



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего образования

**«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Факультет Информационных Систем и Геотехнологий
Кафедра Физики**

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Бакалаврская работа

На тему: Экологические риски при транспортировке нефти и газа

Исполнитель: Студент группы Ф-Б18-1
Буличев Олег Владимирович

Руководитель: Бобровский Анатолий Петрович

К защите допускаю
Заведующий кафедрой _____
(подпись)

кандидат физико-математических наук
Бобровский Анатолий Петрович

« ___ » _____ 2022г.

Оглавление:

Введение

Глава 1. Виды перевозок нефтепродуктов и области их применения.

1.1 Железнодорожные перевозки

1.2 Морские перевозки.

1.3 Автомобильные перевозки.

1.4 Транспортировка нефтепродуктов посредством нефтегазопроводов.

1.5 Смешанные перевозки

Глава 2. Определение экологического риска и методики расчета. Система анализа рисков FMESA.

Глава 3. Виды экологических рисков при различных методах транспортировки.

3.1 Риски при железнодорожных перевозках.

3.2 Риски при автомобильных перевозках.

3.3 Риски при транспортировках посредством нефтегазопроводов.

3.4 Риски при морских транспортировках.

Глава 4. Исследование рисков отказов оборудования с помощью метода FMESA посредством интерфейса MADe.

Глава 5. Международные стандарты качества морских нефтегазовых транспортировок. Выводы.

6. Заключение.

7. Список литературы.

Введение

Нефтегазовая индустрия играет жизненно важную роль в современном обществе. За последний век нефть постепенно превратилась в один из главных ресурсов планеты, причем ресурс не только энергетический. Нефтепродукты служат сырьем для ряда потребительских товаров, играя ключевую роль в жизни людей по всему миру.

С другой стороны, нефтяная и газовая промышленность несет в себе большой потенциал опасностей для окружающей среды, воздействуя на нее на разных уровнях: от выбросов в атмосферу до загрязнений воды и почвы, затрагивая тем самым жизнедеятельность абсолютно всех существ на планете. Наиболее распространенным и опасным следствием деятельности нефтегазовой отрасли является загрязнение окружающей среды. Загрязнение связано с практически всеми видами деятельности на всех этапах добычи нефти и газа, начиная с разведочных работ и заканчивая загрязнениями при транспортировке нефтегазового сырья. Сточные воды, выбросы газов, твердые отходы и образующиеся аэрозоли при бурении, добыче, переработке и транспортировке нефти и газа составляют более 800 различных химических веществ.

К прочим воздействиям на окружающую среду относятся усиление парникового эффекта, кислотные дожди, ухудшение качества воды, загрязнение подземных вод и многие другие. Нефтегазовая промышленность может способствовать утрате биоразнообразия, а в некоторых случаях и полному уничтожению экосистем, многие из которых могут быть уникальными. Большинство потенциальных воздействий на окружающую среду, связанных с деятельностью нефтегазовой промышленности, уже давно задокументированы. Однако, несмотря на то, что нефтегазовую индустрию уже нельзя назвать “новой”, процесс безопасной интеграции добычи и транспортировки нефтяных и газопродуктов в мировую экологическую систему далек от того чтобы считаться завершенным. Международные организации по стандартизации добычи или транспортировки нефти и газа и национальные органы экологического мониторинга различных государств регулярно выпускают новые нормативы и стандарты качества, способные уменьшить экологические риски и предотвратить негативные воздействия на природный мир.

Нефтяная и газовая промышленность в первую очередь играет значительную экономическую роль в обществе, создавая множество рабочих мест и немалый объем налоговых поступлений и отчислений национальным правительствам. Нефтяные компании зачастую заинтересованы в активных экологических стратегиях, которые могут позволить сократить обязательные налоговые отчисления или прочие выплаты. Несмотря на это, многие эксперты считают, что современная экологическая политика большинства крупных нефтегазовых

корпораций ориентирована лишь на соблюдение минимально необходимого свода правил, установленных природоохранными органами, и сугубо реактивный подход к управлению рисками для окружающей среды. Принятие во внимание окружающей среды в производственных и логистических процессах остается серьезной проблемой для нефтяной и газовой отрасли.

Однако, сегодня можно наверняка утверждать, что стремление продвигать заботу об экологии за рамки формальных обязательств имеет спрос со стороны общества. Общественное внимание к нефтяной и газовой отраслям как к одним из ключевых составляющих современного устройства мира, является ограничивающим фактором для компаний, так как негативный имидж может повлиять на многих потребителей. Несмотря на активный процесс перехода на более экологически чистые источники энергии, нефть и газ будут продолжать играть важную роль в энергетической системе в течение длительного времени. Согласно ежегодному отчету по нефтегазовой мировой индустрии от одного из крупнейших мировых классификационных обществ DNV GL за 2019г., нефть и газ по-прежнему будут двумя главными энергоносителями в 2030 году. Спрос на газ будет продолжать расти до 2033 года, а затем стабилизируется, однако даже в 2050 году на его долю будет приходиться не менее 29% мирового энергетического баланса. Возможное падение спроса после пика добычи нефти и газа не сможет отменить необходимость постоянных инвестиций в новые месторождения и продление срока службы существующих месторождений, что неизбежно влечет за собой необходимость исследований в области контроля экологических рисков нефтегазовой индустрии.

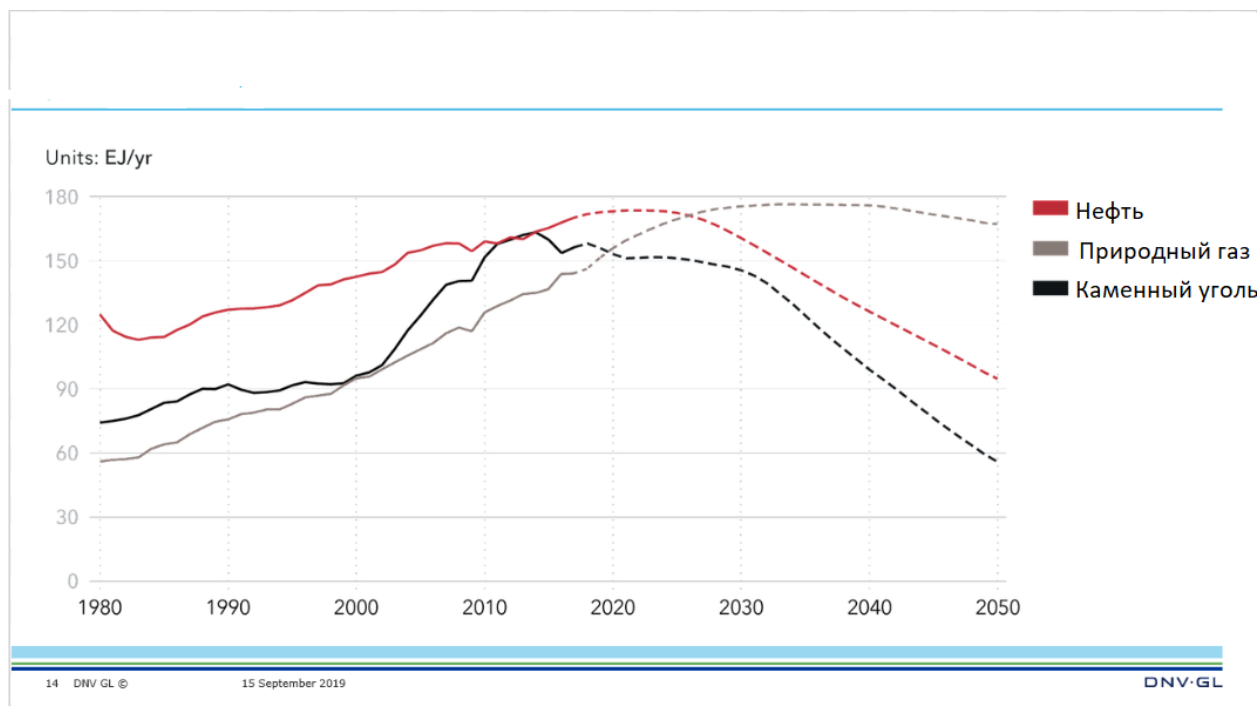


Рис 1. График прогнозируемого распределения нефти, газа и каменного угля согласно отчету DNV GL за 2019 год.

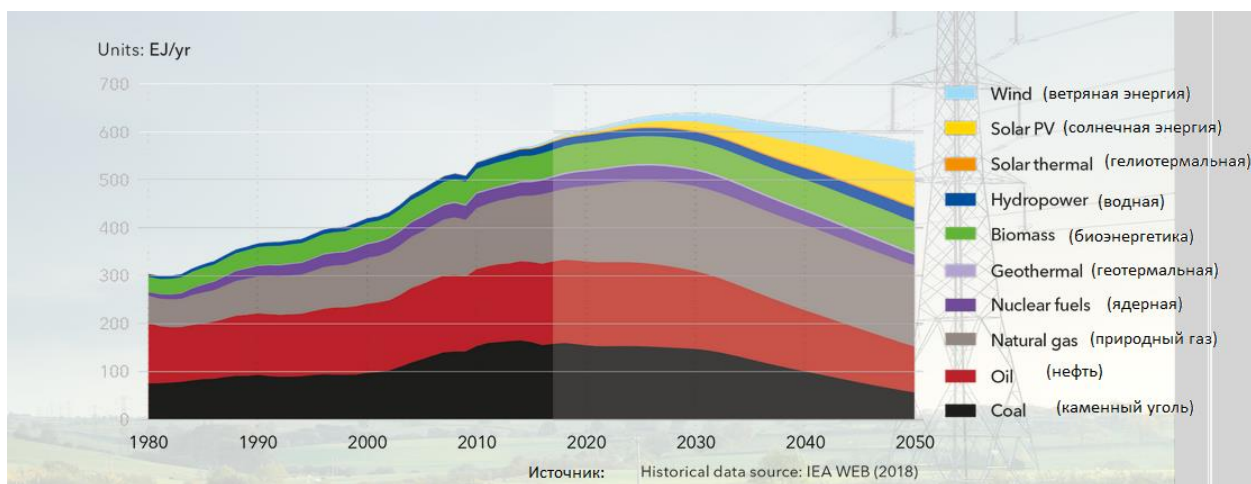


Рис. 2. График прогнозируемого распределения нефтегазовых ресурсов в сравнении с прочими источниками энергии до 2050г. согласно отчету International Energy Agency за 2018 год.

Российская Федерация — одна из стран-лидеров по добыче нефти и газа, и один из крупнейших поставщиков нефти и газа в мире. Сырьевую базу нефтегазового комплекса России на современном этапе геологического изучения и промышленного освоения составляют более 2 734 нефтяных, нефтегазовых, газовых и газоконденсатных месторождений. Нефтегазовый сектор топливно-энергетического комплекса России является одним из наиболее устойчиво работающих производственных комплексов российской экономики, что делает нефтегазовую сферу промышленности первоочередной задачей для изучения по вопросам модернизации добычи, транспортировки и экологической безопасности полного комплекса нефтегазовых операций.

Нефтяная отрасль является одной из крупнейших и быстроразвивающихся в России. Объем добычи нефти и газового конденсата в России по итогам 2021 года достиг 524,05 млн тонн, увеличившись на 2,2% относительно 2020-го. (согласно центральному диспетчерскому управлению топливно-энергетического комплекса ЦДУ ТЭК, филиал ФГБУ "РЭА" Минэнерго России). Из приведенной статистики можно установить, что среднесуточная добыча нефти в РФ в 2021 году составила 10,52 млн баррелей.

Согласно ЦДУ ТЭК добыча нефти в РФ в марте 2022 г. выросла на 7,3% в годовом выражении, и составила 46,57 млн тонн, что на 7,3% выше уровня аналогичного месяца предыдущего года. В целом за период с января по март текущего года добыча нефти с газовым конденсатом в России составила 135,52 млн тонн, что на 8,2% выше показателя за аналогичный период 2021 года. Экспорт российского нефтяного сырья в страны дальнего зарубежья в I

квартале 2022 года повысился на 15,8% по сравнению с январем-мартом 2021 года, составив 57,1 млн тонн. Объем добычи газа в России в марте составил 67,5 млрд куб. м, увеличившись на 0,8% относительно того же месяца прошлого года. В целом за период с января по март текущего года по сравнению с аналогичным периодом 2021 года добыча газа выросла на 0,9% и составила 199,76 млрд куб. м.

В настоящее время добычу нефти и газа в России осуществляют около трёхсот двадцати организаций, в том числе около ста сорока компаний, входящих в структуру вертикально-интегрированных нефтегазовых компаний (ВИНК): сто восемьдесят организаций относятся к числу независимых добывающих компаний, три компании работают на условиях соглашений о разделе природоохранных мероприятий.

Большинство нефтепромыслов и газовых скважин как в России, так и за рубежом находятся на большом удалении от мест хранения, переработки или сбыта нефти, поэтому быстрая и экологически безопасная доставка имеет критическое значение как для сохранения текущих показателей, так и для развития нефтегазовой отрасли. В Российской Федерации существует огромная потребность в экологических исследованиях, относящихся к нефтегазовой отрасли промышленности и разработке методик по оценке экологических рисков. Появление в Федеральном законе "Об охране окружающей среды" понятия «экологический риск», делает особенно актуальным создание комплексной методологии по анализам, оценке и управлению рисками в нефтегазовой сфере.

Для выполнения этой работы необходимо создание научно-обоснованного подхода, который позволит оценить фактическое состояние конкретных рисков на всех стадиях транспортировки (от месторождений непосредственной добычи нефти и газа до потребителя), а также прогнозировать тенденцию изменения рисков (этап анализа факторов экологических рисков и оценки рисков), устанавливая приоритетность и выбор природоохранных и превентивных мероприятий (этап управления рисками).

Цель выпускной квалификационной работы

Основная цель исследования состоит в формулировке методического подхода к выявлению, анализу, оценке и управлению экологическими рисками при транспортировке нефти и газа для предотвращения и минимизации негативного воздействия на природную среду.

Задачи выпускной квалификационной работы:

Классификация экологических рисков, связанных с различными видами транспортировки нефти и газа, и анализ этих рисков.

Использование метода оценки рисков FMESA для сложных процессов и систем.

Анализ действующих методов по контролю экологических рисков при транспортировке нефти и предотвращению экологических катастроф.

Глава 1.

Виды транспортировки нефти и газа и области их применения.

Месторождения разной величины располагаются по всей территории РФ. Помимо эксплуатации месторождений, ключевым вопросом является способ транспортировки нефти и газа. Различные виды транспорта отвечают разным критериям, по которым делается выбор. Существует четыре основных вида транспортировки: железнодорожный, водный, автомобильный и трубопроводный.

Факторы выбора транспорта для перевозки:

- соответствие маршрута техническим характеристикам транспортного средства;
- экологические ограничения;
- ограничения по срокам поставки;
- эксплуатационная скорость движения, фактическая и максимально возможная;
- расстояние перевозки груза;
- возможности обеспечения хранения груза на пути следования;
- техническая готовность транспортного средства;
- грузопместимость состава;
- себестоимость.

1.1 Железнодорожный транспорт

У этого вида транспортировки можно выделить три основных преимущества:

1. Возможность перевозок в любой сезон. На перевозку нефти и газа не будут влиять никакие погодные условия.
2. Подходит практически для любых видов нефти и нефтепродуктов.
3. Краткосрочность. Скорость транспортировки продукта посредством железнодорожных путей значительно выше скорости морских или речных перевозок.

Почти половина всех перевозок внутри РФ (около 40%) приходится на железнодорожные перевозки. Поэтому большинство нефтехранилищ и нефтебаз находятся рядом с ж/д магистралями.

У рассматриваемого вида транспортировки существуют следующие минусы:

1. большие финансовые затраты, которые необходимы для строительства новых ж/д путей и их поддержание в функциональном состоянии уже существующих железных дорог;
2. крупная стоимость перевозок (по сравнению с водным или трубопроводным способом доставки ж/д перевозки дороже в 2-4 раза).
3. Потери. Потери нефти в работе с цистернами практически неизбежны, и происходят как при заполнении, так и при опустошении тары.

Для перевозок по железнодорожным путям используют цистерны, которые вмещают в себя 25, 50, 60, 90 и 120 тонн нефти и нефтепродуктов. В нижней части находится универсальное сливное устройство, через которое сливается всё содержимое. Пружинные предохранительные клапаны используются для регуляции максимально допустимого значения давления в цистерне. Это опасно тем, давление может вызывать опасное напряжение стенок ёмкости. Состав из таких вагонов формирует наливной маршрут.

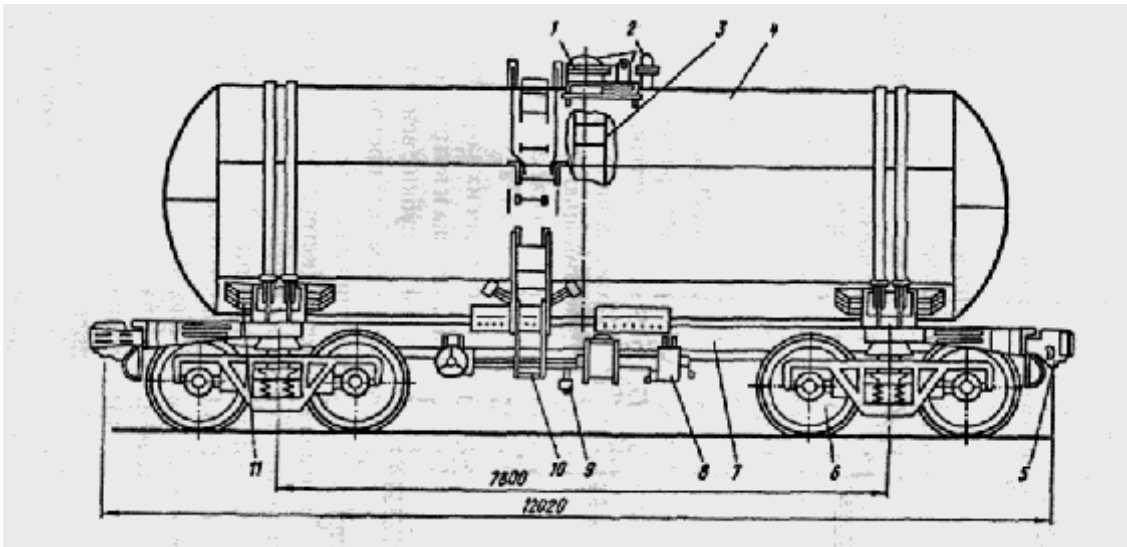


Рис.1 Цистерна для перевозки бензина и светлых нефтепродуктов (стандартная модель 15-1443):

- 1) горловина,
- 2) предохранительная арматура,
- 3) внутренняя лестница,
- 4) котел,
- 5) ударно-тяговые устройства,
- 6) ходовая часть,
- 7) рама,
- 8) тормозное оборудование,
- 9) сливной прибор,
- 10) наружная лестница,
- 11) устройства крепления котла к раме.

Рама служит для восприятия тяговых усилий, ударов в автосцепку, а также инерционных сил котла, возникающих при изменении скорости движения цистерны. По типу ходовой части различают 4-х и 8-ми осные цистерны (рис.2).

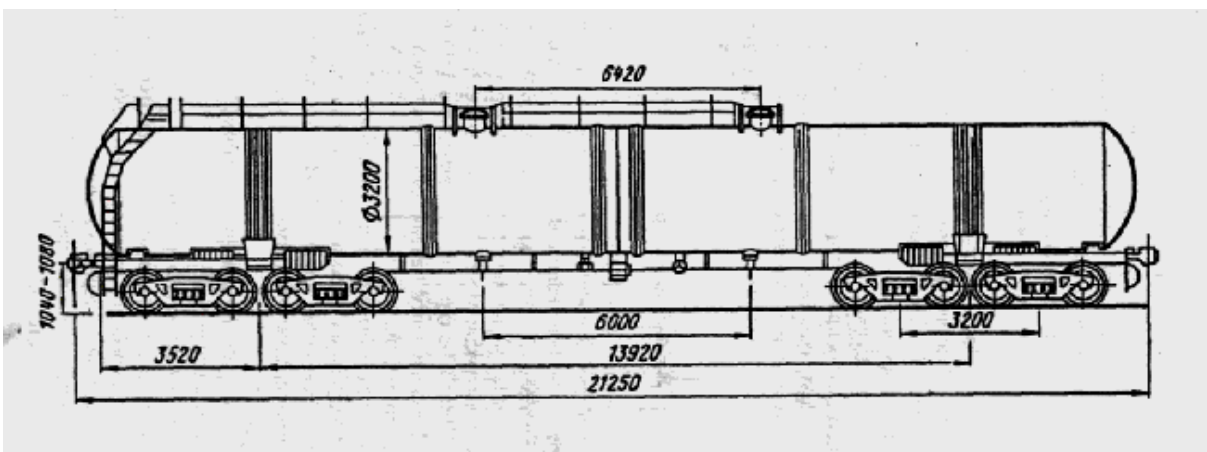


Рис.2 Восьмиосная цистерна для бензина (модель 15-1500) Бессекционный котёл, который находится на цистернах, состоит из цилиндрической части и двух днищ. Он прикрепляется к раме специальными болтами, по краям - четырьмя хомутами с муфтами и натяжными болтами. В верхней части котла расположен колпак с люком, предназначенный для их загрузки, а в нижней - сливной прибор для их выгрузки. При транспортировке сжиженных газов загрузка и выгрузка производится через специальные патрубки с вентилями. При повышении давления возможно разрушение котла цистерн, для этого существует предохранительная арматура.

Виды цистерн:

- 1) Специального назначения – в них перевозятся высоковязкая и высокопарафинистая нефть и нефтепродукты.
- 2) С паровой рубашкой – выделяются отдельно, так как внизу у них установлена система парового подогрева с площадью поверхности нагрева около 40 м².
- 3) Термосы – в них перевозятся подогретые высоковязкие нефтепродукты. Они покрыты тепловой изоляцией, а внутри котла расположен стационарный трубчатый подогреватель с поверхностью нагрева 34 м².
- 4) Для сжиженных газов – этот вид рассчитан на повышенное давление (для пропана - 2 МПа, для бутана - 8 МПа).

В современных цистернах объем котла составляет от 54 до 162 м³, диаметр - до 3,2 м.

Для перевозки светлых нефтепродуктов и масел в крытых вагонах используются 200-литровые бочки и бидоны для транспортировки смазки.

Перевозки нефти и нефтепродуктов по железным дорогам связаны с вероятностью возникновения чрезвычайных происшествий, которые могут привести к разливам различного масштаба, а также повлечь за собой пожары или взрывы, приводящие к значительным материальным потерям, экологическому урону для окружающей среды и поражению токсичными и вредными веществами населения.

1.2 Водный транспорт

Специфические климатические условия, продолжительность светового дня, характер теплообмена поверхности океана с нижележащими слоями и атмосферой, пространственное распространение магнитных полей Земли, рельеф дна, типы берегов и мелководные приливы в значительной степени снижают естественную саморегулируемость среды. В связи с этим, развитие интенсивного судоходства и создание морских производственных объектов требуют особого внимания к обеспечению экологической безопасности.

Использование водного транспорта для транспортировки нефти и газа на территории РФ уступает по масштабам применения трубопроводному методу транспортировки, однако значительно превосходит прочие виды перевозок в контексте экспорта нефтепродуктов, что делает анализ водных нефтегазовых перевозок первостепенной задачей для экологических исследований, так как большая часть добываемого в России газа и нефти нацелена именно на экспорт.

Водный транспорт делится на морские и речные перевозки.

К ограничениям водного вида транспортировки можно отнести:

- 1) Низкая доступность — многие месторождения и НПЗ расположены в глубине континента.
- 2) Возможность навигации по ряду маршрутов исключительно в летний сезон

Россия занимает первое место в мире по протяженности водных путей. Длина береговой морской линии в стране около 100 тыс. км. Водная система составляет свыше 600 крупных и средних озер, а суммарная протяженность рек составляет около 3 млн. км. Многочисленные каналы связывают водные пути Европейской части России и порты Балтийского, Белого, Каспийского, Азовского и Черного морей. Этим обусловлена популярность водного вида транспортировки. Существуют сухогрузные и наливные суда для перевозки нефтегрузов. Сухогрузными судами груз перевозится непосредственно на палубе (в основном, в цистернах).

Нефтеналивные суда перевозят нефть и нефтепродукты в трюмах, а также в танках (баках), размещенных на палубе.

Различают следующие типы нефтеналивных судов:

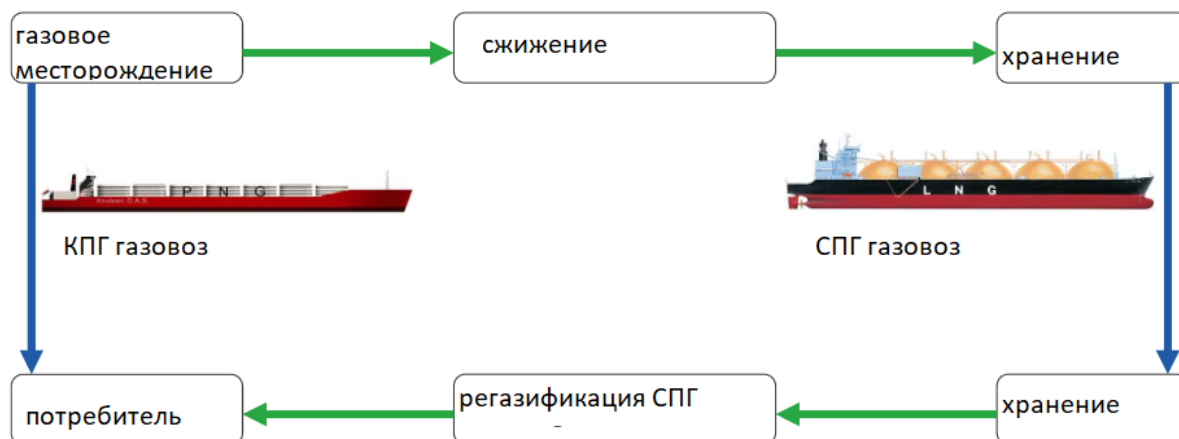
- 1) танкеры морские и речные;
- 2) баржи морские (лихтеры) и речные.

Отдельным, довольно специфическим типом наливных судов являются танкеры-газовозы. Они предназначены для перевозки сжиженного природного газа (аббревиатура для судов – «СПГ», или англ. название «LNG» – Liquid Natural Gas) и сжиженных нефтяных газов (соответственно – «СПГ», или англ. «LPG» – Liquid Petroleum Gas) в охлажденном виде в изолированных танках (например, метан перевозят при температуре до минус 161,1°C) или под давлением. В отличие от остальных танкеров, грузовые танки которых образуют элементы конструкции корпуса, газовозы имеют вкладные грузовые цистерны – цилиндрические (вертикальные или горизонтальные), сферические или прямо-угольные.

По вместимости у газовозов существует собственная классификация:

- Conventional – газовоз общего назначения (средней вместимостью 145-155 тыс. куб. м);
- Q-Flex – газовоз средних размеров (средней вместимостью 210-215 тыс. куб. м);
- Q-Max – большой газовоз (средняя вместимость 260-265 тыс. куб. м).

Рис 1. Транспортировка нефтепродуктов посредством газовозов.



Танкер - это самоходное судно, его корпус системой продольных и поперечных переборок разделен на отсеки (носовой (форпик), кормовой (ахтерпик) и грузовой (танки)). Существует опасность попадания паров нефти и нефтепродуктов в хозяйственные и машинное отделения, для недопущения этого грузовые танки отделены от носового и кормового отсеков специальными глухими отсеками (коффердамами). Газоотводная система с дыхательными клапанами, расположенная на палубе танкера, работает для сбора продуктов испарения нефтегрузов и регулирования давления в танках. Грузовые танки оборудованы подогревателями, установками для вентиляции и пропаривания танков, средствами пожаротушения. А также они соединены друг с другом трубопроводами.

Речные танкеры отличаются от морских тем, что имеют относительно небольшую грузоподъемность.

Баржа – это самоходное судно, отличающееся отсутствием собственных насосов. Морские баржи (лихтеры) необходимы для перевозок нефти и нефтепродуктов, когда танкеры не могут подойти непосредственно к причалам для погрузки-выгрузки. Их грузоподъемность составляет 10000 т и более. Речные баржи служат для перевозки нефтепродуктов по внутренним

водным путям. Их корпус не такой прочный, как у морских барж. Они бывают самоходными и несамоходными (перемещаются буксирами).

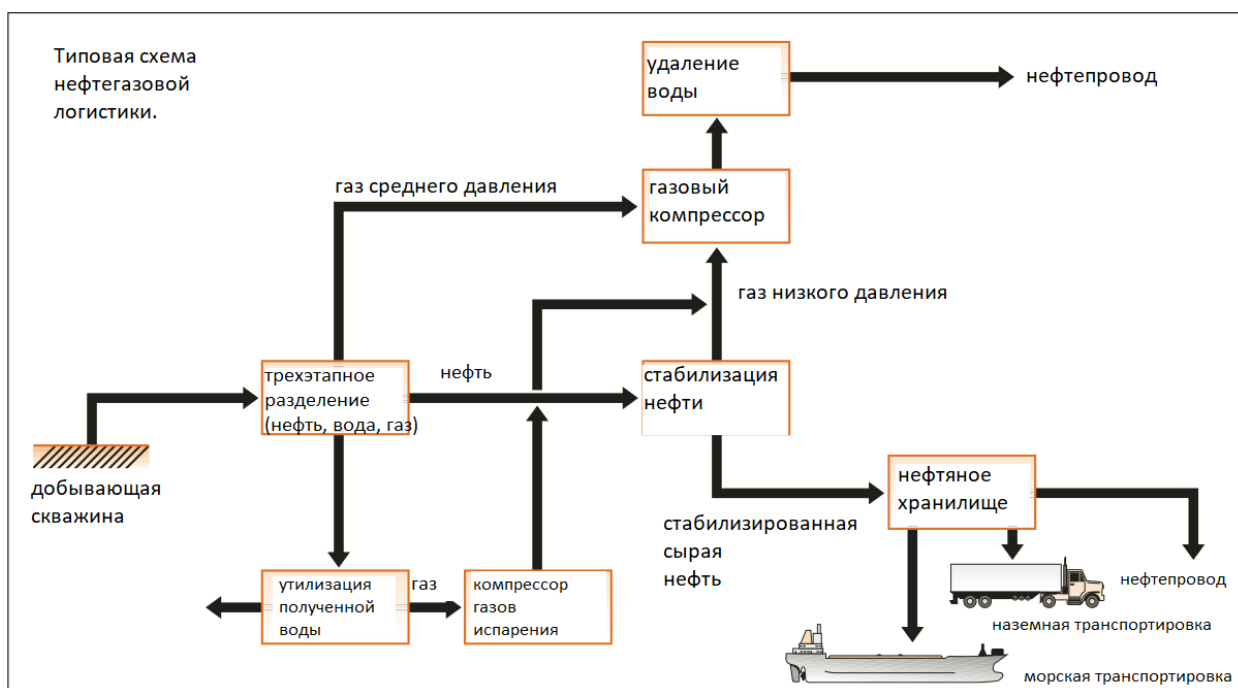
При создании танкеров в начале 50-х годов их грузоподъемность была в среднем 15 тыс. т., к 1966 более трети мирового нефтеналивного флота составляли танкеры грузоподъемностью 30 тыс. т и выше. Вскоре были построены супертанкеры, грузоподъемность которых свыше 100 тыс. т.

Более 60% супертанкеров сегодня используются для хранения нефти и воды. Каждый супертанкер представляет собой большую экологическую опасность для окружающей среды. Например, в марте 1967 г. у берегов Англии потерпел аварию супертанкер "Торри Кэньон" и в море вылилось 30 тыс. т нефти. Большое количество пляжей было сильно загрязнено, это привело к гибели водоплавающих птиц и фауны морей. В 1978 г. у берегов Франции сел на камни супертанкер "Амоко Кадис", из которого вытекло 220 тыс. т нефти. Эти аварии нанесли непоправимый ущерб окружающей среде.

На сегодняшний день накоплен значительный опыт по перевозке танкерами сжиженных углеводородных газов (СУГ).

Типы танкеров для перевозки сжиженных газов

Тип танкера	Танкеры с резервуаром и под давлением	Танкеры с теплоизолированным и резервуарами под низким давлением	Танкеры с теплоизолированным и атмосферными резервуарами (изотермические)
Давление	1,6	0,3-0,6	0,1
Температура	+45	-5 +3	-40 (пропан) 103 (этилен) 163 (метан)



Достоинствами водного транспорта являются:

- 1) сравнительно низкая стоимость перевозок;
- 2) неограниченная пропускная способность водных путей (особенно морских);
- 3) возможность транспортировки нефтепродуктов в отдаленные районы страны, не связанные железной дорогой с НПЗ.

К недостаткам водного транспорта относятся:

- 1) сезонность перевозок по речным и частично морским путям, что вызывает необходимость создавать большие запасы нефтегрузов;
- 2) медленное продвижение грузов (особенно вверх по течению рек);
- 3) невозможность полностью использовать тоннаж судов при необходимости переброски специальных нефтепродуктов в небольших количествах;
- 4) порожние рейсы судов в обратном направлении.

1.3 Автомобильный транспорт

Во всех регионах России расположена большая разветвленная сеть дорог. Этот фактор оказывается одним из главных достоинств автомобильной транспортировки. Но автомобили обладают низкой грузоподъемностью, что создает высокую себестоимость перевозок. Выходом является перевозки на короткие расстояния и в основном для нефтепродуктов. Автотранспортом можно перевозить все типы углеводородных жидкостей. Автомобильный транспорт используется для завоза нефтегрузов потребителям, удаленным на небольшое расстояние от источников снабжения (наливных пунктов, складов

и баз). Например, автотранспортом отгружаются нефтепродукты с нефтебаз в автохозяйства, на автозаправочные станции и сельские склады горючего.

Варианты транспортировки грузов в автомобилях:

- в таре (нефтепродукты - в бочках, канистрах, бидонах; сжиженные углеводородные газы - в баллонах);
- в цистернах.

Классификация автомобильных цистерн:

по типу базового шасси:

- автомобили-цистерны,
- полуприцепы-цистерны,
- прицепы-цистерны;

по виду транспортируемого продукта:

- для топлив,
- для масел,
- для мазутов,
- для битумов,
- для сжиженных газов;

по вместимости:

- малой (до 2 т);
- средней (2-5 т);
- большой (5-15т);
- особо большой (более 15т).

В качестве базовых шасси для автомобильных цистерн используют почти все выпускаемые промышленностью грузовые автомобили. Разделяют автоцистерны по виду транспортируемого продукта, так как различие свойств нефтепродуктов достаточно серьезное и их ни в коем случае нельзя смешивать.

Градация автомобильных цистерн по вместимости соответствует классификации грузовых автомобилей по грузоподъемности.

Устройство и оборудование автоцистерн рассмотрим на примере автомобиля-цистерны АЦ-4,2-130

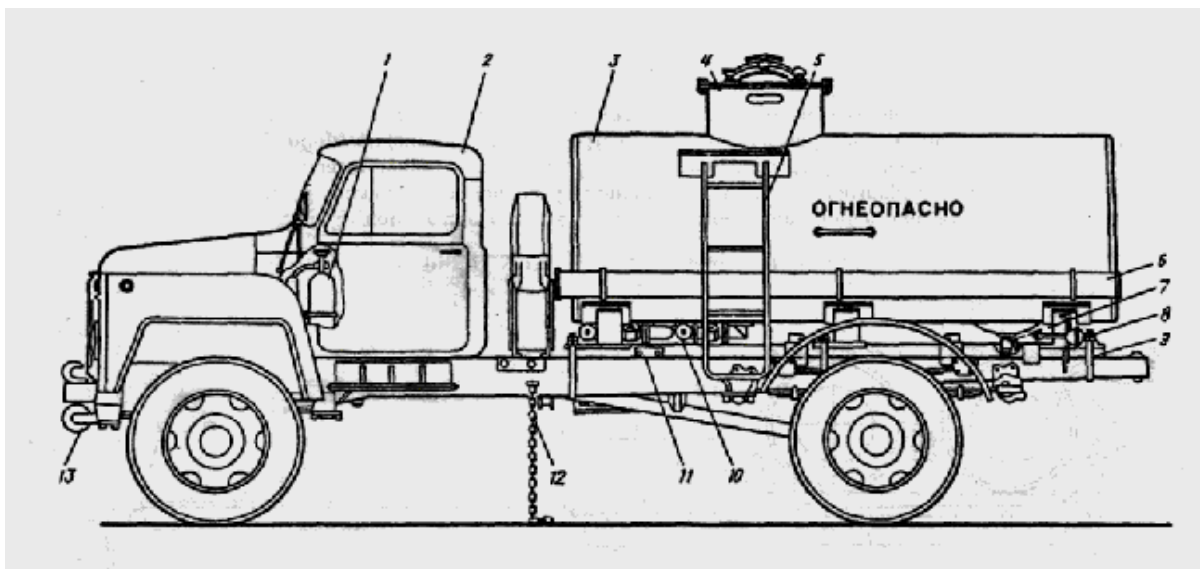


Рис.3 Автомобиль-цистерна АЦ-4,2-53А:

- 1-огнетушитель,
- 2-шасси автомобиля ГАЗ-53А,
- 3-цистерна,
- 4-крышка горловины,
- 5-лестница,
- 6-пенал для рукавов,
- 7-отстойник с трубопроводом,
- 8-электрооборудование,
- 9-узел крепления цистерны,
- 10-трубопровод гидравлической системы,
- 11-табличка,
- 12-цепь заземления,
- 13-глушитель

Он предназначен для транспортировки нефтепродуктов плотностью не более 860 кг/м² с нефтебаз на склады автотранспортных, строительных и сельских предприятий.

Калиброванная цистерна эллиптической формы смонтирована на шасси автомобиля ЗИЛ-130. Она содержит горловину, отстойник и отсек, который закрывается двумя дверками. На крышке горловины расположены наливной люк, два дыхательных клапана, патрубок со штуцером для отвода паров, образующихся при наливке, и указатель уровня. Наливной люк в транспортном положении закрывают крышкой.

Цистерна оборудована двумя пеналами для хранения и транспортировки рукавов, противопожарными и заземляющими средствами, креплениями для шанцевого инструмента и принадлежностей, металлической площадкой и лестницей. На АЦ-4,2-130 устанавливают самовсасывающий вихревой насос СВН-80.

Полуприцепы-цистерны не имеют собственного двигателя. Их устройство рассмотрим на примере ППЦ-16,3 (рис.4).

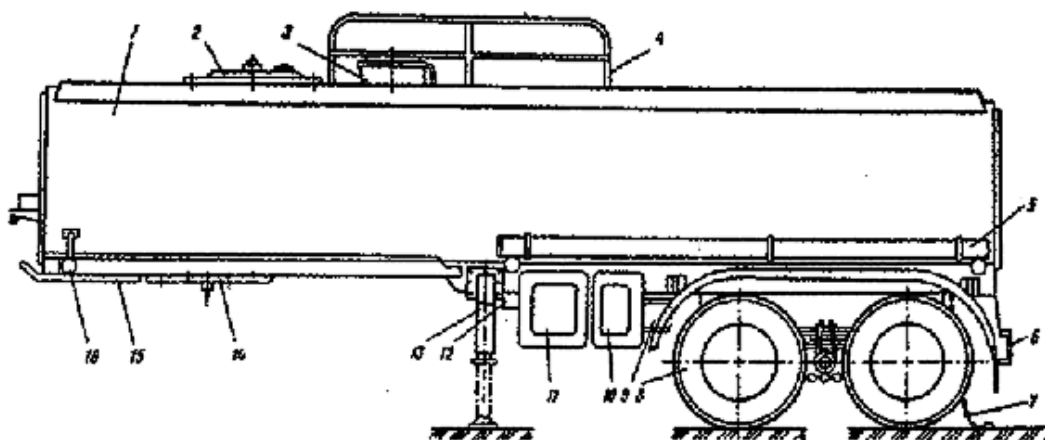


Рис.4 Полуприцеп-цистерна ППЦ-16,3:

- 1-корпус цистерны,
- 2-крышка компенсационной емкости,
- 3-наливная горловина,
- 4-поручень,
- 5-пенал,
- 6-бампер,
- 7-цепь заземления,
- 8-тележка,
- 9-запасное колесо,
- 10,11-шкафы для оборудования,
- 12-ящик ЗИП,
- 13-опорное устройство,
- 14-опорная плита,
- 15-плита наката,
- 16-световозвращатель

Она предназначена для транспортировки и кратковременного хранения светлых нефтепродуктов. Они транспортируются с помощью специальных тягачей (например, КамАЗ-5410).

На шасси полуприцепа ОДАЗ-9370 крепится специальное оборудование. Оно состоит из:

- цистерны с горловинами, лестницей, поручнем, пеналами, ящиком запчастей и принадлежностей;
- технологического оборудования, расположенного в боковом шкафу и включающего в себя систему трубопроводов и запорной арматуры;
- электрооборудования

- средств контроля и дистанционного управления узлами полуприцепов-цистерн.

Кроме того, в состав дополнительного оборудования, размещаемого в боковом шкафу, входят фильтр тонкой очистки топлива, два счетчика жидкости, раздаточные рукава, намотанные на барабаны и раздаточные краны.

Основными элементами автоцистерны для перевозки сжиженных газов являются:

- наружный стальной кожух;
- контрольно-измерительные приборы и запорная арматура, которые размещены на задней стенке корпуса в специальном шкафу;
- два испарителя, расположенные по бокам цистерны и предназначенные для создания необходимого давления с целью передавливания жидкости.

Между корпусом и латунным сосудом пространство заполнено тепловой изоляцией.

Достоинствами автомобильного транспорта нефтегрузов являются:

- 1) большая маневренность;
- 2) высокая скорость доставки;
- 3) возможность завоза грузов в пункты, значительно удаленные от водных путей или железной дороги;
- 4) всесезонность.

К его недостаткам относятся:

- 1) ограниченная вместимость цистерн;
- 2) достаточно высокая стоимость перевозок;
- 3) наличие порожних обратных пробегов автоцистерн;
- 4) значительный расход топлива на собственные нужды.

Автомобильная транспортировка нефти активно применяется на территории РФ, этот метод незаменим при необходимости перемещения нефтепродуктов на короткие расстояния в короткие сроки. Нефтепродукты считаются опасными грузами согласно законодательству РФ, в первую очередь благодаря своей легковоспламеняемости. Их перевозка требует осторожности и учета многочисленных аспектов и нюансов: например, темные нефтепродукты застывают при низких температурах, поэтому в зимнее время года для вязких веществ используются специальные цистерны с подогревом. Помимо того, испарения нефтепродуктов способны нанести вред человеку и окружающей среде, поэтому такие вещества как бензин или керосин перевозят исключительно в герметичных цистернах. Перечень правил для безопасной перевозки нефтепродуктов на территории РФ регулируются в соответствии с действующим законодательством. В свод правил входит, например, обязательная специальную накладную с санитарными, таможенными и карантинными документами. Правила перевозки нефтепродуктов наземным автотранспортом также могут вносить корректировки в маршрут следствия

автоцистерны: например, требуя сохранения определенной дистанции от заповедников и мест отдыха, детских садов и лечебных заведений. Автоперевозки допускают возможность транспортировки топлива непосредственно в топливных баках, при этом общая вместительность емкости не может превышать 1500 литров.

1.4 Трубопроводный транспорт

Наиболее распространенным способом транспортировки нефти и газа на территории РФ остается трубопроводный транспорт. Средний нормативный срок эксплуатации трубопровода колеблется в пределах 30 лет. По оценкам аналитиков Федеральной антимонопольной службы России, средний возраст действующих трубопроводов на территории РФ приближается к этой отметке. Это означает, что вероятность аварий на объектах трубопроводного транспорта возрастает, при этом скорость замены трубопроводов не позволяет гарантировать, что все участки трубопроводов на территории РФ смогут быть заменены до истечения предельного срока эксплуатации.

Множество крупных месторождений нефти и газа России соседствуют с уникальными экосистемами. Потенциальные негативные воздействия со стороны объектов транспортировки нефти и газа могут способны привести к трагическим последствиям для всех видов живых организмов, населяющих эти территории.

Согласно Министерству природных ресурсов и экологии Российской Федерации более чем в 80% случаев аварийных ситуаций на трубопроводных нефтяных магистралях загрязнению подвергается почва, в 17% случаев – водные объекты.

Среды с большим количеством сероводорода, углекислого газа, механическими примесями, транспортирующиеся посредством нефтяных и газовых трубопроводов, способны существенно уменьшить срок их эксплуатации, повышая риски аварийных ситуаций.

Магистральные трубопроводы работают с менее агрессивными средами, что значительно снижает вероятность аварии в сравнении с промышленными трубопроводами. Однако аварии на на магистральных трубопроводах наносят больший ущерб экологическим системам из-за увеличенных объемов транспортируемой продукции.

Строительство и эксплуатация как магистрального, так и промышленного трубопровода влечет техногенное воздействие на объекты окружающей природной среды. Основной задачей в решении данной проблемы является

минимизация вреда окружающей среде. Особенно остро стоит проблема пересечения магистральных трубопроводов водных преград.

Более 90% добываемой нефти в России проходит через трубопроводы. Существуют разные виды узкоспециализированных трубопроводных систем: нефтепроводы, нефтепродуктопроводы, газопроводы и трубопроводы для транспортирования нетрадиционных грузов. Неважно, что транспортируется по трубам, так как все узкоспециализированные системы состоят из одних и тех же элементов (на примере нефтепровода (рис.5)):

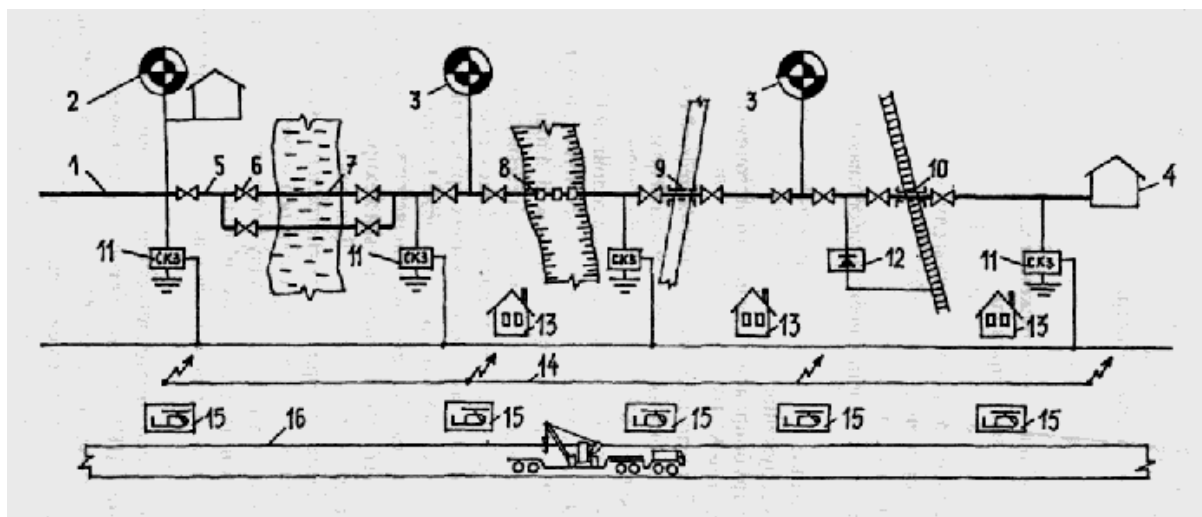


Рис. 5 Состав сооружения магистрального нефтепровода:

- 1 - подводящий трубопровод;
- 2 - головная нефтеперекачивающая станция;
- 3 - промежуточная нефтеперекачивающая станция;
- 4 - конечный пункт;
- 5 - линейная часть;
- 6 - линейная задвижка;
- 7 - дюкер;
- 8 - надземный переход;
- 9 - переход под автодорогой;
- 10 - переход под железной дорогой;
- 11 - станция катодной защиты;
- 12 - дренажная установка;
- 13 - доля обходчика;
- 14 - линия связи;
- 15 - вертолетная площадка;
- 16 - вдольтрассовая дорога подводящих трубопроводов.

Подводящие трубопроводы связывают источники нефти с головными сооружениями. Головные сооружения предназначены для приема нефти с промыслов, смешения или разделения по сортам, учета нефти и ее закачки из резервуаров в трубопровод. Они располагаются вблизи нефтепромыслов.

Промежуточные пункты служат для восполнения энергии, затраченной потоком на преодоление сил трения, с целью обеспечения дальнейшей перекачки нефти. Промежуточные пункты размещают по трассе трубопровода согласно гидравлическому расчету (через каждые 50-200 км) конечного пункта.

Конечным пунктом магистрального нефтепровода обычно является нефтеперерабатывающий завод или крупная перевалочная нефтебаза. На магистральных нефтепроводах большой протяженности организуются эксплуатационные участки длиной от 400 до 600 км. Граница между эксплуатационными участками обязательно проходит через промежуточные пункты. Состав сооружений головных сооружений, расположенных на концах эксплуатационного участка, отличается от обычных наличием резервуарных парков. Таким образом, магистральный нефтепровод большой протяженности состоит как бы из нескольких последовательно соединенных нефтепроводов протяженностью не более 600 км каждый.

К сооружениям магистрального нефтепровода относятся:

- 1) сам трубопровод
- 2) линейные задвижки;
- 3) средства защиты трубопровода от коррозии (станции катодной и протекторной защиты, дренажные установки);
- 4) переходы через естественные и искусственные препятствия (реки, дороги и т.п.);
- 5) линии связи;
- 6) линии электропередачи;
- 7) дома обходчиков;
- 8) вертолетные площадки;
- 9) грунтовые дороги, прокладываемые вдоль трассы трубопровода.

Трубопровод - основная составляющая магистрального нефтепровода - представляет собой трубы, сваренные в "нитку", оснащенные камерами приема и пуска скребков, разделителей, диагностических приборов, а также трубопроводы-отводы.

Минимальное заглубление трубопроводов до верха трубы должно быть не менее (м):

- при обычных условиях прокладки 0,8
- на болотах, подлежащих осушению 1,1
- в песчаных барханах 1,0
- в скальных грунтах, болотистой местности при отсутствии проезда автотранспорта и сельхозмашин 0,6
- на пахотных и орошаемых землях 1,0
- при пересечении каналов 1,1

Через каждые 30км устанавливаются с учетом рельефа линейные задвижки таким образом, чтобы в случае аварии разлив нефти аварии был минимальным. Помимо этого, линейные задвижки находятся на выходе из НПС и на входе в них, на обоих берегах пересекаемых трубопроводом водоемов, по обеим сторонам переходов под автомобильными и железными дорогами.

Станции катодной защиты располагаются вдоль трассы трубопровода в соответствии с расчетом. Протекторная защита применяется в местах, где отсутствуют источники электроснабжения. Дренажные установки размещаются в местах воздействия на трубопровод блуждающих токов (линии электрифицированного транспорта, линии электропередач и др.).

При переходах через водные преграды трубопроводы, как правило, заглубляются ниже уровня дна. Для предотвращения всплытия на трубопроводах монтируют чугунные или железобетонные утяжелители (пригрузы) различной конструкции. Помимо основной нитки укладывают резервную нитку перехода того же диаметра. На пересечениях железных и крупных шоссе дорог трубопровод укладывают в патроне (кожухе) из труб, диаметр которых не менее, чем на 200 мм больше. При пересечении естественных и искусственных препятствий применяют также надземную прокладку трубопроводов (на опорах, либо за счет собственной жесткости трубы).

Вдоль трассы трубопровода проходят линии связи, линии электропередачи, а также грунтовые дороги. Линии связи, в основном, имеют диспетчерское назначение. Это очень ответственное сооружение, т.к. обеспечивает возможность оперативного управления согласованной работой перекачивающих станций на расстоянии нескольких сот километров. Прекращение работы связи, как правило, влечет за собой остановку перекачки по трубопроводу. Линии электропередач служат для электроснабжения перекачивающих станций, станций катодной защиты и дренажных установок. По вдольтрассовым дорогам перемещаются аварийно-восстановительные бригады, специалисты электрохимической защиты, обходчики и др. Вертолетные площадки предназначены для посадок вертолетов, осуществляющих патрулирование трассы трубопроводов.

На расстоянии 10-20 км друг от друга вдоль трассы размещены дома обходчиков. В обязанности обходчика входит наблюдение за исправностью своего участка трубопровода. Основными достоинствами трубопроводного транспорта являются:

- 1) возможность прокладки трубопровода в любом направлении и на любое расстояние - это кратчайший путь между начальным и конечным пунктами;
- 2) бесперебойность работы и соответственно гарантированное снабжение потребителей, независимо от погоды, времени года и суток;

- 3) наибольшая степень автоматизации;
- 4) высокая надежность и простота в эксплуатации;
- 5) разгрузка традиционных видов транспорта.

К недостаткам трубопроводного транспорта относятся:

- 1) большие первоначальные затраты на сооружение магистрального трубопровода, что делает целесообразным применение трубопроводов только при больших, стабильных грузопотоках;
- 2) определенные ограничения на количество сортов (типов, марок) энергоносителей, транспортируемых по одному трубопроводу;
- 3) "жесткость" трассы трубопровода, вследствие чего для организации снабжения энергоносителями новых потребителей нужны дополнительные капиталовложения.

1.5 Область применения различных видов транспорта и смешанные транспортировки

Различные виды транспорта энергоносителей применяются как в чистом виде, так и в комбинации друг с другом. Нефть как в России, так и за рубежом, доставляют всеми видами транспорта (даже автомобильным на коротких расстояниях). Довольно часто конечный потребитель находится слишком далеко от мест добычи и транспортировки. В подобных случаях приходится передавать нефтяные грузы с одного вида транспорта на другой. Такой способ транспортировки называется смешанными перевозками.

Выделяют шесть основных схем доставки нефти:

- 1) использование только магистральных нефтепроводов;
- 2) использование только водного транспорта;
- 3) использование только железнодорожного транспорта
- 4) сочетание трубопроводного транспорта нефти с водным, либо железнодорожным
- 5) сочетание водного и железнодорожного транспорта друг с другом
- 6) сочетание водного, железнодорожного и автомобильного видов транспортировки

Большая часть транспортировки газа в России ведется путем передачи по трубопроводам и железным дорогам. Исключение составляют сжиженные гомологи метана (этан, пропан, бутаны), транспортируемые танкерами, а также в цистернах или баллонах.

Нефтепродукты с нефтеперерабатывающего завода могут перевозиться морем с помощью танкеров. Затем в устье реки их перекачивают в баржу, плывущую на головную станцию нефтепродуктопровода, по которому транспортируются на распределительные нефтебазы. Оттуда через железные дороги они будут

распределены по мелким нефтебазам, которые с помощью бензовозов переправят их конечным потребителям.



Рис 1. Пример смешанной транспортировки газа.

Глава 2. Определение экологического риска; виды рисков и методики расчета. Метод FMECA.

Экологический риск (R_s) рассматривают как произведение вероятности возникновения нежелательного события экологического характера и возможных ущербов от этого события. Понятие экологического риска в первую очередь обязано своему появлению антропогенному вмешательству в природную среду. Именно поэтому на всех этапах нефтегазового промышленности в первую очередь необходимо учитывать свойства и особенности локальных природных экосистем. Природные системы обладают свойствами саморегулирования: это означает, что живые организмы поглощают химические элементы среды обитания и возвращают эти же элементы в процессе существования и после непосредственно в ту же среду. Тем самым любой организм находится в непрерывном взаимодействии с экосистемой, в непрерывном круговороте энергии и химических элементов. Одним из самых опасных загрязнителей для экосистем и одной из

крупнейших современных угроз для экологических систем считается нефть. Нефть и нефтепродукты отличаются от прочих загрязнителей по масштабам распространения, количеству источников загрязнения и степени нагрузки на все компоненты природной среды. Кроме того, разливы нефти и нефтепродуктов не локализованы, в отличие например, от аварий связанных с добычей или транспортировкой каменного угля: нефтепродукты проникают вглубь почв и водоемов, растекаются по поверхности, испаряются в атмосферу, тем самым уничтожая баланс экосистем.

Согласно ГОСТ РВ 51987-200230 термин «риск» используется в тех случаях, когда есть потенциальная возможность негативных последствий. При этом применяются различные методы оценки рисков, такие как метод токсикологического риска, метод ФМЕА, метод анализа уровней защиты и т. д.

Для отражающей вероятности экологической катастрофы и нарушения существования экологических систем и объектов в пределах экологических норм в результате антропогенного вмешательства в природную среду расчет экологического риска может проводиться по формуле:

$$R_{\text{э}} = \frac{\Delta \text{Э}}{\text{Э}},$$

где;

- $\Delta \text{Э}$ — число антропогенных экологических катастроф и стихийных бедствий в единицу времени;
- Э — число потенциальных источников экологических разрушений на рассматриваемой территории.

Таблица 1. Источники и факторы экологического риска, связанные с нефтегазовой промышленностью

Источник экологического риска	Наиболее распространенные факторы экологического риска
Антропогенное вмешательство в природную среду	<p>Разрушение естественных ландшафтов при разведке месторождений, непосредственной добычи нефтепродуктов, строительстве нефтепроводов, и др.</p> <p>Образование искусственных водоемов, осушение болот, истребление лесных массивов и др.</p>
Негативное влияние на окружающую природную среду	<p>Загрязнение водоемов и атмосферного воздуха вредными веществами, изменение и загрязнение почвы, в том числе отходами при добыче или транспортировке нефтепродуктов, энергетическое загрязнение биосферы</p>

Взаимодействия в системе «человек — среда обитания» предполагают появление двух типов экологического риска:

- 1) риск загрязнения природной среды в результате плановой или аварийной деятельности промышленных объектов;
- 2) риск для здоровья человека, который определяет насколько вероятно причинение вреда здоровью людей вследствие загрязнения окружающей среды.

Анализ и прогноз негативных изменений качества окружающей среды в результате антропогенных воздействий учитывает не только вероятность этого события, но и его возможные последствия. Для предотвращения экологических рисков, связанных с нефтегазовыми транспортировками и планированием новых месторождений и транспортных маршрутов, в большинстве случаев рассматривают группу рисков в течение определенного периода (чаще всего года)

Информационной основой для оценки экологических рисков являются информация о различных процессах и явлениях, результаты мониторинга экологической обстановки, данные оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), экологической экспертизы и аудита, экологической и санитарно-гигиенической паспортизации, государственного учета и регистрации.

В рамках экологических рисков рассматриваются опасности, возникающие при взаимодействии экономических объектов и сосуществующих с ними экосистем. Крупные экономические объекты, пересекающие значительные территории, требующие изменения ландшафтов при строительстве и влияющие на него в процессе эксплуатации, существенно нарушают сложившиеся экосистемы. Обычным следствием появления таких объектов в контексте нефтегазовой отрасли оказываются разливы нефти, опустынивания земель вдоль нефтепроводов, отравленные поверхностные воды в местах нефтяных скважин, загрязнение воздуха на больших территориях и др.

Категория	Характеристика аварии	Частота аварий, ед./год	Описание
1	Практически невозможная	$< 10^{-6}$	Событие такого типа почти никогда не случалось, но не исключается
2	Редкая	$10^{-6} \div 10^{-4}$	Такие события случались в мировом масштабе, но всего несколько раз
3	Маловероятная	$10^{-4} \div 10^{-2}$	Такая авария происходит, но маловероятна в течение срока реализации проекта
4	Вероятная	$10^{-2} \div 1$	Возможно, что такая авария случится в течение срока реализации проекта
5	Практически неизбежная	> 1	Может случиться в среднем чаще чем раз в год

Явления негативных воздействий нефтегазовой индустрии на природную среду и человека имеют масштабный характер, который связан как с большим количеством непосредственных месторождений, так и с обширной логистической сетью нефтегазовых транспортировок на каждом из континентов Земли. Классификация факторов экологической опасности позволяет выявлять всю совокупность причин, которые непосредственно влияют или могут вызвать негативные изменения в параметрах качества компонентов окружающей среды. Классификация факторов экологической опасности позволяет устанавливать как вероятность появления экологических рисков и оценивать степень их тяжести.

В нефтегазовой отрасли оценку общего экологического ущерба определяют как сумму рисков от различных видов вредного воздействия для объектов окружающей природной среды, учитывая все компоненты общей картины экологических рисков

$$R_{\text{экол}} = R_a + R_g + R_n + R_b + \dots$$

где:

- R_a - риск загрязнений атмосферы;
- R_g - риск загрязнений водных ресурсов;
- R_n - риск загрязнений почвы;
- R_b - риск уничтожения биологических (в т.ч. лесных) ресурсов;

При рассмотрении экологических сторон последствий тяжелых аварий или катастроф целесообразно оперировать понятиями полного, косвенного и прямого ущербов. Прямой экологический ущерб обусловлен негативным воздействием на почву, растительный и животный мир, водоемы, атмосферу, а его оценки связаны с негативным влиянием на нынешнее поколение людей. Косвенный экологический ущерб имеет глобальный масштаб, например, нарушение климатического баланса, ухудшение качества природных ресурсов, гибель и уменьшение численности зверей и птиц. Он следует из негативного влияния на жизнедеятельность будущих поколений людей.

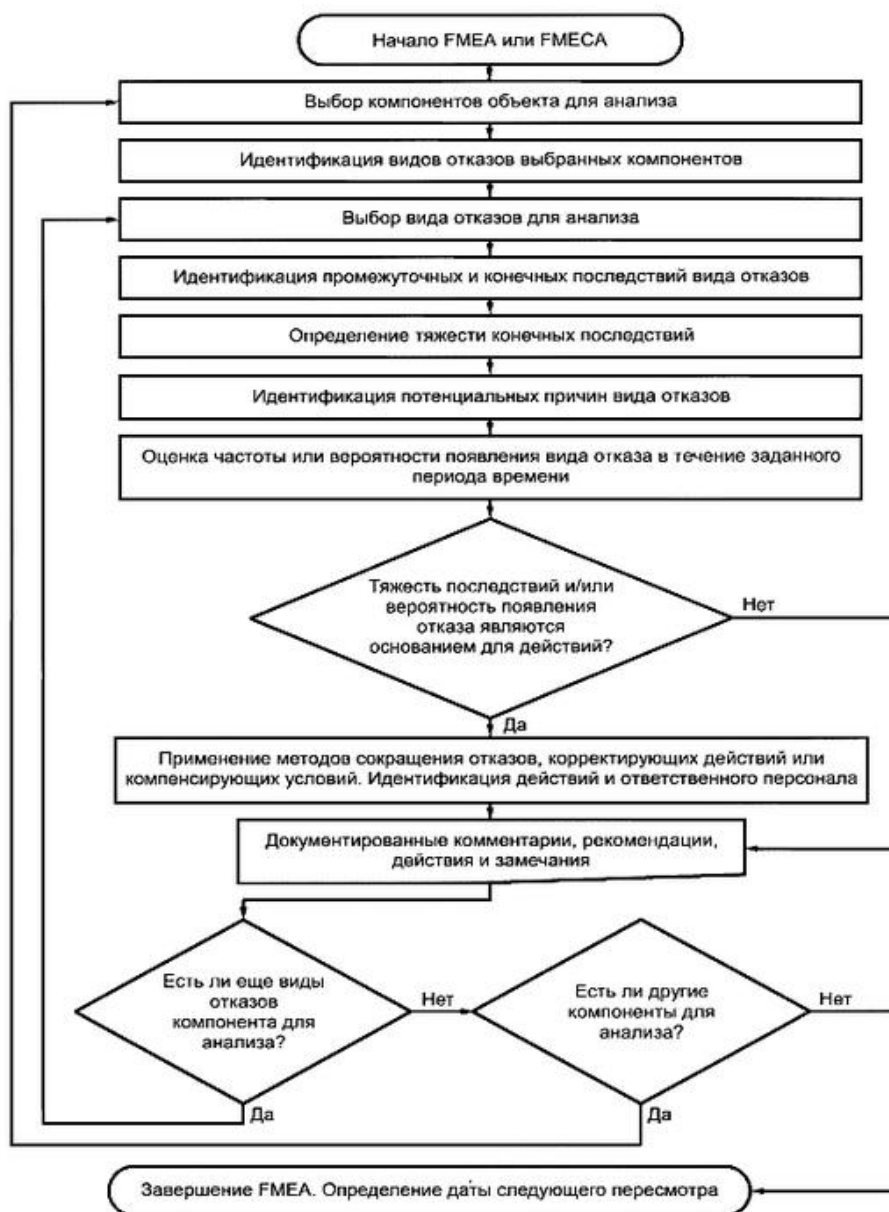
Применяемые в настоящее время методики оценки последствий загрязнения окружающей среды, в основном ориентированы на экологическое воздействие нормально (т.е. с небольшими отклонениями) функционирующих промышленных и других объектов на природу и население. Методы и модели влияния аварий и связанных с ними выбросов значительно больших количеств вредных веществ и более интенсивными воздействиями других факторов менее разработаны. Вместе с тем есть основания полагать, что последствия крупных аварий могут значительно отличаться от последствий не столь интенсивных, пусть даже постоянных, воздействий, что не позволяет обоснованно использовать накопленную медицинскую статистику и результаты экологического мониторинга.

Метод FMECA (Failure Mode and Effects Analysis). Метод числа приоритетов риска RPN.

Для оценки риска используется множество методик, одна из самых распространенных для оценки техногенных рисков для сложных систем и процессов — FMECA (Failure Mode and Effects Analysis) или метод анализа видов и последствий отказов. В РФ эта методика оценки риска относится к Национальному Стандарту Российской Федерации по Менеджменту риска ГОСТ Р 51901.12-2007.

FMECA — это функциональный подход к оценке рисков сложных систем и процессов. Модель представляет собой цепочку вероятностных элементов, которые связаны между собой следующим образом: последствия отказа, характер отказа и причины/механизмы. В контексте оценки экологических рисков в последствия или механизмы отказа могут быть заложены неизбежные риски, например, допустимые значения эмиссий. Последствием отказа оборудования, например, очистительного фильтра на танкера или газовозе в этом случае будет превышение допустимых значений эмиссий. Каждому виду отказа присваивается вероятность, а каждой причине присваивается частота отказов. В настоящее время с базами данных FMECA работают специализированные программы для анализа Больших данных — например, Maintenance Aware Design (MADe). Эти программы позволяют анализировать большие массивы вводных статистических данных и последствий отказов, моделируя потенциальные варианты развития событий, связанных с анализируемыми рисками.

Вероятность зависит от исходных статистических данных об отказах, используемых в FMECA. FMECA анализирует риск, который измеряется критичностью (сочетание серьезности и вероятности), чтобы принять меры и, таким образом, предоставить возможность уменьшить вероятность отказа. FMECA и анализ видов и последствий отказов (FMEA) являются тесно связанными инструментами. Каждый инструмент предназначен для выявления режимов отказа, которые потенциально могут привести к отказу продукта или процесса. Измеренная критичность представляет собой пересечение ранжирования серьезности и вероятности причины. FMECA — это индуктивный метод, при котором влияние отказа каждого компонента на безопасность системы оценивается независимо. В этой работе анализ работы FMECA реализован с помощью интерфейса MADe. Критичность отказов обуславливается приоритетом риска RPN.



На основе разработанной функциональной модели и диаграмм отказов проводится процесс внедрения отказа. В соответствии с этим для каждого компонента назначается конкретный вид отказа (например, низкая температура природного газа на выходе из испарителя), а затем на основе разработанной функциональной модели формируется модель распространения соответствующих отказов по всей системе. Метод числа приоритетов риска (RPN) используется для ранжирования режимов отказа компонентов.

Глава 3 . Виды экологических рисков при различных методах транспортировки.

Нефтяные углеводороды и их продукты распада способны загрязнять все природные среды, перемещаться из почвы в воду, атмосферный воздух, а также накапливаться в мясе рыб или сельскохозяйственных животных, употребляемых в пищу человеком. Нефтегазовые перевозки неизбежно приводят к выбросам в атмосферу, которые возникают как следствие сжигания, сброса и продувки газов, как следствие работы двигателей внутреннего сгорания и газовых турбин, а также в виде газов от погрузочных операций, заполнения и опустошения цистерн, и в виде взвешенных частиц, образующихся в результате движения транспортных средств, и потерь или отказов технологического оборудования. К основным выбрасываемым газам относятся углекислый газ, окись углерода, метан, летучие органические углерода и оксиды азота, диоксид серы и водорода. Объемы выбросов в атмосферу и их мощность циальное воздействие зависит от характера протекающего процесса.

Основные потоки водных отходов, образующихся в результате нефтегазовых операций: это подтоварная вода, техническая, промывная и дренажная вода, разливы и утечки, а также охлаждающая вода. Объемы водных загрязнителей неравномерны для разных видов транспортировки, однако они свойственны не только лишь водным транспортировкам. Нефть и нефтепродукты могут содержать кислоты, соли, щелочи, метанол, фенолы, ацетон, графит, тяжелые металлы и многое другое. Дополнительная опасность сложного состава нефтепродуктов для человека заключается в комбинированном воздействии множества элементов на организм.

Возможное содержание некоторых элементов в образцах сырой нефти (мг/л)

Элемент	Концентрация	Гигиенический норматив	Элемент	Концентрация	Гигиенический норматив
Литий	0,074	0,03	Мышьяк	1,3	0,05
Бериллий	0,017	0,0002	Селен	< ПО	0,01
Бор	0,436	0,5	Бром	0,762	0,2
Натрий	1366,82	200,0	Рубидий	0,105	0,1
Алюминий	63,33	0,5	Стронций	2,5	7,0
Кремний	114,44	10,0	Ниобий	< ПО	0,01
Фосфор	21,27	0,0001	Молибден	1,55	0,25
Титан	0,292	0,1	Серебро	0,026	0,05
Ванадий	0,292	0,1	Кадмий	0,019	0,001
Хром	15,44	0,05	Сурьма	0,037	0,05
Марганец	5,82	0,1	Теллур	< ПО	0,01
Железо	160,65	0,3	Барий	45,76	0,1
Кобальт	0,155	0,1	Ртуть	0,014	0,0005
Никель	0,474	0,1	Таллий	0,0021	0,0001
Медь	2,01	1,0	Свинец	149,48	0,03
Цинк	7,62	1,0	Висмут	0,0028	0,1

Выбросы в атмосферу, загрязнение вод и земель можно отнести к категории неизбежных рисков, и задача экологического мониторинга сводится к тому, чтобы максимально сокращать эти параметры посредством более современных норм контроля качества перевозок. Другой вид экологических рисков при транспортировке нефти и газа — аварии, которые в большинстве случаев сводятся к человеческому фактору и/или отказам технического оборудования. Если некоторые выбросы в атмосферу, скажем при транспортировке нефтепродуктов посредством морских танкеров, будут неизбежны, и их можно сократить, то аварии, связанные, например с разливами нефтепродуктов должны быть неприемлемы и методы экологического мониторинга должны быть направлены на сведение к нулю числа аварий и чрезвычайных происшествий.

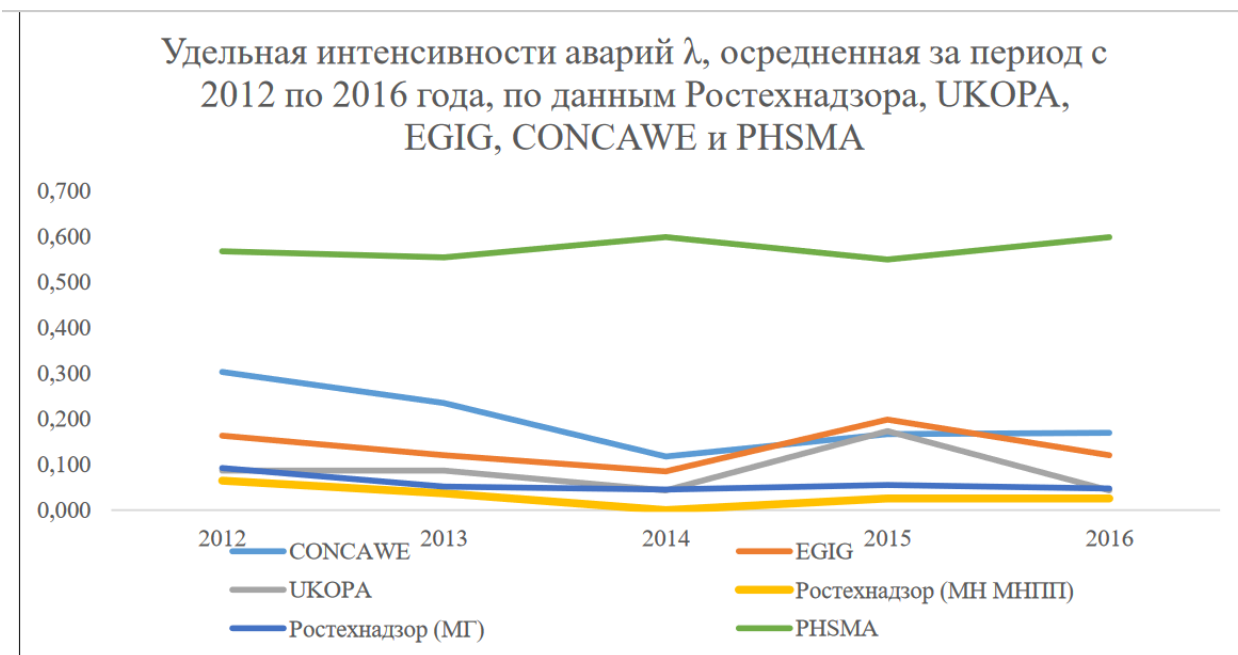


Рис 1. Интенсивность аварий по всем видам нефтегазовых перевозок согласно различным источникам.

Экологические риски при транспортировках неоднородны — они зависят не только от особенностей экосистем, в которых происходит транспортировка, и от особенностей транспорта, посредством которого осуществляется перевозка, но и от методов и систем экологического мониторинга и контроля, которые различаются для разных типов перевозки. Анализируя методы контроля и уменьшения неизбежных рисков, возникающих при разных видах транспортировки нефтепродуктов можно выявить общую методологию и подход, позволяющие уменьшить экологические риски транспортировки нефти и газа в целом, что особенно актуально в контексте смешанных перевозок нефти и газа.

3.1 Экологические риски при транспортировках нефти и газа железнодорожным методом.

Железнодорожный транспорт занимает третье место по объему перевозок нефти и нефтепродуктов из России. В товарной структуре железнодорожных грузовых перевозок на нефть и нефтепродукты приходится 16%. В структуре общего объема перевозок нефтяных грузов железнодорожным транспортом сырая нефть в настоящее время занимает 19,4%, нефтепродукты — 69,8%, сжиженные углеводородные энергетические газы — 10,8%. Этот способ

транспортировки является одним из наиболее экологически опасных по данным Межведомственной комиссии по экологической безопасности России. Согласно статистике, более чем 30% от общего числа аварийных ситуаций на железнодорожных путях связано с разливами нефтепродуктов.

Основополагающими документами являются: Федеральный закон "О железнодорожном транспорте в Российской Федерации", Федеральный закон "О транспортной безопасности", Федеральный закон «О техническом регулировании». 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». Развитие мер по совершенствованию системы безопасности на железнодорожном транспорте предусматривает Стратегия развития РЖД до 2030 года, в которой, в частности, определены задачи: модернизация и ведение баз данных по оценке уязвимости категорированных объектов; паспортизация категорированных объектов; эксплуатация, техническая поддержка и модернизация единой государственной информационной системы обеспечения транспортной безопасности в части железнодорожного транспорта; оснащение объектов железнодорожного транспорта техническими средствами защиты.

Подход и 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».

Вопросы обеспечения безопасности населения и территорий при осуществлении деятельности с нефтью и нефтепродуктами регулируются постановлениями Правительства РФ «О неотложных мерах по предупреждению и ликвидации аварийных разливов нефти и нефтепродуктов» и «О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации»

Основными причинами возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на ЖДТ России 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 от крупных населенных пунктов и охраняемых природных территорий. Географической особенностью расположения железной сети на территории РФ является сопряжение железнодорожных линий с многочисленными водными

объектами, охраняемыми природными территориями и расположением вблизи населенных пунктов, что существенно повышает риски ЧС.

Распределение типов чрезвычайных событий согласно статистике РЖД за 2015 год.

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

Одним из определяющих факторов, влияющих на выбор решений, является оценка общего состояния окружающей среды. Экологические условия на территории РФ неоднородны — в первую очередь это связано с огромными территориями страны, которые включают в себя экосистемы с арктическим, субарктическим, умеренным и субтропическим климатом. 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 можно видеть хотя бы на примере климата. Особенно актуальным является вопрос сохранения окружающей природной среды в Дальневосточном регионе, где любое антропогенное 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.

При транспортировке, а так же при различных утечках и не соблюдении правил техники безопасности происходит загрязнение почв и, как следствие, всей окружающей природной среды. Экологические последствия поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в природную среду сводятся к следующему:

- изменение свойств почв и почвенного покрова,
- загрязнение поверхностных и почвенно-грунтовых вод
- деградация и трансформация растительного покрова,
- деградация ландшафтов.

Разливы нефти могут возникать практически повсюду на этапах хранения и транспортировки нефти. 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.

В свою очередь необходимо учитывать, что нефть, как загрязняющее вещество, представляет собой сложную смесь из около 1000 разнообразных веществ, большая часть из которых - 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 растворенные 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.

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.

Нормы естественной убыли нефтепродуктов.

Группа нефтепродуктов	Нормы естественной убыли нефтепродуктов для всех климатических зон и во всех периодах года
1, 2	0,210 (0,021)
3, 4	0,140 (0,014)
5	0,070 (0,007)
6	0,100 (0,010)

3.2 Экологические риски при транспортировках нефти и газа автомобильным методом.

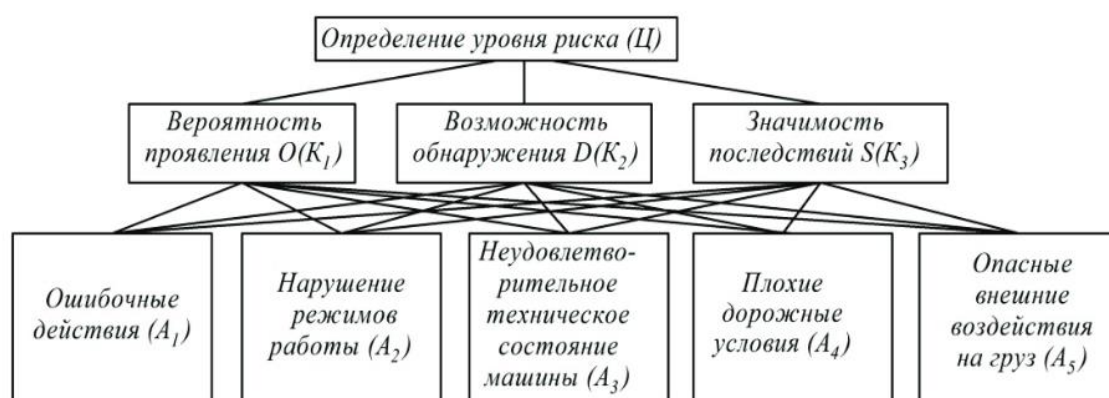
Несмотря на то, что доля автомобильных перевозок от общего числа транспортировок считается сравнительно небольшой (не превышает 10 %), автомобильные перевозки нефтепродуктов в первую очередь несут повышенную долю опасности для населения, так как автоцистерны с нефтепродуктами перемещаются в условиях крупных населенных пунктов и трасс — то есть в именно в тех местах, где сосредоточено большое количество людей, в отличие от, например, объектов газо- и нефтепроводов, располагающихся на удалении от населенных пунктов. Согласно данным статистики МВД РФ, ежегодно в Российской Федерации происходит несколько десятков аварий, связанных с участием автотранспорта, занимающегося перевозкой нефтепродуктов. Несмотря на то, что это число кажется небольшим в масштабах общего числа автоперевозок, согласно той же статистике почти половина аварий, связанных с автотранспортом, перевозящим нефтепродукты, приводит к возгораниям и взрывам.

Важное отличие экологических рисков, связанных с автомобильными перевозками нефтепродуктов — незначительно число эмиссий, в сравнении с морскими и железнодорожными перевозками. Это обуславливается в первую очередь небольшими расстояниями, на которые осуществляются нефтегазовые автомобильные перевозки. Атмосферные выбросы при перевозках нефти и газа не отличаются от автомобильных перевозках других типов грузов, и обуславливаются в первую очередь процессом сжигания топлива в автомобильных двигателях, результатом чего является:

- загрязнение почвы и воды вблизи от оживленных магистралей в результате активного движения транспорта по автомобильным путям
- неизбежное попадание в окружающую среду инородной пыли и химических веществ, которое может превышать установленные нормы из-за недостаточных мер по контролю технически исправному состоянию автомобилей
- загрязнение атмосферы продуктами сгорания топлива

- физическое воздействие на окружающую среду: (вибрации, повышенный уровень шума, электромагнитное излучение, тепловое загрязнение)

Это означает, что для повышения эффективности уменьшения экологических рисков при автомобильных нефтегазовых транспортировках в первую очередь необходимо сосредоточиться на исследованиях и анализе вероятностей возникновения аварийных событий. Наибольшую эффективность можно добиться рассматривая картину рисков автомобильных перевозок в виде процесса, модель которого приведена на рисунке:



Для уменьшения рисков автомобильных перевозок нефтепродуктов существует специальный регламент, который устанавливает правила перевозки опасных грузов. Продукты нефтепереработки являются высоко токсичными, взрывоопасными и огнеопасным, а транспортировка нефтепродуктов относится к категории доставки опасных грузов.

Работы с нефтепродуктами требуют от перевозчика накладную, к которой прикладывают санитарные, таможенные и карантинные документы. Все перевозки нефти и нефтепродуктов на территории РФ посредством автоцистерн регламентируются:

- Европейским соглашением ADR/ДОПОГ;
- Постановлением Правительства РФ;
- Нормами ГОСТов;

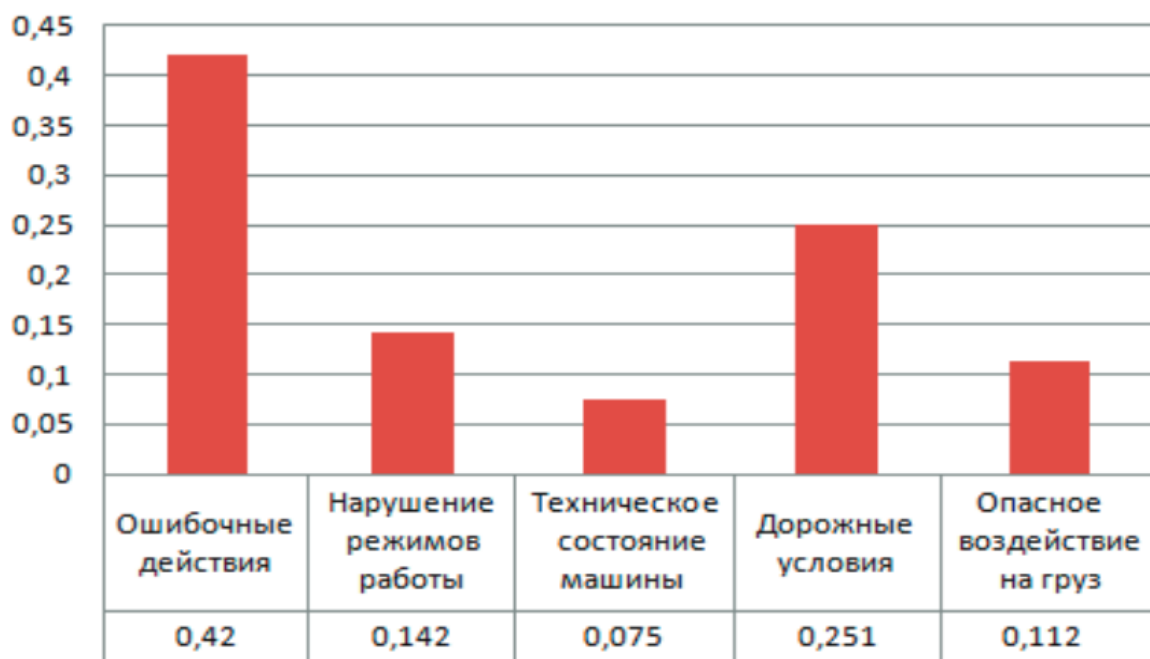


Рис 1. Причины возникновения аварий при автомобильных перевозках нефтепродуктов согласно МВД РФ 05.02.22

Для уменьшения рисков при перевозке нефтепродуктов к автомобильному транспорту на территории РФ применяются следующие требования:

1. Машины должны соответствовать требованиям правил пожарной безопасности.
2. Сечение жил проводки обязательно должно иметь хорошую токопроводимость, причем нагрев машины недопустим.
3. Номинальное напряжение электрического оборудования – не более 24 В.
4. В случае если перевозятся нефтепродукты 3-го класса опасности, в машине должны присутствовать приборы дистанционного управления электроцепями от батареи. Прибор устанавливается в кабине и снаружи машины.
5. Обязательна надпись на грузовике «Огнеопасно».
6. Наличие средств пожаротушения также обязательно.

Очень большое внимание уделяется маршруту следования, важно, чтобы бензовоз как можно меньше двигался по густонаселенным городам, заповедникам и местам для отдыха. Кроме того, желательно исключить с пути школы и детские сады, а также больницы и трассы с интенсивным движением. На дороге автомобиль должен предупреждать других водителей о приближении опасного груза.

К емкостям для перевозки нефтепродуктов автомобильным транспортом также выдвигается множество требований:

1. Перед использованием емкости тщательно моют и сушат. Не допускается смешивание различных типов нефтепродуктов
2. Чтобы избежать воздействия электричества на топливо, автомобильные цистерны заземляются.
3. Все емкости маркируются согласно типу опасных веществ.
4. Цистерны окрашивают в яркие, преимущественно оранжевые и красные цвета, что делает их заметными на дороге.

3.3 Экологические риски при транспортировках нефти и газа методом нефтегазопроводов.

Самым дешевым и потенциально наиболее экологически безопасным способом транспортировки нефти являются нефтепроводы. Однако, транспортировка товарной нефти из районов ее добычи до потребителей по системе магистральных нефтепроводов связана с неизбежной ее потерей как в результате прохождения через резервуарный парк, так и в результате ее хранения в этом парке. Потери товарной нефти на объектах транспорта и хранения сопровождаются уменьшением ее первоначального количества, а также ухудшением ее физико-химических свойств и загрязнением окружающей среды (воздушного бассейна).

К загрязнению воздушного бассейна приводит испарение нефти. Потери от испарений при эксплуатации резервуарных парков обуславливаются свойством нефти улетучиваться с открытой поверхности. Выбросы углеводородов в атмосферу могут быть связаны с так называемыми «малыми» дыханиями резервуаров, которые происходят вследствие циклических колебаний температуры и давления в газовом пространстве резервуаров, вызываемых суточным действием солнечной радиации на стенки и кровлю резервуаров.

Однако основная часть выбросов углеводородов в атмосферу из резервуарных парков связана с «большими» дыханиями резервуаров, которые происходят при опорожнении и заполнении резервуаров товарной нефтью. «Большие» и «малые» дыхания характерны для герметичных резервуаров, рассчитанных на работу под давлением. Так называемый «выдох» начинается тогда, когда давление в газовом пространстве резервуара становится равным давлению, при котором открывается дыхательный клапан.

В ряде случаев аварийные выбросы нефти и газа на сухопутных магистральных трубопроводах, когда они происходят при пересечении или вблизи крупных рек, опасны и для прибрежных морских экосистем, поскольку любое загрязнение речных вод рано или поздно сказывается на состоянии приустьевой зоны. Одним из основных источников воздействия на морскую среду при строительстве подводного трубопровода являются земляные работы при проходке траншеи и подходных каналов, заглоблении и засыпке трубопроводов и дамплинге грунта, сопровождающиеся: повышением содержания в воде взвеси, образованной мелкими фракциями донных отложений; изменением гидрохимического режима морской воды при высвобождении загрязняющих веществ из донных осадков во время проведения земляных работ. В результате транспортировки углеводородов подводным трубопроводом происходит нагрев и охлаждение придонных вод в зоне трубопровода, что отражается на подводных экосистемах.

В настоящее время, по оценкам специалистов Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС), аварийность на трубопроводах с каждым годом возрастает. Интенсивная нагрузка магистральных нефтепроводов, перемещающих ежегодно с 80-х годов 20 века более 500 млн. т нефти, привела к тому, что их основная часть сильно изношена и требует значительной реконструкции. Без этого в предстоящие годы вероятны аварии с большим экологическим ущербом и крупными материальными потерями. Магистральные трубопроводы — одно из немногих сооружений, которые испытываются без полного воспроизведения эксплуатационных нагрузок. Несовершенство технологии строительства приводит к снижению качества строительно-монтажных работ, возникновению различных дефектов в металле стенки труб и снижению безопасности эксплуатации газопроводов. Длительные сроки эксплуатации газопроводов и непрерывно изменяющиеся параметры перекачки способствуют увеличению количества механических и развитию усталостных повреждений в металле труб, которые в свою очередь могут привести к авариям.

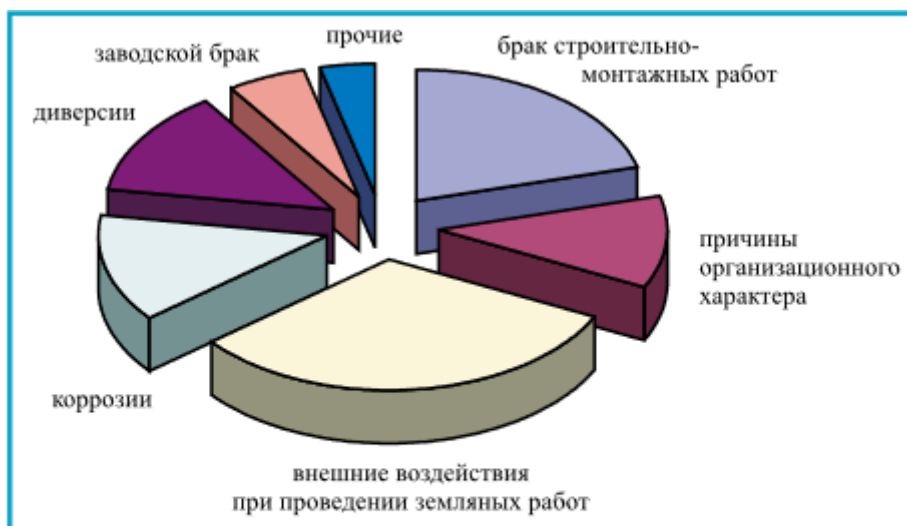


Рис. 1. Причины аварии на магистральных трубопроводах по данным Госгортехнадзора

В процессах добычи, подготовки, переработки и транспортировки ежегодно теряется от 1,0 до 16,5% нефти и продуктов ее переработки. При этом в атмосферу поступает около 65% углеводородного загрязнения, в воду — 20%, в почву — 15%. Загрязнение территории нефтью, минерализованными водами и химическими реагентами занимает ведущее место по масштабам воздействия на биогеоценозы среди всех антропогенных факторов, сопутствующих нефтедобыче: на его долю приходится 42,3% всех нарушенных земель.

Формально возможное вредное воздействие на окружающую среду при эксплуатации месторождений и транспортировке углеводородного сырья сведено к минимуму. Однако практика показывает, что негативные изменения в окружающей среде продолжают накапливаться и проявляться. При этом избежать аварийных ситуаций полностью не удастся. Наибольшее число аварий на предприятиях нефтегазодобывающей отрасли происходит на внутри- и межпромысловых трубопроводах. Аварией на трубопроводе может являться нарушение его герметичности с выходом содержимого в окружающее пространство. Нарушение герметичности трубопровода проявляется в виде: свищей, трещин, разрывов тела трубы, повреждения запорной арматуры. Ежегодно при авариях на нефтепроводах разливается несколько миллионов тонн нефти. Только на месторождениях Западной Сибири происходит до 35 тысяч порывов в год. Так как по имеющимся опубликованным литературным данным сделать точный вывод об объемах разливаемой нефти и нефтепродуктов невозможно, приблизительные объемы разливов жидких углеводородов можно считать по загрязненности нефтепродуктами рек. По данным международной природоохранной некоммерческой организации Greenpeace, в 2010 г. вынос нефтепродуктов

рекой Обь 135 тысяч тонн. Таким образом, в Карское море попадает большое количество углеводородов, в том числе наиболее токсичные – быстрорастворимые: бензол, нафталин и их производные. Общий объем выносимых нефтепродуктов в Северный Ледовитый океан с территории России составляет 500 тысяч тонн. Безусловно, такой количественный и качественный состав углеводородов, оказывающихся в окружающей среде, наносят колоссальный удар по экологической обстановке в регионе. Добыча, транспортировка и переработка углеводородного сырья являются основным фактором загрязнения окружающей среды в стране. Чтобы уменьшить влияние нефтегазового комплекса на экологические системы регионов добычи и транспорта нефти и газа, необходимо обеспечить контроль за появлением новых разливов нефти на поверхности водоемов или земель, своевременно проводить диагностику промысловых и магистральных трубопроводов, выполнять точно в срок техническое обслуживание и ремонт нефтегазопроводов, а также применять современные методы и технику для ликвидации аварий. Аварии на газонефтепроводах несут не только экологические, но и экономические последствия. Так как нефть и газ являются основой экономики России, то для успешного развития страны необходимо, чтобы весь путь нефти и газа от скважины до потребителя был наиболее выгодным, безопасным и экологичным.

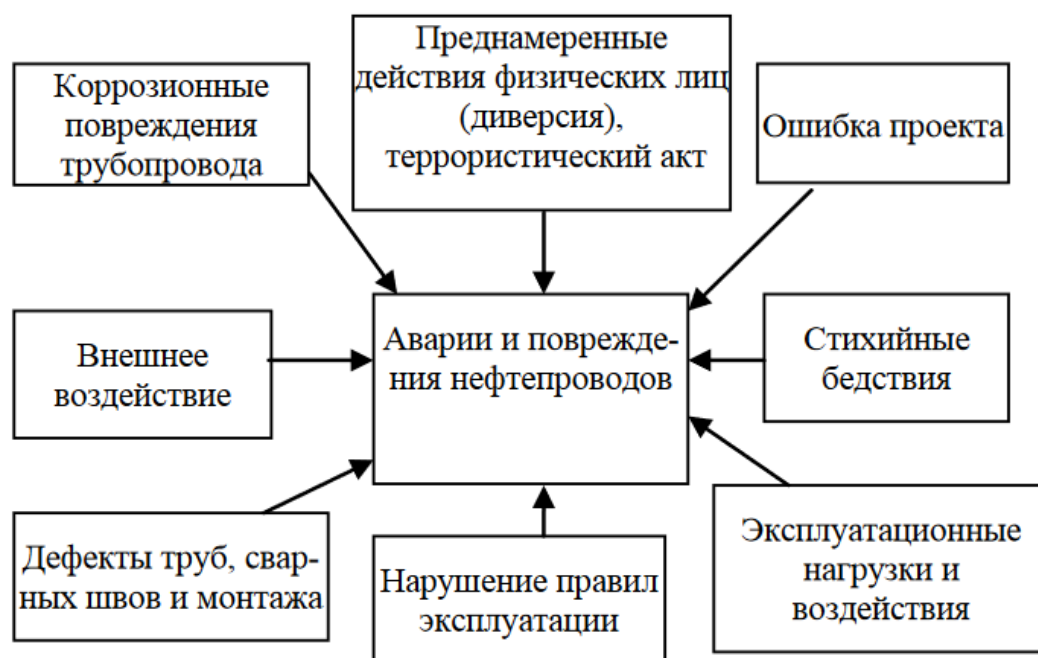


Рис. 2. Классификация причин аварий и повреждений на нефтепроводах (Гумеров и др., 1998)

При авариях на нефтепроводе происходит выброс под давлением опасных химических и пожароопасных и взрывоопасных веществ, приводящий к возникновению чрезвычайной техногенной ситуации — загрязнению воздуха, вод, почвы, повреждению или гибели представителей растительного и животного мира, людей в месте нанесения вреда и его проявления. Значительная часть разлитой нефти с паводковыми и ливневыми водами скатывается в водотоки, загрязняя воду нефтепродуктами. Попавшая в водоемы нефть, теряя легкие фракции вследствие выветривания, поступает на дно, где в условиях дефицита кислорода остается на длительное время, подвергаясь чрезвычайно медленному биоразложению. Таким образом, затонувшая и погребенная в насыпях грунта нефть становится постоянным источником загрязнения грунтовых вод и поверхностных водоемов.

Год	Число аварий				
	МТ	МГ	МН	МНПП	АП
2000	48	35	9	4	0
2001	52	38	11	3	0
2002	42	34	7	1	0
2003	52	33	18	1	0
2004	48	29	19	0	0
2005	35	19	13	3	0
2006	40	21	18	1	0
2007	29	16	11	2	0
2008	25	20	5	0	0
2009	28	16	9	2	1
2010	13	9	2	2	0
2011	17	14	2	1	0
2012	21	16	5	0	0
2013	12	9	2	1	0
2014	6	6	0	0	0
2015	9	7	1	1	1
2016	11	9	1	1	0
2017	6	5	1	0	0
Итого за 2000–2017 гг.	494	336	134	23	2

Примечание: МТ – магистральный трубопровод; МГ – магистральный газопровод; МН – магистральный нефтепровод; МНПП – магистральный нефтепродуктопровод; АП – аммиакопровод.

Рис. 1. Статистика аварий на трубопроводах РФ по данным Ростехнадзора за 2000-2017 гг.

За последние годы число аварий значительно снизилось, это можно увидеть по статистике, приведенной выше, по рассчитанной удельной частоте аварий на основе анализа открытых данных Ростехнадзора. Но, как показывают

данные Службы государственной статистики, основными причинами возникновения аварий за последние 10 лет являются:

- воздействие опасных внешних факторов, связанных с механическим повреждением нефтепровода вследствие нарушений при сооружении;
- воздействие внутренних опасных факторов, связанных с физическим износом, коррозией металла и растрескиванием тела трубы под напряжением;
- земляные работы в охранной зоне, проводимые механизированным способом;
- брак при строительстве/изготовлении.

3.4 Экологические риски при транспортировках нефти и газа методом морских перевозок.

Морские транспортировки нефтепродуктов посредством танкеров и газовозов занимают лидирующую позицию в общей схеме мировых перевозок нефтепродуктов. На сегодня именно раздел мировых транспортировок является наиболее проработанным с точки зрения экологических рисков видом транспорта для перевозки потенциально опасных веществ.

Работы по добыче и транспортировке углеводородного сырья в прибрежной зоне и на шельфе резко повышают риски загрязнения водной среды в этих районах, прежде всего за счет аварийного или преднамеренного сброса добываемых или транспортируемых продуктов, а также горючесмазочных материалов с буровых установок, судов и обслуживающих механизмов, стоков с очистных сооружений и бытовых отходов. Транспорт нефти танкерами, как показывает статистика, имеет несколько меньший уровень опасности, по сравнению с перекачкой по подводным трубопроводам.

Анализ данных ИТОРФ по аварийным разливам с 1974 по 2017 год показывает, что основные проблемы с нарушением безопасности и разливы происходят при выполнении погрузочно-разгрузочных и бункеровочных операций у терминалов.

.

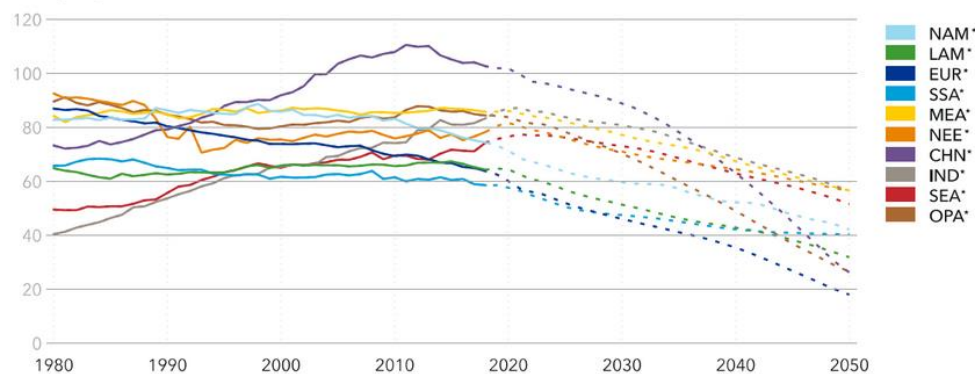
Значительные разливы дают аварийные ситуации, включающие столкновения и посадку на мель (20% — более 700 тонн). Наиболее опасны с точки зрения разливов пожары и взрывы, но частота их возникновения не превосходит 1%.

Основные экологические риски при транспортировке нефтепродуктов в результате их транспортировки заключаются в воздействиях на морскую среду посредством выхлопных газов судовыми двигателями, эмиссий перевозимых нефтепродуктов, сброса судовых отходов, балластных вод и последствиями аварий. Оценка рисков имеет очень большое значение при организации работы танкерного флота.

FIGURE 0.2

Emission intensity of final energy demand by region

Units: gCO₂/MJ



*For more information about the world regions covered by our forecast, see Section 1.1

Статистика данных DNV GL по атмосферным выбросам при морских транспортировках в различных регионах.

Процесс оценки рисков имеет целью определить количественные характеристики: вероятность наступления неблагоприятных событий и возможный размер ущерба. Для морской транспортировки главным фактором является анализ статистических данных по неблагоприятным событиям, имевшим место в прошлом:

- Столкновения
- Посадки на мель
- Отказ оборудования
- Аварии при при грузовых операциях
- Пожары и взрывы
- Загрязнение воздушного бассейна выбросами от судовых двигателей;
- Шумовое загрязнение Мирового океана;
- Выгрузка грузов на необорудованный берег

Несмотря на множество нормативных международных актов, аварии продолжают оставаться неизбежным спутником танкерных операций и остаются одним из основных источников экологического риска .

По классификации ИТОРФ нефтяные разливы принято делить на три категории в зависимости от объемов утечки нефти:

- малые - менее 7 т,
- средние - от 7 до 700 т
- большие - более 700 т.

Кроме того существуют эксплуатационные аспекты эксплуатации флота (экологические аспекты ГОСТ Р 14001:2015) которые оказывают воздействие на окружающую среду. К ним прежде всего относятся выбросы в атмосферу сжигаемого топлива, выбросы углеводородов в газообразной фазе и инертных газов при погрузке/выгрузке и перевозке, а также эксплуатационные сбросы сточных и льяльных вод, сжигание мусора в судовых инсинераторах, прием и выгрузка заботной балластной воды. В настоящее время наибольшее внимание уделяется снижению выбросов в атмосферу за счет контроля за использованием топлива и снижения содержания серы в используемом топливе. С этой целью судовладельцы переходят на низкосернистые сорта топлива и устанавливают специальные очистительные скрубберы на системы выхлопных газов. Балластные воды также подлежат очистке через системы очистки балластных вод (BWTS)

Согласно данным Международной морской организации около половины всех катастроф с судами заканчивается затоплением судна, что неизбежно приводит к выбросу нефтепродуктов и загрязнению окружающей среды.

Количество разливов 7—700 т, 1970—2015 гг.

Масштаб аварии	Причины				
	погрузка/разгрузка	бункеровка	прочие операции	прочие/неизвестные причины	всего
7—700 т	393	32	178	761	1364

Количество разливов больше 700 т, 1970—2015 гг.

Масштаб аварии	Причины							
	на стоянке (внутренние воды)	на стоянке (открытое море)	на ходу (внутренние воды)	на ходу (открытое море)	погрузка/разгрузка	бункеровка	прочие/неизвестные причины	всего
> 700 т	16	9	81	229	42	1	81	459

Глава 4. Анализ экологических рисков транспортировки СПГ (Сжиженного природного газа) на СПГ Газовозах с помощью метода FMECA на интерфейсе MADe.

В этом исследовании использовалось программное обеспечение MADe, которое представляет собой передовой инженерный инструмент на основе моделей, поддерживающих анализ безопасности и критичности сложных систем. Основным преимуществом MADe является эффективная разработка функциональной модели системы, которая позволяет исследовать распространение отказа системы, тем самым поддерживая идентификацию критических компонентов системы и их конечных последствий отказа. Другим преимуществом MADe является возможность генерации или обновления результатов анализа безопасности на основе модели исследуемой системы намного быстрее, чем при использовании традиционных методов, что делает анализ безопасности современных сложных систем более эффективным. Кроме того, MADe в себя автоматизированную реализацию метода FMECA и анализ дерева отказов (FTA). Дополнительным преимуществом MADe является наличие библиотеки с различными режимами отказа компонентов, которая также поддерживает более строгий анализ безопасности. На основе описания системы типичные виды отказов компонентов системы идентифицируются непосредственно с помощью библиотек MADe с использованием стандартизированных концепций отказов.

Критичность отказов определяется согласно экологическим стандартам DNV GL FMEA/FMCA ERM ISO 31010:2009:

Критичность отказов:

A – требуются особые меры обеспечения безопасности или обязательный количественный анализ риска;

B – требуется принятие определенных мер безопасности или желателен количественный анализ риска;

C – принятие некоторых мер безопасности или рекомендуется проведение качественного анализа опасностей;

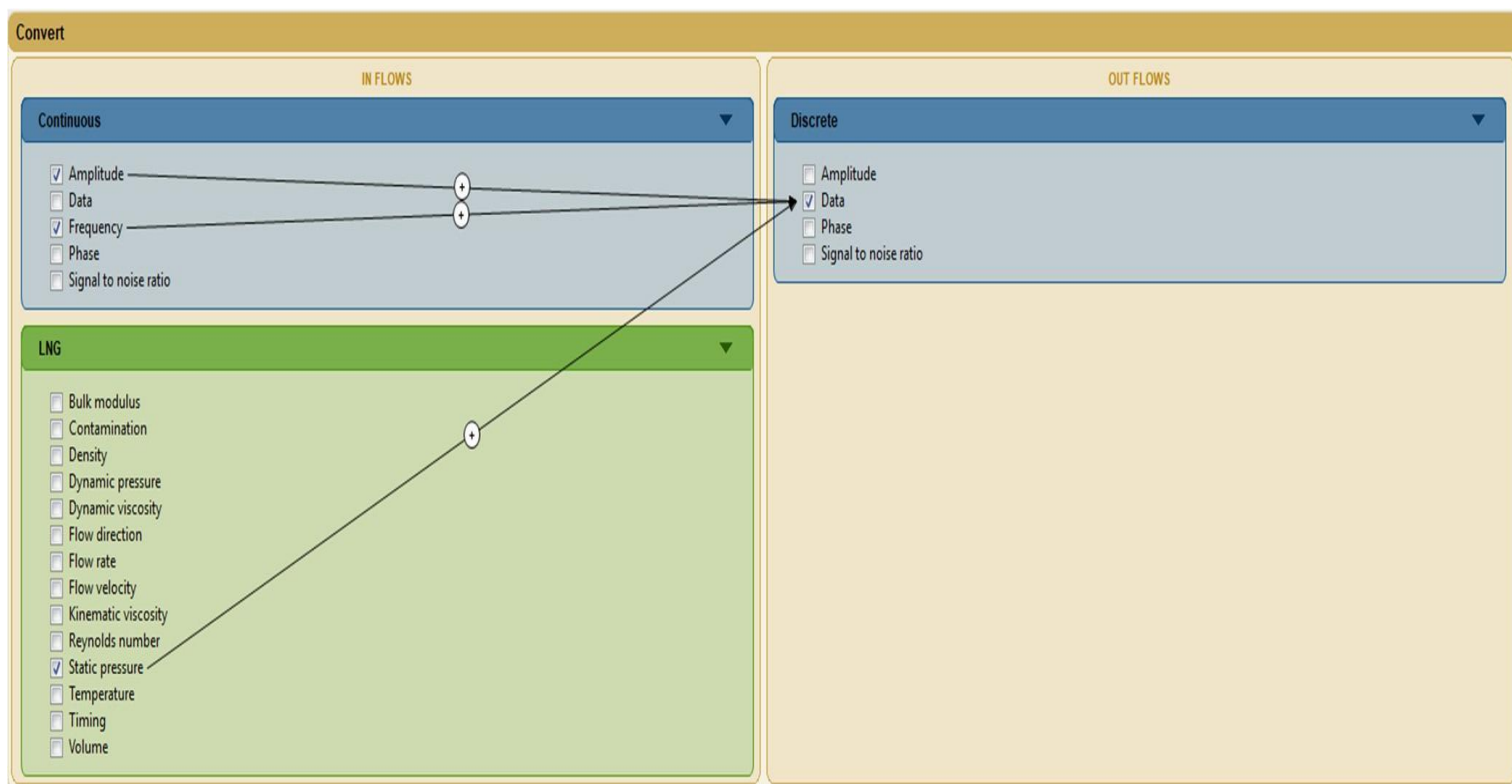
D – принятие и анализ специальных мер безопасности не требуется.

Критерии отказов по тяжести последствий:

- критический или некритический отказ – может угрожать либо не угрожать жизни людей, приводить либо же не приводит к весоному ущербу имуществу, а также природной окружающей среде;
- пренебрежимо малые последствия – отказ, может не относиться по виду своих последствий ни к одной из какой либо категории;
- отказ катастрофический – данный отказ, может привести к смерти людей, весоному ущербу имуществу, а также может нанести огромный ущерб окружающей природной среде;

Нормы критериев определяются экологическими стандартами DNV GL —CG-033.

Рис: Интерфейс анализа датчика давления в резервуаре СПГ MAdE:



Для анализа рисков при транспортировке СПГ в базу MAdE будут внесены следующие компоненты, отказы которых будут учитываться при общей оценке экологического риска:

Функциональность компонентов в модели.

№	Компонент	Функции
1	Резервуар СПГ	Хранение/подача СПГ
2	Регулятор давления	Преобразование СПГ, регулирование давления
3	Испаритель	Преобразование СПГ, регулирование давления
4	Водяной теплообменник	Регулирование подачи СПГ, увеличение расхода воды
5	Привод клапана природного газа	Преобразование амплитуды в механическую энергию
6	Блок управления газовым клапаном	Преобразование данных в амплитуду
7	Корпус клапана природного газа	Регулировка потока
8	Привод клапана СПГ	Преобразование амплитуды в механическую энергию
9	Блок управления клапаном СПГ	Преобразование данных в амплитуду
10	Корпус клапана СПГ	Регулировка потока
11	Датчики температуры и давления	Преобразование амплитуды в данные
12	Фильтр природного газа	Регулировать ПГ Подача, Дезактивация

Статистическая частота отказов была выбрана согласно статистике DNV GL:

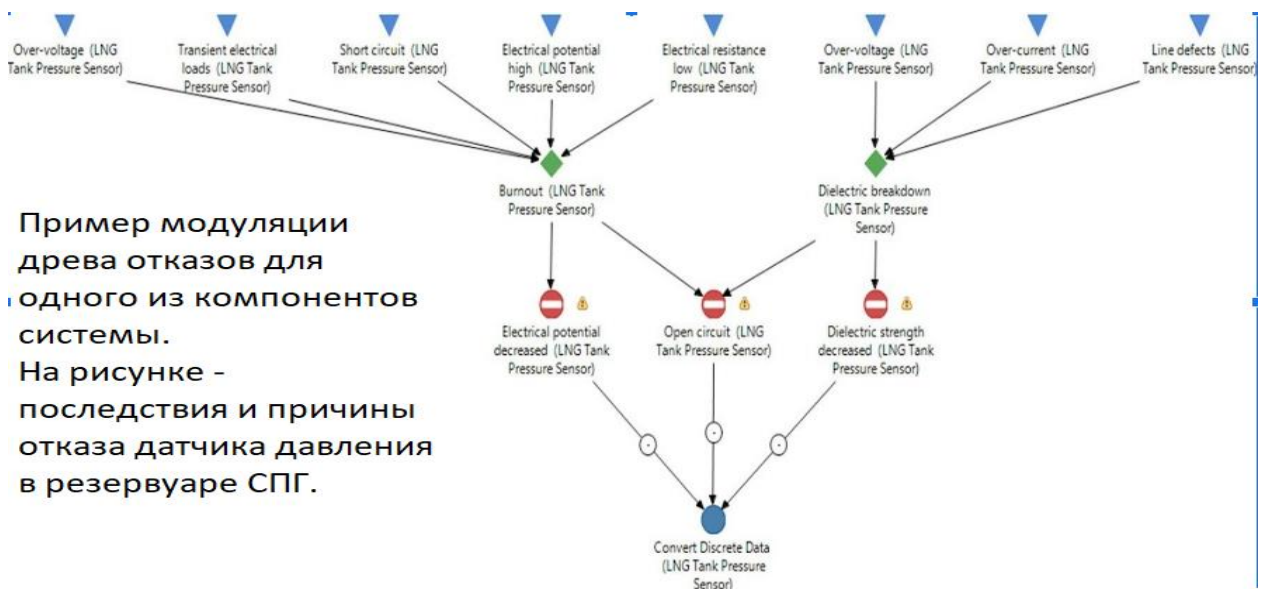
№	Компоненты	Расчетная частота отказов в год
1	Мелкие неисправности резервуара СПГ	10^{-7}
2	Блок повышения давления (PBU)	10^{-4}
3	Испаритель/подогреватель	10^{-4}
4	Водяной теплообменник	10^{-5}
5	Приводы клапанов	10^{-6}
6	Блоки управления	10^{-6}
7	Корпус клапана	10^{-6}
8	Запорный клапан	10^{-6}
9	Клапан СПГ в сборе	$10^{-3}-10^{-4}$



10	Датчик давления	10^{-6}
11	Датчик температуры	10^{-6}
12	Фильтр природного газа	10^{-7}

На основе информации от пользователя MADe способен строить древа видов отказов и диаграммы отказов для исследуемых компонентов системы.

Поскольку полученный объем информации огромен, в моей работе будут представлены только некоторые промежуточные результаты. Диаграмма неисправности датчика давления в резервуаре СПГ представлена на рисунке ниже.. Сочетание различных типов причин приведет к двум различным механизмам (выгорание и последующий пробой диэлектрика), которые затем приведут к трем отдельным неисправностям (разомкнутая цепь, снижение электрического потенциала и снижение электрической прочности). Эти неисправности приведут к ухудшению качества сигнала датчика давления в резервуаре (предоставление ошибочных выходных данных или отсутствие выходных данных), что отрицательно скажется на работе узлов клапанов СПГ, которые управляются с помощью этого сигнала датчика, что способно привести к полному отказу системы.



Полная сгенерированная таблица FMECA представлена ниже:

Таблица FMECA, сгенерированная из MADe, с указанием номера приоритета риска (RPN) для каждого режима отказа компонента системы (O: возникновение; S: серьезность; D: обнаруживаемость).

№	Компонент	функция	Вид отказа	механизм отказа	Причины отказа	последствия отказа	конечный результат	способ обнаружения	Критичность			
									o	s	d	RPN
1	СПГ	СПГ	Избыточное давление	Высокая скорость испарения выкипанного газа	-	Проникновение тепла в топливный бак	Для сброса чрезмерного кипения датчик	давления отходящего газа СПГ	3	4	1	12
2	Блок повышения давления	поддержка давления внутри СПГ	Нарушение подачи природного газа в резервуар СПГ	Наросты льда Усадка Коррозия Поверхностные трещины	Хрупкое разрушение Ледообразование Термическое сжатие Коррозионная усталость Коррозионная усталость	Низкая температура Низкая температура Низкая температура Колебания температуры Колебания температуры Для	остановки всей системы	Датчик давления СПГ	4	8	4	128
3	Испаритель	Преобразует СПГ в природный газ при заданной температуре	Низкая температура природного газа	Наросты льда Усадка Коррозия Поверхностные трещины	Хрупкое разрушение Ледообразование Термическое сжатие Коррозионная усталость Коррозионная усталость	Низкая температура Низкая температура Низкая температура Колебания температуры Колебания температуры	остановки всей системы	Датчик температуры	4	8	4	128
4	Водяной теплообменник	Повышает температуру природного газа	Низкая температура и давление природного газа	Коррозия Перфорация Усадка Расширение	усталость Коррозионное воздействие Коррозионное воздействие Термическое сжатие Тепловое расширение	Коррозионное загрязнение Низкая температура Перепад температур	Остановить всю систему	Датчики температуры и давления	3	8	3	72
5	Блок клапана природного газа	Регулирует поток природного газа с помощью управляющего сигнала	Неисправность контроллера Неисправность привода Неисправность привода Неисправность корпуса клапана	Короткое замыкание Открыть цепь Разомкнута цепь Заядание Трещина Блокировка	Термическая деградация Разрушение при растяжении Абразивный износ Хрупкое разрушение Заиливание	Высокая температура Переходная механическая нагрузка Переходная механическая нагрузка Недостаточное количество смазки Высокая механическая нагрузка Загрязненный вход f низкий	Для остановки всей системы	природного газа	2	8	3	48
6	Узел клапана	Регулирует поток гликоля-воды с помощью управляющего сигнала	контроллера Неисправность привода Неисправность корпуса	Неисправность гликоля	температуры клапана излом Излом при растяжении Хрупкий излом Абразивный износ Хрупкий излом Заиливание	Высокая температура механическая нагрузка Кратковременная механическая нагрузка Низкая температура Недостаточное количество смазки Высокая механическая нагрузка Загрязненный входной поток	всей системы	Датчик температуры природного газа	2	8	3	48
7	Запорный клапан	Перекрывает поток природный газ через управляющий сигнал	Неисправность контроллера Неисправность корпуса клапана	Короткое замыкание Разомкнута цепь Заядание Трещина Коррозия	Термическая деградация Разрушение при растяжении Абразивный износ Хрупкое разрушение Коррозионная усталость	Высокая температура Переходная механическая нагрузка Недостаточное количество смазки Высокая механическая нагрузка Недостаточное количество смазки	Отказ с подача природного газа в двигатель	Восприятие человека, Датчик давления природного газа	2	10	2	40

8	Блок клапана СПГ	Регулирует поток СПГ с помощью управляющего сигнала	Неисправность контроллера Неисправность привода Неисправность корпуса клапана	Короткое замыкание Разомкнутая цепь Наросты льда Разомкнутая цепь Трещина Замерзла Трещина	Термическая деградация Разрушение при растяжении Ледообразование Разрушение при растяжении Хрупкое разрушение Ледообразование Хрупкое разрушение	Высокая температура Переходная механическая нагрузка Низкая температура Переходная механическая нагрузка Низкая температура Высокая механическая нагрузка	Для остановки всей системы	Датчик давления СПГ	5	8	3	120
9	Датчик давления	Измеряет давление внутри бак СПГ	Неправильное измерение	Разомкнутая цепь Уменьшение электрического потенциала Уменьшение диэлектрической прочности	Перегорание Выгорание Неисправность Пробой диэлектрика	Короткое замыкание линии или перенапряжения	Останов всей системы	Неполное сгорание двигателя	2	8	8	128
10	Датчик температуры	Измеряет температуру природного газа на выходе из испарителя	Неправильное измерение	Обрыв цепи Снижение электрического потенциала Уменьшение диэлектрической прочности	Перегорание Перегорание Пробой диэлектрика	Короткое замыкание Короткое замыкание Дефекты линии или перенапряжения	Останов всей системы	Неполное сгорание двигателя	2	8	8	128
11	Фильтр	Очищает природный газ от примесей	Фильтр природного газа засорен	Загрязненный	Засорение Заиливание	входной поток	Падение давления потока природного газа	Датчик давления, регулярное техническое обслуживание	1	4	2	8

Анализ видов и последствий отказов (FMEA) является методом систематического анализа системы для идентификации видов потенциальных отказов, их причин и последствий, а также влияния отказов на функционирование системы (системы в целом или ее компонентов и процессов). Термин "система" использован для описания аппаратных средств, программного обеспечения (с их взаимодействием) или процесса.

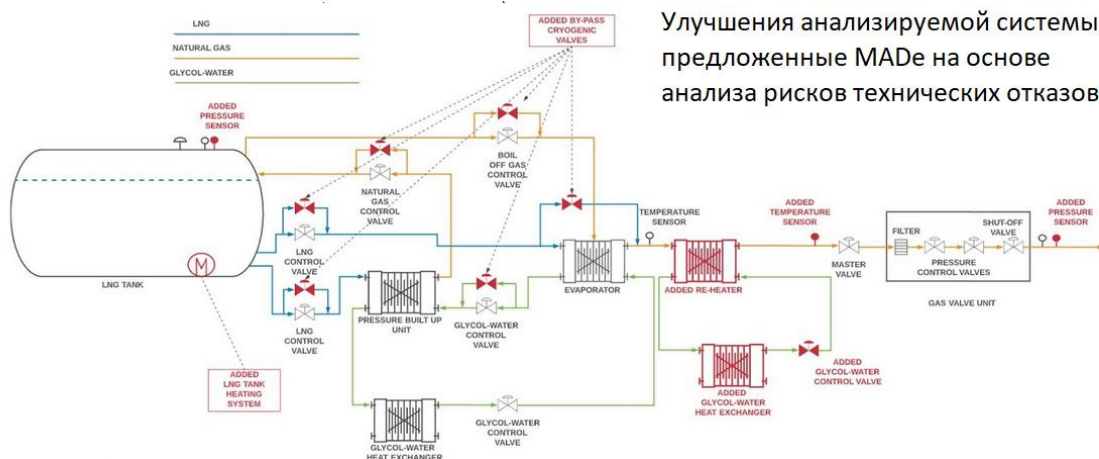
Избыточное давление в резервуаре СПГ приведет к выбросу природного газа в окружающую среду. Природный газ в основном состоит из метана, газа с высоким потенциалом воспламенения. Однако, поскольку количество хранящегося газа и потенциального выброса невелики, а бак расположен за пределами машинного помещения на палубе, можно предположить, что эффект будет небольшим. На основании результатов анализа MADe к критическим отказам относятся следующие узлы:

- испаритель ПБУ
- датчики температуры и давления
- клапанный узел СПГ.

Для испарителя и ПБУ сочетание средней интенсивности отказов (O) и высокой серьезности обусловило их высокую критичность. Датчики давления и температуры также признаны критически важными из-за серьезности их отказов и высокой сложности обнаружения этих отказов. Ошибочное измерение/сигнал датчика можно обнаружить только путем установки резервных датчиков или с помощью наблюдателей на основе моделей для мониторинга компонентов системы. Наконец, клапаны СПГ, в которые входят все клапаны криогенных систем, оказались критически важными из-

за их высокой частоты отказов, приписываемых очень низким температурам СПГ и высокой серьезности отказов. Основным недостатком исследуемой базовой конфигурации системы является отсутствие избыточных компонентов, что может привести к нескольким одноточечным отказам. Для повышения безопасности системы конфигурация системы должна включать отказоустойчивые методы, позволяющие системе работать при наличии отказов.

На изображении интерфейса МАДе показаны улучшения, предложенные системой на основе анализа рисков:



Улучшения анализируемой системы, предложенные МАДе на основе анализа рисков технических отказов.

По результатам анализа критичности предлагаются следующие изменения базовой конфигурации топливной системы СПГ для повышения ее безопасности:

- добавление перепускных криогенных клапанов
- добавление датчиков температуры и давления для обеспечения точных показаний и диагностики возможных отказов системы
- добавление теплообменника/перегревателя и сопутствующих компонентов
- добавление системы обогрева внутри резервуара СПГ

В резервуар СПГ был добавлен дополнительный датчик давления, чтобы система управления всегда могла получать соответствующий сигнал давления в резервуаре. Датчик температуры был также добавлен ниже по потоку от подогревателя, чтобы гарантировать обнаружение потенциальных отказов испарителя и подогревателя. Дополнительный датчик давления в конце топливопровода обеспечит дублирование сигнала давления подачи газа.

В этом исследовании предложена методология количественного анализа безопасности судовых систем на основе модели FMESCA. Эта методология была реализована для системы подачи топлива СПГ низкого давления на судне, работающем на СПГ, и привела к повышению безопасности исследуемой системы. Основные выводы этого исследования заключаются в

следующем: функциональное моделирование системы существенно способствовало лучшему пониманию взаимодействия компонентов системы и их влияния на общую безопасность системы. Анализ FMECA привел к идентификации режимов отказа, что привело к классификации критических компонентов системы и спецификации наиболее критических отказов. Это позволило провести количественную оценку идентифицированных основных событий и сравнительную оценку альтернативных конфигураций системы, используя в качестве показателей безопасности частоту отказов основных событий.

Разработанная методология эффективно поддерживала количественный анализ безопасности и проектирование безопасных морских систем. На этапе проектирования акцент должен быть сделан на критических компонентах системы, датчиках и управляющем оборудовании.

Установлено, что наиболее ответственными узлами (с точки зрения РПН) исследуемой системы питания СПГ низкого давления являются испаритель, блок повышения давления

Глава 5. Международные стандарты качества морских нефтегазовых транспортировок. Выводы.

Международные морские перевозки нефтепродуктов остаются одним из самых проработанных способов доставки нефтепродуктов в мировой практике как с точки зрения экологии, так и с точки зрения ресурсоэффективности. Помимо государственных органов различных стран, проблемами экологической безопасности морского транспорта занимаются многочисленные международные ассоциации, независимые международные классификационные общества и их ассоциации. Основным документом, регулирующим морские перевозки является МАРПОЛ-73/78 и приложения к нему. К наиболее значимым организациям, ответственным за мировые стандарты торгового судоходства относятся:

Международная морская организация или ИМО (International Maritime Organization, IMO) — международная межправительственная организация, является специализированным учреждением ООН, служит площадкой для сотрудничества и обмена информацией по техническим вопросам, связанным с международным торговым судоходством и утверждает и обязательные международные морские законы и правила, в том числе и по охране окружающей среды.

INTERTANKO (the International Association of Independent Tanker Owners) — торговая ассоциация владельцев танкеров, которая представляет интересы

судовладельцев активно сотрудничает с ИМО разрабатывает методы безопасной эксплуатации танкерного флота.

ИМО Международная ассоциация судовладельцев, являющаяся официальным консультантом ИМО.

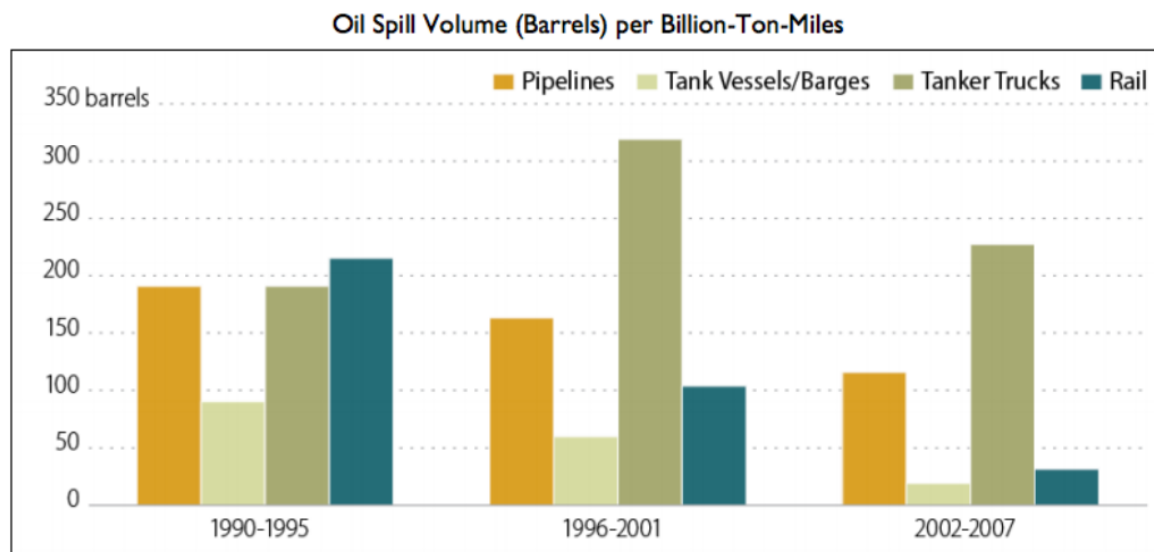
Международная ассоциация классификационных обществ, МАКО (англ. International Association of Classification Societies, IACS) - международное объединение классификационных обществ, ставящее своей целью выработку стандартов и правил в отношении обеспечения безопасности морских перевозок. Классификационные общества, входящие в состав МАКО, занимаются стандартами качества не только морского судоходства, но также подводных трубопроводов, морских буровых вышек и т.д..

Анализ риска разливов нефти и/или нефтепродуктов при их транспортировке, а также неизбежных выбросов в атмосферу, связанных с добычей или транспортировкой нефти и нефтепродуктов является крайне важной задачей в связи с масштабом нефтегазовой индустрии и ее значимостью как для мировой, так и Российской экономики и экологии.

Высокие показатели экологичности и надежности морских транспортировок в первую очередь связаны с ужесточением требований ИМО и политикой правительства стран-участниц ИМО, которые мотивируют судовладельцев уделять большое внимание экологической безопасности путем снижения экологических сборов в портах с судов тех компании которые имеют сертифицированную систему экологического менеджмента соответствующую международному стандарту ИСО 14001:2015 (ГОСТ Р 14001:2015).

Согласно требованиям этого стандарта судовладельцы должны не только эксплуатировать суда в соответствии с обязательными международными и национальными требованиями, но и разрабатывать собственные программы снижения эксплуатационных загрязнений, выполняя оценку всех возможных рисков связанных с транспортировкой углеводородов, управлять этими рисками и непрерывно улучшать достижения согласно разработанной программе. Международным морским стандартам на внутренних территориях РФ соответствуют ГОСТ 30772 по обращению с отходами, ГОСТ Р 14.09 по экологическому менеджменту, ГОСТ Р ИСО 14050 по загрязнению окружающей среды и др..

Согласно докладу Congressional Research Service December 4, 2014, предоставленного конгрессу США, распределение разливов нефти для основных видов нефтегазового транспорта выглядит следующим образом:



Большая часть разливов приходится на автомобильные транспортировки, в то время как морские перевозки занимают лидирующее место по экологической безопасности.

Если рассматривать морские перевозки, то по данным ИМО, количество критических аварий для танкеров и газовозов будут значительно ниже показателей критических аварий на сухогрузах:

Общие потери по типам судов за 2008-2017 г.г.

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Всего
Сухогрузы	59	52	61	38	62	41	31	40	34	53	471
Рыболовные	36	29	21	14	12	13	15	16	10	8	174
Балкеры	8	10	11	14	10	15	5	13	5	7	98
Пассажирские	5	5	3	7	7	8	10	7	11	5	68
Буксиры	7	5	7	2	6	7	7	6	7	5	59
Химовозы/ продуктовоы	7	9	6	2	8	10	2	3	7	4	58
Ролкеры	8	6	1	3	5	2	5	6	9		45
Контейнеровозы	2	4	5	3	6	4	4	5	4	3	40
Прочие	5	5	3	5	3	6	4	4	3	1	39
Снабженцы OSV	1	3	2	2	3	2	3	3	2	2	23
Земснаряды	5		2	2	1		1	1	1	3	16
Танкеры	3	2	3	4	1		1			2	16
Баржи	3		1			3	1		3	1	12
Газовозы	1		1	1	1				1		5
Тип неизвестен	1					1		2	1		5
Всего	151	130	127	97	125	112	89	106	98	94	1129

Это объясняется **приложением I** к Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 года, измененной Протоколом 1978 года к ней (МАРПОЛ 73/78) “Правила предотвращения загрязнения нефтью”.

Ключевыми пунктами, на которых следует сосредоточить внимание для уменьшения экологических рисков при нефтегазовых транспортировках внутри РФ можно назвать:

- упорядочение правового регулирования и системы государственного управления в области защиты морской среды от нефтяного загрязнения, и сведению разрозненных правовых норм и ГОСТов к единым стандартам и требованиям по аналогии с требованиями международных морских ассоциаций.
- внедрение современных правовых и экономических механизмов и методов предупреждения и ликвидации загрязнений (экологическая оценка, включая стратегическую, участие общественности в принятии решений и др.) стимулирование прогрессивных технических решений, включая выполнение требований Международной конвенции по предотвращению загрязнения с судов 1973 г., измененной Протоколом 1978 г. (МАРПОЛ 73/78)², о постепенном переходе на двухкорпусные танкеры и баржи не только в международной торговле, но и для внутренних перевозок.
- интеграция методик контроля рисков и качества, применяемых для международных морских транспортировок нефтепродуктов в области автомобильных и железнодорожных транспортировок

Заключение.

Отправной точкой в уменьшении экологических рисков нефтегазовых транспортировок в современной России можно считать концепции проекта Федерального закона “О защите морей Российской Федерации от нефтяного загрязнения” 2009 года. Следствием данной концепции является Национальный стандарт “Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков по защите природных зон”, принятый в 2011 году. Согласно статистике Ростехнадзора и Росстата, среднегодовое количество чрезвычайных происшествий и отказов при транспортировке нефтепродуктов внутри РФ значительно сократилось за последнее десятилетие, что можно связывать с принятием данного стандарта и введением понятия экологического мониторинга. Однако, статистика чрезвычайных происшествий при транспортировках нефти и газа автомобильным и железнодорожным методом, а также морскими путями и трубопроводом внутри РФ все еще далека от показателей, свойственных международным транспортировкам нефтепродуктов морским способом. Это объясняется меньшими требованиями к экологическим нормам внутри страны и большей разрозненностью правовой базы, при которой стандарты качества

распределены по большому количеству нормативов и ГОСТов, а следовательно представляют большую сложность для проверки и постоянного контроля. Эту проблему должен решить процесс внедрения международных стандартов качества и экологического контроля как во внутренние морские транспортировки, так и для мониторинга других видов транспорта, который применяется для перевозки нефтепродуктов на территории РФ.

Список использованных источников:

О формировании грузопотоков нефти в системе магистральных нефтепроводов/ Кацал И.Н., Ляпин А.Ю., Дубовой Е.С. и др.//Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. – М: НИИ Транснефть, 2016. – №2

Богоявленский В.И., Богоявленский И.В., Будагова Т.А. Экологическая безопасность и рациональное природопользование в Арктике и Мировом океане // Бурение и нефть. 2013. № 12

Росстат. Поступление загрязняющих веществ со сточными водами в водоемы 2019г.

Методики оценки риска. Курс DNV GL

Федеральный закон “О защите морей Российской Федерации от нефтяного загрязнения”

МАРПОЛ-73/ 78

Баскаков С.П. Техника безопасности на химовозах.

Порфирьев Б.Н. Экологическая экспертиза и риск технологий // Итоги науки и техники, 1990.

Классификация причин аварий на танкерах и химовозах. Гумеров Е.В.

Пономарев, В.М. Модель взаимодействия железнодорожной транспортной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций с функциональными подразделениями ОАО «РЖД». Транспорт Российской Федерации, 2011.

ISO 31010. Risk management—Risk assessment techniques, International Organization for Standardization

US Environmental Protection Agency, 2015. Technical Support Document, Preparation of Emissions Inventories for the Version 6.2, 2011 Emissions Modeling Platform

Quramby, L. Eleven reasons to oppose the Trans Mountain pipeline expansion: Lynne Quarmby. Canada's National Observer. (2018)

Energy Transition Outlook 2019: oil and gas external. DNV GL ежегодный отчет

Energy Transition Outlook 2020: a global oil and gas forecast to 2050. DNV GL

International Energy Agency 2018 Annual Energy Outlook. IEA