущие (гидрофильные) сорбенты, даже если они несут на себе культуру микроорганизмов (торф, биопрепарат), в подобных случаях неприменимы из-за ограниченности кислорода на дне водоема, куда погружаются сорбенты, насыщенные после использования нефтепродуктами, процесс биодеструкции не идет.

Сбор нефтепродуктов с загрязненных территорий или акваторий с использованием сорбентов неизбежно предусматривает сбор самих сорбентов и их дальнейшую утилизацию. В этом случае использованные сорбенты классифицируются уже как нефтесодержащие отходы.

Сбор использованных сорбентов, насыщенных углеводородами, с заболоченных участков и участков, поросших растительностью, затруднен и часто практически не возможен.

Некоторые типы сорбентов благодаря их полуэластичной структуре могут быть использованы многократно. Для этого достаточно отжать из них поглощенный нефтепродукт на специальном приспособлении, после чего сорбционная способность материала частично восстанавливается, а отжатый нефтепродукт может быть направлен на регенерацию либо утилизацию.

Согласно [128] одной из главных проблем применения любых видов сорбентов является необходимость их полной утилизации после однократного или многократного использования. Как правило, утилизация возможна сжиганием в специальных высокотемпературных печах. Для этого необходимо соответствующее экологически приемлемое оборудование, использование которого связано с финансовыми затратами.

При планировании работ с применением сорбентов нужно учитывать, что для этих целей необходимо иметь определенные типы специальных приспособлений и механизмов для рассеивания сорбентов по загрязненной территории или акватории и их последующего сбора.

Для обезвреживания и утилизации нефтесодержащих осадков при определенных условиях можно использовать технологию экобетонирования, т.е. в смешивании осадка с цементом, известью или двуокисью кремния и с последующим отвердением смеси. При смешивании осадка с вяжущим агентом ионы тяжелых металлов связываются с твердой фазой. В результате достигается своеобразное «капсулирование» токсичных веществ в цементной оболочке (твердой матрице), обеспечивающей ограничение миграции экотоксикантов в окружающую среду. Однако эта технология требует предварительной нейтрализации отходов, использования значительного количества химических реагентов, а также связывающих средств (цемент, известь и т.п.) для их отвердения. Кроме того, ряд веществ, входящих в нефтесодержащие осадки, в частности серосодержащие вещества, могут вызывать деградацию цемента, что приводит к постепенному разрушению твердой матрицы и повышению десорбции загрязнителей в окружающую природную среду.

По данным [128], усовершенствованный метод экобетонирования есть интеграционная минерально-матричная технология обезвреживания путем литификации различных видов промышленных отходов (жидких и твердых) и включает также переработку нефтесодержащих осадков.

Из твердых отходов можно получить коммерческие продукты: строительные материалы или брикетируемое твердое топливо, асфальтовые смеси холодного и горячего приготовления, пригодные для устройства

конструктивных слоев покрытий и оснований дорожных одежд, производственных площадок, укрепленные органическими вяжущими компонентами грунты, другие изоляционные смеси и материалы.

Переработка относительно небольшого объема эпизодически образующихся нефтесодержащих отходов и грунтов с учетом первоначальной стоимости технологического оборудования, стоимости исходных эксплуатационных материалов, а также при отсутствии гарантированного объема их поставки нерентабельна [128].

С учетом экономических реалий актуальным становится определение новых подходов в организации ликвидации разливов ННП и комплексной переработки нефтесодержащих отходов, которые призваны изменить приоритеты выполняемых и планируемых работ, в том числе в целях охраны окружающей природной среды.

3.5. Авторские новые разработки по восстановлению эксплуатационных свойств железнодорожного полотна с целью охраны окружающей природной среды

Анализ состояния загрязненности балластного слоя железнодорожного полотна и территории, непосредственно прилегающей к железнодорожному полотну, указывает на необходимость принятия дополнительных мер по нормализации их эколого-эксплуатационных показателей [13].

В связи с накоплением загрязняющих веществ и потерей эксплуатационных качеств земляного полотна железнодорожного пути осуществляются технические мероприятия по его восстановлению. Существующий способ восстановления балластного слоя железнодорожного пути включает удаление старого щебня для расчистки земляного полотна, засыпку на расчищенное земляное полотно защитного балластного слоя и его уплотнение, засыпку нового щебня [129]. На сегодняшний день наиболее распространенным является использование щебеночного балласта на железнодорожном пути как наиболее эффективного. Тем не менее в связи с большими аккумулирующими свойствами он интенсивно загрязняется в процессе эксплуатации. Это происходит из-за попадания на путь ЗВ, перевозимых подвижным составом, размельчения щебня от поездной нагрузки и воздействия путевых машин. Основными загрязняющими веществами являются ННП.

ЗВ ухудшают эксплуатационные свойства щебеночного балласта и в результате происходят деформации балластного основания пути. Из-за снижения коэффициента фильтрации балластного слоя происходит его водонасыщение. Так, повышение влажности балластного слоя более 56 % провоцирует увеличение остаточных деформаций пути в 5–7 раз, что при-

водит к существенному увеличению объемов выправочно-рихтовочных работ [42].

Засорение балласта уменьшает его способность упруго воспринимать нагрузки, что, в свою очередь, приводит к росту динамических сил взаимодействия пути и подвижного состава, приводит к увеличению нагрузки в элементах верхнего строения пути, сокращая их ресурс.

При эксплуатации в течение длительного времени увеличиваются остаточные деформации на пути из-за потери балластной призмой своих первоначальных свойств. Деформации приводят к повышению износа верхнего строения пути. В результате увеличиваются расходы на перевозки и содержание подвижного состава и возрастают риски ЧС.

Наличие таких факторов определяет необходимость периодического восстановления геометрических и физико-механических характеристик и параметров щебёночной балластной призмы. С этой целью производится очистка щебня, а при необходимости и полная его замена с использованием щебня твёрдых пород [21].

Для восстановления дренирующих и упругих свойств балластной призмы производят очистку балласта от ЗВ. Основным методом сегодня является использование технологий по глубокой очистке балластного слоя без подъемки пути с использованием щебнеочистительных машин, оснащенных вибрационными грохотами. Для производства таких работ в настоящее время используются комплексы для очистки щебня и замены балласта, такие как: ЩОМ-6БМ, RM-80 UHR, СЧ-601, СЧУ-800М, ЩОМ-1200ПУ, ЩОМ-6У, ЩОМ-1200, СЧ-1000, СЧ-1200 и др.

Способы производства работ во многом определяются современными требованиями к балластной призме и диктуются качеством очистки щебня, периодичностью его очистки при учёте вида ремонта и состояния железнодорожного пути. Очистка балластной призмы, произведенная качественно и своевременно, позволяет эффективно решать комплекс проблем по текущему содержанию пути. Такую задачу возможно решить за счет применения новых технологий с использованием прогрессивных методов и машинных комплексов.

Наряду с технологическими требованиями нельзя не принимать во внимание загрязняющее воздействие железнодорожного пути и на экосистему региона [50]. За счет переноса сточными водами на близлежащей территории накапливаются нефтепродукты, которые оказывают сильное воздействие на функционирование микробных сообществ, участвующих в преобразовании органических веществ и в поддержании почвенного плодородия.

Почва вдоль железнодорожных линий по уровню загрязнения солями тяжелых металлов и нефтепродуктами характеризуется как зона чрезвы-

чайно высокого загрязнения. Нефтяное загрязнение вызывает массовую гибель почвенных беспозвоночных, особенно, в первые дни загрязнения, что говорит о прямом токсическом воздействии ННП [34].

Основным показателем (интегральным критерием) экологической безопасности деятельности железнодорожного транспорта в регионе служит степень нарушения природного баланса.

Природная среда прилегающей к железнодорожному полотну территории не способна справиться с воздействием железнодорожного транспорта, в этом случае необходимо проводить восстановительные работы [50].

Известно, что для цели восстановления эколого-технических характеристик грунта и предупреждения накопления нефтяных загрязнений может использоваться биоремедиация.

Метод биоремедиации основан на технологии очистки загрязненной почвы за счет применения нефтеокисляющих микроорганизмов или специальных биохимических препаратов.

Данный метод наиболее эффективно используется в случаях, когда количество нефти и нефтепродуктов слишком мало, чтобы применять механические средства сбора их с загрязненной поверхности. В связи с этим его целесообразно применять как профилактическую меру для предупреждения накопления ЗВ до критических величин, а также в местах сопряжения с особо охраняемыми природными территориями и водными объектами.

Микробиологическая очистка грунтов является наиболее приемлемым методом очистки земель и вод, использующим микробиологическое разложение ННП в месте разлива.

Внесение специальных биохимических препаратов направлено на активизацию почвенных нефтеокисляющих микроорганизмов, обладающих способностью использовать в качестве единственного источника питания углеводороды нефти, окисляя их до CO_2 и воды.

Первичное окисление нефти до органических кислот, спиртов, кетонов и альдегидов обеспечивается этими микроорганизмами, а на последующих этапах в процесс вовлекаются и другие физиологические группы микроорганизмов.

Учитывая сложный состав нефти и неодинаковую способность разных групп углеводородокисляющих микроорганизмов к усвоению различных компонентов нефти, необходимо обеспечить воздействие на нефть возможно более сложного по составу сообщества микроорганизмов.

В природной системе существует биологический контрагент для каждого типа нефтяного соединения, который способен включить это загрязняющее вещество в свой метаболизм. Это происходит за счет использования источника углерода в качестве питательной среды. В основном таки-

ми качествами обладают бактерии рода Pseudomonas, а также некоторые виды дрожжей и грибков.

При температуре окружающей среды в 5–25 °С и при наличии достаточной насыщенности кислородом такие микроорганизмы способны окислять ННП со скоростью, достигающей 2 г/м^2 за день. При условиях низких температур такое окисление происходит намного медленнее [93, 104].

Применение биотехнологии восстановления нефтезагрязненных почв и грунтов в условиях Дальнего Востока способно обеспечивать 90%-е очищение насыщенного углеводородами грунта за период семи недель. При использовании метода содержание нефтепродуктов после обработки не превышает предельно допустимого уровня (0,1 вес. %).

В целом деструкция углеводородов с применением биопрепаратов нефтеокисляющего действия происходит примерно в 100 раз быстрее, чем в процессе естественного разложения [93]. С целью поддержания технологических и экологических свойств железнодорожного полотна автор предлагает использовать новое техническое решение: «экопоезд», состоящий из локомотива – силовой установки и специальных цистерн, снабженных компрессорами и оросительной системой [50] (рис. 3.3).

При установлении температуры окружающей среды выше 5 °С целесообразно обрабатывать загрязненное земляное полотно железной дороги один раз в 2 месяца специальными биологически активными композициями (БАК).

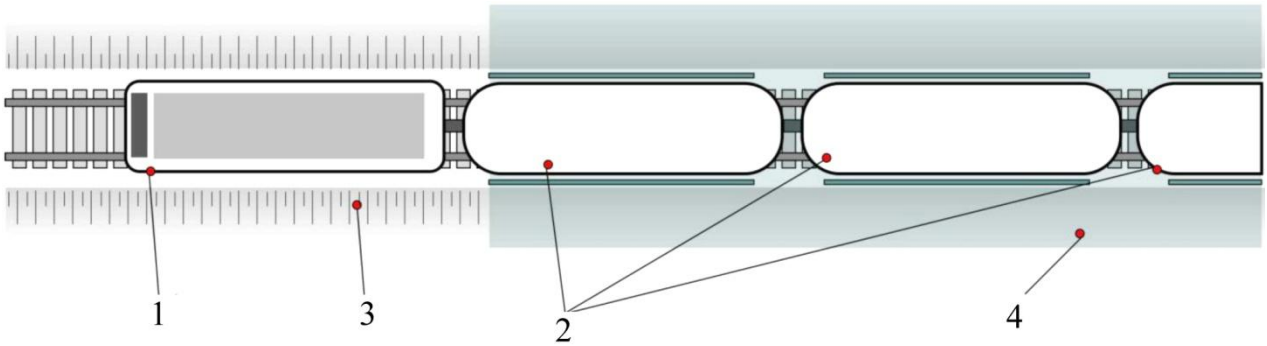


Рис. 3.3. Схема комплектации и зоны воздействия «экопоезда»: *1* – локомотив; *2* – специальная цистерна; *3* – обрабатываемое полотно железной дороги; *4* – зона, обработанная специальными реагентами

Для очистки территории вносится БАК в количестве 1–5 % концентрации нефтяных углеводородов в загрязненной почве [133]. Эффективность биодеструкции в зависимости от степени загрязнения обрабатываемой поверхности показана в табл. 3.3 [61].

Таблица 3.3

Эффективность биодеструкции нефтяного загрязнения

Снижение нефтяного загрязнения, %	Степень загрязненности почвы нефтепродуктами		
	Низкая 1–5 %	Средняя 5–10 %	Высокая 30–100 %
30	В течение 7* суток	В течение 15* суток	В течение 30* суток
40	В течение 12* суток	В течение 25* суток	В течение 50* суток
50	В течение 25* суток	В течение 50* суток	В течение 84* суток
60	В течение 40* суток	В течение 60** суток	В течение 112** суток
70	В течение 68** суток	В течение 90** суток	В течение 140** суток
До 98	В течение 100*** суток	В течение 130*** суток	В течение 200*** суток

Примечание – * однократная обработка, ** двукратная обработка, *** трехкратная обработка.

Устройство состоит из цилиндрического герметичного резервуара (цистерны) и системы 1/2-дюймового распределительного водопровода, охватывающего весь объем. Серии труб пронизаны рядом отверстий, через которые под давлением нагнетаемого в цистерну воздуха и разбрызгивается БАК. При обработке полотна (в теплое время года) производится орошение специальными реагентами, ускоряющими рост бактерий, участвующих в разложении нефти.

Таким образом, для ликвидации углеводородных загрязнений используется способность микроорганизмов разрушать углеводороды нефти. Обработка БАК производится в целях активации биоремедиации, а также нейтрализации опасных веществ, скапливающихся в конструктивных элементах железнодорожного полотна и близлежащих территорий [86].

Применение данного метода оправдано в Дальневосточном регионе, в условиях достаточно сурового климата, когда процессы естественного самоочищения нефтезагрязненных грунтов протекают медленно и высока чувствительность окружающей природной среды к любым техногенным воздействиям, особенно механическим.

Использование щадящих природу технологий на основе эффективного стимулирования окисления микроорганизмами углеводородов в данном случае является обоснованным.

В состав «экопоезда» можно включить мобильную установку для ликвидации нефтяных разливов, позволяющую эффективно воздействовать на особо загрязненные участки [88]. При помощи устройства в местах повышенного загрязнения на поверхность может наноситься сорбент-мелио-

рант без необходимости последующего сбора, позволяющий ускорить процесс биоремедиации нарушенных земель с улучшением их фитосанитарного состояния.

Экологическая реабилитация полотна железной дороги и прилегающей к нему территории позволит существенно снизить отрицательное влияние железнодорожных перевозок на уникальные природные системы Дальневосточного региона.

Применение установки позволит производить снижение концентрации ЗВ и поддерживать эксплуатационные свойства земляного полотна без дорогостоящих работ по его замене в целях предупреждения ЧС с ННП в случае разливов.

3.6. Разработка новой эффективной установки для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов

В связи с необходимостью минимизации последствий техногенных аварий и катастроф, в частности при перевозке ННП, актуален вопрос создания мобильных комплексов по оперативной ликвидации разливов нефти с твердых поверхностей и оснащения ими специализированных формирований.

В настоящее время для механической ликвидации разливов нефти применяется вакуумный нефтесборщик для сбора нефти с твердой поверхности серии ВАУ [9]. Вакуумный нефтесборщик состоит из рамы в виде прицепа к автомобилю, на которой смонтирован вакуумный насос, работающий от двигателя, накопитель с переключающим клапаном для остановки работы насоса, подключенный к накопителю шланг и насадки.

Принцип его работы заключается в следующем: включается вакуумный насос, работающий от электродвигателя, который создает в накопителе вакуум, затем через шланг всасывается собираемый материал и после того, как емкость заполнена, срабатывает переключающий клапан, останавливающий работу вакуумного насоса. В дальнейшем собранный в накопительный бак продукт выгружается самотеком.

Достоинством устройства является мобильность установки и возможность работы в труднодоступных местах, а недостатками являются способность сбора материала только с поверхностного слоя и небольшая производительность установки, обусловленная низким объемом накопительной ёмкости.

К недостаткам можно также отнести невозможность сбора малых по глубине слоя разливов и необходимость применения дополнительных устройств для срезки верхнего нефтенасыщенного слоя.

Для решения поставленной задачи авторами разработана новая конструкция установки для очистки рабочих поверхностей от разливов нефтесодержащих жидкостей и сбора сыпучих и мелкокусковых материалов [88] (рис. 3.4), которая содержит базовую транспортную установку, смонтированные на ней газотурбинный двигатель, сепарирующее устройство, нагнетающую магистраль с выдувным соплом, соединенную с газотурбинным двигателем, всасывающую магистраль со всасывающим патрубком, соединенную с сепарирующим устройством, и трубопровод, соединяющий нагнетающую и всасывающую магистрали и образующий эжектирующий канал, дополнительно снабжена бункером для сорбента, установленным на базовом устройстве, и системой заслонок, установленных на нагнетающей магистрали, а также магистральным рукавом.

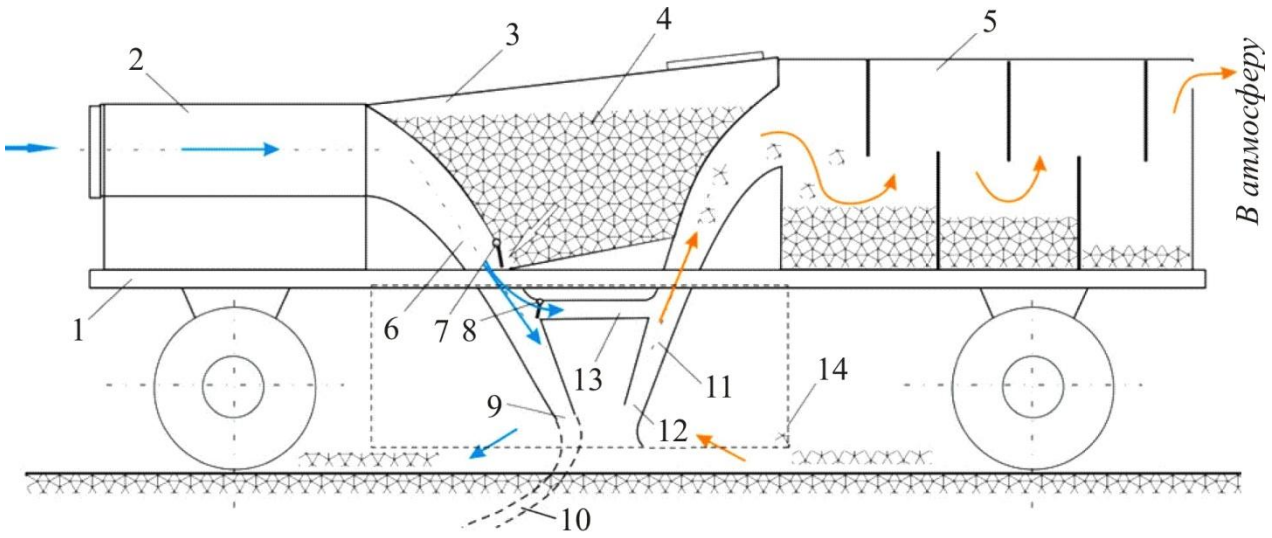


Рис. 3.4. Схема новой установки конструкции ДВГУПС для ликвидации разливов нефти и сбора мелкокусковых материалов: *1* – базовое устройство; *2* – газотурбинный двигатель; *3* – бункер; *4* – сорбент; *5* – сепарирующее устройство; *6* – нагнетающая магистраль; *7, 8* – заслонки; *9* – выдувающее сопло; *10* – магистральный рукав; *11* – всасывающая магистраль; *12* – всасывающее сопло; *13* – трубопровод; *14* – защитный экран

Установка работает следующим образом. После подъезда к загрязненному нефтепродуктами участку включается газотурбинный двигатель *2*, генерирующий высокоскоростную газовую струю. Открывается заслонка *7* и закрывается заслонка *8*. В режиме выдувания газовая струя выбрасывает подаваемый из бункера *3* высокоэффективный сорбент *4* (в зависимости от уровня загрязненности непосредственно через выдувающее сопло *9* или через магистральный рукав *10*).

После поглощения сорбентом нефтепродукта за второй проход в режиме всасывания часть высокоскоростной газовой струи направляется по нагне-

тающей магистрали *6* в выдувающее сопло *9* и, подобно ножу, подрезает и отрывает верхний слой обрабатываемой поверхности. Другая часть струи через открытую заслонку *8* при закрытой заслонке *7* по трубопроводу *13* направляется во всасывающую магистраль *11*, создавая эффект эжекции.

Сорбент, поглотивший нефтепродукты, увлекается вместе с атмосферным воздухом во всасывающую магистраль *11* через всасывающее сопло *12* и направляется в сепарирующее устройство *5*, где происходит разделение потока.

Газовоздушная смесь выбрасывается в атмосферу, а собранный материал периодически выгружается из накопителя и утилизируется. Защитный экран *14* препятствует раздуву отработанного сорбента в режиме всасывания.

Данное авторское техническое устройство защищено патентом [88]. При помощи установки в местах повышенного загрязнения на поверхность может наноситься сорбент – мелиорант для активации процесса биоремедиации без необходимости последующего сбора.

В качестве действующего вещества предлагается к применению эффективный сорбент, получаемый из некондиционного зерна посредством пиролиза [52]. В данном случае материал выполняет роль одновременно сорбента, мелиоранта-аэранта и структуропочвообразователя. При этом происходит ускоренный процесс биоремедиации нарушенных земель с восстановлением плодородия почв, одновременным накоплением гумуса, улучшением фитосанитарного состояния.

Процесс ликвидации разлива ННП, таким образом, состоит из следующих фаз: обнаружения инцидента, оценки объема, сбора разлитых нефтепродуктов при толщине более 5 см при помощи вакуумных нефтесборщиков, затем при помощи предлагаемой установки наносится на поверхность сорбент и по истечении 20–30 мин производится сборка сорбента с поглощенным сорбатом. При необходимости, путем увеличения мощности струи подреза производится сбор и утилизация верхнего загрязненного слоя грунта.

В заключительной фазе может наноситься слой сорбента без последующего сбора для обеспечения дополнительной структурной аэрации оставшегося загрязнения [33].

Благодаря использованию установки сокращается время и снижаются трудозатраты на производство работ, так как отсутствует необходимость использования дополнительных устройств и привлечения дополнительных сил для нанесения на площадь разлива сорбента.

Высокая эффективность устройства обеспечивается, кроме того, за счет объединения в одном устройстве функции разбрасывателя, сборщика

сорбента и устройства по срезке верхнего слоя нефтезагрязненного грунта. Существенно повышается оперативность реагирования на ЧС, а также снижается время негативного воздействия ННП на окружающую природную среду и, как следствие, величина наносимого ущерба.

3.7. Разработка новой конструкции гибкого вкладыша для предотвращения разлива нефти при перевозке в вагонах-цистернах

Для перевозки железнодорожным транспортом опасных грузов 3-го класса, таких как ННП, применяются вагоны-цистерны [98]. Парк цистерн, используемый для перевозки нефти и нефтепродуктов, а это более 275 тыс. единиц – в настоящее время является приватным, что намного усложняет контроль соответствия транспортных средств нормативным требованиям.

В последнее время продолжается рост объемов перевозок ННП. В 2014 г. на внутренних линиях отгружено более 130 млн тонн нефти и нефтепродуктов, а в 2015 г. этот показатель увеличился еще на 2,8 % [87]. Общая перевозка нефти и нефтепродуктов на ОАО «РЖД» в 2016 г. составила свыше 255 млн т [134].

Необходимо отметить, что большая часть парка цистерн эксплуатируется с превышением нормативного срока службы.

Более 78 % инцидентов при транспортировке опасных грузов на ОАО «РЖД» связано с использованием цистерн, а на Дальневосточной железной дороге этот показатель составляет около 98 % [53], 40 % из этого числа – с продленным сроком службы.

Проведенный авторами анализ статистической отчетности показывает, что в последние годы на ДВостЖД остается стабильно высоким количество инцидентов, связанных с перевозкой ННП (рис. 3.5). Для выявления наиболее существенных причин аварийных ситуаций воспользуемся анализом Парето.

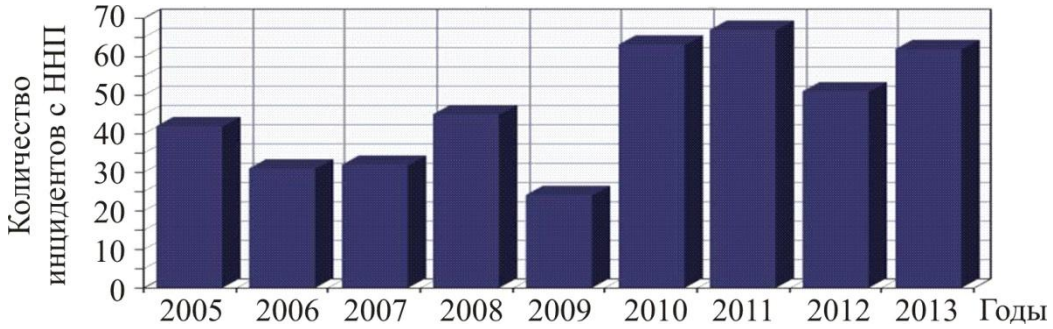


Рис. 3.5. Диаграмма количества инцидентов с ННП на Дальневосточной железной дороге в 2005–2013 гг.

На основе количественных данных об инцидентах с ННП на ДВостЖД за период с 2005 по 2013 г. (табл. 3.4) построим диаграмму Парето (рис. 3.6), позволяющую выделить наиболее значимые причины возникновения аварийных ситуаций.

Таблица 3.4

Расчетная таблица для построения диаграммы Парето

Причина аварийной ситуации	Обозначение	Количество аварийных ситуаций, ед.	Доля, %	Данные Парето
Течь из-за дефекта котла	A	165	44,4	44,4
Течь через сливной прибор	B	129	34,7	79,0
Течь через неплотно закрытый люк	C	24	66,5	85,5
Течь через арматуру котла	D	21	5,0	91,1
Течь из универсального или специального контейнера	F	10	2,7	93,8
Течь (просыпание) из вагонов других типов	I	10	2,7	96,5
Возгорание груза	J	10	2,7	99,2
Течь из специальной цистерны-контейнера	E	3	0,8	100
Всего	–	372	–	–

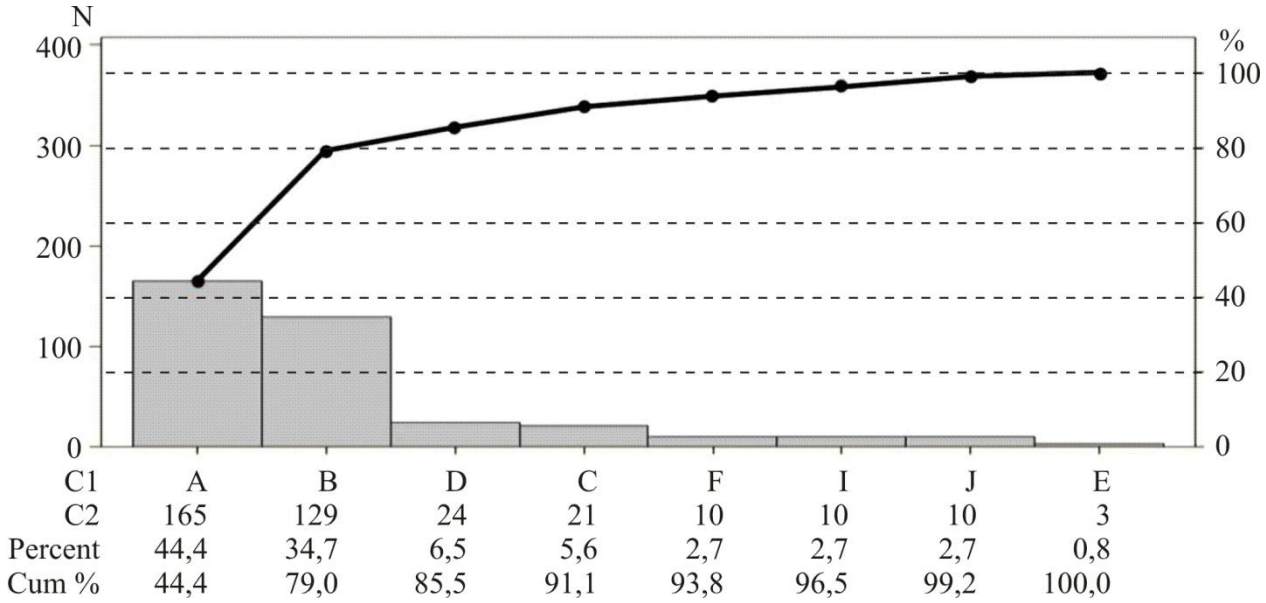


Рис. 3.6. Диаграмма Парето для аварийных ситуаций, связанных с ННП на Дальневосточной железной дороге за 2005–2013 гг.: N – количество аварийных ситуаций; % – приведенный процент для диаграммы Парето

Диаграмма показывает, что в 85 % случаев инцидентов с ННП причинами являются течи через сливной прибор и из-за дефектов котла.

В связи с этим представляется актуальной разработка специальных технических средств по ликвидации и предотвращению течей.

Для продления срока службы цистерн и повышения экологической безопасности перевозки грузов предпринимаются технические попытки решения данного вопроса, которые описаны ниже.

Известен способ гуммирования емкостей как метод защиты цистерн от коррозии. Данный способ защиты позволяет увеличить срок службы. Существенным преимуществом гумммирования емкостей является возможность использования этого метода для защиты от множества типов агрессивных сред, но работы по нанесению покрытия являются сложными и дорогостоящими, выполняются с использованием химически стойких резин для защиты от коррозии внутренних поверхностей и требуют специального оборудования и персонала [25].

Для предотвращения утечек опасных наливных грузов (в частности, нефти и нефтепродуктов) предлагается использовать запатентованную авторскую разработку гибкого вкладыша в цистерну, которая позволяет существенно снизить риски утечек при перевозке железнодорожным транспортом [89].

Разработка позволяет исключить или существенно снизить основные причины аварийных ситуаций.

Вкладыш может быть использован для предотвращения протечек при перевозке грузов в железнодорожных цистернах, а также для повышения срока службы и снижения затрат на техническое обслуживание цистерн (рис. 3.7).

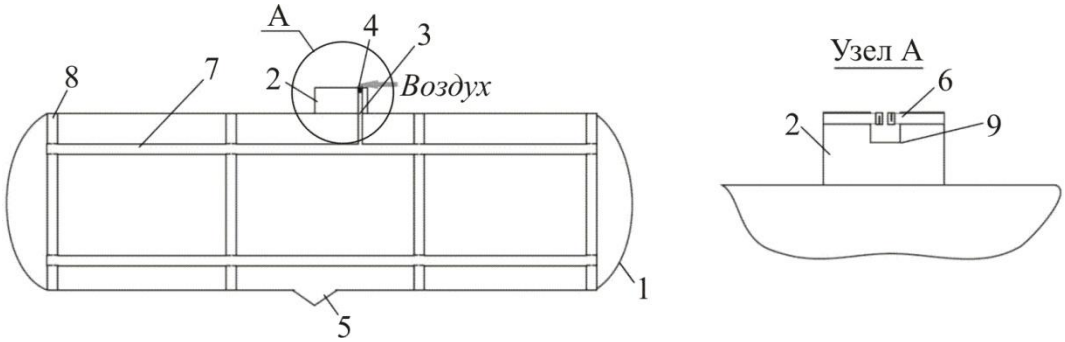


Рис. 3.7. Конструкция гибкого вкладыша в железнодорожные цистерны: *1* – оболочка; *2* – горловина; *3* – впускная магистраль; *4* – запорный клапан; *5* – сливной конус; *6* – крепежное устройство; *7* – продольный воздуховод; *8* – поперечный воздуховод; *9* – вырез

На рис. 3.7 показана схема гибкого вкладыша в железнодорожные цистерны для перевозки опасных жидкостей.

Устройство содержит оболочку *1* со сливным конусом *5*, параметры которой повторяют внутренние контуры цистерны, со смонтированной на ней горловиной *2*, продольные воздуховоды *7*, поперечные воздуховоды *8* и

впускную магистраль *3* с запорным клапаном *4* для заполнения воздухом воздуховодов, на горловине *2* имеется вырез *9* и крепежное устройство *6*.

Вкладыш размещается в цистерне, горловина *2* при помощи крепежного устройства *8* закрепляется на люке цистерны. Открывается клапан *4* и через впускную магистраль *3* заполняются сначала воздуховоды *7*, а затем воздуховоды *8*. В результате вкладыш заполняет объем цистерны. Клапан *4* закрывается. Через горловину *2* заливается транспортируемая жидкость, после заполнения объема на 2/3 клапан *4* открывается, и под воздействием заполняющей жидкости воздух вытесняется из воздуховодов *7* и *8*.

После нормативного заполнения объема цистерны вкладыш, а затем люк герметично закрываются. После выгрузки транспортируемой жидкости вкладыш утилизируется.

Гибкие вкладыши изготавливаются из композитных химически устойчивых материалов, невосприимчивых к самым различным типам агрессивных сред. Установка гибких вкладышей требует минимальных затрат труда и времени и может осуществляться собственными силами перевозчика.

Применение вкладыша увеличивает производительность работ при перевозке наливных продуктов, это обусловлено тем, что при использовании вкладыша практически отсутствует необходимость очистки цистерн после выгрузки, исключается возможность вредного воздействия агрессивных жидкостей на природную среду и исключается контакт перевозимых жидкостей со стенками цистерны.

Благодаря исключению контакта перевозимого груза со стенками емкости цистерны можно легко переключать для перевозки с одних видов веществ на другие без дополнительной обработки и подготовки [134].

Недостатком данной конструкции полезной модели явилось то, что конструкционные особенности вкладыша не позволяли устанавливать его в вагонах-цистернах, имеющих нижний слив.

Внутри вагона-цистерны с нижним сливом установлен универсальный сливной прибор, состоящий из штанги и клапана, запирающего сливной патрубок, и обеспечивающий нижний слив транспортируемого наливного груза.

В связи с этим была поставлена и решена следующая задача – создание гибкого вкладыша для перевозки грузов в железнодорожных вагонах-цистернах с нижним сливом, позволяющего расширить функциональные возможности вкладыша и тем самым увеличить производительность работ при перевозке наливных грузов.

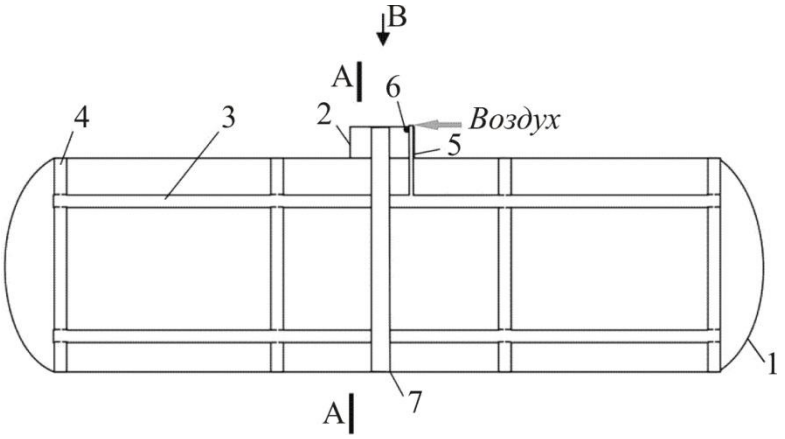
Для решения этой задачи в гибком вкладыше для перевозки грузов в железнодорожных вагонах-цистернах, содержащем емкость, выполненную из пленочного материала в форме цилиндра, установлен дополнительный рукав.

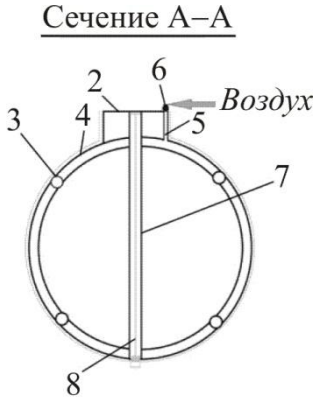
Диаметр рукава позволяет огибать конструкцию сливного прибора вагона-цистерны, выполнен рукав из пленочного материала переменного по высоте сечения с меньшей толщиной стенки на уровне клапана сливного устройства и расположен внутри емкости вкладыша над отверстием, выполненным внизу емкости в месте установки сливного прибора вагона-цистерны.

Рукав своей нижней частью соединен с емкостью вкладыша герметично методом склеивания (сварки), а верхней частью закреплен на верхней части штанги сливного прибора с помощью фиксирующего устройства.

Снабжение вкладыша дополнительным рукавом переменного по высоте сечения позволяет значительно увеличить функциональные возможности вкладыша. Это обусловлено тем, что расширяется список транспортных средств, в которых обеспечивается возможность установки вкладыша, т.е. вкладыш можно использовать не только в вагонах-цистернах, где откачка транспортируемого наливного груза производится через верхний люк, но и в вагонах-цистернах с нижним сливом. На данное техническое решение авторами получен патент РФ № 151710 на полезную модель, имеющую новизну перед аналогами.

Применение устройства приводит к существенному увеличению производительности работ при перевозке ННП и повышению экологической безопасности перевозок опасных грузов. На рис. 3.8 показана схема гибкого вкладыша для перевозки наливных грузов в железнодорожных вагонах-цистернах с нижним сливом.





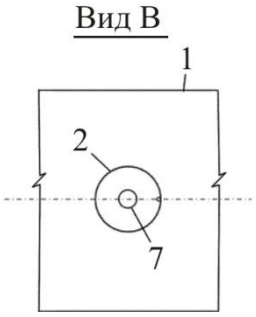


Рис. 3.8. Схема гибкого вкладыша для перевозки наливных грузов в железнодорожных вагонах-цистернах с нижним сливом: *1* – емкость; *2* – загрузочный рукав; *3* – горизонтальный воздушный канал; *4* – вертикальный воздушный канал; *5* – воздуховод; *6* – запорный клапан; *7* – дополнительный рукав; *8* – штанга сливного устройства

Вкладыш содержит емкость *1* из полиэтиленовой (полипропиленовой) пленки, повторяющей внутренние контуры вагона-цистерны, загрузочный рукав *2*, расположенный в верхней части емкости *1* и выполненный с вырезами в верхней части. Размеры вырезов соответствуют размерам крепежного и запорного элементов крышки люка цистерны. На внутренней стороне емкости *1* расположены сообщающиеся между собой горизонтальные *3* и вертикальные *4* воздушные каналы. Впускной/выпускной воздуховод *5* с запорным клапаном *6* на входе установлен внутри загрузочного рукава *2* с возможностью сообщения с горизонтальным воздушным каналом *3* ёмкости *1*.

Дополнительный рукав *7* расположен внутри емкости *1* вкладыша по ее высоте над отверстием, выполненным внизу емкости в месте установки сливного прибора вагона-цистерны. Все детали вкладыша соединены между собой герметично методом склеивания.

Расчет толщины стенки рукава вкладыша для обеспечения процесса выгрузки произведем как расчет тонкостенного сосуда (оболочки).

Рассмотрим данную конструкцию как осесимметричную тонкостенную оболочку, испытывающую внутреннее давление от веса жидкости по безмоментной теории.

Для решения поставленной задачи применим уравнения Лапласа по определению напряжений в симметричных оболочках.

Выделим из стенки оболочки бесконечно малый элемент и рассмотрим его равновесие (рис. 3.9).

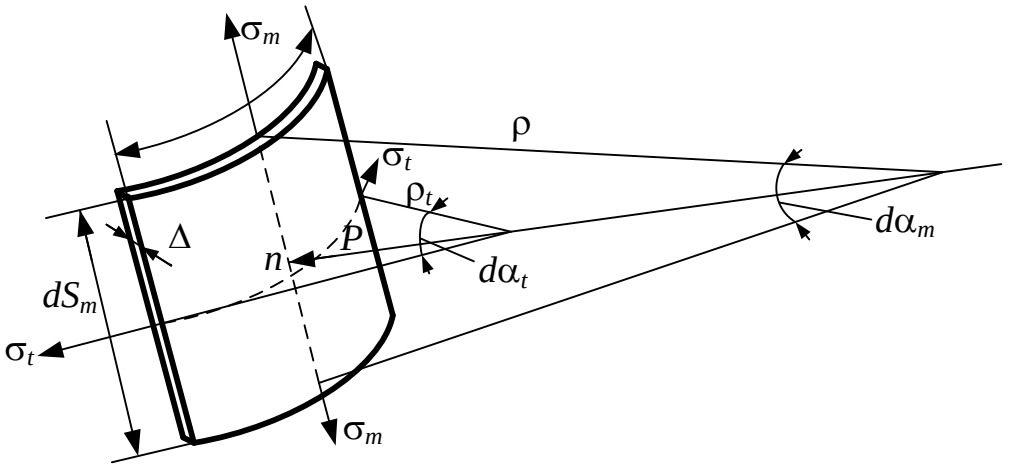


Рис. 3.9. Силы, действующие на бесконечно малый элемент оболочки

В меридиональных и окружных сечениях касательные напряжения отсутствуют ввиду симметрии нагрузки и имеют место только главные нормальные напряжения: меридиональное напряжение и окружное напряже-

ние. На основании безмоментной теории будем считать, что по толщине стенки напряжения распределены равномерно. Кроме того, все размеры оболочки будем относить к срединной поверхности ее стенок [156].

Срединная поверхность оболочки представляет собой поверхность меридиональной кривизны. Радиус кривизны меридиана в рассматриваемой точке обозначим dS_t, радиус кривизны срединной поверхности в окружном направлении обозначим n. По граням элемента действуют силы σ_m, σ_t. На внутреннюю поверхность выделенного элемента действует давление жидкости, равнодействующая которого равна P. Спроектируем приведенные выше силы на нормаль к поверхности:

$$2\sigma_m \Delta dS_t sin\frac{d\alpha_m}{2} + 2\sigma_t \Delta dS_m sin\frac{d\alpha_t}{2} - pdS_t dS_m = 0. \qquad (3.1)$$

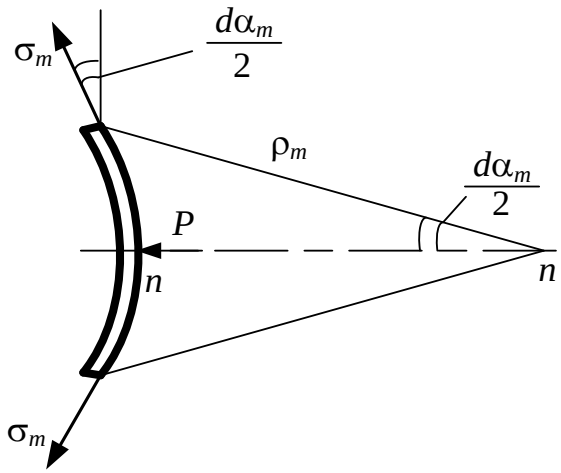


Рис. 3.10. Сечение элемента тонкостенной оболочки

Изобразим проекцию элемента на меридиональную плоскость (рис. 3.10) и на основании этого рисунка запишем в выражении (3.1) первое слагаемое. Второе слагаемое записывается по аналогии.

Заменяя в выражении (3.1) синус его аргументом ввиду малости угла и разделив все члены уравнения на Δ, получим

$$\sigma_m \frac{d\alpha_m}{dS_m} + \sigma_t \frac{d\alpha_t}{dS_t} = \frac{p}{\Delta}. \qquad (3.2)$$

Учитывая, что величины кривизны меридионального и окружного сечений элемента равны соответственно $\frac{d\alpha_m}{dS_m} = \frac{1}{p_m}$ и $\frac{d\alpha_t}{dS_t} = \frac{1}{p_t}$, и подставляя эти выражения в формулу (3.2), находим

$$\frac{\sigma_m}{\rho_m} + \frac{\sigma_t}{\rho_t} = \frac{p}{\Delta}. \qquad (3.3)$$

Выражение (3.3) представляет собой уравнения Лапласа.

В уравнение (3.3) входят два неизвестных – напряжение и поверхностное натяжение. Меридиональное напряжение найдем, составив уравнение равновесия на ось сил, действующих на отсеченную часть оболочки (см. рис. 3.10). Площадь окружного сечения стенок оболочки посчитаем по формуле. Напряжения ввиду симметрии самой оболочки и нагрузки относительно оси распределены по площади равномерно. Следовательно,

$$\sigma_m 2\pi R\Delta cos\alpha - p\pi R^2 - Q = 0,$$

откуда получаем $$\sigma_m = \frac{PR^2+Q}{2\pi R\Delta cos\alpha}, \quad (3.4)$$

где Q – вес части сосуда и жидкости, расположенных ниже рассматриваемого сечения; P – давление жидкости, по закону Паскаля [122] одинаковое во всех направлениях и равное γh (где γ – объемный вес жидкости; h – глубина заложения рассматриваемой точки).

Как уже отмечалось, окружные и меридиональные напряжения и являются главными напряжениями. Величиной третьего главного напряжения, расположенного по нормали, можно пренебречь. Таким образом, будем считать, что материал оболочки находится в плоском напряженном состоянии. Применяя четвертую (энергетическую) теорию, условие прочности запишем в виде [8]

$$\sigma_{\text{экв}}^{(4)} = \sqrt{(\sigma_t^2 - \sigma_m^2) + \sigma_m^2 + \sigma_t^2} \leq [\sigma]. \quad (3.5)$$

Ввиду круговой симметрии оболочки и осесимметричности нагрузки напряжения одинаковы во всех точках оболочки. Получаем

$$\sigma_t = \sigma_m = \sigma,\ \sigma_t = \sigma_m = R, \text{ а } p = q;$$

$$\sigma = \frac{qR}{2\Delta}. \quad (3.6)$$

Выполняем проверку по третьей теории прочности:

$$\sigma_{\text{экв}}^{(3)} = \sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma].$$

Учитывая, что $\sigma_t = \sigma_t =$, $\sigma_2 = \sigma_m = 0$, $\sigma_3 = 0$, условие прочности принимает следующий вид:

$$\sigma_{\text{экв}}^{(3)} = \sigma = \frac{qR}{2\Delta} \leq [\sigma]\ ; \quad (3.7)$$

$$\Delta = \frac{qR}{2[\sigma]} = \frac{PR}{2[\sigma]}, \quad (3.8)$$

где $$P = P_0 + \rho gh; \quad (3.9)$$

P_0 – нормальное атмосферное давление, P_0 = 760 мм рт. ст. = 1, 013·105 Па;

σ – плотность углеводородов нефти (среднее значение) при нормальных условиях σ = 700 кг/м^3; g – ускорение свободного падения g = 9,8 м/с^2; h – глубина заложения цилиндра, м;

$$P = 1{,}013 \cdot 10^5 + 700 \cdot 9{,}8 \cdot 3 = 3071 \text{ кг/см}^2;$$

$$\Delta = \frac{qR}{2[\sigma]} = \frac{3071 \cdot 0{,}075}{2 \cdot 40\,000} = 0{,}2 \text{ см}.$$

Отсюда сделаем вывод, что для обеспечения разрыва стенки рукава и слива нефти при открывании нижнего клапана толщина стенки рукава вкладыша должна быть менее Δ, что согласуется с принятым в разработке материалом.

Авторами предлагается следующий алгоритм использования разработки. Вкладыш через люк цистерны размещают в вагоне-цистерне (см. рис. 3.8), так чтобы штанга сливного прибора вагона-цистерны разместилась внутри дополнительного рукава *7*. Затем загрузочный рукав *2* при помощи фиксирующего устройства закрепляют на люке вагона-цистерны, а дополнительный рукав *7* закрепляют на верхней части штанги сливного прибора вагона-цистерны.

После чего открывают запорный клапан *6* впускного/выпускного воздуховода *5*, и поступающий воздух заполняет сначала горизонтальные воздушные каналы *3*, а затем вертикальные воздушные каналы *4*. В результате емкость вкладыша раздувается, заполняя объем вагона-цистерны, и затем запорный клапан закрывают.

Через загрузочный рукав *2* в емкость вкладыша заливают транспортируемую жидкость, после заполнения объема на 3/4 запорный клапан *6* открывают, и под давлением заполняющей жидкости воздух вытесняется из воздушных каналов *3* и *4*. После нормативного заполнения объема цистерны люк закрывают, и груз транспортируют к месту разгрузки.

После прибытия на место назначения открывают люк и поворотом штанги открывают клапан сливного прибора, под действием давления сливаемой жидкости дополнительный рукав *7* разрывается в месте наименьшей толщины сечения и обеспечивает доступ жидкости к сливному отверстию. После слива транспортируемой жидкости вкладыш вынимают и утилизируют.

Применение вкладыша позволяет значительно сократить трудозатраты и время на подготовку цистерн к повторной загрузке. На сегодняшний день основным способом подготовки цистерн к перевозке нефтепродуктов является пропаривание.

Длительность пропаривания в зависимости от марки нефтепродукта и времени доставки может достигать в летнее время 2 ч, а в зимнее время 8 ч. Данная процедура сопровождается большими энергозатратами и необходимостью утилизации вторичных загрязненных жидкостей, образующихся в результате процесса очистки [113].

Использование вкладыша позволит практически полностью исключить этот трудоемкий и энергоемкий процесс, связанный с производством большого количества нефтезагрязненной жидкости.

Технология процесса очистки цистерн на промывочно-пропарочных станциях состоит из отдельных трудоемких операций.

1. Слив остатков и очистка емкости от грязи.
2. Пропарка цистерн для налива светлых продуктов.
3. Промывка горячей водой (75–80 °С) под напором 4–6 атм. при помощи шлангов.
4. Протирка газойлем или керосином внутренних стенок котла.
5. Воздушная дегазация.

Время простоя цистерн под пропаркой колеблется от 25 до 60 мин и практически не зависит от объема котла.

Продолжительность промывки колеблется от 20 до 40 мин, а расход воды составляет от 6 до 12 куб. м на цистерну. Протирка занимает от 1 до 1,75 ч, затрачивается до 100–150 кг керосина. Замена трудоемких и материалоемких процессов на использование вкладыша позволяет получить большой экономический эффект.

Годовой экономический эффект от применения новых технологий и техники и определяется по формуле [134]

$$Э_{нт} = (З_{баз} - З_{нов})\, N_{нов} = [(С_{баз} + Е_н К_{баз}) - (С_{нов} + Е_н К_{нов})]\, N_{нов}, \quad (3.10)$$

где $Э_{нт}$ – экономический эффект новой техники, руб.; $З_{баз}$ – приведенные затраты на производство единицы продукции с помощью базового варианта техники и технологии, руб.; $З_{нов}$ – приведенные затраты на производство продукции с помощью новой техники или технологии, руб.; $N_{нов}$ – годовой объем производства продукции с помощью новой техники и технологии, ед.; $С_{баз}$ – себестоимость продукции базового варианта, руб.; $С_{нов}$ – себестоимость продукции на основе новой техники и технологии, руб.; $К_{баз}$ – капиталовложения на единицу продукции базового варианта, руб.; $К_{нов}$ – капиталовложения на единицу продукции на основе новой техники и технологии, руб.; $Е_н$ – нормативный коэффициент эффективности [130].

Экономический эффект от замещения процесса пропаривания установкой вкладыша

$$Э_{нт} = (Ц_{баз} - Ц_{нов})\, N_{нов}\,. \quad (3.11)$$

Для Дальневосточной железной дороги

$$Э_{нт} = (4178{,}50 - 3303{,}6)\ 174603 = 152760{,}164 \text{ тыс. руб.}$$

Подготовка цистерны из-под темных нефтепродуктов под налив темных горячим способом: $Ц_{баз}$ = (5937 + 2420)/2 = 4178,50 руб.;

$$Ц_{нов} = Ц_{изд} + (Ц_{уст} + Ц_{утил})\ К_{непр}; \qquad (3.12)$$

$Ц_{нов}$ = 1800 + (464 + 788,80) 1,2 = 3303,6;
$Ц_{изд}$ = К 950, где К – коэффициент сложности, равный 2;
$Ц_{уст}$ = 464 руб.;
$Ц_{утил} = Ц_{уст}\ К_{утил}$ = 464 · 1,7 = 788,80;
$К_{непр}$ – коэффициент непредвиденных расходов, равный 1,2.

С учетом того, что ежегодно только Дальневосточная железная дорога перевозит около 11 млн т нефтепродуктов [134],

$$N_{нов} = 11\ 000\ 000/63 = 174\ 603 \text{ вагона.}$$

В настоящее время обеспечение безопасности перевозок опасных грузов становится приоритетным.

Использование новой конструкции вкладыша может привести к существенному снижению рисков разливов опасных грузов, в том числе нефти и нефтепродуктов при перевозке железнодорожным транспортом. Кроме того, новый вкладыш обеспечит сохранность и экологическую безопасность перевозки ННП и тем самым сведет к минимуму отрицательное их воздействие на окружающую среду.

Преимущество перед аналогами заключается в том, что применение вкладыша позволяет обеспечить герметичность емкости даже при наличии незначительных дефектов котла, а также полностью исключает контакт перевозимого груза со стенками цистерны, что существенно повышает безопасность транспортировки ННП.

3.8. Авторская новая установка для производства углеродных сорбентов

Для ликвидации загрязнений нефтью требуются большие ресурсные затраты, так как аварийные разливы при транспортировке создают чрезвычайные ситуации, представляющие угрозу людям, объектам экономики и окружающей природной среде.

Для минимизации подобных чрезвычайных ситуаций необходимо не только количественно оценить риск, но и разработать на этой основе мероприятия, направленные на минимизацию последствий ЧС и поддержание в состоянии постоянной готовности соответствующих сил и средств [123].

Необходимо использование современного высокоэффективного оборудования и материалов.

На сегодняшний день 20 % загрязнений нефтяными продуктами удаляются механическим способом, еще 20 % – с помощью применения современных сорбирующих веществ, а 60 % не ликвидируются вовсе [3].

Наиболее эффективным способом ликвидации последствий ЧС с разливами нефти является механический, осуществляемый с применением сорбентов.

Работы по ликвидации аварийного разлива ННП можно условно разделить на три этапа [134]:

– локализацию разлива;

– сбор и извлечение ННП;

– транспортировку и утилизацию собранного ННП и сорбента.

В качестве сорбента для повышения эффективности работ по ликвидации разливов может использоваться материал, способный к аккумуляции поглощаемого вещества на поверхности или в объёме пор. Поглощаемое вещество в данном случае является сорбатом. Процесс сорбции основан на взаимодействии на физическом и химическом уровне сорбента и сорбата [111]. Качества и свойства, которыми должен обладать универсальный сорбент, следующие:

1) высокая сорбционная способность по отношению к нефти и нефтепродуктам;

2) высокая удерживающая способность в сатурированном состоянии;

3) короткое время поглощения;

4) возможность регенерации поглощенного продукта;

5) экологичность сорбента;

6) экономичность;

7) технологичность изготовления и утилизации сорбента.

Материалы, способные поглощать и удерживать на своей поверхности нефть и применяемые для удаления нефтепродуктов, можно классифицировать следующим образом [1, 134]:

1) по материалу носителя: на минеральные и органические;

2) по типу сорбента: на природные на основе угля и торфа и синтетические на основе пенополистирола, полипропилена, пенополиуретана и т.п.;

3) по гидродинамическим свойствам: на плавающие и тонущие с поглощённой нефтью;

4) по состоянию поверхности: на естественные и модифицированные.

Необходимыми качествами нефтесорбентов являются плавучесть, нефтеёмкость, высокая пористость, низкая гидрофильность. Основное же свойство – высокоразвитая пористая структура [1].

Основной показатель эффективности работы сорбента – это нефтеемкость. Важными характеристиками эффективности сорбента являются, наряду со скоростью поглощения нефти, удобство транспортировки и применения на месте аварии. На российском рынке представлены следующие виды сорбентов:

– продукты минерального происхождения;

– продукты животного или растительного происхождения;

– синтетические продукты и полимеры.

Известно, что в качестве сырья для производства сорбентов животного и растительного происхождения используется: лузга гречки и подсолнечника, шелуха овса и риса, черная скорлупа грецкого ореха, кукурузные початки (отходы), отходы переработки трав, опавшая листва, солома, камышовая сечка, соцветия тростника.

Использование всех этих материалов, являющихся потенциальным местным сырьем для производства сорбентов, позволяет увязать ликвидацию отходов сельскохозяйственного производства с природоохранной деятельностью.

Недостатками применения вышеперечисленных сорбентов являются: маленькая сорбционная емкость сорбента; большие затраты сорбента; значительная сложность технологии; затраты дополнительных материалов и пр.

Более крупную группу сорбентов представляют собой продукты минерального происхождения, наиболее известными представителями которой являются активные угли. В России наибольшее распространение получили активированные угли, занимая долю более 70 %. Это обусловливается тем, что они являются самым дешевым типом сорбента [134].

Эффективными являются синтетические сорбенты, производство которых в Европе развивается достаточно быстрыми темпами, в России такие сорбенты практически не используются, на их долю приходится меньше 0,01 %. Потребность в сорбентах возникает обычно постфактум, после того как разлив уже произошел, а весь успех очистных мероприятий при разливах ННП зависит от их оперативности [3].

В последнее десятилетие, согласно проведенным исследованиям, значительно уменьшился импорт сорбентов. Потребность же в сорбентах и, в частности, в активированном угле как наиболее доступном растет в связи с ужесточением экологических нормативов.

Объёмы потребления углеродных сорбентов возросли за последнее десятилетие на 40 %, однако объёмы его отечественного производства за этот же период упали на 17 %. Снизились до 30 % и объёмы реализации российского активированного угля на внутреннем рынке [82].

По данным [52], ёмкость рынка сорбентов в денежном выражении в России составляла примерно 1,5 млрд долл. Темпы роста данного сегмента рынка очень высоки (более 10 % в год) и обусловлены постоянно ухудшающимся качеством окружающей среды.

В то же время методы и сорбирующие вещества, которые применяются в настоящее время, не всегда позволяют эффективно и с минимальными затратами извлечь загрязняющее вещество. Большой проблемой является утилизация отработанных сорбентов, насыщенных собранным веществом.

Основными видами утилизации отработанных сорбентов являются сжигание или захоронение, возможно также размещение на полигонах. Утилизация сжиганием возможна не для всех сорбентов, а только для тех, которые после нагревания не плавятся и не образуют сгустков, засоряющих систему подачи установки. Сорбенты на основе полимерных, синтетических волокон, полипропилена, пенопласта по этим причинам не подлежат утилизации сжиганием.

Практика депонирования отработанных сорбентов часто приводит к вторичному загрязнению окружающей природной среды.

Эффективным решением этого вопроса может быть предлагаемое автором использование углеродных сорбентов, полученных из некондиционного зерна технических культур. Получение таких сорбентов возможно в специальных установках методом пиролиза.

Процесс получения активированных углей можно разделить на две стадии: карбонизацию, протекающую вследствие нагрева исходного сырья при температурах 300–700 °С, и активацию, которая проистекает при обработке полученного угля химическими реагентами или парогазовой смесью.

Активация необходима для повышения сорбционной активности путем разблокировки от высокомолекулярных продуктов пиролиза пор и для их развития. В результате термической обработки увеличивается площадь взаимодействия с сорбатом на единицу массы за счет образования множественных трещин, щелей и пор.

Поры в зависимости от размеров подразделяются на макропоры, переходные мезопоры размером от 2 до 50 нм и микропоры размером до 2 нм, обеспечивающие основной прирост внутренней поверхности.

Химически обычно активируются некарбонизированные продукты органического происхождения путем высокотемпературной обработки смеси сырья и обезвоживающего вещества-активатора (хлорид цинка, фосфорная кислота) [17]. Активирование карбонизированных продуктов производят обработкой паровоздушной смесью или углекислым газом во избежание внешнего обгара [103].

При пиролизе и активации происходит дополнительная газификация и потеря массы исходного вещества, которая коррелирует с увеличением пористости и, как следствие, сорбционной способностью вещества. Распределение пор по объему и размерам можно регулировать, изменяя скорость нагрева вещества и время пиролиза. В предлагаемой установке для получения сорбента используется принцип псевдосжижения, когда за счет подачи газовоздушной смеси энергетической установки частицы зерна находятся во взвешенном состоянии, что обеспечивает равномерный теплообмен и препятствует спеканию.

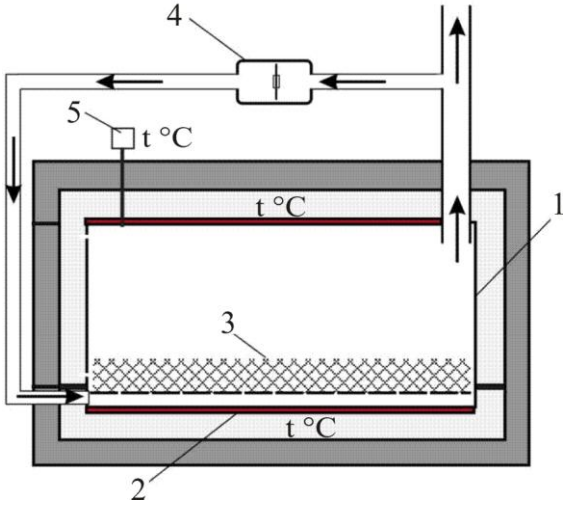


Рис. 3.11. Схема установки пиролиза: *1* – камера; *2* – нагревательный элемент; *3* – сырье; *4* – вентилятор; *5* – датчик температуры

Использование газовоздушной смеси энергетической установки для поддержания кипящего слоя повышает интенсивность процесса и снижает энергозатраты, а процесс активации происходит одновременно с процессом карбонизации. Для имитации процесса была использована следующая установка (рис. 3.11).

В качестве сырья было использовано просо с фракцией зерна $n \leq 3$ мм и ячмень с фракцией зерна $n \leq (3\times6)$ мм. В процессе пиролиза получен уголь фракции $n \leq 3{,}5$ мм и $n \leq (3{,}3\times6{,}5)$ мм соответственно (рис. 3.12).

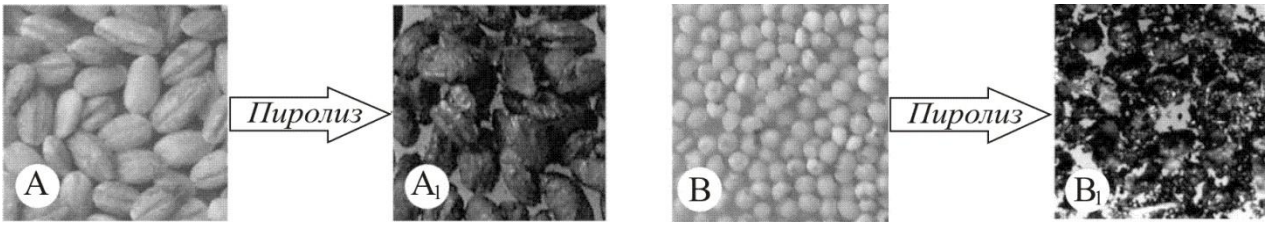


Рис. 3.12. Общий вид сорбента, полученного в результате пиролиза на опытной установке: А – исходное сырье (ячмень); А1 – углеродный сорбент; В – исходное сырье (просо); В1 – углеродный сорбент

Способность к нефтепоглощению была исследована весовым методом. Полученный сорбент массой по 10 г помещался в мешочек из полипропиленовой сетки и опускался в сосуд с нефтью, по истечении контрольного времени образцы вывешивались для стекания излишней нефти и взвешивались при температуре 25 °С.

Таким образом, было получено нефтепоглощение сорбента в зависимости от времени контакта с сорбатом:

$$N(t) = M_n(t)/M_s\ , \qquad (3.13)$$

где $M_n(t)$ – масса удерживаемой сорбентом нефти, определенная как разница сухого и нефтенасыщенного вещества за время (t); M_s –масса сухого сорбента.

Полученные данные представлены на графике (рис. 3.13).

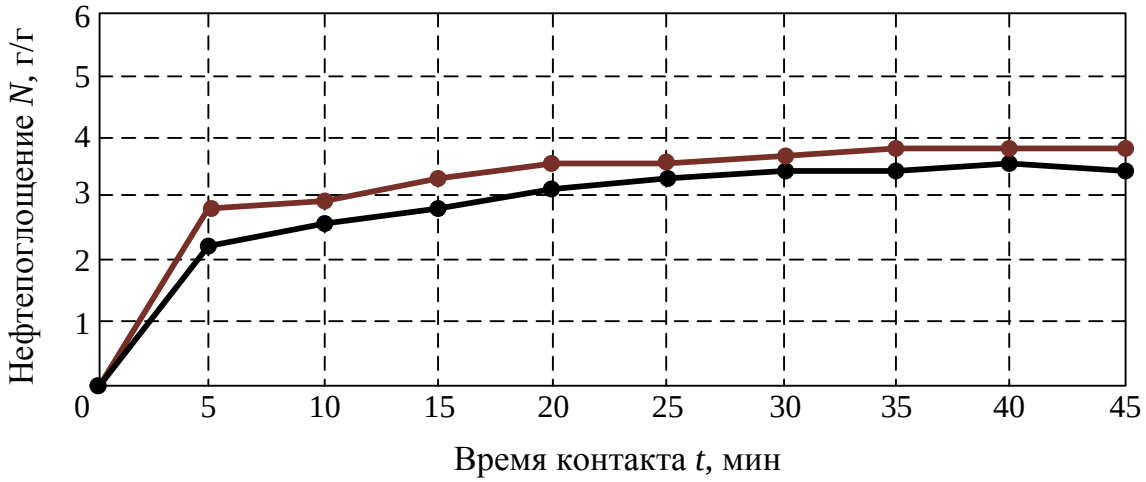


Рис. 3.13. Зависимость нефтепоглощения от времени контакта с сорбатом

Анализ значений показывает, что основной процесс нефтепоглощения происходит в интервале 5–15 мин.

Нефтеемкость сорбента, полученного из проса, несколько выше, чем из ячменя, что может быть объяснено различной морфологией сорбентов, наличием макропор и их большей доступностью за счет величины гранулы.

Установлено, что характеристики сорбента позволяют использовать его в промышленных целях.

Достоинством применения такого сорбента является простота его получения, доступность и возобновляемость исходного сырья, низкая себестоимость, экологичность, простота утилизации.

В процессе изготовления сорбента нет необходимости измельчать исходное сырье, так как зерно имеет оптимальные размеры для получения углеродных гранул, что упрощает фазу подготовки сырья и освобождает от фазы гранулирования на выходе.

Весь процесс можно описать схемой:

Исходный материал *(зерно)* → *Пиролиз* → *Активация* →
→ ***Углеродный гранулированный сорбент***.

Сорбент может быть использован для ликвидации разливов нефтепродуктов с твердых поверхностей, а также для очистки поверхности воды. Применение сорбента на основе зерновых культур особенно эффективно в обстоятельствах, когда наиболее важным фактором при сборе нефтепродуктов является быстрота очистки и значительная площадь контакта, например на проезжей части или на поверхности воды.

При использовании для ликвидации разливов нефти на твердой поверхности сорбент легко заполняет даже самые незначительные неровности и трещины, осуществляя быструю и качественную сорбцию загрязнителей.

Анализ эффективности применения используемых в сегодняшней практике сорбентов выявил целесообразность использования сорбента, полученного пиролизом зерновых культур. Применение такого сорбента позволяет решить две экологические проблемы: ликвидацию разливов ННП и утилизацию отходов сельскохозяйственного производства.

С этой целью авторами разработана установка для производства сорбента из некондиционного зерна технических культур методом пиролиза [90] (рис. 3.14).

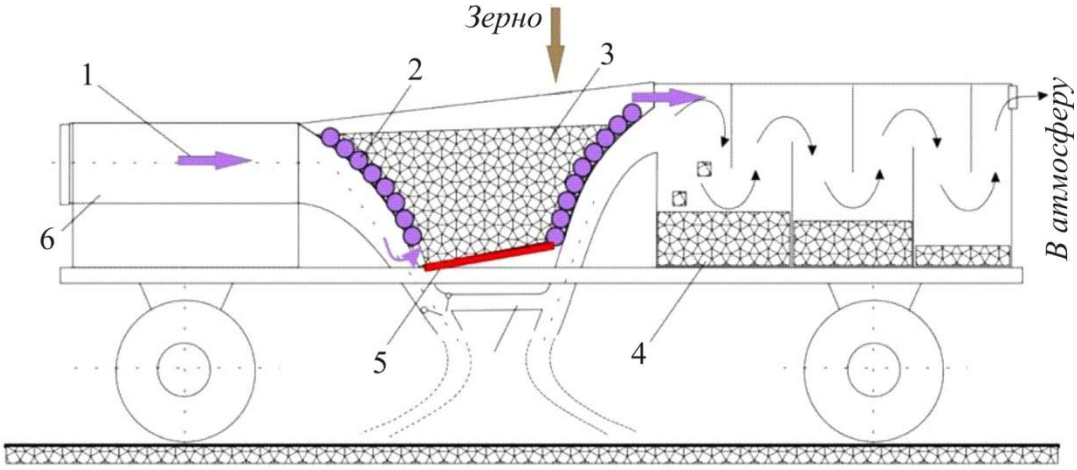


Рис. 3.14. Установка для производства углеродного сорбента: *1* – перегретый газ 700–900 °С; *2* – теплообменник; *3* – пиролиз в кипящем слое; *4* – гранулированный сорбент; *5* – нагревательный элемент; *6* – газотурбинный двигатель

Установка предназначена для производства сорбента в мобильном комплексе. Поскольку вещество на выходе имеет форму гранул, нет необходимости дополнительной подготовки сорбента, что позволяет осуществлять немедленные и эффективные действия.

Наличие установки в составе специальных подразделений позволит оперативно изготовить необходимое количество сорбента для ликвидации последствий ЧС.

Установка работает следующим образом: в бункер через герметично закрывающийся люк загружается зерно, включается газотурбинный двигатель и в бункер через открытую заслонку подается часть газовоздушной струи для поддержания кипящего слоя, другая часть подается в теплообменник. Включается нагревательный элемент и происходит процесс пиролиза – термического разложения органических соединений зерна без достаточного для процесса горения доступа кислорода, затем увеличивается подача газовоздушной смеси в бункер и через систему заслонок гранулы полученного угля вовлекаются в спиралевидный теплообменник, где происходит процесс окончательной активации.

Конечный продукт выбрасывается в накопитель, а газовоздушная смесь в атмосферу. Технологические параметры газовоздушной смеси газотурбинного двигателя позволяют эффективно использовать её и в качестве теплоносителя, и в качестве активатора (температура газовоздушной струи 600–900 °С) [27].

В данном устройстве применяется прогрессивная технология пиролиза, основанная на использовании мелкофракционного сырья и реактора с так называемым псевдосжиженным или кипящим слоем: увлекаемые потоком газа мелкие частицы сырья как бы находятся в кипящем состоянии.

Высокая скорость массо- и теплопереноса обеспечивает повышенную интенсивность процесса пиролиза по сравнению с технологиями в неподвижном слое сырья и является большим преимуществом реакторов с кипящим слоем. Объем и распределение пор в таком процессе зависит от продолжительности пиролиза. Продолжительность пребывания частиц измельченного сырья в зоне пиролиза в реакторах с псевдосжиженным слоем составляет от десятых долей секунды до нескольких минут [45].

Высокоскоростные методы пиролиза и активации в аппаратах кипящего слоя позволяют получать из доступного сырья дешевые углеродные сорбенты, которые с успехом можно применять в процессах очистки поверхностей от разливов нефти вместо дорогостоящих сорбентов, получаемых из более дефицитного сырья (антрациты, целлюлоза, пеки).

Применение запатентованной установки для очистки поверхностей от разливов нефти с использованием в качестве сорбента активированного угля из зерновых культур позволит поднять эффективность борьбы с разливами нефти на новый более высокий уровень, обеспечить безопасность перевозок ННП, минимизировать отрицательные последствия разливов ННП на окружающую природную среду.

Ввиду экологичности используемого сорбента его утилизация возможна использованием в качестве наполнителя при производстве асфальтов или, после брикетирования, в качестве топлива в энергетических установках.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной целью, поставленной в настоящей монографии, являлась минимизация риска ЧС при перевозке ННП по железной дороге в условиях Дальнего Востока путем разработки и внедрения комплекса авторских новых технических и технологических решений. Отметим, что подобных исследований применительно к ДВостЖД проводилось весьма недостаточно. В соответствии с поставленной целью и на основе системного анализа и выполненных авторами экспериментальных и теоретических исследований можно сделать следующие выводы.

В монографии произведена фактическая оценка современного состояния проблемы повышения безопасности перевозки ННП в Дальневосточном регионе. Это позволило определить вектор усилий в решении задач согласно поставленной цели.

Предложена новая авторская методика ранжирования территории влияния железной дороги, основанная на использовании матриц уязвимостей и применении современного метода кластерного анализа, позволяющая оптимизировать принятие решений с учетом рационального размещения средств реагирования на ЧС, связанные с перевозкой ННП и аварийными их разливами.

С целью оптимизации процесса принятия решений по минимизациии рисков на Дальневосточной железной дороге авторами разработаны методические рекомендации по применению комплекса «ГИС–электронная карта уязвимостей».

Впервые решена техническая задача совмещения функций нанесения и сбора отработанных сорбентов в одном устройстве, позволяющем эффективно производить работы по ликвидации последствий ЧС, связанных с разливами ННП.

Для эффективной организации процесса ликвидации аварийных разливов ННП разработана и запатентована принципиально новая установка, позволяющая оперативно получать наиболее экономичные и высокоэкологичные сорбенты из некондиционного зерна.

Разработаны практические рекомендации по использованию предложенного нового эффективного устройства (вкладыша в цистерну), позволяющего снизить риски протечек и продлить срок службы цистерн, снизить на 30 % затраты на подготовку цистерн к повторному использованию при перевозке нефти и нефтепродуктов. Данное устройство позволяет предупредить разливы ННП при доставке их по железной дороге и существенно снизить негативное воздействие на окружающую природную среду.

Отметим также, что предлагаемые к внедрению новые установки и устройства помогут пополнить арсенал средств, решающих вопросы минимизации рисков ЧС, связанных с перевозкой ННП и их аварийными разливами.

В таблице представлены новые технические решения, рекомендуемые авторами для широкого применения в целях предупреждения и ликвидации разливов ННП на железнодорожном транспорте, с учетом распределения их по рангам уязвимости территории.

Таблица

Распределение технических средств по ликвидации ЧС по рангам уязвимости территории

Техническая разработка	Ранг территории		
	Уязвимая	Особо уязвимая	Чрезвычайно уязвимая
Гибкий вкладыш в цистерну	Рекомендовано	Рекомендовано	Рекомендовано
Экопоезд	Не рекомендовано	В зависимости от местных условий	Рекомендовано
Универсаьная установка по ликвидации разливов нефти	Рекомендовано	Рекомендовано	Рекомендовано
Установка по производству сорбента	В зависимости от местных условий	Рекомендовано	Рекомендовано

Из таблицы видно, что в основном разработанные технические решения рекомендованы для практического применения на всей территории влияния железной дороги, а для уязвимых и особо уязвимых территорий их использование реально может определяться в зависимости от местных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Единый эколого-технологический комплекс модификации среды обитания человека с помощью сорбционной очистки гидросферы / И.Ш. Абдуллин [и др.]. – Казань : Изд-во КГТУ, 2001. – 419 с.

2. Акимов, В.А. Природные и техногенные чрезвычайные ситуации: опасности, угрозы, риски / В.А. Акимов, В.Д. Новиков, Н.Н. Радев. – М. : ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2000. – 344 с.

3. Анализ ситуации загрязнения окружающей среды нефтепродуктами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.deloyug.ru/viewarticle.aspx?aid=54

4. Аркатов, Д. Разработка системы связи и передачи данных автоматизированной системы «Навигация и управление для железнодорожного транспорта Украины» [Электронный ресурс] / Д. Аркатов, Ю. Борушко. – Режим доступа: http://www.kpi.kharkov.ua/./Наукова.../Системный анализ %20

5. Багров, А.И. Техногенные системы и теория риска / А.И. Багров, И.К. Мурзатов. – Рязань : РГУ им. С.А. Есенина, 2010. – 205 с.

6. Блиновская, Я.Ю. Информационное обеспечение экологической безопасности при разработке нефтяных месторождений на шельфе / Я.Ю. Блиновская. – Владивосток : МГУ им. Г.И. Невельского, 2006. – 232 с.

7. Блиновская, Я.Ю. Разработка технологии обеспечения экологической безопасности при транспортировке нефти и нефтепродуктов в прибрежно-морской зоне с использованием карт чувствительности : автореф. дис. … д-ра техн. наук : 03.00.16 / Блиновская Яна Юрьевна. – М., 2008. –50 с.

8. Бушман, Е.Х. Расчет тонкостенных резервуаров : метод. указания на выполнение расчетно-проектировочных работ / Е.Х. Бушман, Р.В. Киселевич. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2003. – 15 с.

9. Вакуумный нефтесборщик [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.specudm.ru/production/catalog_4/neftesbornoe_oborudovanie/vakuumnaja_ustanovka.

10. Вкладыш в железнодорожный вагон полипропиленовый ламинированный [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://magnitogorsk.pulscen.ru/products/vkladysh_v_zhd_vagon_polipropilenovy_laminirovanny_bxhxl_3000kh2000kh13000_10922248#ixzz2iS7V3zFe

11. Владимиров, А.С. Дальневосточная железная дорога: вектор развития региона [Электронный ресурс] / А.С. Владимиров // Направление – Дальний Восток. – 2010. – № 9(17). – Режим доступа: http://www.n-dv.ru›?page=3&article=406

12. Власенко, В.Д. Кластерный анализ: методические указания к изучению курса и задания к лабораторным работам для студентов математи-

ческих и экономических специальностей / В.Д. Власенко. – Хабаровск : Изд-во Тихоокеанского гос. ун-та, 2006. – 32 с.

13. Влияние железнодорожного транспорта на экологию. Природа внутри [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://zelife.ru/ekoplanet/transport/136-railway-eco/332-railwayecology.html

14. Опыт применения инновационных технологий биоремедиации природных сред, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / Д.С. Воробьев [и др.] // Исследования и разработки по предупреждению аварийных разливов нефти и ликвидация их последствий : материалы науч.-практ. конф. – М. : Экспорт-Импорт, 2007. – С. 197–202.

15. Временное положение о системе независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://firedata.ru/vrempolozh.html

16. Современные методы и средства борьбы с разливами нефти / А.И. Вылкован [и др.]. – СПб. : Центр – Техинформ, 2000. –208 с.

17. Получение активированных углей из фруктовых косточек / Л.Я. Галушко [и др.] // Химия твердого топлива. – 1998. – Т. 56. № 3. – С. 33–38.

18. Глонасс-К [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/ %D0 %93 %D0 %BB %D0 %BE %D0 %BD %D 0 %B0 %D1 %81 %D1 %81– %D0 %9A

19. Годовой отчет 2011. Характеристика и содержание инфраструктуры ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://annrep.rzd.ru/reports/public/annrep?STRUCTURE_ID=4250

20. Гринин, А.С. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях / А.С. Гринин. – М. : Фаир-Пресс, 2000. – 336 с.

21. ГОСТ 7392-2002. Щебень из плотных горных пород для балластного слоя железнодорожного пути [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.gostbaza.ru/?gost=38009

22. ГОСТ РФ 54505-2011. Безопасность функциональная. Управление рисками на железнодорожном транспорте. Национальный стандарт Российской Федерации. Введ. 2012. 01.08 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://docipedia.ru/?q=doc-full&nid=5147580

23. Государственная Концепция транспортной безопасности [Электронный ресурс] // Информационный портал Госбук. – Режим доступа: http://www.gosbook.ru/node/23850

24. Государственная программа «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Байкальского региона» [Электронный ресурс]. – Ре-

жим доступа: http://debri-dv.ru/article/6369/tekstovaya_versiya_gosudarstvennaya_programma_rf_socialnoekonomicheskoe_razvitie_dalnego_vostoka

25. Гуммирование технологического оборудования, трубопроводов, котлов железнодорожных цистерн [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://demo.hod.ru/publication/read.php?pid=4182

26. Дрозд, Е.А. Особенности обеспечения безопасности перевозок нефтепродуктов в Сахалинском регионе / Е.А. Дрозд, А.Н. Луценко // Научно-техническое и социально-экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке : тр. Всерос. науч.-практ. конф. творческой молодежи с междунар. участием (Хабаровск, 18–21 апреля 2017 г.). В 2 т. Т. 2.– Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2017. – С. 206–209.

27. Демчук, И.А. К проблеме повышения безопасности перевозок опасных грузов по железной дороге с учетом воздействия на окружающую среду / И.А. Демчук, В.Д. Катин, А.Н. Луценко // Сборник науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. форума. – СПб., 2017. – С. 504–509.

28. Калиберда, И.В. Регулирование безопасности объектов использования атомной энергии и снижение рисков чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения / И.В. Калиберда // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 2001. – № 3. – С. 102–111.

29. Капелькина, Л.П. Особенности рекультивации нефтезагрязненных болотных почв / Л.П. Капелькина, Л.А. Малышкина // Исследования и разработки по предупреждению аварийных разливов нефти и ликвидация их последствий : материалы науч.-практ. конф. – М. : Экспорт-Импорт, 2007. – С. 315–323.

30. Карлащук, В.И. Спутниковая навигация. Методы и средства / В.И. Карлащук. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : СОЛОН-Пресс, 2009. – 288 с.

31. КАСАНТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1510626

32. Катин, В.Д. Ранжирование территории влияния железной дороги в минимизации рисков чрезвычайных ситуаций / В.Д. Катин, А.Н. Луценко // Евразийский союз ученых (ЕСУ). – 2014. – № 4. – С. 109–111.

33. Катин, В.Д. Эффективные устройства для повышения безопасности перевозок опасных грузов на железнодорожном транспорте / В.Д. Катин, А.Н. Луценко // Безопасность жизнедеятельности. – 2013. – № 5 (149). – С. 10–12.

34. Катин, В.Д. К проблеме повышения экологической безопасности перевозок нефти и нефтепродуктов железнодорожным транспортом / В.Д.Катин, А.Н. Луценко // Тэбтранс-2010 : материалы второй Междунар. науч.-практ. конф. – СПб. : ПГУПС, 2010. – С. 169–171.

35. Ким, Д.О. Факторный, дискриминантный и кластерный анализ / Д.О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка. – М. : Финансы и статистика, 1989. – 215 с.

36. Кластерный анализ в задачах социально-экономического прогнозирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.roman.by/r-46504.html

37. Клещенок, С.Е. Анализ существующих технологий рекультивации нефтезагрязненных почв / С.Е. Клещенок, Д.С. Подавальный, Е.Е. Булгаков // Молодёжь и наука : сб. материалов VIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных. – Красноярск : СФУ, 2012. – С. 105–108.

38. Клявин, А. Использование спутниковых навигационных систем на морском и речном транспорте [Электронный ресурс] / А. Клявин // Мореплавание. Морской флот. – 2007. – № 5. – Режим доступа: http://www.morflot.su/archives/articles1622file.pdf

39. Кожевников, А.Е. Эффективность охраны сосудистых растений Приморья и Приамурья на заповедных территориях / А.Е. Кожевников, З.В. Кожевникова // Вестник ДВО РАН. – 2004. – № 4. – С. 84–88.

40. Костиков, В.А. Надежность технических систем и техногенные риски / В.А. Костиков. – М. : МГТУГА, 2008. – 136 с.

41. Кочкаров, А.А. Обеспечение стойкости сложных структурных систем [Электронный ресурс] / А.А. Кочкаров, Г.Г. Малинецкий // ИПМ им. Келдыша РАН. – 2005. – Режим доступа: http://www.keldysh.ru/papers/2005/prep53/prep2005_53.html

42. Краснов, О.Г. Повышение эффективности глубокой очистки балласта железнодорожного пути совершенствованием щебнеочистительных устройств : автореф. дис. …канд. техн. наук : 05.22.06 / Краснов Олег Геннадьевич. – СПб., 2002. – 160 с.

43. Крупенин, С.С. Применение геоинформационных систем для обеспечения пожарной безопасности на железнодорожном транспорте. Новые материалы и технологии в машиностроении / С.С. Крупенин, М.Р. Матигулин // Сборник науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. – Брянск : БГИТА, 2007. – Вып. 7. – 171 с.

44. Ксендзук, А.В. Использование спутниковых навигационных систем ГЛОНАСС/GPS для дистанционного зондирования поверхности / А.В. Ксендзук // Электромагнитные волны и электронные системы. – 2003. – Т. 8. № 5. – С. 8–15.

45. Крючек, Н.А. Безопасность и защита населения в чрезвычайных ситуациях / Н.А. Крючек. – М. : ЭНАС, 2010. – 264 с.

46. Кузнецов, А.Е. Научные основы экобиотехнологии / А.Е. Кузнецов, Н.Б. Градова. – М. : Мир, 2006. – 504 с.

47. Кузьмин, И.И. Безопасность и риск: эколого-экономические аспекты / И.И. Кузьмин, Н.А. Махутов, С.В. Хетагуров. – СПб. : Санкт-Петербургский гос. ун-т экономики и финансов, 1997. – 76 с.

48. Лисенков, В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В.М. Лисенков. – М. : ВИНИТИ, 1999. – 331 с.

49. Луценко, А.Н. ГИС ГЛОНАСС в обеспечении предупреждения и оперативной ликвидации ЧС на железнодорожном транспорте / А.Н. Луценко, В.Д. Катин // Безопасность и связь : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. в рамках Форума. – Казань, 2014. – С. 664–668.

50. Луценко, А.Н. Пути снижения загрязнения железнодорожного полотна в Дальневосточном регионе / А.Н. Луценко, В.Д. Катин // Вестник ВСГУТУ. – 2013. – № 3 (42). – С. 187–192.

51. Луценко, А.Н. Влияние железнодорожного транспорта на природную среду и пути снижения негативного воздействия опасных грузов на Дальневосточной железной дороге / А.Н. Луценко, В.Д. Катин // БВТ. – 2012. – № 2.

52. Луценко, А.Н. О применении инновационных сорбентов и устройств для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс] / А.Н. Луценко // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 3 (43). – Режим доступа: http://ipb.mos.ru/ttb

53. Луценко, А.Н. Обеспечение безопасности перевозок опасных наливных грузов железнодорожным транспортом / А.Н. Луценко, В.Д. Катин // Научно-технические проблемы транспорта, промышленности и образования : тр. Всерос. молодежной науч.-практ. конф. (10–13 апреля 2012 года). – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2012. – 298–304 с.

54. Луценко, А.Н. Обеспечение оперативного реагирования на ЧС на железнодорожном транспорте с применением ГИС ГЛОНАСС / А.Н. Луценко, В.Д. Катин // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2013. – № 3. – С. 118–124.

55. Мартынюк, И.В. Совершенствование условий перевозки опасных грузов на железнодорожном транспорте : дис. … канд. техн. наук : 265114 / Мартынюк Игорь Владимирович. – Ростов н/Д. : МГУПС, 2007. – 158 с.

56. Медведев, В.И. Методы управления безопасностью перевозочного процесса опасных грузов и пути повышения экологической безопасности на железнодорожном транспорте : дис. … д-ра техн. наук : 05.22.08 / Медведев Владимир Ильич. – Новосибирск : СибГУПС, 2001. – 349 с.

57. Мастрюков, Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях / Б.С. Мастрюков. – М. : Академия, 2003. – 332 с.

58. Методика определения ущерба окружающей природной среде и дополнительных расходов железных дорог, возникающих при аварийных ситуациях с опасными грузами / МПС России, МПР России. – М., 2001. – 198 с.

59. Методологические основы прогнозирования научно-технологического развития России до 2030 г. с использованием критериев стратегических рисков [Электронный ресурс] // РГ РАН «Риск и безопасность». – М., 2009. – Режим доступа: www.ras.ru/FStorage/ Download.aspx?id =4e42ec47-32bb-44ba...

60. Методы анализа риска [Электронный ресурс] // Информационный портал obzh. – 2013. – Режим доступа: http://www.obzh.ru/ информационный портал,168.html

61. Мищенко, В.Ф. Оперативное управление мероприятиями РСЧС / В.Ф. Мищенко. – Новогорск : Куна, 2009. – 501 с.

62. Надежность технических систем и техногенный риск [Электронный ресурс] : учеб. пособие. – Режим доступа: http://obzh.ru/nad/2-3.html

63. О железнодорожном транспорте в Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон : [принят Гос. Думой 10.01.2003 г. № 17-ФЗ]. – Режим доступа: http://base.garant.ru/12129474/

64. О лицензировании отдельных видов деятельности [Электронный ресурс] : федер. закон : [принят Гос. Думой 04.05.2011 г. № 99-ФЗ ; ред. от 21.07.2014 г.]. – Режим доступа: http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=law;n=165949

65. О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации [Электронный ресурс] : постановление Правительства РФ от 15.04.2002 г. № 240. – М., 2013. – Режим доступа: http://base.garant.ru/2158681/

66. О порядке проведения оценки уязвимости объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств [Электронный ресурс] : приказ Минтранса России от 12.04.2010 г. № 87. – Режим доступа: http://www.rg.ru/2010/06/02/ocenka-dok.html

67. О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2010 г. [Электронный ресурс] : гос. докл. М-ва природных ресурсов и экологии РФ. – М, 2011. – Режим доступа: http://www.ecoindustry.ru/

68. О транспортной безопасности [Электронный ресурс] : федер. закон : [принят Гос. Думой 09.02.2007 г. № 16-ФЗ ; ред. от 03.02.2014]. – Режим доступа: http://base.garant.ru/12151931/

69. О федеральной целевой программе «Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года» : постановление Правительства РФ № 555 от 7 июля 2011 г. – М. : СЗ РФ, 2012. – 150 с.

70. О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов [Электронный ресурс] : постановление Правительства РФ от 21.08.2000 г. № 613 ; в ред. постановления Правительства РФ от 15.04.2002 г. № 240. – Режим доступа: http://www.mchs.gov.ru/document/402485

71. О техническом регулировании [Электронный ресурс] : федер. закон : [принят Гос. Думой. 27.12.2002 г. № 184-ФЗ]. – Режим доступа: http://base.garant.ru/12129354/

72. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс] : федер. закон : [принят Гос. Думой 20.12.2001 г. № 7-ФЗ ; в ред. от 25.06.2012 г.]. – Режим доступа: http://base.garant.ru/12125350/

73. Об утверждении норм естественной убыли нефти и нефтепродуктов при перевозке железнодорожным, автомобильным, водным видами транспорта и в смешанном железнодорожно-водном сообщении [Электронный ресурс] : приказ Министерства транспорта РФ от 01.11.2010 г. № 236. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_108537/

74. Об утверждении положения по учету, расследованию и проведению анализа случаев отказов в работе технических средств ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] : распоряжение от 09.07.2010 г. № 1493р. – Режим доступа: http:// jd-doc.ru/2010/iyul-2010/6322-rasporyazhenie-oao-rzhd-ot-09-07-2010-n-1493r

75. Об утверждении приоритетных направлений науки, технологии и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации [Электронный ресурс] : указ Президента РФ от 07.07.2011 г. № 899. – Режим доступа: http://graph.document.kremlin.ru/page.aspx?1; 1563800

76. Об утверждении регламента по действиям при возникновении аварийных ситуаций с экологическими последствиями на инфраструктуре ОАО «РЖД» [Электронный ресурс] : распоряжение от 30.12.2013 г. № 3014р. – Режим доступа: http://scbist.com/2013-god/32097-3014r-ot-30-dekabrya-2013-g-ob-utverzhdenii-reglamenta

77. Об утверждении Требований по обеспечению транспортной безопасности, учитывающих уровни безопасности для различных категорий объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств железнодорожного транспорта [Электронный ресурс] : приказ Минтранса Рос-

сии от 08.02.2011 г. № 43. – Режим доступа: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/55070684/

78. Об утверждении указаний по определению нижнего уровня разлива нефти и нефтепродуктов для отнесения аварийного разлива к чрезвычайной ситуации [Электронный ресурс] : приказ МПР России от 03.03.2003 г. № 156. – Режим доступа: http://zakonbase.ru/content/base/55526

79. Общественная безопасность. Управление в чрезвычайных ситуациях. Требования к реагированию на инциденты. ISO 22320:2011. Стандарт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.iso.org/iso/ru/home/news_index/news_archive/news.htm?refid=Ref1496

80. Организация работы промывочно-пропарочных станций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://rudocs.exdat.com/docs/index-38772.html

81. Осадчий, В. Мониторинг подвижных объектов: российские реалии и технические инновации / В. Осадчий, А. Рушкевич // Беспроводные технологии. – 2010. – № 3.

82. Основные производственно-экономические показатели работы ДВостЖД в 2013 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://dvzd.rzd.ru/static/public/ru?STRUCTURE_ID=4155

83. Особо охраняемые природные территории [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://mpr.khabkrai.ru/contents/75/

84. Очистка от нефтяных загрязнений [Электронный ресурс]. // Автономное учреждение Ямало-Ненецкого автономного округа «Окружной технопарк ЯМАЛ-2011. – Режим доступа: http://www.dniyanao.ru/docs/innovacii/Ochistka %20ot %20nefti.doc

85. Панин, О.А. Анализ безопасности интегрированных систем защиты: логико-вероятностный подход / О.А. Панин // Специальная техника. – 2004. – № 5.

86. Парамонова, И.Е. Деструкция нефтяных углеводородов биопрепаратами в зависимости от типа почв и различного уровня загрязнения нефтью / И.Е. Парамонова, А.Б. Кравченко // Биотехнология. Теория и практика. – 2010. – № 4.

87. Парк цистерн в РФ полностью удовлетворяет потребности в перевозках нефти [Электронный ресурс] // РЖД. – Режим доступа: http://www.oilcapital.ru/transport/172503.html

88. Пат. 104197 Российская Федерация, МПК E01P 1/08 (2006.01). Передвижная установка для очистки рабочих поверхностей от разливов нефтесодержащих жидкостей и сбора сыпучих мелкокусковых материалов / Луценко А.Н., Катин В.Д. Заявитель и патентообладатель ДВГУПС. заявл. 28.10.2010, опубл. 10.05.2011, Бюл. № 13.

89. Пат. 118273 Российская Федерация, МПК E01P 1/08 (2006.01). Гибкий вкладыш для перевозки грузов в железнодорожных вагонах-цистернах / Луценко А.Н., Катин В.Д.; Хабаровск, ДВГУПС. № 2011113748; заявл. 08.04.2011; опубл. 20.07.2012, Бюл. № 20.

90. Пат. 128630 Российская Федерация, МПК E01P 1/08 (2006.01). Универсальная передвижная установка для очистки рабочих поверхностей от разливов нефтесодержащих жидкостей, сбора сыпучих и мелкокусковых материалов / Луценко А.Н., Катин В.Д.; Хабаровск, ДВГУПС. № 2012147964/13; заявл. 12.11.2012; опубл. 25.07.2013, Бюл. № 25.

91. Печенин, Н.К. Концепция управляемого риска на исторических примерах / Н.К. Печенин // Альтернативная энергетика и экология. – 2000. – Вып. 1. – С. 116–129.

92. Полный список редких видов животных Дальнего Востока [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://vladcity.com/fauna/pdf/ animals-far-east.pdf

93. Понизовкина, Е. Лекарства для экосистем [Электронный ресурс] / Е. Понизовкина. – Режим доступа: http://www.uran.ru/gazetanu/2009/10/ nu22/wvmnu_p4_22_102009.htm

94. Пономарев, В.М. Модель взаимодействия железнодорожной транспортной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций с функциональными подразделениями ОАО «РЖД» / В.М. Пономарев // Транспорт Российской Федерации. – 2011. – № 2.

95. Попова, Е. Не пропаришь – не поедешь [Электронный ресурс] / Е. Попова // Транспорт. – 2010. – № 07–08. – Режим доступа: http://www.indpg.ru/transport/2010/07-08/33965.html

96. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами [Электронный ресурс] : утв. Роскомземом 10 нояб. 1993 г. и Минприроды РФ 18 нояб. 1993 г. – Режим доступа: http://www.infosait.ru/norma_doc/10/10804/index.htm

97. Правила безопасности и порядок ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами при перевозке по железным дорогам [Электронный ресурс] : утв. СЖТ СНГ, протокол от 05.04.1996 г. № 15 ; ред. от 07.05.2014 г. – Режим доступа: http://www.businesspravo.ru/Docum/ DocumShow_DocumID_130765_DocumIsPrint_Yes_Page_1.html

98. Правила безопасности при перевозке опасных грузов железнодорожным транспортом [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.transinterlog.com/articles /68/page/3/

99. Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам [Электронный ресурс] : утв. СЖТ СНГ, протокол от 05.04.1996 г. № 15 ; ред. от

07.05.2014 г. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165489/

100. Пресс-релиз РЖД-2013 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://press.rzd.ru/news/public/ru?STRUCTURE_ID=654&layer_id=4069&id=80399C

101. Принципы управления экологической безопасностью [Электронный ресурс] // Экодело. – Режим доступа: http://ecodelo.org/8904teoriya_bezopasnosti1_printsipy_upravleniya_ekologicheskoi_bezopasnostyu

102. Программа инновационного развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 года [Электронный ресурс] : утв. советом директоров ОАО «РЖД» (протокол № 13 от 24.06.2011 г.). – Режим доступа: http: // www.doc.rzd.ru/doc/download?vp=4&load=y&col_id=9111&id...

103. Прокудина, Н.А. Углеродсодержащие пористые композиты для адсорбции и катализатора / Н.А. Прокудина, Р.А. Буянов, Б.В. Чесноков // Химическая промышленность. – 1992. – № 2. – С. 12–14.

104. Рахматулина, В.У. Биоремедиация почв, загрязненных нефтью и нефтепродуктами / В.У. Рахматулина, С.В. Семенова, Л.А. Шабунина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – № 2. – С. 22–30.

105. Реальный сектор [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nk.perm.ru/articles.php?newspaper_id=915&article_id=23091

106. Резер, С.М. Страхование рисков грузовых перевозок / С.М. Резер // Евразия вести. – 2009. – № 12. – С. 37–39.

107. Свами, М. Графы, сети и алгоритмы / М. Свами, К. Тхуласираман. – М. : Мир, 1984. – 198 с.

108. Сведения о чрезвычайных ситуациях, происшедших на территории Российской Федерации за 2012 год [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.mchs.gov.ru/Stats/CHrezvichajnie_ situacii/2012_god

109. Серебровский, А.Н. Об одном методе вероятностного анализа безопасности потенциально опасных объектов / А.Н. Серебровский // Математические машины и системы. – 2002. – № 1. – С. 41.

110. Словарь терминов МЧС. EdWart. – М., 2010. – 115 с.

111. Смирнов, А.Д. Сорбционная очистка воды / А.Д. Смирнов. – Л. : Химия, 1982. – 168 с.

112. СНиП 32-01-95. Железные дороги колеи 1520 мм (актуализированный). Министерство регионального развития РФ. – М., 2012. – 46 с.

113. СО 34.23. 501-2005. Методические указания по эксплуатации мазутных хозяйств тепловых электростанций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://do.gendocs.ru/docs/index-45056.html?page=6

114. Сосунов, И.В. Концепция создания системы независимой оценки рисков в области пожарной безопасности, гражданской обороны и защиты населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера [Электронный ресурс] / И.В. Сосунов. – Режим доступа: http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-4/01-04-07.ttb.pdf

115. Социально-экономическое развитие субъектов Российской Федерации, расположенных на территории Дальнего Востока и Байкальского региона [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://do.gendocs.ru/docs/index-263600.html?page=2

116. Стратегия развития железнодорожного транспорта в РФ до 2030 года [Электронный ресурс] : утв. распоряжением Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р. – М., 2013. – Режим доступа: http://nextrzd.ru/content/стратегия-развития-железнодорожного-транспорта-в-РФ-до-2030-года.

117. Стратегия управления риском [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://risk.keldysh.ru/risk/gl1.htm

118. Оценка экологического состояния технической полосы отвода / А.К. Стрелков [и др.] // Путь и путевое хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 31–34.

119. Тарасенко, В.А. Методика оценки и ранжирования объектов и территорий железнодорожного транспорта по показателям чрезвычайных ситуаций, связанных с пожарами: на примере Восточно-Сибирской железной дороги: дис. … канд. техн. наук : 05.26.02 / Тарасенко Василий Анатольевич. – Иркутск, 2006. – 192 с.

120. Тесленко, И.О. Совершенствование условий перевозки опасных грузов на железнодорожном транспорте : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Тесленко Игорь Олегович. – Новосибирск, 2001. – 162 с.

121. Тишанин, А.Г. Совершенствование работы технических средств – основа обеспечения безопасности движения поездов / А.Г. Тишанин // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 4. – С. 8–14.

122. Триандафилов, А.Ф. Гидравлика и гидравлические машины : учеб. пособие / А.Ф. Триандафилов, С.Г. Ефимова. – Сыктывкар : СЛИ, 2012. – 49 с.

123. Управление рисками чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:www.obzh.ru/pre/2-1.html

124. Снижение рисков и смягчение последствий чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в Российской Федерации до 2015 года [Электронный ресурс] : федер. целевая программа : утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 555. – Режим доступа: http://www.mchs.gov.ru/activities/fcp/fcp_reduction

125. Федотова, Т.В. Аварийные разливы нефти: средства локализации и методы ликвидации [Электронный ресурс] / Т.В. Федотова, Ф.В. Чурсин, С.В. Горбунов. – Режим доступа: http: //secuteck.ru/articles2/prom_sec/avariynie_razlivi#sthash.IjZ17tpZ.dpuf

126. Специализированные цистерны для перевозки опасных грузов : справ. пособие / В.Н. Филиппов [и др.]. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 251 с.

127. Фуньяхана, Йео. Использование современных спутниковых систем навигации для морских судов, терпящих бедствие / Фуньяхана Йео // Глобальный научный потенциал. – 2013. – № 1(22) – С. 36–41.

128. Черняховский, Э.Р. Управление экологической безопасностью : учеб.-практ. пособие. – М. : Альфа-Пресс, 2007. – 248 с.

129. Щебнеочистительная машина [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.metaprom.ru/production/schebneochistitel_mashina.html

130. Эффект от внедрения новой техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://bibliotekar.ru/economika-predpriyatiya-3/64.htm

131. Национальная идея России. В 6 т. Т. 1 / В.И. Якунин [и др.]. – М. : Научный эксперт, 2012. – 752 с.

132. Яницкая, Т.О. Оценка репрезентативности, состояния и потенциальных угроз системе особо охраняемых природных территорий России [Электронный ресурс] / Т.О. Яницкая. – Режим доступа: http://oopt.info/

133. Янкевич, М.И. Технологии и биопрепараты для очистки и восстановления техногенно-загрязненных территорий и акваторий / М.И. Янкевич // ТЭБтранс-2010 : материалы междунар. науч.-практ. конф. – СПб. : ПГУПС, 2010. – С. 249–251.

134. Луценко, А.Н. Высокоэффективные технологические и технические решения для предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов в условиях Дальнего Востока / А.Н. Луценко, В.Д. Катин. – Уфа : Аэтерна, 2016. – 176 с.

135. Anand, P. Profitability of Reduction of Ecological Risk from the Car of the Tank of the RailwayTransportation of Dangerous Materials: the thesis for a doctor's degree / P. Anand. – University of Illinois in Urbana-Plain, 2006. – 48 p.

136. Chen, C.H. The Handbook of Pattern Recognition and Computer Vision (2nd Edition) / C.H. Chen, L.F. Pau, P.S.P. Wang. – World Scientific Publishing Co., 1998. – 1004 p.

137. Crocker, C.G. Addressing vulnerability through an integrated approach / David McEntire, Colin Gilmore Crocker, Ekong Peters // International Journal of Disaster in an artificial environment. – 2010. – Vol. 1 ISS: 1. – P. 50–64.

138. Erkut, E. Modeling of transport risk for hazardous materials / E. Erkut, B. Werther // Operations Research. – 1998. – T. 46. № 5. – P. 625–642.

139. Jamroz, K. Trans-Risk method of integrated risk management in the transport / K. Jamroz // Journal KONBIN. – 2010. – T. 13. № 1. – P. 209–220.

140. Kawprasert & Barkan. Reducing the Risk of Rail Transport of Hazardous Materials by Route Rationalization. 87th Transportation Research Board Annual Meeting / Kawprasert & Barkan // TRB. Washington, del. 13 al 17 January 2008. (Conference Contributions – Full conference papers).

141. Kendra, J.M. Creativity in emergency response to the world trade center disaster. Beyond September 11th: An Account of Post-Disaster Research / J.M. Kendra, T. Wachtendorf // Special Publication #39. Public Entity Risk Institute. – Fairfax, VA., 2003. – 218 p.

142. Lovett, A.A. Using GIS in risk analysis: a case study analysis of hazardous waste transport / A.A. Lovett, J.P. Parfitt, J.S. Brainard // Risk. – 1997. – T. 17. № 5. – P. 625–633.

143. Nicholson, A. Risk assessment and management: a road network reliability study / A. Nicholson, E. Dalziell // Transport Network Reliability. Proceedings of the 1st International Symposium on Transport Network Reliability (Instr). – 2003. – 245 p.

144. Sugarman, Barry. A learning-based approach to organizational change: some results and uidelines / B. Sugarman // Organizational Dynamics. – 2001. – Pergamon. – P. 62–75.

145. Work of Safety of Cars of the Tank in Accidents: Probability of Loading of Loss. PA Messages -05-02, Automobile Research of Safety of the Tank of Railway RSI-AAR and the Test Project, Association The American Railways / T.T. Treichel [etc.] // Washington, district of Columbia. – 2006. – 121 p.

146. Tryon, R.C. Cluster analysis / R.C. Tryon. – London : Ann Arbor Edwards Bros, 1939. – 139 p.

Научное издание

Катин Виктор Дмитриевич
Луценко Андрей Николаевич

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕВОЗКИ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Монография

Редактор *Т.М. Яковенко*
Технический редактор *И.А. Нильмаер*

План 2018 г. Поз. 9.19. Подписано в печать 27.02.2018 г. Формат 60×84 1/16.
Гарнитура «Times New Roman». Уч.-изд. л. 8,8. Усл. печ. л. 8,1. Зак. 82. Тираж 50 экз.

Издательство ДВГУПС.
680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47.