ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ЭКОЛОГИЧЕСКОМУ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ И АТОМНОМУ НАДЗОРУ
(РОСТЕХНАДЗОР)

П Р И К А З

30 марта 2020 г. № 139

Москва

Об утверждении Руководства по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на конденсатопроводах и продуктопроводах»

В целях содействия соблюдению требований промышленной безопасности п р и к а з ы в а ю:

Утвердить прилагаемое руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на конденсатопроводах и продуктопроводах».

Руководитель А.В. Алёшин

gost.e-ecolog.ru

Утверждено
приказом Федеральной службы
по экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 30 марта 2020 г. № 133

РУКОВОДСТВО ПО БЕЗОПАСНОСТИ «МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОВЕДЕНИЮ КОЛИЧЕСТВЕННОГО АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ НА КОНДЕНСАТОПРОВОДАХ И ПРОДУКТОПРОВОДАХ»

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на конденсатопроводах и продуктопроводах» (далее - Руководство) разработано в целях содействия соблюдению требований Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 марта 2013 г. № 96 (зарегистрирован Минюстом России 16 апреля 2013 г., регистрационный № 28138), Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 марта 2013 г. № 101 (зарегистрирован Минюстом России 19 апреля 2013 года, регистрационный № 28222), Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие требования к обоснованию безопасности опасного производственного объекта», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 15 июля 2013 г. № 306 (зарегистрирован Минюстом России 20 августа 2013 г., регистрационный № 29581), Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности для опасных производственных объектов

магистральных трубопроводов», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 6 ноября 2013 г. № 520 (зарегистрирован Минюстом России 16 декабря 2013 г., регистрационный № 30605), Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила проведения экспертизы промышленной безопасности», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 14 ноября 2013 г. № 538 (зарегистрирован Минюстом России 26 декабря 2013 г., регистрационный № 30855), Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности опасных производственных объектов, на которых используется оборудование, работающее под избыточным давлением», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25 марта 2014 г. № 116 (зарегистрирован Минюстом России 19 мая 2014 г., регистрационный № 32326), Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасной эксплуатации внутрипромысловых трубопроводов», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 ноября 2017 г. № 515 (зарегистрирован Минюстом России 20 декабря 2017 г., регистрационный № 49330), и иных федеральных норм и правил в области промышленной безопасности, регулирующих вопросы безопасной эксплуатации опасных производственных объектов (далее - ОПО) нефтегазового комплекса, в том числе конденсатопроводов и продуктопроводов (далее - КП/ПП).

2. Настоящее Руководство содержит рекомендации по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий (оценки ожидаемой частоты аварий и оценки последствий) (далее - анализ риска аварий) для опасных производственных объектов конденсатопроводов (далее - КП) и продуктопроводов (далее - ПП) (в том числе внутрипромысловых трубопроводов), транспортирующих нестабильный и стабильный газовые конденсаты, сжиженные углеводородные газы (далее - СУГ), широкую фракцию легких углеводородов (далее - ШФЛУ).

Для стабильных жидких углеводородов в дополнение к настоящему Руководству по безопасности рекомендуется использовать Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и магистральных нефтепродуктопроводов», утвержденное приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 июня 2016 г. № 228, и Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей», утвержденное приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 сентября 2015 г. № 366.

Руководство не распространяется на распределительные трубопроводы, трубопроводы и площадочные объекты, расположенные на шельфе морей, ОПО с обращением сжиженного природного газа, нефти и нефтепродуктов.

Настоящее Руководство описывает процедуру количественного анализа риска (далее - КолАР) аварий на КП/ПП, результаты которого могут быть использованы при разработке деклараций промышленной безопасности (далее - ДПБ), паспортов безопасности, обоснований безопасности (далее - ОБ), разделов по анализу риска, промышленной безопасности и инженерно-техническим мероприятиям по гражданской обороне, предупреждению, локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций (далее - ИТМ ГОЧС) в составе проектной документации на строительство, реконструкцию и документации на техническое перевооружение, консервацию и ликвидацию КП/ПП, специальных технических условий (далее - СТУ), планов мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий (далее - ПМЛА) и иных документов, в которых содержатся результаты анализа риска.

3. Организации, осуществляющие анализ опасностей и оценку риска аварий на КП/ПП, могут использовать иные обоснованные способы и методы, чем те, которые указаны в настоящем Руководстве.

4. В настоящем Руководстве используются термины, определения и сокращения, приведенные в приложениях № 1, 2 к настоящему Руководству.

II. ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АНАЛИЗУ РИСКА АВАРИЙ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ И ПЛОЩАДОЧНЫХ ОБЪЕКТАХ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

2.1. Цели и задачи анализа риска аварий на различных этапах жизненного цикла опасных производственных объектов трубопроводного транспорта жидких углеводородов

5. Анализ риска аварий на ОПО трубопроводного транспорта жидких углеводородов – ОПО КП/ПП является необходимым элементом управления промышленной безопасностью в эксплуатирующих организациях и представляет собой периодическую процедуру, включающую систематизацию всей доступной информации о состоянии ОПО и его окружения с точки зрения промышленной безопасности, идентификацию опасностей, оценку риска аварий, анализ полученных показателей риска, разработку рекомендаций по снижению риска и проверку эффективности этих рекомендаций в следующем цикле анализа риска ОПО.

6. Основное назначение анализа риска аварий заключается в предоставлении лицам, принимающим решения:

объективной информации о состоянии промышленной безопасности ОПО;

сведений о наиболее опасных участках и составляющих ОПО;

сведений о возможном количестве пострадавших, объемах материального ущерба производству, третьим лицам и компонентам природной среды от возможных аварий на ОПО и ожидаемой частоте (вероятности) возникновения аварий и их нежелательных последствий;

обоснованных рекомендаций по уменьшению риска;

обоснованных рекомендаций по распределению материальных и финансовых ресурсов, направляемых на повышение уровня безопасности ОПО.

7. Цели и задачи анализа техногенного риска на разных этапах жизненного цикла ОПО различаются и конкретизированы для каждого этапа.

8. На этапе обоснования инвестиций (далее – ОИ) (когда решаются задачи оценки целесообразности реализации проекта, поиска приемлемого варианта размещения ОПО и его основных составляющих, оценки предлагаемых вариантов принципиальных решений, сравнительной оценки экономической эффективности, оценки побочных социальных и экологических последствий) целями анализа риска могут быть:

выявление опасностей и предварительная оценка риска (причем при соответствующем обосновании достаточно провести только оценку последствий от наиболее критичных аварий) для различных вариантов размещения объекта на местности и альтернативных технических решений с учетом возможного воздействия поражающих факторов аварий на персонал, население и окружающую среду, анализ приемлемости предложенных принципиальных технических решений и выбор оптимального размещения ОПО в целом в окружении иных производственных, социальных и природных объектов;

оценка финансового, инвестиционного риска, обусловленного потерями дорогостоящего оборудования и продукции в результате возможных аварий;

определение (выделение) рисков, требующих дальнейшего, более глубокого исследования.

9. На этапе разработки проектной документации на строительство ОПО целями анализа риска аварий являются:

выявление опасностей и предварительная количественная оценка риска для проектируемого ОПО с установленными в целом технико-экономическими характеристиками ОПО с учетом воздействия поражающих факторов аварий на персонал, население и окружающую среду для выбора оптимального варианта размещения технических устройств, зданий и сооружений ОПО по критерию безопасности для персонала, населения и окружающей среды;

обеспечение информацией для разработки инструкций, технологических регламентов и ПМЛА на проектируемом ОПО;

обеспечение разработчиков проекта информацией для оптимального выбора и размещения систем противоаварийной и противопожарной защиты, блокировок, сигнализаций на ОПО;

обеспечение информацией для разработки ДПБ в составе проектной документации;

обеспечение информацией для разработки раздела ИТМ ГОЧС в составе проектной документации;

обеспечение информацией для разработки СТУ и/или ОБ.

10. На этапе ввода в эксплуатацию ОПО целями анализа риска являются:

выявление опасностей и оценка последствий аварий, уточнение оценок риска, полученных на предыдущих этапах жизненного цикла ОПО;

проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности;

разработка и уточнение инструкций по вводу в эксплуатацию;

11. На этапе эксплуатации ОПО целями анализа риска являются:

проверка соответствия условий эксплуатации требованиям промышленной безопасности;

получение новой или уточнение существующей информации об основных опасностях и рисках на ОПО для персонала, населения и окружающей природной среды, в том числе при разработке вновь ДПБ, разработке паспортов безопасности и ОБ ОПО;

расстановка приоритетов при направлении имеющихся в эксплуатирующей организации ограниченных ресурсов на техническое обслуживание и обновление оборудования с целью оптимального распределения средств по составляющим ОПО в соответствии с уровнями рассчитанного для них риска;

разработка рекомендаций и мероприятий по снижению риска;

совершенствование инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию, уточнение ПМЛА [1] ОПО;

оценка степени снижения риска в результате внесенных изменений в организационные структуры ОПО, приемы практической работы и технического обслуживания ОПО при совершенствовании системы управления промышленной безопасностью.

12. При реконструкции и техническом перевооружении ОПО целями анализа риска являются:

обеспечение информацией для разработки ДПБ, раздела ИТМ ГОЧС, ОБ или СТУ в составе проектной документации/документации на реконструкцию, техническое перевооружение ОПО;

выбор оптимальных (с учетом показателей риска) технических решений и размещения реконструируемых (перевооружаемых) составляющих ОПО;

уточнение информации об опасностях и рисках на ОПО с учетом технико-технологических изменений объекта, связанных с реконструкцией (перевооружением) отдельных участков и составляющих ОПО (в том числе при декларировании промышленной безопасности);

уточнение инструкций по эксплуатации и техническому обслуживанию, ПМЛА.

13. При капитальном ремонте на ОПО целями анализа риска являются:

выявление специфических опасностей ремонтных работ;

уточнение информации об опасностях и рисках на ОПО с учетом изменений в результате капитального ремонта технико-технологических характеристик и технического состояния ОПО и технологически сопряженных объектов;

обеспечение информацией для разработки ОБ ремонтируемого ОПО;

уточнение технологических регламентов и инструкций, связанных с капитальным ремонтом.

---

[1] При уточнении ПМЛА для объектов I и II класса опасности рекомендуется использовать результаты анализа риска из ДПБ в части сценариев аварий и размеров зон поражения.

14. На этапах консервации и ликвидации ОПО целями анализа риска являются:

выявление специфических опасностей, характерных для консервации и ликвидации ОПО, расчет показателей риска аварий с учетом этих опасностей;

обеспечение информацией для разработки ДПБ или ОБ в составе документации на консервацию или ликвидацию ОПО;

разработка и уточнение инструкций по консервации и/или ликвидации ОПО.

2.2. Структура показателей риска аварий

15. Показатели риска аварии на ЛЧ и площадочных объектах КП/ПП количественно характеризуют опасность аварии, используются для ранжирования опасных составляющих (далее – ОС) ОПО по степени опасности и обоснования приоритетов в мероприятиях по обеспечению безопасного функционирования ОПО.

Показатели риска аварии, расчет которых предусмотрен в настоящем Руководстве, разделяют на промежуточные и итоговые (потенциальный, индивидуальный, коллективный, социальный риски, ожидаемый годовой ущерб). Промежуточные показатели являются расчетными составляющими итоговых показателей, но при этом имеют и самостоятельное значение, прежде всего, при выполнении вариантов анализа риска, не требующих расчета итоговых показателей.

Перечень промежуточных показателей риска приведен в подразделе 3.1 Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647 (при использовании аббревиатура «МГ» заменяется на «КП/ПП»), в дополнение к которым в настоящем Руководстве вводится показатель «Частота аварий

на *n*-ом участке ЛЧ КП/ПП, приводящих к разливу продукта массой не менее *M* (*M* = 100 т, 500 т, 5000 т)».

Расчет промежуточных показателей риска аварии на объектах КП/ПП осуществляют по алгоритмам, изложенным в разделе V настоящего Руководства.

Рекомендации по определению итоговых показателей риска приведены в подразделе 5.2.6 настоящего Руководства.

2.3. Общий алгоритм количественного анализа риска аварий на линейной части и площадочных объектах конденсатопроводов и продуктопроводов

16. Основные этапы и подэтапы количественного анализа риска аварий на ОПО КП/ПП приведены (с учетом рекомендаций руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144) в таблице 1. Состав этапов и подэтапов может уточняться в зависимости от задач анализа риска.

Таблица 1

Этапы количественного анализа риска аварий на ОПО

№ этапа, под-этапа	Наименование этапа, подэтапа
1	Планирование и организация работ
1.1	Определение факторов и проблем, обусловивших необходимость проведения КолАР
1.2	Организация группы специалистов для выполнения КолАР
1.3	Определение целей и задач КолАР
1.4	Определение глубины (детальности) анализа, уточнение алгоритма и набора методов анализа
1.5	Описание ОПО его окружения на базе сбора и анализа исходных данных. Разделение линейной части на участки с выделением потенциально опасных участков (ПОУ), а площадочных объектов - на опасные составляющие (ОСПО)
1.6	Обоснование критериев допустимого (приемлемого) риска
2	Идентификация опасностей
2.1	Идентификация источников опасностей

№ этапа, под-этапа	Наименование этапа, подэтапа
2.2	Определение спектра возможных нежелательных событий на ОПО. Выбор и обоснование основных (расчетных) сценариев аварий
3	Оценка риска
3.1	Анализ частоты
3.1.1	Оценка ожидаемой частоты аварий для выбранных основных (расчетных) источников опасности
3.1.2	Оценка условных вероятностей реализации расчетных сценариев аварий
3.2	Анализ последствий
3.2.1	Расчет интенсивностей и объемов аварийных выбросов опасных веществ для всех расчетных сценариев аварий
3.2.2	Расчет распространения поражающих факторов аварий в окружающей среде для всех расчетных сценариев аварий
3.2.3	Расчет условных вероятностей поражения людей, количества пострадавших для всех расчетных сценариев аварий
3.2.4	Расчет ущерба: социально-экономического ущерба (связанного с поражением людей), ущербов имуществу и компонентам природной среды для всех расчетных сценариев аварий
3.3	Расчет показателей риска
3.3.1	Расчет потенциального, коллективного, индивидуального и социального риска или иных показателей риска
3.3.2	Расчет ожидаемого годового ущерба с учетом частоты аварий на ОПО
4	Сравнительная оценка риска
4.1	Сравнение показателей риска с рекомендуемыми или установленными уровнями допустимого риска или другими показателями обоснованной базы сравнения и определение степени опасности аварий на ОПО
4.2	Определение перечня наиболее опасных участков и составляющих ОПО
5	Разработка рекомендаций по снижению риска

III ПЛАНИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО АНАЛИЗУ РИСКА

17. Исходными информационными материалами для выполнения этапа 1 «Планирование и организация работ по анализу риска» являются:

ТЗ заказчика на выполнение работы, связанной с необходимостью проведения количественного анализа риска ОПО КП/ПП;

информация о фоновом риске техногенных происшествий для населения и персонала в регионах размещения ОПО КП/ПП, предельно допустимом риске

для населения и персонала, установленных для аналогичных ОПО, а также - о рекомендуемых для Российской Федерации значениях предельно допустимого риска.

Последовательность выполнения этапа отражена в пунктах 19-22.

18. Анализ технического задания. Типовыми работами, указываемыми в ТЗ, как правило, являются:

разработка вновь ДПБ для действующих ОПО;

разработка ДПБ, раздела ИТМ ГОЧС, ОБ и/или СТУ в составе проектной документации/документации на строительство, реконструкцию, техническое перевооружение, консервацию или ликвидацию ОПО в целом или его составляющей;

разработка раздела ИТМ ГОЧС, СТУ, ОБ в составе проектной документации на капитальный ремонт ОПО в целом или его составляющих;

разработка паспортов безопасности на участки действующих ОПО;

разработка ПМЛА для проектируемых и действующих ОПО;

проведение КолАР для отдельных участков линейной части и составляющих ОПО для обоснования возможности строительства различных объектов вблизи ОПО и других целей.

В зависимости от вида указываемых в ТЗ работ определяют цели, задачи, глубину анализа риска и состав группы специалистов для выполнения КолАР в соответствии с пунктами 19, 20.

19. Определение цели, задач и глубины анализа риска.

При разработке ДПБ и паспортов безопасности для действующих ОПО целью анализа риска является расчет всего спектра показателей риска в соответствии с пунктом 15 настоящего Руководства, для всех анализируемых составляющих ОПО и разработка (при необходимости) рекомендаций для эксплуатирующей организации по уменьшению риска эксплуатации ОПО. Для реализации этих целей рекомендуется выполнять полный цикл КолАР с использованием методик и математических моделей, приведенных и указанных в настоящем Руководстве.

При анализе риска на ранних стадиях проектирования ОПО (стадии обоснования инвестиций) целью анализа риска может являться определение только части спектра показателей риска: характеристик и степени опасности обращающегося на ОПО вещества, ожидаемой частоты аварий, размеров зон воздействия наиболее опасных поражающих факторов аварий, объемов ущерба и ожидаемого числа пострадавших среди населения на наиболее критичных составляющих ОПО, рассчитываемых для различных вариантов их размещения и вариантов предварительных технических решений с дальнейшей разработкой рекомендаций по размещению ОПО и выбору оптимальных технических решений. Глубину анализа рекомендуется ограничить применением инженерных моделей расчета последствий аварий на ОПО КП/ПП, ряд которых приведен или указан в настоящем Руководстве.

При разработке ДПБ, раздела ИТМ ГОЧС, СТУ или ОБ в составе проектной документации на строительство и реконструкцию ОПО в целом или отдельных его участков или составляющих и тех же документов (кроме ДПБ) в составе проектной документации на капитальный ремонт целью анализа риска является расчет всех показателей риска в соответствии с пунктом 15 настоящего Руководства и разработка рекомендаций по оптимизации технических решений с целью уменьшения риска на КП/ПП. Для реализации этих целей рекомендуется выполнить полный цикл КолАР в соответствии с требованиями разделов V, VI, VII.

При разработке ПМЛА целью анализа риска является определение характерных сценариев аварий на КП/ПП и оценка их последствий с дальнейшей разработкой организационно-технических мероприятий и плана действий персонала по локализации и ликвидации аварий. ПМЛА рекомендуется разрабатывать с использованием готовых результатов анализа риска аварий из ДПБ КП/ПП в части рассмотренных в ней сценариев аварий и размеров соответствующих зон поражения.

20. Организация группы специалистов для выполнения КолАР.

Для проведения работ по анализу риска рекомендуется следующий примерный состав группы:

руководитель работ;

специалист по технологии трубопроводного транспорта жидких углеводородов;

специалист по автоматике и телемеханике (КИПиА);

специалист по диагностированию технического состояния ОПО трубопроводного транспорта жидких углеводородов;

специалист по анализу риска ОПО трубопроводного транспорта жидких углеводородов (рекомендуется наличие квалификации эксперта, осуществляющего экспертизу промышленной безопасности ДПБ и ОБ ОПО магистрального трубопроводного транспорта [2]);

инженер – программист.

Численность указанных специалистов в составе конкретной группы определяется количеством анализируемых объектов в составе заказанной работы и требуемой глубиной анализа.

21. Описание анализируемого КП/ПП и его окружения включает общие сведения об эксплуатирующей организации, сведения о линейной части КП/ПП и площадочных объектах с учетом их специфики. Справочная информация по некоторым характеристикам опасных веществ, обращающихся на технологических объектах КП/ПП, представлена в приложении № 3 к настоящему Руководству. Перечень исходной информации, необходимой для анализа риска аварий на линейной части и площадочных объектах КП/ПП, представлен в приложении № 4 к настоящему Руководству.

22. Определение и обоснование предельно допустимых значений риска как базы для сравнения с ними расчетных показателей риска после проведения КолАР выполняется отдельно для населения и производственного персонала

[2] Шифры областей аттестации экспертов Э8Д, Э8ОБ.

с учетом фоновых рисков, наблюдающихся на территории прохождения анализируемого КП/ПП.

IV. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОПАСНОСТЕЙ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ И ПЛОЩАДОЧНЫХ ОБЪЕКТАХ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

23. Основная цель этапа идентификации опасностей - установление и детальное описание опасностей, связанных с функционированием каждой из составляющих ОПО КП/ПП, с учетом свойств и параметров состояния обращающихся в них флюидов, а также определение причин и прогнозирование последствий инцидентов и аварий.

На данном этапе рекомендуется следующая последовательность действий:

а) провести сбор исходной, необходимой для проведения количественного анализа риска, информации;

б) выделить типовые составляющие и/или производственные участки КП/ПП:

насосные станции,

ограниченные запорно-регулирующей арматурой линейные участки трубопроводов (при определении протяженности участков следует учитывать наличие водных преград, особенности рельефа местности и особенности расположения объектов окружения и инфраструктуры трубопровода);

резервуарные парки, площадки хранения ОВ, включающие стационарное емкостное оборудование с трубопроводами обвязки;

сливоналивные эстакады;

транспортные пути перевозки опасного вещества в жидком состоянии цистернами;

в) провести анализ условий возникновения (в том числе причин) и развития аварийных ситуаций на составляющих ОПО. Используя результаты анализа, определить группы характерных сценариев аварий для рассматриваемого ОПО КП/ПП и предварительно выделить на нем наиболее опасные составляющие и/или производственные участки.

Алгоритм анализа развития аварийных ситуаций и типовые группы сценариев на составляющих ОПО КП/ПП приведены в приложении № 5 к настоящему Руководству;

г) дать предварительные рекомендации по уменьшению опасностей аварий с оценкой их достаточности, либо выводы о проведении более детального анализа опасностей и оценки риска аварий.

V. ОЦЕНКА РИСКА АВАРИЙ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ И ПЛОЩАДОЧНЫХ ОБЪЕКТАХ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

5.1. Алгоритм оценки ожидаемых частот возникновения аварий и реализации расчетных сценариев аварий на линейной части и площадочных объектах конденсатопроводов и продуктопроводов

24. Оценка (прогнозирование) ожидаемых частот аварий и инцидентов на линейной части КП/ПП проводится с учетом:

статистических данных по количеству, частоте и причинам техногенных событий на ОПО КП/ПП с разными технико-технологическими параметрами и в разных эксплуатирующих организациях (далее – ЭО);

влияния на вероятность нарушения целостности КП/ПП различных внешних и внутренних факторов: природно-климатических условий, технико-технологических, эксплуатационных и возрастных параметров КП/ПП, антропогенных (связанных с промышленно-хозяйственной деятельностью, плотностью населения) и других факторов, изменяющихся, как правило, вдоль трасс КП/ПП.

Для оценки (прогнозирования) в рамках проведения КолАР ожидаемых частот аварий и инцидентов на произвольных участках КП/ПП рекомендуется применять методические подходы, использующие принцип факторного анализа для корректировки среднестатистической удельной частоты техногенных событий на трубопроводах корпорации (страны) с помощью системы коэффициентов и/или балльных оценок, учитывающих неравнозначное на

разных участках трасс КП/ПП влияние на трубопровод разнородных факторов (при наличии необходимой информации).

Подход, реализующий балльно-факторную оценку ожидаемой частоты аварий и инцидентов на участке КП/ПП, изложен в приложении № 6 к настоящему Руководству. Этот, подход, применяемый при достаточности необходимой информации, использует принцип корректировки среднестатистической удельной частоты аварий на ЛЧ КП/ПП, эксплуатирующихся в Российской Федерации, $\lambda_{ср}$ (выраженной в количестве аварий на 1000 км в год и определенной за последние 10 лет по данным Ростехнадзора о расследовании аварий и инцидентов) с помощью специально выстроенной системы из 9 групп факторов влияния с установленными экспертным путем весовыми коэффициентами и шкалами балльных оценок факторов. Учитываемые факторы влияния условно разделены на «угрожающие» и «защищающие». К первым относятся внешние агрессивные условия и воздействия окружающей среды, нарушения эксплуатационных требований, ко вторым - конструктивно-технологические решения и комплекс эксплуатационных организационно-технических мероприятий, направленных на сохранение целостности КП/ПП.

В рамках КолАР балльно-факторную оценку ожидаемых удельных частот аварий и инцидентов (λ_n) на линейной части анализируемого трубопровода рекомендуется выполнять применительно к заранее выделенным ПОУ данного трубопровода. Рассчитанные для каждого ПОУ значения λ_n заносятся в таблицу (таблица 2 с примером ее заполнения).

Таблица 2

Ожидаемые удельные частоты аварий на потенциально опасных участках КП/ПП

Номер (n) и положение ПОУ на трассе КП/ПП, км-км	1 км 502,34-км 503,45	2 км 512,14-км 514,00	…	K км 515,05-км 516,32	…	N км 517,09-км 518,20
λ_n, 1/(1000км·год)	0,241	0,125	...	0,452	...	0,653

Ожидаемая частота f_n (1/год) возникновения аварии или инцидента на n-ом ПОУ длиной L_n определяется по формуле

$$f_n = \lambda_n \cdot L_n / 1000, \quad (5.1)$$

где λ_n - ожидаемая удельная частота аварий и инцидентов на n-ом ПОУ, 1/(1000км·год);

L_n – длина n-го ПОУ, км.

25. Оценку ожидаемой частоты инцидентов и аварий на площадочных объектах КП/ПП рекомендуется выполнять с использованием ретроспективных статистических данных об аварийности на указанных ОПО в сочетании с рекомендациями по выбору удельных частот разрушений технологических трубопроводов и элементов оборудования, приведенными в руководстве по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденном приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. №144.

Для объектов магистральных трубопроводов рекомендуется использовать значения частот техногенных событий приведенных в таблице 3.

Таблица 3

Рекомендуемые консервативные оценки ожидаемой частоты разгерметизации технологических составляющих на действующих НС КП/ПП

Наименование ОСПО	Частота аварий (разрывов), $\lambda_{ТТ\text{-}рзр}$, 1/(м·год) или $f_{n\text{-}рзр}$, 1/год	Частота инцидентов (свищей, утечек), $\lambda_{ТТ\text{-}свщ}$, 1/(м·год) или $f_{n\text{-}свщ}$, 1/год
1	2	3
Участки КП, прилегающие к НС	$3 \cdot \lambda_{МКП\text{-}рзр}$ *	$3 \cdot \lambda_{МКП\text{-}свщ}$ *
Входной трубопровод-шлейф	$1 \cdot 10^{-7}$ 1/(м·год)	$5 \cdot 10^{-7}$ 1/(м·год)
Выходной трубопровод-шлейф	$2 \cdot 10^{-7}$ 1/(м·год)	$1 \cdot 10^{-6}$ 1/(м·год)
Горизонтальные фильтры-грязеуловители с трубопроводной обвязкой	$1 \cdot 10^{-5}$ на фильтр/год	$1 \cdot 10^{-4}$ на фильтр/год
Вертикальные фильтры-грязеуловители с трубопроводной обвязкой	$1 \cdot 10^{-5}$ на фильтр/год	$1 \cdot 10^{-4}$ на фильтр/год
Входной коллектор магистральной насосной	$3 \cdot 10^{-7}$ 1/(м·год)	$1.5 \cdot 10^{-6}$ 1/(м·год)
Выходной коллектор магистральной насосной	$4 \cdot 10^{-7}$ 1/(м·год)	$2 \cdot 10^{-6}$ 1/(м·год)

Наименование ОСПО	Частота аварий (разрывов), $\lambda_{ТТ\text{-}рзр}$, 1/(м·год) или $f_{п\text{-}рзр}$, 1/год	Частота инцидентов (свищей, утечек), $\lambda_{ТТ\text{-}свщ}$, 1/(м·год) или $f_{п\text{-}свщ}$, 1/год
1	2	3
Соединительные трубопроводы между установками (блоками, узлами)	$3 \cdot 10^{-7}$ 1/(м·год)	$1{,}5 \cdot 10^{-6}$ 1/(м·год)
Магистральные насосы с трубопроводной обвязкой	$1 \cdot 10^{-4}$ на насос/год	$5 \cdot 10^{-4}$ на насос/год
Резервуары-сборники продукта	$1 \cdot 10^{-5}$ на рез-р/год	$1 \cdot 10^{-4}$ на рез-р/год
Узел регулирования давления	$1.5 \cdot 10^{-5}$ на элемент/год	$7.5 \cdot 10^{-5}$ на элемент/год
Узлы запорной арматуры	$1.5 \cdot 10^{-5}$ на элемент/год	$7.5 \cdot 10^{-5}$ на элемент/год
* $\lambda_{МКП}$ – среднее значение удельной частоты техногенных событий на линейном перегоне между НС		

При безусловном выполнении всех требований к организационно-техническим мероприятиям для площадочных объектов, предусмотренных нормативными документами в области промышленной безопасности, приведенные в таблице 3 значения ожидаемой удельной частоты техногенных событий (аварий или инцидентов) уменьшают в 2 раза.

Для действующих площадочных объектов со сроком эксплуатации не более 10 лет (относительно новых), а также для проектируемых площадочных объектов приведенные в таблице 3 значения ожидаемой удельной частоты техногенных событий (аварий или инцидентов) рекомендуется уменьшать в 10 раз.

Для участка технологического трубопровода абсолютная частота аварий определяется исходя из длины рассматриваемого участка трубопровода и удельной частоты аварийной разгерметизации на единицу длины, значения которой приведены в таблице 3, по формуле:

$$f_{ТТ} = \lambda_{ТТ} \cdot L_{ТТ}, \qquad (5.2)$$

где $f_{ТТ}$ - ожидаемая частота техногенных событий (аварий или инцидентов) на рассматриваемом участке технологического трубопровода длиной $L_{ТТ}$, $\frac{1}{год}$;

λ_{TT} - ожидаемая удельная частота техногенных событий (аварий или инцидентов) на технологическом трубопроводе, $\frac{1}{м \cdot год}$;

L_{TT} -длина рассматриваемого участка технологического трубопровода, м.

Для условно «точечных» объектов (насосов, фильтров, резервуаров) абсолютная частота техногенных событий (аварий или инцидентов) задается непосредственно из таблицы 3.

26. Оценка ожидаемой частоты реализации расчетных сценариев аварии на линейной части и площадочных объектах КП/ПП определяется как произведение ожидаемой частоты возникновения аварии на рассматриваемом объекте/составляющей объекта на условную вероятность реализации расчетного сценария (рассчитывается с использованием деревьев событий в соответствии с приложением № 5 к настоящему Руководству).

5.2. Алгоритм расчета процессов формирования, распространения и воздействия на потенциальных реципиентов поражающих факторов аварий на линейной части и площадочных объектах конденсатопроводов и продуктопроводов

5.2.1. Расчет интенсивности и объемов выбросов опасных веществ

27. Неконтролируемые выбросы опасных веществ (флюидов) на участках линейной части и составляющих площадочных объектов КП/ПП происходят вследствие:

гильотинного разрыва (образование протяженной трещины) ЛЧ магистральных трубопроводов;

разрыва на полное сечение технологических трубопроводов;

частичной разгерметизации оборудования или трубопроводов;

полного разрушения емкостного оборудования;

работы дыхательной арматуры и испарения со свободной поверхности резервуаров.

В первых двух случаях неконтролируемые выбросы характеризуются как интенсивностью, так и их объемом. Рекомендации по проведению расчета

интенсивности и количества выбрасываемого опасного вещества приведены в приложении № 7 к настоящему Руководству.

5.2.2. Расчет распространения поражающих факторов аварии

5.2.2.1. Рассеивание выбросов флюида при авариях на конденсатопроводах и продуктопроводах с обращением стабильных и нестабильных углеводородов в жидком состоянии

28. Аварийные выбросы на объектах с обращением жидких углеводородов приводят к переносу и рассеиванию в окружающей среде опасных веществ. Такой перенос, в зависимости от фазового состояния выбрасываемого вещества (флюида), может происходить:

посредством газодинамических течений и диффузии в атмосфере флюида в газообразном состоянии (газ, пар) или в виде воздушно-капельной взвеси (аэрозоля, который образуется только для трещин и свищей) с образованием топливо-воздушной смеси (ТВС);

при потоковом движении на неровной местности или растекании по ровной подстилающей поверхности флюида в жидком состоянии.

С учетом физико-химических свойств жидких углеводородов их перенос в атмосфере следует рассматривать как рассеивание облаков и шлейфов от выбросов тяжелых газов. Моделирование рассеивания выбросов данного вида проводится с использованием Руководства по безопасности: «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. № 158 и Руководства по безопасности «Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. № 160.

Эволюция выброса в атмосферу флюида в жидком состоянии при потоковом движении на неровной местности или растекании по ровной подстилающей поверхности при необходимости более точных расчетов

определяется методами вычислительной гидродинамики, в том числе с использованием Руководства по безопасности «Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах» », утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. № 160.

Для оценки площадей разливов флюида в жидком состоянии при наличии данных о рельефе местности допускается использовать геометрический подход с применением ГИС-технологий в соответствии с Руководством по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и магистральных нефтепродуктопроводов», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 июня 2016 г. № 228.

5.2.2.2. Разлет осколков при авариях на конденсатопроводах и продуктопроводах с обращением стабильных и нестабильных жидких углеводородов

29. Потенциальным источником осколков на КП/ПП являются оборудование и трубопроводы нестабильной жидкости и газа при их взрывной разгерметизация (первичные осколки) и объекты инфраструктуры при воздействии на них ударно-волновых нагрузок от взрывов облаков топливно-воздушных смесей ТВС или разлетающихся первичных осколков (вторичные осколки).

Расчет разлета первичных осколков выполняется с учетом рекомендаций приложения № 8 к настоящему Руководству.

5.2.2.3. Формирование и распространение воздушных ударных волн и волн сжатия при авариях на конденсатопроводах и продуктопроводах с обращением стабильных и нестабильных жидких углеводородов

30. Барическое воздействие при авариях на КП/ПП формируется:

при сгорании во взрывных режимах дрейфующих облаков ТВС;

при взрывной разгерметизации резервуара (физический взрыв) за счет нагрева или протекания процесса по типу «BLEVE» на площадочных объектах.

Расчет формирования и дрейфа взрывоопасных облаков ТВС при авариях на КП/ПП выполняется в соответствии с подразделом 5.2.2.1.

Расчет распространения воздушных ударных волн и волн сжатия при сгорании во взрывных режимах дрейфующих тяжелых облаков ТВС проводится по методикам, изложенным в: приложении № 3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 марта 2013 г. № 96 и Руководстве по безопасности «Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей», утвержденном приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 30 марта 2016 г. № 137.

При необходимости более точного расчета параметров воздушных ударных волн и волн сжатия при воспламенении облаков ТВС (например, при обосновании взрывоустойчивости зданий и сооружений) рекомендуется использовать модели вычислительной гидродинамики (численного моделирования) в соответствии с Руководством по безопасности «Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах», утвержденном приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. № 160.

Расчет распространения воздушных ударных волн при взрывной разгерметизации резервуара за счет нагрева или протекания процесса по типу «BLEVE» выполняется по Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404).

5.2.2.4. Распространение тепловой радиации при авариях с возгоранием на конденсатопроводах и продуктопроводах с обращением стабильных и нестабильных жидких углеводородов

31. В качестве источников тепловой радиации при авариях с возгоранием на КП/ПП с обращением стабильных и нестабильных жидких углеводородов рассматриваются:

гомогенные и гетерогенные факела флюидов;

огненные шары от кинетического и диффузионного горения облаков флюида;

пожары пролива.

Расчеты распространения тепловой радиации (в том числе оценка геометрических параметров пламени) от всех источников проводятся в соответствии с расчетной схемой Методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404) в приближении изотропного поверхностного излучателя, удельный тепловой поток от которого на некотором расстоянии, составляет:

$$q = E_f \cdot \tau \cdot F_q \qquad (5.3)$$

где E_f – средняя по поверхности интенсивность теплового излучения, кВт/м^2;

τ – коэффициент поглощения излучения атмосферой;

F_q – угловой коэффициент облученности на выбранном расстоянии.

Вид поверхностного излучателя и особенности расчета E_f, τ, F_q для каждого из источников тепловой радиации при авариях с возгоранием на КП/ПП приведены в таблице 4.

Таблица 4

Данные для расчета распространения тепловой радиации от различных источников при авариях с возгоранием на КП/ПП

Источник тепловой радиации	**Вид поверхностного излучателя**	**Порядок расчета**		
		E_f	τ	F_q

Факел	Цилиндр	Методика МЧС*	Методика МЧС	Приложение №11
Огненный шар	Сфера	Методика МЧС	Методика МЧС	Методика МЧС
Пожар пролива	Цилиндр**	Приложение №10	Методика МЧС	Приложение №11

*«Методика МЧС» - «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404).

**Пожар пролива аппроксимируется цилиндром только при примерно равных размерах пролива в различных направлениях (ширина пролива, его протяженность). В случае существенной разницы размеров пролива форму пламени при горении аппроксимируют набором цилиндров с радиусом, равным полуширине пролива. Суммарное излучение от совокупности цилиндров будет соответствовать излучению от пролива сложной формы.

5.2.3. Расчет количества пострадавших от аварии

32. На данном подэтапе КолАР для каждого расчетного сценария C_{ij} аварии/инцидента определяются:

зоны потенциального поражения (ЗПП) людей от расчетных поражающих факторов аварии/инцидента;

ожидаемые количества пострадавших среди населения (включая проживающих в ближайших к КП/ПП населенных пунктах, посетителей мест массового скопления людей, персонал сторонних организаций, водителей и пассажиров транспортных средств на переходах через автомобильные и железные дороги, сельскохозяйственных работников на сельхозугодьях) в зонах потенциального поражения;

ожидаемые количества пострадавших среди персонала ЭО в зонах потенциального поражения.

В рамках данного подэтапа также определяется максимально возможное количество потерпевших (МВКП) в соответствии с руководством по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144.

33. В качестве единого уровня поражения человека (единого критерия поражения) от любых поражающих факторов аварии/инцидента на КП/ПП при

расчетах зон потенциального поражения принимается летальный исход (гибель человека).

34. ЗПП рекомендуется представлять в виде распределений на поверхности земли вокруг места возникновения аварии/инцидента условных вероятностей поражения (от того или иного поражающего фактора) гипотетического человека со среднестатистическими возрастными и биологическими характеристиками. При нахождении человека в транспортном средстве в расчетах учитывается скорость движения транспортного средства. ЗПП изображают на плане местности как совокупность изолиний условной вероятности поражения с шагом 10 – 20 %, начиная с 1 %. При этом изолинию условной вероятности 90% считают внешней границей зоны полного поражения от данного поражающего фактора, а изолинию условной вероятности 1 % - внешней границей зоны санитарных потерь и внешней границей ЗПП в целом. (Примечание: Здесь и далее 100 % зона поражения соответствует определению из приложения № 3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 марта 2013 г. № 96).

35. Принцип расчета условных вероятностей поражения человека зависит от вида поражающего фактора аварии, воздействующего на человека и осуществляется с использованием специальных критериев поражения: вероятностных (пробит-функций), либо при отсутствии таковых - детерминированных характеристических критериев поражения. Рекомендуется использовать критерии поражения, представленные в руководстве по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144, и приложении № 9 к настоящему Руководству.

При рассмотрении барического, термического и токсического поражающих воздействий на человека используются, как правило, вероятностные критерии поражения. При этом условная вероятность гибели человека в точке территории определяется из выражения функции нормального распределения, аргументом которой является пробит-функция для соответствующего поражающего фактора (пункт 38 настоящего Руководства).

При осколочном воздействии условная вероятность поражения человека на открытой местности отождествляется с вероятностью попадания осколка в человека, при этом считается, что человек погибает (пункт 39 настоящего Руководства). В случае нахождения человека в здании условная вероятность его поражения определяется в соответствии с пунктом 40 настоящего Руководства.

36. Рекомендуемая последовательность расчета ЗПП и количества пострадавших при реализации конкретного сценария C_{ij} аварии/инцидента на КП/ПП.

37. Исходными данными для расчета ЗПП являются рассчитанные на предыдущем этапе КолАР территориальные распределения физических характеристик поражающих факторов, соответствующих рассматриваемому сценарию аварии/инцидента.

38. При расчете ЗПП в случае барического, термического или токсического поражающих воздействий (см. также таблицу 1 в приложении № 9 к настоящему Руководству):

выбирается пробит-функция, описывающая воздействие соответствующего поражающего фактора на человека при целевом уровне поражения, соответствующем летальному исходу (гибели человека);

для каждой точки расчетной сетки в окрестностях места возникновения аварии (в плоскости поверхности земли) рассчитывается значение пробит-функции;

по значениям пробит-функции для всех точек сетки рассчитываются условные вероятности поражения от данного поражающего фактора, и на плане территории строятся изолинии условных вероятностей поражения.

39. При расчете ЗПП от разлета осколков для случая нахождения человека на открытой местности:

задается расчетное количество $n_{оск}$ одинаковых по размеру разлетающихся осколков массой $m_{оск}$;

для каждой точки расчетной сетки, характеризующейся расстоянием от места возникновения аварии $\Delta R \le \Delta R_{max}$ (где - ΔR_{max} максимальная дальность разлета осколков массой $m_{оск}$), рассчитывается вероятность попадания осколка в человека, условно помещаемого в указанную точку, по математической модели, изложенной в приложении №8, в зависимости от выбранного значения $n_{оск}$ (при этом тело человека моделируется вертикальным цилиндром высотой 1,8 м и радиусом основания 0,3 м);

по полученным значениям вероятности попадания строятся изолинии вероятностей осколочного поражения человека.

40. При нахождении человека в здании условная вероятность его поражения определяется по следующему алгоритму:

задается расчетное количество $n_{оск}$ одинаковых по размеру разлетающихся осколков массой $m_{оск}$ и рассчитывается вероятность попадания осколка в здание;

определяется степень разрушения здания с помощью таблицы 4 приложения № 9 к настоящему Руководству;

определяется условная вероятность поражения человека той или иной степени тяжести в зависимости от степени разрушения здания с помощью таблицы 6 приложения № 9 к настоящему Руководству.

41. На последнем этапе производится расчет количества пострадавших (в том числе погибших), оказавшихся в пределах рассчитанных ЗПП, в соответствии с руководством по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144.

5.2.4. Расчет количества уничтоженного и поврежденного имущества и компонентов природной среды от аварии/инцидента

42. Возможное количество имущественных и природных компонентов (объектов), уничтоженных и поврежденных, определяют для каждого расчетного сценария C_{ij} аварии/инцидента на КП/ПП (линейной части и площадочных объектах). При этом в качестве потенциально разрушаемых и загрязняемых объектов рассматривают:

здания и сооружения на/и вблизи ОПО;

технологическое оборудование ОПО, а также другое оборудование вблизи ОПО;

автотранспортные средства и автодороги;

железнодорожный транспорт и железные дороги;

надземные инженерные коммуникации, в т.ч. высоковольтные ЛЭП;

лесные угодья;

сельскохозяйственные культуры;

почвы;

водные объекты.

43. При оценке воздействия на имущественные или природные объекты поражающих факторов аварии используют 2 типа пороговых критериев поражающего воздействия – характеристический (детерминированный) и дозовый.

Характеристический критерий задается путем указания пороговых значений основной физической характеристики поражающего фактора, определяющих диапазон изменения этой характеристики, соответствующий той или иной степени повреждения объекта. Характеристические критерии рекомендуется использовать в сочетании с построением на местности зоны негативного воздействия поражающего фактора.

Дозовый критерий задается путем указания диапазона изменения дозы (функции физической характеристики поражающего фактора и времени его воздействия на объект), соответствующего той или иной степени повреждения

объекта. Дозовые критерии рекомендуется использовать в сочетании с построением «зоны полученных доз» (ЗПД), которая представляет собой совокупность изолиний значений доз, рассчитываемых в точках территории вокруг места аварии.

Укрупненный алгоритм определения степеней повреждения потенциально поражаемых объектов (имущественных и природных компонентов) разных типов для различных расчетных поражающих факторов аварии с помощью разных типовых критериев поражающего воздействия приведен в приложении № 9 к настоящему Руководству.

44. При использовании как характеристических, так и дозовых критериев по результатам расчета для конкретного плана размещения имущественных и природных объектов должно быть определено количество поврежденных (с данной степенью повреждения) или уничтоженных объектов в результате воздействия каждого поражающего фактора в рамках рассматриваемого сценария аварии, измеряемое в штуках (если объектами являются здания, сооружения, транспортные средства) или площадью ($км^2$) (если объектами являются лесные угодья, сельхозкультуры, почвы, воды).

Итоговое для каждого рассматриваемого сценария C_{ij} количество уничтоженных (N_y) (или поврежденных ($N_п$)) объектов каждого вида, предназначенное к дальнейшему использованию при расчете ущерба в стоимостном выражении, определяется как максимальное из полученных по каждому поражающему фактору количеств уничтоженных (или поврежденных) объектов

$$N_{\text{у}} = \left\langle \max\left\{ N_{\text{у}}^{(\kappa)}, \ldots, N_{\text{у}}^{(\text{К})} \right\} \right\rangle, \qquad (5.4)$$

$$N_{\text{п}} = \left\langle \max\left\{ N_{\text{п}}^{(\kappa)}, \ldots, N_{\text{п}}^{(\text{К})} \right\} \right\rangle. \qquad (5.5)$$

где $N_y^{(\kappa)}, N_n^{(\kappa)}$ - количества уничтоженных и поврежденных объектов (соответственно) в результате воздействия k-го поражающего фактора при реализации сценария C_{ij}.

45. Рекомендуемая последовательность определения количества и степени повреждения уничтоженных и поврежденных зданий и сооружений, наружных установок, металлических конструкций, транспортных средств на стоянке в результате воздействия на них ВУВ/ВВС (используется детерминированный характеристический критерий поражающего воздействия) следующая:

а) на плане местности вокруг очага аварии/инцидента с нанесенными изображениями указанных стационарных объектов рассчитывается (в соответствии с приложением № 3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 марта 2013 г. № 96) и строится зона барического воздействия в виде изолиний избыточного давления ΔP_ϕ от максимального значения до 0,5 кПа;

б) для каждого потенциально поражаемого объекта, попадающего в зону барического воздействия, ограниченную изолинией минимального воздействия в той его точке, которая ближе всего к центру очага аварии, определяется значение избыточного давления ΔP_ϕ (либо по ближайшей изолинии зоны воздействия, либо непосредственно из расчетного массива $\Delta P_\phi(x,y)$);

в) для каждого потенциально поражаемого объекта производится его идентификация, т.е. отнесение к одному из возможных видов производственных и административных зданий, сооружений, оборудования, транспортных средств, приведенных в таблице 3 приложения № 3 к Федеральным нормам и правилам в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 марта 2013 г. № 96;

г) с использованием рассчитанных для каждого объекта значений $\Delta P_ф$ с помощью той же таблицы последовательно проверяется следующее условие повреждения объекта:

$$\Delta P_{ф-н}^{(k)} \le \Delta P_ф < \Delta P_{ф-в}^{(k)}, \qquad (5.6)$$

где $\Delta P_{ф-н}^{(k)}$, $\Delta P_{ф-в}^{(k)}$ (k=1,2,3,4) - соответственно нижний и верхний пределы избыточного давления, ограничивающие один из четырех (k–ый) диапазонов давлений, соответствующих четырем степеням повреждения (от слабого повреждения до полного разрушения). При выполнении условия рассматриваемому зданию (сооружению, оборудованию) «присваивается» соответствующее числовое значение степени повреждения $k_{повр}$ из числа следующих:

при слабом повреждении $k_{повр}$=0,1;

при среднем повреждении $k_{повр}$=0,4;

при сильном повреждении $k_{повр}$=0,7;

при полном разрушении $k_{повр}$=1,0.

д) после выполнения шагов а) - г) для всех потенциально поражаемых объектов в зоне барического воздействия простым суммированием определяются количество уничтоженных (с $k_{повр}$=1) объектов и количество поврежденных барическим воздействием объектов (с $k_{повр}$ отличным от 1).

46. Рекомендуемая последовательность определения количества и степени повреждения уничтоженных и поврежденных наружных установок, металлических конструкций, технологического оборудования, транспортных средств на стоянке в результате воздействия на них ВУВ/ВВС аналогична описанной выше для зданий (пункт 45 настоящего Руководства), но при этом степень повреждения указанного оборудования оценивается с применением детерминированных характеристических критериев, приведенных в таблице 7 приложения № 9 к настоящему Руководству.

47. При определении количества уничтоженных и поврежденных стационарных объектов: зданий, сооружений, оборудования, транспортных

средств на стоянке в результате воздействия на них осколков прежде всего рассчитываются дальности (r_{max}) разлета осколков с массами $m_{оск}$ и для каждого объекта, расположенного на расстоянии $r \leq \Delta R_{max}$ (м) от места аварии, определяются условные вероятности $P_{оск}(r)$ попадания в него осколка по математической модели, изложенной в приложении № 8 к настоящему Руководству.

Для определения степеней осколочного повреждения указанных объектов различных видов при попадании в них осколков следует использовать данные таблицы 4 приложения № 9 к настоящему Руководству, где приведены пороговые значения детерминированного характеристического критерия – $M_{оск} = m_{оск}/m_{об}$ (где $m_{оск}$-масса осколка, кг, $m_{об}$ -масса потенциально поражаемого объекта, кг), соответствующие 4–м различным степеням повреждения $k_{повр}$. На последнем этапе в зоне осколочного воздействия простым суммированием определяются количество уничтоженных (с $k_{повр}$=1) объектов и количество поврежденных данным воздействием объектов (с $k_{повр}$, отличным от 1).

При этом в отношении технологического оборудования (в отличие от зданий, сооружений) принимается, что в случае попадания осколка $m_{оск}$ массой в конкретный аппарат, установку, находящиеся под давлением газа/флюида, они полностью разрушаются ($k_{повр}$=1) за счет эффектов, обусловленных разгерметизацией аппарата или установки с последующим выбросом и, как правило, воспламенением содержащихся в них опасных веществ. К уничтоженным осколками наружным установкам причисляются все аппараты и установки, находящиеся в пределах дальности разлета (ΔR_{max}) осколков с заданными массами ($m_{оск}$), и далее для этих установок рассчитываются вероятности попадания в них осколков.

48. Рекомендуемая последовательность определения количества уничтоженных и поврежденных зданий, сооружений и транспортных средств на стоянке (т.е. стационарных объектов, включающих горючие элементы и обладающих пожарной нагрузкой) в результате воздействия тепловой

радиации от пожара (используется характеристический критерий поражающего воздействия) следующая:

а) для территории вокруг центра очага пожара с нанесенными изображениями объектов рассчитывается распределение удельного теплового потока облучения от пожара и строится зона теплового воздействия в виде изолиний тепловых потоков q от максимального значения до 7 кВт/м^2;

б) для каждого потенциально поражаемого объекта (т.е. объекта, попадающего в зону теплового воздействия, ограниченную изолинией 7 кВт/м^2), в той его точке, которая ближе всего к месту аварии, определяется значение удельного теплового потока $q_{об}$, (либо по ближайшей изолинии зоны воздействия, либо непосредственно из расчетного массива $q(x,y)$;

в) для каждого потенциально поражаемого объекта производится его идентификация, т.е. отнесение к одному из трех типов зданий, сооружений, транспортных средств, различающихся по пожарной нагрузке, по таблице 3 приложения № 9 к настоящему Руководству;

г) для каждого идентифицированного потенциально поражаемого объекта, характеризуемого рассчитанным падающим на него тепловым потоком $q_{об}$, с помощью матрицы «тепловой поток - тип здания по пожарной нагрузке» (таблица 3 приложения № 9 к настоящему Руководству) определяется степень поражения объекта $k_{повр}$;

д) после выполнения шагов а) - г) для всех потенциально поражаемых объектов в зоне теплового воздействия, суммированием определяются количество уничтоженных (с $k_{повр}$=1) объектов и количество поврежденных термическим воздействием объектов (с $k_{повр}$, отличным от 1).

49. Если в поврежденном или полностью разрушенном (в результате воздействия какого-либо поражающего фактора аварии) здании находилось технологическое оборудование, транспортные средства или другое имущество, то степень повреждения $k_{повр}$ этого имущества приравнивается к степени повреждения здания.

50. Количество уничтоженных и поврежденных движущихся транспортных средств при аварии на подземном переходе КП/ПП через автодорогу, железную дорогу рекомендуется определять в соответствии с пунктами 5.5.4.10 – 5.5.4.11 Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647 с учетом замены аббревиатуры «МГ» на «КП/ПП».

51. Определение по дозовому критерию перечня и количеств уничтоженных и поврежденных наружных установок, металлических конструкций, железных дорог (т.е. стационарных объектов без горючих элементов и не обладающих пожарной нагрузкой) в результате воздействия тепловой радиации от пожара рекомендуется выполнять в соответствии с пунктом 5.5.4.12 Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647 с учетом замены аббревиатуры «МГ» на «КП/ПП». При завершении процедуры для всех потенциально поражаемых объектов в зоне теплового воздействия суммированием определяются количество уничтоженных (с $k_{повр}$=1) объектов и количество поврежденных термическим воздействием объектов (с $k_{повр}$ отличным от 1).

52. Определение по детерминированному характеристическому критерию площадей уничтоженных и поврежденных лесных угодий, сельхозкультур, плодородного слоя почвы от теплового воздействия рекомендуется выполнять в соответствии с пунктами 5.5.4.13 – 5.5.4.16 Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647 с учетом замены аббревиатуры «МГ» на «КП/ПП».

53. Площадь загрязнения водного объекта при разливе транспортируемого по КП/ПП продукта на воду в случае аварии рекомендуется определять в соответствии с приложением № 9 к Руководству по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 июня 2016 г. № 228.

5.2.5. Оценка ущерба от аварии на линейной части и площадочных объектах конденсатопроводов и продуктопроводов

5.2.5.1. Оценка ущерба от аварии на линейной части

54. На данном подэтапе КолАР выполняется оценка ущерба в денежном выражении для каждого расчетного сценария C_{ij} аварии в выбранных точках каждого ПОУ рассматриваемого КП/ПП, и на этой основе – математическое ожидание ущерба от аварии в каждой точке ПОУ, средние значения ущерба в пределах ПОУ и в пределах рассматриваемого КП/ПП (а при необходимости – средние значения ущерба по филиалам ЭО и по ЭО в целом)[3]. При этом используются результаты расчета ущербов в натуральных показателях (количества погибших и раненых, уничтоженного (поврежденного) имущества и природных компонентов), полученные на предыдущих подэтапах.

55. Оценка ущерба от аварии на КП/ПП производится в соответствии с подразделами 1, 2, 3, 4, 5, 6.1, 6.2 приложения № 12 к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647, и ниже изложенными положениями, отражающими специфику КП/ПП.

---

[3] Порядок расчёта годового ожидаемого ущерба изложен в пункте 5.2.6 «Расчет итоговых показателей риска аварий на линейной части и площадочных объектах конденсатопроводов и продуктопроводов» настоящего Руководства.

56. Ущерб $У_{a}^{(ij)}$ при реализации сценария C_{ij} аварии на КП складывается из следующих основных составляющих:

социально-экономического ущерба $У_{с-э}^{(ij)}$ (руб.), обусловленного гибелью и травматизмом обслуживающего ЛЧ КП/ПП персонала, а также населения на территориях, прилегающих к КП/ПП, включая работников близлежащих сторонних организаций;

прямого ущерба производству $У_{пр}^{(ij)}$ (руб.), обусловленного разрушением и повреждением элементов ЛЧ КП/ПП и потерями продукта;

ущерба $У_{им.ор.л}^{(ij)}$ (руб.) имуществу других (третьих) лиц, в том числе населения;

ущерба $У_{ла}^{(ij)}$ (руб.), обусловленного затратами на локализацию аварии, ликвидацию ее последствий и расследование аварии;

экологического ущерба $У_{экол}^{(ij)}$ (руб.).

57. При расчете всех составляющих ущерба в результате реализации того или иного сценария C_{ij} аварии на ЛЧ КП/ПП в качестве учитываемого количества потенциально поражаемых реципиентов (людей, элементов имущества и природной среды) используется количество реципиентов, подвергаемых воздействию наиболее значимого по масштабам своего распространения поражающего фактора, создающего наибольшую зону поражения (исходя из принципа «поглощения наибольшей опасностью всех меньших опасностей, действующих одновременно»).

58. При расчете социально-экономического ущерба, кроме установленных законодательством Российской Федерации выплат пособий на погребение погибших и пособий в случае смерти кормильца, учитываются компенсационные выплаты $S_{комп}$ родственникам погибших, базирующиеся на стоимости среднестатистической жизни человека $S_{ж}$ в Российской Федерации (подраздел 2 приложения № 12 к руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной

службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647.

59. Принимается, что прямой ущерб производству $У_{пр}^{(ij)}$ включает в себя не только потери, равные балансовой стоимости уничтоженных и поврежденных основных фондов и товарно-материальных ценностей, но и затраты на восстановление (стоимость восстановления) основных фондов, поскольку в реальной практике эксплуатации КП/ПП такое восстановление после аварий всегда имеет место.

При расчете прямого ущерба производству $У_{пр}^{(ij)}$ в результате аварии на КП/ПП в качестве потенциально поражаемых элементов основных фондов ЭО учитываются следующие объекты:

а) собственно трубопровод (и соседние с ним нитки при необходимости);

б) площадки линейных задвижек (в том числе на соседних нитках);

в) опоры и провода вдольтрассовой технологической ЛЭП;

г) блок-боксы системы телемеханики;

д) шкафы ЭХЗ, контрольно-измерительные пункты (колонки);

е) кабели связи;

ж) сооружения и оборудование пунктов замера транспортируемого продукта;

з) задвижки, краны, трубопроводы, а также камеры приема-запуска очистных устройств на узле подключения НС (при аварии вблизи НС);

и) площадки с аварийным запасом труб, запорной арматуры и соединительных деталей.

Последовательность расчета $У_{пр}^{(ij)}$ приведена в подразделе 3 приложения № 12 к руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647. При этом степень повреждения основных фондов (оборудования, наружных установок,

зданий) определяется в соответствии с подразделом 5.2.4 и приложением № 9 к настоящему Руководству.

60. При расчете имущественного ущерба другим (третьим) лицам ($У^{(ij)}_{им.др.л}$) в результате аварии на КП/ПП в качестве потенциально уничтожаемого (повреждаемого) имущества других (третьих) лиц учитываются следующие объекты:

а) жилые и общественные здания, сооружения на территории постоянных населенных пунктов;

б) дома, хозяйственные постройки и зеленые насаждения садоводческих товариществ;

в) здания, сооружения, оборудование сторонних организаций;

г) автотранспортные средства на переходах КП/ПП через автодороги, в гаражах и на автостоянках вблизи трасс КП;

д) автодорожное полотно и объекты обустройства автодорог вблизи подземных переходов КП/ПП через автодороги;

е) железнодорожные составы на переходах КП/ПП через железные дороги;

ж) железнодорожное полотно и объекты обустройства железных дорог вблизи подземных переходов КП/ПП через железные дороги;

з) сторонние трубопроводы, ЛЭП, кабели вблизи трассы КП/ПП;

и) сельхозкультуры на сельхозугодьях вблизи трасс КП/ПП.

Последовательность расчета $У^{(ij)}_{им.др.л}$ приведена в подразделе 4 приложения № 12 к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647. При этом степень повреждения зданий и сооружений третьих лиц определяется в соответствии с подразделом 5.2.4 и приложением № 9 к настоящему Руководству.

61. Последовательность расчета затрат $У_{ма}^{(ij)}$ на локализацию аварии, ликвидацию ее последствий и расследование аварии приведена в подразделе 5 приложения № 12 к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647.

62. Экологический ущерб $У_{экол}^{(ij)}$, определяемый как вред, нанесенный компонентам природной среды в результате аварии на КП/ПП, исчисляется в денежном эквиваленте в форме компенсационных выплат эксплуатирующей организацией за причинение указанного вреда. При расчете $У_{экол}^{(ij)}$ в результате аварии на КП/ПП учитываются:

загрязнение атмосферного воздуха выбросами паров углеводородов и продуктами его сгорания;

выгорание лесных массивов и их повреждение тепловой радиацией до степени прекращения роста деревьев;

повреждение плодородного слоя почвы в результате теплового воздействия от пожара;

загрязнение почвы жидкими углеводородами;

загрязнение водных объектов жидкими углеводородами.

Расчет $У_{экол}^{(ij)}$ производится по формуле:

$$У_{экол} = К_{атм} + К_{лес.ф} + К_{водн} + К_{почв}, \qquad (5.7)$$

где $К_{атм}$ – компенсационные выплаты за ущерб, связанный с загрязнением атмосферного воздуха, руб.;

$К_{лес.ф}$ – компенсационные выплаты за ущерб лесному фонду и не входящим в лесной фонд лесам, руб.;

$К_{водн}$ – компенсационные выплаты за ущерб, связанный с загрязнением водных ресурсов, руб.;

$K_{почв}$ - компенсационные выплаты за ущерб, связанный с воздействием на почву, руб.

Компенсационные выплаты за ущерб, связанный с загрязнением атмосферного воздуха определяются в соответствии с подразделом 6.1 приложения № 12 к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647. Используемые в расчетах ущерба от загрязнения атмосферы объемы аварийных выбросов транспортируемого продукта определяются с учетом рекомендаций подраздела 5.2.1.

Расчет ущерба лесам, связанного с воздействием тепловой радиации от пожара, определяется в соответствии с подразделом 6.2 приложения № 12 к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647. Используемые в расчетах ущерба, связанного с поражением лесных массивов, площади уничтоженного леса определяются с учетом рекомендаций подраздела 5.2.2 и пункта 45.

Расчет компенсационных выплат за ущерб, связанный с загрязнением водных ресурсов, производится по формуле:

$$K_{\text{водн}} = \sum_{i=1}^{I} M_{\text{ср}-i}^{\text{сбр}} \cdot H_{\text{пл}-i}^{\text{сбр}} \cdot K_{\text{от}} \cdot K_{\text{ср}}, \qquad (5.8)$$

где $M_{\text{ср}-i}^{\text{сбр}}$ - платежная база за сброс соответствующего i-го загрязняющего вещества, определяемая лицом, обязанным вносить плату, за отчетный период как разница между массой сбросов загрязняющих веществ в количестве, превышающем установленные в соответствующих разрешениях сбросы загрязняющих веществ, и массой лимитов на сбросы либо при их отсутствии нормативно допустимых сбросов загрязняющих веществ, т;

$H_{пл-i}^{сбр}$ - ставка платы за сброс i-го загрязняющего вещества в соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 13 сентября 2016 г. № 913 [11], руб./т;

$K_{от}$ – дополнительный коэффициент к ставкам платы в отношении территорий и объектов, находящихся под особой охраной в соответствии с федеральными законами, равный 2;

$K_{ср}$ - коэффициент к ставкам платы за сброс соответствующего i-го загрязняющего вещества за массу сбросов загрязняющих веществ, превышающих установленные разрешениями на сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду, равный 25.

При этом используемые в расчетах ущерба, связанного с загрязнением водных объектов, площади загрязненных водных объектов определяются с учетом рекомендаций подраздела 5.2.2 и пункта 53.

Расчет компенсационных выплат за ущерб почвам для случаев реализации сценариев аварии на КП/ПП с разливом жидких углеводородов на почву без воспламенения паров продукта $K_{почв-р}$ производится по формуле (5.8), как для водных объектов.

Расчет компенсационных выплат за ущерб почвам для случаев реализации сценариев аварии на КП/ПП с пожарами разлития, при которых, кроме загрязнения почвы жидкими углеводородами, имеет место тепловое воздействие от пламени пожара на почву выполняется по формуле:

$$K_{почв} = K_{почв-р} + K_{почв-т}, \qquad (5.9)$$

где $K_{почв-р}$ - компенсационные выплаты за ущерб почвам при разливе жидких углеводородов, руб., определяемые по формуле (5.8);

$K_{почв-т}$ - компенсационные выплаты за ущерб, связанный с термическим воздействием от пожара на почву, определяемые по формуле:

$$K_{почв-т} = S_{почв-у} \cdot h_{повр-у} \cdot \rho_{почв-у} \cdot C_{почв-у}, \qquad (5.10)$$

где $S_{почв-у}$ – площадь утраченного плодородного слоя почвы, га, определяемая в случае пожара в соответствии с пунктом 5.2.4 настоящего

Руководства, как площадь территории, на которой удельный тепловой поток равен или больше 35 кВт/м^2, за вычетом площади разлития продукта;

$h_{повр\text{-}у}$= 0,20 – глубина утраченного плодородного слоя почвы, м;

$\rho_{почв\text{-}у}$=1,1 – средняя плотность грунта, т/м^3;

$C_{почв\text{-}у}$ – рыночная стоимость 1 тонны чернозема, руб./т.

Используемые в расчетах ущерба, связанного с повреждением и загрязнением почв, площади поврежденных почв определяются с учетом рекомендаций подраздела 5.2.2 и пункта 52.

63. Математическое ожидание ущерба от аварии в *m*-й точке трассы (с линейной координатой $x_n^{(m)}$) *n*-го ПОУ с учетом всех расчетных сценариев C_{ij} аварии в этой точке, образующих полную группу событий, рассчитывается по формуле:

$$У_a^{(m)} = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} У_a^{(ij)} \cdot P(C_{ij}), \qquad (5.11)$$

где $У_a^{(ij)}$ - полный ущерб при реализации сценария C_{ij} в *m*-й точке трассы *n*-го ПОУ; $P(C_{ij})$ - условная вероятность реализации сценария C_{ij}.

Математические ожидания отдельных составляющих ущерба (т.е. социально-экономического ущерба $У_{с-э}^{(m)}$, прямого производственного ущерба $У_{пр}^{(m)}$, ущерба имуществу других лиц $У_{им.др.л}^{(m)}$, затрат на ликвидацию и расследование аварии $У_{ла}^{(m)}$, экологического ущерба $У_{эко л}^{(m)}$) от аварии в *m*-ой точке трассы *n*-го ПОУ рассчитываются по формулам, аналогичным вышеприведенной формуле (5.11) при подстановке в нее вместо $У_a^{(ij)}$ значений соответствующих составляющих ущерба $У_{с-э}^{(ij)}, У_{пр}^{(ij)}, У_{им.др.л.}^{(ij)}, У_{ла}^{(ij)}, У_{эко л}^{(ij)}$, рассчитанных для каждого сценария C_{ij}.

64. Среднее значение ущерба в пределах *n*-го ПОУ рассчитывается по формуле:

$$У_{ПОУ}^{(n)} = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M} У_a^{(m)}, \qquad (5.12)$$

где $У_a^{(m)}$- математическое ожидание ущерба от аварии в *m*-й точке *n*-го ПОУ; *M* – общее число точек пределах *n*-го ПОУ, в которых моделируется авария на КП/ПП и рассчитывается ущерб от аварии.

Средние по *n*-му ПОУ значения отдельных составляющих ущерба (т.е. социально-экономического ущерба $У_{ПОУ-сэ}^{(n)}$, прямого производственного ущерба $У_{ПОУ-пр}^{(n)}$, ущерба имуществу других лиц $У_{ПОУ-им.др.л}^{(n)}$, затрат на ликвидацию и расследование аварии $У_{ПОУ-ла}^{(n)}$, экологического ущерба $У_{ПОУ-экол}^{(n)}$) рассчитываются по формулам, аналогичным формуле (5.12) при подстановке в нее вместо $У_a^{(m)}$ значений соответствующих составляющих ущерба $У_{с-э}^{(m)}$, $У_{пр}^{(m)}$, $У_{им.др.л}^{(m)}$, $У_{ла}^{(m)}$, $У_{экол}^{(m)}$, рассчитанных для каждой *m*-ой точки *n*-го ПОУ.

65. Среднее значение ущерба в пределах рассматриваемого (*k*-го) КП/ПП рассчитывается по формуле:

$$У_{КП}^{(k)} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^{N} У_{ПОУ}^{(n)}, \qquad (5.13)$$

где $У_{ПОУ}^{(n)}$- среднее по *n*-му ПОУ значение ущерба; *N* – общее количество ПОУ на трассе рассматриваемого *k*-го КП/ПП.

Средние по рассматриваемому (*k*-му) КП/ПП значения отдельных составляющих ущерба (т.е. социально-экономического ущерба $У_{КП-сэ}^{(k)}$, прямого производственного ущерба $У_{КП-пр}^{(k)}$, ущерба имуществу других лиц $У_{КП-им.др.л.}^{(k)}$, затрат на ликвидацию и расследование аварии $У_{КП-ла}^{(k)}$, экологического ущерба $У_{КП-экол}^{(k)}$) рассчитываются по формулам, аналогичным формуле (5.13) при подстановке в нее вместо $У_{ПОУ}^{(n)}$ значений соответствующих составляющих ущерба $У_{ПОУ-сэ}^{(n)}$, $У_{ПОУ-пр}^{(n)}$, $У_{ПОУ-им.др.л}^{(n)}$, $У_{ПОУ-ла}^{(n)}$, $У_{ПОУ-экол}^{(n)}$, рассчитанных для каждого *n*-го ПОУ *k*-го КП/ПП.

66. Средние значения ущерба и его составляющих по филиалу ЭО, в котором эксплуатируются *K* КП/ПП, рассчитываются (при необходимости)

через средние значения ущерба на каждом КП/ПП с учетом долей по протяженности КП/ПП в филиале ЭО.

Средние значение ущерба и его составляющих по ЭО, состоящему из S филиалов, рассчитываются (при необходимости) в последовательности, аналогичной изложенной в пункте 65 настоящего Руководства, с подстановкой в аналогичные расчетные формулы средних значений ущерба по каждому филиалу.

5.2.5.2. Алгоритм оценки ущерба от аварии на площадочном объекте

67. На данном подэтапе КолАР выполняется оценка ущерба в денежном выражении для каждого расчетного сценария C_{ij} аварии на элементах выделенных опасных составляющих площадочного объекта (ОСПО) и на этой основе – математическое ожидание ущерба от аварии на каждом данном элементе рассматриваемой ОСПО, средние значения для каждой ОСПО и для объекта в целом[4]. При этом используются полученные на предыдущих этапах КолАР результаты расчета ущербов в натуральных показателях (количества погибших и раненых, уничтоженного (поврежденного) имущества и природных компонентов).

68. Оценка ущерба от аварии на площадочном объекте производится в соответствии с подразделом 5.2.5.2 настоящего Руководства, с учетом ряда изложенных ниже положений, отражающих специфику площадочных объектов.

69. Ущерб $Y_a^{(ij)}$ при реализации сценария C_{ij} для аварии на той или иной ОСПО складывается из следующих составляющих:

социально-экономического ущерба $Y_{c-э}^{(ij)}$ (руб.), обусловленного гибелью и травматизмом персонала площадочного объекта, а также населения на прилегающих к объекту территориях;

---

[4] Порядок расчёта годового ожидаемого ущерба изложен в пункте 5.2.6 «Расчет итоговых показателей риска аварий на линейной части и площадочных объектах конденсатопроводов и продуктопроводов» настоящего Руководства.

прямого ущерба производству $У_{пр}^{(ij)}$ (руб.), обусловленного разрушением и повреждением зданий и сооружений, технологического оборудования, транспортных средств и потерями транспортируемого и других продуктов, обращающихся на объекте;

ущерба $У_{им.др.л}^{(ij)}$ (руб.) имуществу других (третьих) лиц, в том числе населения (только для площадочных объектов, зоны воздействия от аварий на которых выходят за пределы территории объекта);

ущерба $У_{за}^{(ij)}$ (руб.), обусловленного затратами на локализацию аварии, ликвидацию ее последствий и расследование аварии;

экологического ущерба $У_{экол}^{(ij)}$ (руб.).

70. При расчете составляющих ущерба в полной мере применяются положения пунктов 57 – 58 настоящего Руководства.

71. При расчете социально-экономического ущерба $У_{с-э}^{(ij)}$ (рекомендуемая последовательность расчета $У_{с-э}^{(ij)}$ приведена в подразделе 2 приложения № 12 к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647, в части, касающейся персонала площадочного объекта, следует использовать количества погибших и раненых среди работников дневной (наибольшей) смены, полученные в подразделе 5.2.3 настоящего Руководства).

72. При расчете прямого ущерба производству $У_{пр}^{(ij)}$ в результате аварии на площадочном объекте в качестве потенциально поражаемых элементов основных фондов эксплуатирующей организации следует учитывать здания, сооружения и технологическое оборудование, расположенное на территории площадочного объекта. Принимается, что прямой ущерб производству $У_{пр}^{(ij)}$ включает в себя не только потери, равные балансовой стоимости уничтоженных и поврежденных основных фондов и товарно-материальных ценностей, но и затраты на восстановление (стоимость восстановления) основных фондов.

Последовательность расчета $У_{пр}^{(ij)}$ приведена в подразделе 3 приложения № 12 к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647.

73. При расчете имущественного ущерба другим (третьим) лицам $У_{им.др.л}^{(ij)}$) в результате аварии на площадочном объекте в качестве потенциально уничтожаемого (повреждаемого) имущества других (третьих) лиц следует учитывать следующие объекты, расположенные за пределами площадочного объекта:

жилые и общественные здания, сооружения на территории постоянных населенных пунктов, коттеджных поселков;

дома, хозяйственные постройки и зеленые насаждения садоводческих товариществ;

здания, сооружения, оборудование сторонних организаций;

автотранспортные средства автодорожное полотно;

сторонние трубопроводы, ЛЭП, кабели вблизи площадочного объекта;

сельхозкультуры на сельхозугодьях вблизи площадочного объекта.

Последовательность расчета $У_{им.др..}^{(ij)}$ приведена в подразделе 4 приложения №12 к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647.

74. Затраты $У_{ла}^{(ij)}$ на локализацию аварии, ликвидацию ее последствий и расследование аварии рекомендуется определять в соответствии с пунктом 61 (но применительно к авариям на площадочных объектах).

75. При расчете экологического ущерба $У_{экол}^{(ij)}$ в результате аварий на площадочных объектах следуют рекомендациям пункта 62.

76. Расчет рассмотренных выше составляющих ущерба проводится для всех расчетных сценариев аварий на всех выделенных ОСПО.

77. Математическое ожидание ущерба от аварии на *m*-ом элементе *n*-й ОСПО с учетом всех расчетных сценариев C_{ij} аварии в этой точке, образующих полную группу событий, рассчитывается по формуле:

$$Y_a^{(mn)} = \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J} Y_a^{(ij)} \cdot P^{(mn)}(C_{ij}), \qquad (5.14)$$

где $Y_a^{(ij)}$ - полный ущерб при реализации сценария C_{ij} аварии на *m*-ом элементе *n*-ой ОСПО;

$P^{(mn)}(C_{ij})$ - условная вероятность реализации сценария C_{ij} на *m*-ом элементе *n*-й ОСПО.

Математические ожидания отдельных составляющих ущерба (т.е. социально-экономического ущерба $Y_{с-э}^{(mn)}$, прямого производственного ущерба $Y_{пр}^{(mn)}$, ущерба имуществу других лиц $Y_{им.др.л.}^{(ij)}$, затрат на ликвидацию и расследование аварии $Y_{ла}^{(mn)}$, экологического ущерба $Y_{экол}^{(mn)}$ от аварии на *m*-ом элементе *n*-й ОСПО) рассчитываются по формулам, аналогичным формуле (5.14), при подстановке в нее вместо $Y_a^{(ij)}$ значений соответствующих составляющих ущерба $Y_{с-э}^{(ij)}, Y_{пр}^{(ij)}, Y_{им.др.л.}^{(ij)}, Y_{ла}^{(ij)}$, $Y_{экол}^{(ij)}$, рассчитанных для каждого сценария C_{ij}.

78. Среднее значение ущерба от возможных аварий в пределах всей *n*-й ОСПО рассчитывается по формуле:

$$Y_{ОСПО}^{(n)} = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M} Y_a^{(mn)}, \qquad (5.15)$$

где $Y_a^{(mn)}$ - математическое ожидание ущерба от аварии на *m*-ом элементе *n*-й ОСПО;

M – общее число элементов данной ОСПО, на которых моделируются аварии.

Средние по *n*-й ОСПО значения отдельных составляющих ущерба (т.е. социально-экономического ущерба $Y_{ОСПО-э}^{(n)}$, прямого производственного

ущерба $У^{(n)}_{ОСПО-пр}$, ущерба имуществу других лиц $У^{(n)}_{ОСПО-им.др.л}$, затрат на ликвидацию и расследование аварии $У^{(n)}_{ОСПО-ла}$, экологического ущерба $У^{(n)}_{ОСПО-экол}$) рассчитываются по формулам, аналогичным формуле (5.15), при подстановке в нее вместо $У^{(mn)}_{a}$ значений соответствующих составляющих ущерба $У^{(mn)}_{с-э}$, $У^{(mn)}_{пр}$, $У^{(mn)}_{им.др.л}$, $У^{(mn)}_{ла}$, $У^{(mn)}_{экол}$, рассчитанных для каждого *m*-ого элемента *n*-й ОСПО.

79. Среднее значение ущерба в пределах рассматриваемого площадочного объекта рассчитывается по формуле:

$$У^{\Sigma}_{ПО} = \frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N} У^{(n)}_{ОСПО}, \qquad (5.16)$$

где $У^{(n)}_{ОСПО}$ - среднее по *n*-й ОСПО значение ущерба;

N – общее количество ОСПО на рассматриваемом площадочном объекте.

Средние по рассматриваемому площадочному объекту значения отдельных составляющих ущерба (т.е. социально-экономического ущерба $У^{\Sigma}_{ПО-сэ}$, прямого производственного ущерба $У^{\Sigma}_{ПО-пр}$, ущерба имуществу других лиц $У^{\Sigma}_{ПО-им.др.л}$, затрат на ликвидацию и расследование аварии $У^{\Sigma}_{ПО-ла}$, экологического ущерба $У^{\Sigma}_{ПО-экол}$) рассчитываются по формулам, аналогичным формуле (5.16), при подстановке в нее вместо $У^{(n)}_{ОСПО}$ значений соответствующих составляющих ущерба $У^{(n)}_{ОСПО-сэ}$, $У^{(n)}_{ОСПО-пр}$, $У^{(n)}_{ОСПО-им.др.л}$, $У^{(n)}_{ОСПО-ла}$, $У^{(n)}_{ОСПО-экол}$, рассчитанных для каждой *n*-й ОСПО.

5.2.6. Расчет итоговых показателей риска аварий на линейной части и площадочных объектах конденсатопроводов и продуктопроводов

80. На данном этапе КолАР выполняется расчет:

потенциального, индивидуального, коллективного и социального рисков гибели людей (персонала ЭО и третьих лиц) на основании рассчитанных ранее ожидаемых удельных частот аварий/инцидентов, условных вероятностей реализации их расчетных сценариев и ЗПП для всей совокупности расчетных сценариев аварий/инцидентов (далее – аварий) на идентифицированных ПОУ ЛЧ КП/КП или ОСПО (для площадочных объектов);

ожидаемого годового ущерба от возможных аварий на ЛЧ и площадочных объектах КП/ПП с учетом частоты их возникновения.

81. Расчеты потенциального, индивидуального, коллективного и социального рисков для ЛЧ и площадочных объектов КП/ПП рекомендуется выполнять в соответствии с пунктами 5.7.1 и 6.7.1 Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647, с учетом замены аббревиатуры «МГ» на «КП/ПП».

82. Расчет ожидаемого годового ущерба от аварий на ЛЧ и площадочных объектах КП/ПП рекомендуется выполнять в соответствии с пунктами 5.7.2 и 6.7.2 Руководства по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647, с учетом замены аббревиатуры «МГ» на «КП/ПП».

VI. УСТАНОВЛЕНИЕ СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ АВАРИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАИБОЛЕЕ ОПАСНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ И ПЛОЩАДОЧНЫХ ОБЪЕКТОВ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

6.1. Установление степени опасности аварий

83. При необходимости установления степени опасности аварий на линейной части и площадочных объектах КП/ПП согласно требованиям руководствуются рекомендациями приложения № 6 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144, и положениями настоящего подраздела.

84. В качестве основных способов установления степени опасности аварий

на участках линейной части КП/ПП в отношении населения предлагается сравнивать рассчитанное на каждом *n*-ом ПОУ значение максимального индивидуального риска $R_{ind}^{(n)}$, полученного для представителей наиболее «рискующей» группы населения из числа всех анализируемых групп, находящихся вблизи этого ПОУ, с одной из следующих величин:

фоновым риском гибели людей в техногенных происшествиях - значением среднестатистического индивидуального риска $R_{ind}^{(5лет)}$ гибели человека в техногенных происшествиях (авариях на ОПО и/или при ДТП и/или пожарах в производственном секторе) на территории того федерального округа Российской Федерации, в котором расположен анализируемый трубопровод, полученным по результатам анализа соответствующих статистических данных за последние 5 лет (при отсутствии таких данных для конкретного федерального округа можно использовать среднестатистический показатель по Российской Федерации в целом);

минимальным $R_{ind}^{(min)}$ и максимальным $R_{ind}^{(max)}$ рассчитанными значениями индивидуального риска на линейной части анализируемого трубопровода с дальнейшим присвоением анализируемому участку трубопровода одной из 4-х качественных градаций степени опасности аварий: «малая», «средняя», «высокая» или «чрезвычайно высокая» в зависимости от выполнения условий, указанных в графах 1,2,3 таблицы 5.

Таблица 5

Рекомендуемые способы установления степени аварийной опасности участка линейной части трубопровода

Степень опасности аварий	Рассчитанное значение индивидуального риска аварий на участке трубопровода $R_{ind}^{(n)}$	
1	2	3
Малая	Менее $0{,}5\cdot R_{ind}^{(5лет)}$	Менее $R_{ind}^{(min)} + 0{,}3\cdot(R_{ind}^{(max)} - R_{ind}^{(min)})$
Средняя	$(0{,}5\ldots5)\cdot R_{ind}^{(5лет)}$	$R_{ind}^{(min)} + (0{,}3\ldots0{,}8)\cdot(R_{ind}^{(max)} - R_{ind}^{(min)})$
Высокая	$(5\ldots50)\cdot R_{ind}^{(5лет)}$	$R_{ind}^{(min)} + (0{,}8\ldots0{,}97)\cdot(R_{ind}^{(max)} - R_{ind}^{(min)})$

Степень опасности аварий	Рассчитанное значение индивидуального риска аварий на участке трубопровода $R_{ind}^{(n)}$	
Чрезвычайно высокая	Более $50 \cdot R_{ind}^{(5лет)}$	Более $R_{ind}^{(min)} + 0{,}97 \cdot (R_{ind}^{(max)} - R_{ind}^{(min)})$

Аналогичным образом определяются степени опасности аварий на участках трубопровода в отношении персонала ЭО.

Дополнительно можно провести сравнительный анализ по показателю социального риска также отдельно для персонала ЭО и населения.

85. Для площадочных объектов КП/ПП установление степени опасности аварий на различных ОСПО или на объекте в целом выполняют в полном соответствии с процедурой, описанной в пункте 84, с применением таблицы 5. При этом под $R_{ind}^{(min)}$ и $R_{ind}^{(max)}$ подразумеваются соответственно минимальное и максимальное рассчитанные значения индивидуального риска на сравниваемых ОСПО анализируемого площадочного объекта или на разных сравниваемых между собой анализируемых площадочных объектах.

6.2. Определение наиболее опасных составляющих

86. Определение наиболее опасных участков линейной части КП/ПП осуществляется путем:

выделения наиболее вероятных и наиболее опасных сценариев аварий на анализируемом трубопроводе (или совокупности трубопроводов в составе ЭО);

выделения наиболее опасных участков анализируемого трубопровода (или среди всех трубопроводов в составе ЭО) по показателям риска (индивидуального и коллективного).

87. Выявление сценария $C_{ijn}^{(нар-макс)}$ аварии с наибольшей вероятностью (частотой) реализации для анализируемого(ых) трубопровода(ов) выполняется по результатам расчета удельных частот возникновения аварий на различных ПОУ этих трубопроводов и условных вероятностей реализации различных сценариев на проанализированных ПОУ. Наиболее вероятным признается

сценарий $C_{ijn}^{(вер-макс)}$ аварии на n-ом ПОУ анализируемого(ых) трубопровода(ов), удовлетворяющий условию:

$$P\left(C_{ijn}^{(\text{вер}-\text{макс})}\right) = \max\{\lambda_n \cdot L_n \cdot P_n(C_{ij}|A), n = 1,2,\dots,N_{\text{ПОУ}}\}, \qquad (6.1)$$

где λ_n - удельная частота возникновения аварий на n-ом ПОУ, авар./(км год);

L_n - длина n-го ПОУ, км;

$P_n(C_{ij}|A)$ - условная вероятность реализации сценария C_{ij} при условии, что произошла авария A в пределах n-го ПОУ;

$N_{ПОУ}$ – общее количество анализируемых ПОУ на трубопроводе.

Выявленный наиболее вероятный сценарий кратко описывают с указанием наименования трубопровода и ЭО, километража (пикетажа) конкретного ПОУ, на котором данный сценарий реализуется, размера ЗПП от превалирующего поражающего фактора, ожидаемого количества пострадавших и объемов возможного ущерба.

88. Задачу выявления наиболее опасного по последствиям сценария аварии на анализируемом(ых) трубопроводе(ах) рекомендуется разделить на 3 подзадачи:

выявление сценария аварии $C_{ijn}^{(ЗПП-макс)}$ с максимальной по размерам ЗПП;

выявление сценария аварии $C_{ijn}^{(N-макс)}$ с максимальным количеством пострадавших;

выявление сценария аварии $C_{ijn}^{(Y-макс)}$ с максимальным полным ущербом.

89. Сценарием с максимальной по размерам ЗПП признается сценарий $C_{ijn}^{(ЗПП-макс)}$ аварии на n-ом ПОУ анализируемого(ых) трубопровода(ов), удовлетворяющий условию:

$$R_1\left(C_{ijn}^{(\text{ЗПП}-\text{макс})}\right) = \max\{R_{1-ij}^{(n)}, n = 1,2,\dots,N_{\text{ПОУ}}\}, \qquad (6.2)$$

где R_1 - определяющий размер ЗПП (по границе 1%-го поражения);

$R_{1-ij}^{(n)}$- определяющий размер ЗПП (по границе 1%-го поражения) от превалирующего поражающего фактора для сценария C_{ij} аварии на n-ом ПОУ, км;

$N_{ПОУ}$ – общее количество анализируемых ПОУ.

90. Сценарием с максимальным количеством N пострадавших признается сценарий $C_{ijn}^{(N-макс)}$ аварии на n-ом ПОУ анализируемого(ых) трубопровода(ов), удовлетворяющий условию:

$$N\left(C_{ijn}^{(N-макс)}\right) = \max\{N_{ij}^{(n)}, n = 1,2,\dots,N_{ПОУ}\}, \quad (6.3)$$

где $N_{ij}^{(n)}$- ожидаемое количество пострадавших при реализации сценария C_{ij} аварии на n-ом ПОУ, чел.

91. Сценарием с максимальным полным ущербом У признается сценарий $C_{ijn}^{(У-макс)}$ аварии на n-ом ПОУ анализируемого(ых) трубопровода(ов), удовлетворяющий условию:

$$У\left(C_{ijn}^{(N-макс)}\right) = \max\{У_{ij}^{(n)}, n = 1,2,\dots,N_{ПОУ}\}, \quad (6.4)$$

где $У_{ij}^{(n)}$- прогнозируемый полный ущерб при реализации сценария C_{ij} аварии на n-ом ПОУ, руб.

Выявленные наиболее опасные сценарии аварий кратко описывают с указанием наименования трубопровода и ЭО, километража (пикетажа) конкретных ПОУ, на которых эти сценарии реализуются, размеров ЗПП от превалирующего поражающего фактора, ожидаемого количества пострадавших и объемов возможного ущерба.

92. Выявление наиболее опасных участков анализируемого(ых) трубопровода(ов) по показателям риска рекомендуется выполнять путем сравнительного анализа всех проанализированных ПОУ отдельно по уровням индивидуального и коллективного рисков.

Наиболее опасным ПОУ среди всех выделенных на данном трубопроводе(ах) участков по показателю индивидуального риска признается n-й участок, обозначаемый как $ПОУ_n^{(R_{ind}-макс)}$, удовлетворяющий условию:

$$R_{ind}\left(\text{ПОУ}_n^{(R_{ind}-\text{макс})}\right) = \max\left\{R_{ind}^{(n)}, n = 1,2,\dots,N_{\text{ПОУ}}\right\}, \qquad (6.5)$$

где R_{ind} - индивидуальный риск, изменяющийся по трассе трубопровода (функция номера ПОУ);

$R_{ind}^{(n)}$ - наибольший расчетный индивидуальный риск от аварий на n-ом ПОУ, полученный для представителей наиболее «рискующей» группы населения или персонала из числа всех анализируемых групп людей, находящихся вблизи n-го ПОУ.

Наиболее опасным ПОУ по показателю коллективного риска признается n-й участок $ПОУ_n^{(Rcol-макс)}$, удовлетворяющий условию:

$$R_{col}\left(\text{ПОУ}_n^{(R_{col}-\text{макс})}\right) = \max\{R_{col}^{(n)}, n = 1,2,\dots,N_{\text{ПОУ}}\}, \qquad (6.6)$$

где R_{col} - коллективный риск, изменяющийся по трассе трубопровода (функция номера ПОУ);

$R_{col}^{(n)}$ - суммарный коллективный риск от аварий на n-ом ПОУ, учитывающий коллективные риски для всех групп населения и персонала, находящихся вблизи n-го ПОУ.

Для выявленных таким образом наиболее опасных участков рекомендуется указать наименование(я) трубопровода(ов), которому(ым) эти ПОУ принадлежат, принадлежность трубопровода(ов) к ЭО, километраж (пикетаж) участков, значения коллективного, социального и максимального индивидуального рисков, названия населенных пунктов, объектов инфраструктуры и их расположение относительно оси трубопровода с указанием рискующих групп населения и персонала.

93. Определение наиболее опасных составляющих площадочного объекта выполняется аналогично изложенному в пункте 86 настоящего Руководства путем сравнения аварийных сценариев на различных ОСПО объекта и показателей риска на них.

VII. ПОРЯДОК РАЗРАБОТКИ РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СНИЖЕНИЮ РИСКА АВАРИЙ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ И ПЛОЩАДОЧНЫХ ОБЪЕКТАХ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

94. При разработке рекомендаций по снижению риска аварий на линейной части и площадочных объектах КП/ПП руководствуются положениями, изложенными в пунктах 27-30 руководства по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144, и положениями настоящего раздела.

Разработка рекомендаций базируется на результатах предшествующих этапов КолАР, в частности, на результатах идентификации опасностей, расчета показателей риска и оценки степени аварийной опасности участков линейной части и ОСПО, которые используются для приоритизации мероприятий, направленных на компенсацию рисков и обеспечение безопасной эксплуатации КП/ПП.

95. Мероприятия (технические решения и организационные меры) по снижению риска аварий рекомендуется разделять на две группы:

меры, направленные на предупреждение аварий (уменьшение вероятности их возникновения);

меры, направленные на снижение последствий возможных аварий, в том числе мероприятия по обеспечению готовности к локализации и ликвидации аварий.

Первая группа разрабатываемых мероприятий имеет более высокий приоритет по отношению ко второй.

Разрабатываемые мероприятия рекомендуется дифференцировать в зависимости от этапа жизненного цикла КП/ПП (проектирование, строительство, эксплуатация), а также различать меры пассивной и активной защиты.

96. Рекомендуемые мероприятия по снижению риска аварий на линейной

части КП/ПП.

97. Мероприятия по предупреждению аварий (уменьшению вероятности их возникновения), рекомендуемые к реализации на этапах проектирования и строительства трубопроводов:

применение материалов и конструкций трубопроводов, рассчитанных на обеспечение их прочности и надежной эксплуатации в рабочем диапазоне давлений и температур транспортируемого продукта и природных внешних нагрузок (в частности, при понижении температуры продукта и стенки трубы при аварийном выходе продукта из рабочей трубы), а также рассчитанных на устойчивость к внутренней коррозии с учетом конкретного состава продукта и устойчивость к внутренним динамическим нагрузкам (гидроударам);

повышение категории участков трубопроводов, идентифицированных как участки с чрезвычайно высокой и высокой степенями опасности аварий;

обеспечение для предотвращения механических повреждений подземных трубопроводов проектной глубины заложения в соответствии с требованиями СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*», утвержденного приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству от 25 декабря 2012 г. № 108/ГС, а при необходимости – сверхнормативной глубины заложения, заключение трубопроводов на переходах через дороги в стальные патроны;

усиление конструкций подводных переходов трубопроводов;

увеличение объема контроля качества сварных стыков различными методами неразрушающего контроля;

усиление контроля надлежащего состояния охранной зоны трубопроводов и зоны минимальных расстояний до сторонних объектов, своевременная очистка трасс трубопроводов от поросли, проведение проверок наличия знаков закрепления трассы, предупреждающих и запрещающих знаков на переходах через транспортные коммуникации, ограждений воздушных переходов и крановых узлов, створных знаков на переходах через водные преграды;

повышение надежности защиты от общей коррозии и коррозии под

напряжением стальных трубопроводов с помощью защитных изоляционных покрытий и установок ЭХЗ, в том числе современных автоматизированных комплексов ЭХЗ;

применение современной системы обнаружения утечек продукта;

повышение требований к качеству производства труб и оборудования ЛЧ трубопроводов, заводских испытаний, качеству доставки, погрузки (разгрузки), складирования и хранения труб и оборудования, качеству СМР.

98. Мероприятия по предупреждению аварий (уменьшению вероятности их возникновения), рекомендуемые к реализации на этапе эксплуатации трубопроводов:

проведение своевременных осмотров трасс трубопроводов, ревизий запорной арматуры, оптимизированных (с учетом технического состояния участков) технического обслуживания и ремонтов, внутритрубной дефектоскопии, ежегодной подготовки объектов и оборудования трубопроводов к эксплуатации в осенне-зимних условиях и весеннему паводку, ежегодного обследования после весеннего паводка;

осуществление непрерывного контроля давления на крановых узлах с помощью систем линейной телемеханики, расширение функциональности указанных систем в части параметров телеизмерения и телесигнализации;

проведение периодических испытаний на прочность и герметичность трубопроводов;

повышение эффективности охраны ЛЧ трубопроводов и мер защиты от противоправных действий (вандализма и терроризма).

99. Мероприятия по снижению последствий возможных аварий, рекомендуемые к реализации на этапах проектирования и строительства линейной части трубопроводов как меры пассивной защиты:

эффективное удаление зданий и сооружений от трубопровода, что может быть достигнуто корректировкой размеров зон минимальных расстояний от оси трубопровода до указанных объектов;

заглубление (при необходимости – сверхнормативное) трубопроводов;

обеспечение трубопровода на наиболее опасных участках (вблизи населенных пунктов, водоемов) физическими барьерами безопасности, в том числе средствами, предотвращающими или ограничивающими разлив и растекание жидкостей при авариях.

В качестве мер активной защиты на стадии проектирования и строительства линейной части трубопроводов рекомендуются:

применение современной системы телемеханики, обеспечивающей телеизмерение технологических параметров перекачки и телесигнализацию о выходе их за допустимые пределы;

применение автоматики аварийного закрытия линейных кранов, обеспечивающих в случае разгерметизации трубопровода оперативное перекрытие аварийной секции.

100. Мероприятия по снижению последствий возможных аварий, рекомендуемые к реализации на этапе эксплуатации линейной части трубопроводов:

обеспечение требуемого уровня надежности средств пассивной и активной защиты;

обеспечение готовности к локализации и ликвидации последствий аварий со своевременным обновлением Плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий и оптимизацией сил и средств для оперативной локализации и ликвидации аварий на ЛЧ трубопроводов;

оптимизация периодичности проведения противоаварийных тренировок персонала ЭО;

уменьшение возможности нахождения групп людей в зонах поражающих факторов аварий.

101. Рекомендуемые мероприятия по снижению риска аварий на площадочных объектах КП/ПП.

102. Мероприятия по предупреждению аварий (уменьшению вероятности их возникновения), рекомендуемые к реализации на этапах проектирования и строительства площадочных объектов:

применение материалов и конструкций технологического оборудования и технологических трубопроводов, рассчитанных на обеспечение их прочности и надежной эксплуатации в рабочем диапазоне давлений и температур основного продукта и других опасных веществ, а также устойчивых к внешним нагрузкам, внутренней коррозии, внутренним динамическим нагрузкам;

повышение категории участков технологических трубопроводов, идентифицированных как участки с чрезвычайно высокой и высокой степенями опасности аварий;

применение трубопроводной обвязки насосного оборудования, устойчивого к вибрациям;

увеличение объема контроля качества сварных и фланцевых соединений различными методами неразрушающего контроля;

повышение надежности защиты от общей коррозии и коррозии под напряжением стальных технологических трубопроводов и оборудования с помощью защитных изоляционных покрытий и установок ЭХЗ;

использование предохранительных клапанов для предотвращения разгерметизации оборудования вследствие превышения давления;

применение современных систем дистанционного контроля основных технологических параметров и систем обнаружения утечек опасных веществ;

повышение требований к качеству производства труб и оборудования, заводских испытаний, качеству доставки, погрузки (разгрузки), складирования и хранения труб и оборудования, качеству СМР.

103. Мероприятия по предупреждению аварий (уменьшению вероятности их возникновения), рекомендуемые к реализации на этапе эксплуатации площадочных объектов:

осуществление ежегодного контроля сосудов и технологических трубопроводов на эрозионный износ методами ультразвуковой толщинометрии, ежегодного технического освидетельствования сосудов высокого давления;

проведение своевременных осмотров оборудования, ревизий запорной арматуры, оптимизированных (с учетом технического состояния) технического

обслуживания и ремонтов, дефектоскопии, ежегодной подготовки объектов и оборудования к эксплуатации в осенне-зимних условиях;

осуществление непрерывного контроля давления, температуры, уровня жидких веществ с помощью систем дистанционного контроля;

проведение периодических испытаний на прочность и герметичность технологического оборудования и трубопроводов;

усиление контроля надлежащего состояния охранной зоны площадочных объектов и зоны минимальных расстояний до сторонних объектов;

повышение эффективности охраны площадочных объектов и мер защиты от противоправных действий.

104. Мероприятия по снижению последствий возможных аварий, рекомендуемые к реализации на этапах проектирования и строительства площадочных объектов как меры пассивной защиты:

эффективное удаление зданий и сооружений от потенциальных источников опасности;

устройство противопожарных разрывов и преград;

заглубление (при необходимости - сверхнормативное) подземных технологических трубопроводов;

усиление конструкций зданий и сооружений;

применение легкосбрасываемых конструкций;

установление предельно допустимых площадей противопожарных отсеков и секций;

обеспечение физическими барьерами безопасности, в том числе средствами, предотвращающими или ограничивающими разлив и растекание жидкостей в случае аварии.

В качестве мер активной защиты на стадии проектирования и строительства площадочных объектов рекомендуются:

установка систем противоаварийной защиты, обеспечивающих раннее предупреждение о возможности аварии и аварийное отключение

технологических установок и коммуникаций в случае недопустимых отклонений температуры, давления, уровня жидкости, вибрации;

установка систем противопожарной защиты, обеспечивающих в автоматическом режиме ликвидацию очагов воспламенения;

установка систем водяного орошения технологического оборудования, препятствующих эскалации аварии за счет разогрева оборудования тепловой радиацией от пожаров;

установка систем паровой завесы, предназначенных для предотвращения контакта горючих газовых смесей с источниками зажигания;

установка систем нейтрализации выбросов токсичных веществ.

105. Мероприятия по снижению последствий возможных аварий, рекомендуемые к реализации на этапе эксплуатации площадочных объектов:

обеспечение требуемого уровня надежности средств пассивной и активной защиты;

обеспечение готовности к локализации и ликвидации последствий аварий, в том числе своевременное обновление и оптимизация Плана мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварий, оптимизация периодичности проведения противоаварийных тренировок персонала, оптимизация сил и средств для оперативной локализации и ликвидации аварий на площадочных объектах;

уменьшение возможности нахождения персонала объекта в зонах поражающих факторов аварий путем оптимизации мест постоянного размещения и маршрутов перемещения по территории объекта различных категорий персонала для предотвращения пребывания или максимального уменьшения времени пребывания в непосредственной близости от опасных технологических объектов тех категорий персонала, в обязанности которых не входит обслуживание данного оборудования;

корректировка размеров зон минимальных расстояний до сторонних объектов.

106. Выбор наиболее эффективных мер по снижению риска может быть выполнен двумя альтернативными способами:

при заданных ресурсах формируют оптимальную группу мер безопасности, обеспечивающих максимально возможное при этих ресурсах снижение риска аварий на наиболее опасных участках;

минимизируя затраты, выбирают оптимальную группу мер безопасности, обеспечивающих снижение риска аварий до допустимых значений.

Приложение № 1
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 20 марта 2020 г. № 139

СОКРАЩЕНИЯ

БФФ – балльно-факторная функция;

ВВС – воздушная волна сжатия;

ВУВ – воздушная ударная волна;

ДПБ – декларация промышленной безопасности;

ЕСГ – Единая система газоснабжения;

ЗПД – зона полученных доз;

ЗПП – зона потенциального поражения;

ИТМ ГОЧС – инженерно-технические мероприятия по гражданской обороне, предупреждению, локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций;

КолАР – количественный анализ риска аварий;

КП – конденсатопровод;

КП/ПП – конденсатопровод/продуктопровод;

КРН – коррозия под напряжением;

ЛЧ – линейная часть;

ЛЭС – линейно-эксплуатационная служба;

МВКП – максимально возможное количество потерпевших;

МТ – магистральный трубопровод;

НДС – напряженно-деформированное состояние;

НС – насосная станция;

ОБ – обоснование безопасности;

ОВ – опасное вещество;

ОИ – обоснование инвестиций;

ОПО – опасный производственный объект;

ОС – опасная составляющая;

ОСПО – опасная составляющая площадочного объекта;

ПМЛА – план мероприятий по локализации и ликвидации последствий аварии;

ПОУ – потенциально опасный участок;

ПП – продуктопровод;

ППР – планово-предупредительный ремонт;

ПТЭ – правила технической эксплуатации;

СМР – строительно-монтажные работы;

СП – свод правил;

СПГ – сжиженный природный газ;

СТУ – специальные технические условия;

СУГ – сжиженные углеводородные газы;

ТВС – топливно-воздушная смесь;

ТД – техническая документация;

ТЗ – техническое задание;

ТО – техническое обслуживание;

ФНП – федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности;

ШФЛУ – широкая фракция легких углеводородов;

ЭО – эксплуатирующая организация;

ЭХЗ – электрохимическая защита

BLEVE – Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion – взрыв расширяющихся паров кипящей жидкости

Приложение № 2
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 30 марта 2020 г. № 139

ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящем Руководстве применены термины в соответствии с Федеральным законом от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», ГОСТ Р 58329-2018 Правила эксплуатации магистральных конденсатопроводов и продуктопроводов (утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 декабря 2018 г. № 1134-ст), а также следующие термины с соответствующими определениями:

Авария - разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на ОПО, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ (статья 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»).

Анализ риска аварий (анализ опасностей и оценка риска аварий) - взаимосвязанная совокупность научно-технических методов исследования опасностей возникновения, развития и последствий возможных аварий для обеспечения промышленной безопасности ОПО (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Взрыв - неконтролируемый быстропротекающий процесс выделения энергии, связанный с физическим, химическим или физико-химическим

изменением состояния вещества, приводящий к резкому динамическому повышению давления или возникновению ударной волны, сопровождающийся образованием сжатых газов, способных привести к разрушительным последствиям.

Взрывная разгерметизация – разгерметизация, сопровождаемая физическим взрывом.

Взрыв сосуда под высоким давлением - быстропротекающее разрушение оборудования (технологического аппарата, баллона, резервуара, цистерны, трубопровода), в котором в рабочем состоянии находятся сжатые под высоким давлением опасные вещества (природный газ, газожидкостные смеси); разрушение оборудования происходит в результате внешнего механического воздействия, нагрева или взрыва образовавшейся взрывоопасной смеси внутри сосуда, коррозии, развития дефекта материала сосуда или сварного шва.

Газовый конденсат - жидкая смесь, состоящая из парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов широкого фракционного состава, содержащая примеси неуглеводородных компонентов, получаемая в результате разделения газоконденсатной смеси (п. 6 ГОСТ Р 53521-2009 «Переработка природного газа. Термины и определения», утвержден приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14.12.2009 № 764-ст).

Гомогенное облако – облако, состоящее из смеси газофазных компонентов.

Гетерогенное облако – облако, содержащее помимо газовой смеси компоненты в жидкой фазе (содержит более 50 % в виде капель).

Декларация промышленной безопасности опасного производственного объекта; ДПБ - документ, в котором представлены результаты всесторонней оценки риска аварии, анализа достаточности принятых мер по предупреждению аварий и по обеспечению готовности организации к эксплуатации опасного производственного объекта в соответствии с требованиями норм и правил промышленной безопасности, а также к локализации и ликвидации последствий аварии на опасном производственном объекте (приложение № 1 Порядка

оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений, (РД 03-14-2005), утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 ноября 2005 г. № 893).

Декларируемый объект - опасный производственный объект, для которого разработка декларации промышленной безопасности является обязательной согласно федеральному законодательству или требованиям Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (приложение № 1 Порядка оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений, (РД 03-14-2005), утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 ноября 2005 г. № 893).

Детонационное горение (детонация) – один из видов кинетического горения, когда сгорание происходит в движущемся за счет ударно-волнового сжатия на фронте горения.

Дефлаграционное горение – один из видов кинетического горения, когда сгорание происходит в движущемся за счет теплопередачи фронте горения.

Диффузионное горение – горение неоднородной смеси, когда горючее и окислитель предварительно не перемешаны. В этом случае, смешивание горючего и окислителя происходит во фронте пламени за счет диффузии. Для неорганизованного горения характерен именно диффузионный режим горения.

Допустимый (предельно допустимый) риск аварии - установленное либо полученное в соответствии с установленной формализованной процедурой значение риска аварии на ОПО, превышение которого характеризует угрозу возникновения аварии.

Заказчик КолАР - юридическое лицо, заказывающее работу, включающую в свой состав количественный анализ риска.

Зона воздействия поражающего фактора - зона территориального (на уровне земли) распределения физической характеристики заданного поражающего фактора аварии вокруг места возникновения аварии, ограниченная изолинией заранее установленного порогового значения данной физической характеристики.

Например, зона теплового воздействия от вертикального колонного пламени может характеризоваться распределением на уровне земли вокруг центра основания пламени удельного потока тепловой радиации с внешней границей, соответствующей изолинии порогового значения теплового потока 1,5 кВт/м^2.

Зона потенциального поражения (зона поражения); ЗПП - зона территориального (на уровне земли) распределения условных вероятностей поражения человека заданным поражающим фактором аварии, ограниченная изолинией условной вероятности гибели человека, равной 0,01 (1 процент).

Идентификация опасностей аварии - выявление источников возникновения аварий и определение соответствующих им типовых сценариев аварии.

Индивидуальный риск - ожидаемая частота (частота) поражения отдельного человека в результате воздействия исследуемых поражающих факторов аварии (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Инцидент - отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, отклонение от установленного режима технологического процесса (статья 1 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов»).

Кинетическое горение – горение предварительно перемешанной горючей смеси, т.е. однородной смеси. Скорость горения определяется только кинетикой окислительно-восстановительной реакции.

Коллективный риск (или ожидаемые людские потери) - ожидаемое количество пораженных в результате возможных аварий за определенный период времени (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Количественный анализ риска аварий, КолАР (или количественная оценка риска аварий) - анализ риска аварий, выполняемый с использованием расчетных методов оценки показателей риска.

Магистральный трубопровод - технологически неделимый, централизованно управляемый имущественный производственный комплекс, состоящий из взаимосвязанных объектов и сооружений, являющихся его неотъемлемой технологической частью, предназначенных для транспортировки подготовленной в соответствии с требованиями национальных стандартов продукции от объектов добычи и (или) пунктов приема до пунктов сдачи потребителям и передачи в распределительные трубопроводы или иной вид транспорта и (или) хранения.

Нестабильный газовый конденсат - газовый конденсат, содержащий в растворенном виде газообразные углеводороды, направляемый на переработку с целью очистки от примесей и выделения углеводородов C_1 - C_4, отвечающий требованиям соответствующего нормативного документа (пункт 7 ГОСТ Р 53521-2009 «Переработка природного газа. Термины и определения», утвержденного приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14.12.2009 № 764-ст).

Ожидаемая частота аварий f, аварий/год, - прогнозируемое количество аварий на опасном производственном объекте за 1 календарный год его эксплуатации.

Ожидаемая удельная частота аварий на участке КП/ПП λ_n, 1/(1000км·год) - прогнозируемое количество аварий на единице длины (1000 км) конденсатопровода/продуктопровода за 1 календарный год его эксплуатации.

Ожидаемый ущерб от аварий y, руб./год, - математическое ожидание ущерба от возможных аварий на опасном производственном объекте за 1 календарный год его эксплуатации.

Опасные вещества - флюид, нестабильный конденсат (в том числе СУГ, ШФЛУ), стабильный конденсат и иные вещества, которые перекачиваются, обращаются на КП/ПП и соответствуют критериям, установленным в приложении 2 Федерального закона от 21 июля 1997 г. № 116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов».

Опасность аварии - возможность причинения ущерба человеку, имуществу и (или) окружающей среде вследствие разрушения сооружений и (или) технических устройств, взрыва и (или) выброса опасных веществ на ОПО. Опасность аварии на ОПО обусловлена наличием на них опасных веществ, энергомассообменными свойствами технологических процессов, ошибками проектирования, строительства и эксплуатации, отказами технических устройств и их систем, а также нерасчетными (запроектными) внешними природными, техногенными и антропогенными воздействиями на ОПО (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Оценка риска аварии - определение качественных и (или) количественных характеристик опасности аварии (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей

и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Поле потенциального риска - пространственное распределение значений потенциального риска, рассчитанных в каждой точке (узле) выбранной расчетной сетки на рассматриваемой территории, изображаемое, как правило, совокупностью изолиний потенциального риска.

Последствия аварии - явления, процессы, события и состояния, обусловленные возникновением аварии на опасном производственном объекте (травмирование людей, нанесение ущерба владельцу, третьим лицам или окружающей среде).

Потенциальный территориальный риск (или потенциальный риск) - частота реализации поражающих факторов аварий в рассматриваемой точке на площадке ОПО и прилегающей территории (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Приемлемый риск – риск, уровень которого допустим и обоснован исходя из экономических и социальных соображений

Реципиент - объект воздействия поражающих факторов аварии. Реципиентами могут быть люди, компоненты природной среды и материальные ценности.

Риск аварии - мера опасности, характеризующая возможность возникновения аварии на ОПО и соответствующую ей тяжесть последствий (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Стабильный газовый конденсат - газовый конденсат, получаемый путем очистки газового конденсата от примесей и выделения из него углеводородов C_1 - C_4, отвечающий требованиям соответствующего нормативного документа (пункт 9 ГОСТ Р 53521-2009 «Переработка природного газа. Термины и определения», утвержденного приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14.12.2009 № 764-ст).

Составляющие опасного производственного объекта - участки, установки, цеха, хранилища или другие составляющие (составные части), объединяющие технические устройства или их совокупность по технологическому и/или административному принципу и входящие в состав опасного производственного объекта (приложение № 1 Порядка оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений, (РД 03-14-2005), утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 ноября 2005 г. № 893).

Социальный риск (или риск поражения группы людей) - зависимость частоты возникновения сценариев аварий F, в которых пострадало на определенном уровне не менее N человек, от этого числа N. Характеризует социальную тяжесть последствий (катастрофичность) реализации совокупности сценариев аварии и представляется в виде соответствующей F/N-кривой (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Степень опасности аварии (степень аварийной опасности) - сравнительная мера опасности, характеризующая относительную возможность возникновения и тяжесть последствий аварий на ОПО и (или) его составных частях (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных

объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Сценарий аварии - последовательность отдельных логически связанных событий, обусловленных конкретным инициирующим (исходным) событием, приводящих к определенным опасным последствиям аварии (приложение № 1 к Порядку оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений, (РД 03-14-2005), утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 ноября 2005 г. № 893).

Сценарий наиболее вероятной аварии (наиболее вероятный сценарий аварии) - сценарий аварии, вероятность реализации которого максимальна за определенный период времени (приложение № 1 к Порядку оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений (РД 03-14-2005), утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 ноября 2005 г. № 893).

Сценарий наиболее опасной по последствиям аварии (наиболее опасный по последствиям сценарий аварии) - сценарий аварии с наибольшим ущербом людским и материальным ресурсам или компонентам природной среды (приложение № 1 к Порядку оформления декларации промышленной безопасности опасных производственных объектов и перечень включаемых в нее сведений (РД 03-14-2005), утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 ноября 2005 г. № 893).

Условная вероятность поражения людей $P_{гиб}$ - вероятность гибели человека при условии нахождения его под воздействием заданного поражающего фактора аварии.

Ущерб от аварии - потери (убытки) в производственной и непроизводственной сферах жизнедеятельности человека, а также при

негативном изменении окружающей среды, причиненные в результате аварии на ОПО объекте и исчисляемые в натуральной (денежной) форме (руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденное приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. №144, приложение № 1).

Фаза – совокупность частей сложной физико-химической системы с одинаковыми физическими и химическими свойствами.

Флюид – (от лат. fluidus текучий) любое вещество, поведение которого при деформации может быть описано законами механики жидкостей.

Фоновый риск аварии – численное значение риска аварии на ОПО (или составной части ОПО), определенное с учетом статистики за последние 5-10-лет (приложение № 1 к руководству по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 апреля 2016 г. № 144).

Широкая фракция легких углеводородов; ШФЛУ - углеводородная смесь, состоящая из пропана, бутанов и пентанов с примесями метана, этана, гексанов и более тяжелых компонентов, получаемая в процессе переработки нестабильного газового конденсата и стабилизации нефти (пункт 19 ГОСТ Р 53521-2009 «Переработка природного газа. Термины и определения», утвержденного приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 14 декабря 2009 № 764-ст).

Приложение № 3
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 30 марта 2020 г. № 139

ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПАСНЫХ ВЕЩЕСТВ, ОБРАЩАЮЩИХСЯ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

Значения основных физико-химических параметров компонентов газоконденсатной смеси (индивидуальных веществ) приведены в таблице 1.

Ниже даны соотношения для расчета некоторых физико-химических свойств многокомпонентных смесей углеводородов (при допущении, что компоненты смеси при смешивании не образуют новых структур).

Молярная масса смеси вычисляется по формуле:

$$M = \sum_{j=1}^{N} x_j \cdot M_j, \quad (1)$$

где x_j - молярная доля j-го компонента смеси;

M_j – молярная масса j-го компонента смеси;

N – количество компонентов смеси.

Плотность, кг/м^3 смеси вычисляется по формуле:

$$\rho = \frac{1}{\sum_{j=1}^{N} \frac{W_j}{\rho_j}}, \quad (2)$$

где W_j - массовая доля j-го компонента смеси, %;

ρ_j – плотность j-го компонента смеси, кг/м^3;

N – количество компонентов смеси.

Нижний предел горения, % паров многокомпонентной смеси углеводородов в воздушной среде определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{100}{\sum_{j=1}^{N} \frac{C_j}{\varphi_j}}, \quad (3)$$

где C_j - объемная доля в парах продукта, образующих газовоздушную смесь, j-го компонента,%;

φ_j - нижний предел горения j - го компонента, %;

N – количество компонентов смеси.

Давление насыщенного пара индивидуального вещества P, кПа:

$$lgP = A - \frac{B}{t + C_A},$$

где A, B, C_A – константы уравнения Антуана; t – температура, °С.

Давление насыщенных паров СУГ вычисляется в соответствии с ГОСТ ISO 8973-2013.

Таблица 1 – Основные физико-химические параметры компонентов газоконденсатной смеси

Компонент газоконденсатной смеси	Формула	Молярная масса, кг/кмоль	Плотность газовой фазы, кг/м^3 (при 0 °С и давлении 101,3 кПа),	Плотность жидкой фазы, кг/м^3 (при 0 °С и давлении 101,3 кПа)	Отношение плотности (пара) к плотности воздуха	Температура кипения (при давлении 101,3 кПа), °С	Константы уравнения Антуана				Вязкость жидкой фазы, 10^{-3} кг/(м*сек) (при 280 К, кроме*)	Удельная теплота сгорания, кДж/кг	Предел горения нижний, %	Предел горения верхний, %
							Температурный интервал, °С	A	B	C_A				
Метан	CH_4	16,043	0,72	416	0,554	-161,5	минус 182 – минус 162	5,68923	380,224	264,804	0,066*	50000	5,0	15,0
Этан	C_2H_6	30,070	1,36	546	~1	-89	минус 88,6 – плюс 23,6	6.0659	699.0049	260.7584	0,162*	52413	3,15	12,5
Пропан	C_3H_8	44,097	2,0037	528	1,55	-42	минус 189 – минус 42	5,95547	813,864	248,116	0,135	46353	2,243	9,48
и-Бутан	и-C_4H_{10}	58,123	2,668	582	2,06	-11,72	минус 159 – плюс 12	5,95318	916,054	243,783	0,195	45578	1,8	8,4
н-Бутан	н-C_4H_{10}	58,123	2,703	578,9	2,08	-0,5	минус 130 – 0	6,00525	968,098	242,555	0,191	45713	1,749	8,58
н-Пентан	н-C_5H_{12}	72,150	3,46	621,4	2,67	36,1	минус 50 – плюс 36	5,97208	1062,555	231,805	0,259	45350	1,423	7,85
н-Гексан	н-C_6H_{14}	86,177	-	654,81 (при 20 °С)	2,97	68,7	минус 54 – плюс 69	5,99517	1166,274	223,661	0,343	45105	1,202	7,83
н-Гептан	н-C_7H_{16}	100,204	-	683,76 (при 20 °С)	3,46	98,4	минус 60 – плюс 98	6,07647	1295,405	219,819	0,466	44919	1,041	6,70
н-Октан	н-C_8H_{18}	114,231	-	702,52 (при 20 °С)	3,93	125,66	минус 14 – плюс 126	6,09396	1379,556	211,896	0.622	44787	0,919	6,24
н-Нонан	н-C_9H_{20}	128,258	-	717,6	4,4	150,77	плюс 2-плюс 150	6,17776	1510,695	211,502	0,827	44683	0,822	5,84
н-Декан	н-$C_{10}H_{22}$	142,285	-	734	4,9	174,12	плюс 17 – плюс 174	6,52023	1809,975	227,7	1,07	44602	0,743	5,49
Сероводород	H_2S	34,082	1,54 (при 20 °С)	938	1,19	-60,38	-	-	-	-	0,44*	16988,8	4,3	45,5
Метилмеркаптан	CH_3SH	48,109	-	868 (при 20 °С)	1,6	5,97	минус 51,28 – плюс 5,97	6,18911	1030,117	240,289	-	31594	3,9	21,8
Этилмеркаптан	C_2H_5SH	62,136	-	840 (при 20 °С)	2,03	37	-	-	-	-	-	34975,1	2,8	18,2

Приложение № 4
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 21 марта 2020 г. № 139

ИСХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ АНАЛИЗА РИСКА АВАРИЙ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ И ПЛОЩАДОЧНЫХ ОБЪЕКТАХ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

Типовой перечень основной исходной информации, необходимой для проведения работ по анализу риска аварий на линейной части и площадочных объектах КП/ПП, включает в себя:

по линейной части:

технологическая схема участка(ов) КП/ПП с трубопроводами-отводами;

план трасс(ы) участка(ов) КП/ПП с трубопроводами-отводами и прилегающей территории (с населенными пунктами, организациями, естественными и искусственными препятствиями, лесными и сельскохозяйственными угодьями);

перечень и конструктивно-технологические параметры трубопровода(ов) (название, диаметр, давление, категория участка, протяженность, расстановка линейной запорной арматуры, данные по трубам и трубным сталям, изоляционным покрытиям и др.);

описание природно-климатических условий района расположения трубопровода(ов);

характеристики грунтов (коррозионные, механические, мерзлотные и др.) вдоль трасс(ы) трубопровода(ов);

перечень и характеристики подземных переходов трубопровода(ов) через дороги (автомобильные и железные);

сведения об идущих параллельно трубопроводу(ам) авто- и железных дорогах, инженерных коммуникациях;

перечень и характеристики подводных переходов трубопровода(ов);

перечень и характеристики воздушных переходов трубопровода(ов);

перечень пересечений трубопровода(ов) с инженерными коммуникациями;

перечень и характеристики наземного оборудования ЛЧ трубопровода(ов);

технические характеристики системы линейной телемеханики;

описание и основные характеристики лесных угодий вдоль трасс(ы) трубопровода(ов);

описание сельскохозяйственных угодий и распределения сельхозрабочих и сельхозтехники вдоль трасс(ы) трубопровода(ов);

данные о размещении и численности населения близлежащих населенных пунктов;

данные о размещении и численности работников близлежащих организаций;

перечень опасных объектов сторонних организаций, которые могут явиться источником чрезвычайной ситуации для трубопровода(ов);

численность, квалификация, режим работы и распределение обслуживающего персонала по трассе(ам) трубопровода(ов);

данные об имевших место авариях на трубопроводе(ах);

результаты диагностических обследований ЛЧ трубопровода(ов);

по площадочным объектам:

технологическая схема объекта;

план объекта с инфраструктурой прилегающей территории (с населенными пунктами, организациями, естественными и искусственными препятствиями, лесными и сельскохозяйственными угодьями);

перечень и конструктивно-технологические параметры КП/ПП (вблизи узла подключения для НС) (название, диаметр, давление, категория участка,

протяженность, расстановка линейных кранов, данные по трубам и трубным сталям, изоляционным покрытиям и др.);

описание природно-климатических условий района расположения объекта;

характеристики грунтов (коррозионные, механические, мерзлотные и др.) на площадочном объекте и вблизи него;

перечень и технико-технологические характеристики оборудования площадочного объекта;

технические характеристики системы автоматизации, дистанционного управления и телемеханики для рассматриваемого объекта;

перечень отклонений размещения инфраструктурных объектов на прилегающих к анализируемому объекту территориях от требований нормативных документов по минимальным безопасным расстояниям;

данные о размещении и численности населения близлежащих населенных пунктов;

данные о размещении и численности работников близлежащих организаций;

перечень опасных объектов сторонних организаций, которые могут явиться источником ЧС для площадочных объектов;

численность, квалификация, режим работы и распределение обслуживающего персонала по территории производственной площадки объекта;

данные об имевших место авариях и инцидентах на анализируемом площадочном объекте и аналогичных объектах;

результаты диагностических обследований и данные о проведенном ремонте оборудования объекта.

При необходимости перечень может быть уточнен и расширен.

Приложение № 5
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 21 марта 2020 г. № 139

АЛГОРИТМ АНАЛИЗА РАЗВИТИЯ АВАРИЙ И ТИПОВЫЕ ГРУППЫ АВАРИЙНЫХ СЦЕНАРИЕВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

При анализе развития аварии и определении типовых групп аварийных сценариев с выбросом ОВ на КП/ПП рекомендуется разделять две ситуации:

выброс «невскипающих» жидких углеводородов (остающихся полностью жидкими после сброса давления до атмосферного, что характерно для стабильного конденсата);

выброс «вскипающих» жидких углеводородов (частично переходящих в пар после сброса давления до атмосферного, что характерно для нестабильного конденсата, СУГ, ШФЛУ).

Для анализа развития аварий и выбора типовых групп аварийных сценариев для «невскипающих» жидких углеводородов рекомендуется использовать Руководство по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов», утвержденное приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 июня 2016 г. № 228.

Ниже приведен алгоритм для сценариев с выбросом «вскипающих» жидких углеводородов на площадочных объектах и линейной части КП/ПП.

Площадочные объекты

В общем случае выброс ОВ на площадочных объектах (насосные, резервуарные парки, терминалы отгрузки) может быть инициирован:

разгерметизацией оборудования и технологических трубопроводов (по причине коррозии, нерасчетного внешнего воздействия, дефектов производства, брака СМР, ошибок эксплуатации и технического обслуживания), а также продолжительным выбросом ОВ через дыхательную арматуру;

разрушением оборудования, находящегося в очаге пожара.

В основу алгоритма анализа развития аварийных ситуаций положена схема рисунка 1, где в графической форме укрупненно представлены возможная последовательность событий при разгерметизации технологических трубопроводов и оборудования, содержащего стабильные и нестабильные углеводороды в жидкой фазе. На схеме событие «барическое и осколочное воздействие на людей и оборудование» непосредственно связанное с разгерметизацией, означает, что разгерметизация сопровождалась появлением ударной волны (воздушной волны сжатия) и осколков. Под событием «загрязнение» подразумевается как появление в окружающей среде ОВ или продуктов горения, так и их токсическое воздействие.

Для выбранного аварийного элемента на основе его полной характеристики последовательное движение от начального события (разгерметизации) по ветвям схемы в направлении стрелок через события, допустимые для данного элемента, определяет возможные сценарии аварии, а упорядоченный набор всех последовательных допустимых событий составляет дерево событий. Допустимые для выбранного элемента события определяются заданием места и масштабов разгерметизации по полной характеристике элемента. Таким образом, первым шагом алгоритма является составление полной характеристики элемента, включающей в себя:

детальное описание технологического процесса с указанием функционального места в нем и рабочих параметров аварийного элемента;

описание способа расположения выбранного элемента (подземный, наземный или надземный с указанием высотных профилей) и его конструктивных особенностей (материал стенки, изотермическое исполнение, плавающая крышка и т.д.);

задания геометрических размеров элемента;

подробное описание физико-химических свойств флюида, содержащегося в аварийном элементе;

характеристика смежного с выбранным элементом оборудования;

описание особенностей возможной разгерметизации, оказывающих влияние на формирование выброса ОВ, с указанием мест расположения и геометрических размеров ожидаемых аварийных отверстий при частичной разгерметизации;

задание природно-климатических условий, при которых работает аварийный элемент;

описание системы противоаварийной защиты элемента с приведением характеристик ее надежности.

Для расчета последствий указанных сценариев на площадочных объектах рекомендуется алгоритм построения деревьев событий, приведенный в Руководстве по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденном приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 июня 2016 г. № 272.

Пример дерева событий при разгерметизации емкостного оборудования с ШФЛУ приведен на рис. 2.

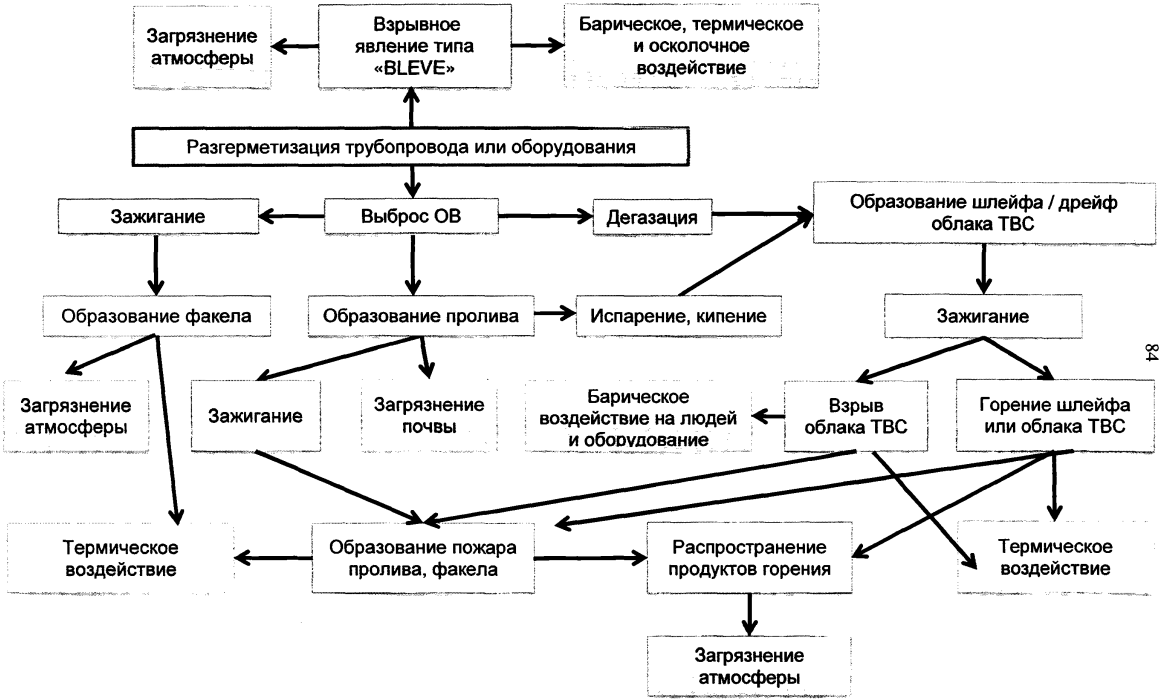


Рисунок 1 – Укрупненная схема развития аварии с выбросом ОВ при авариях на трубопроводах и оборудовании КП/ПП.

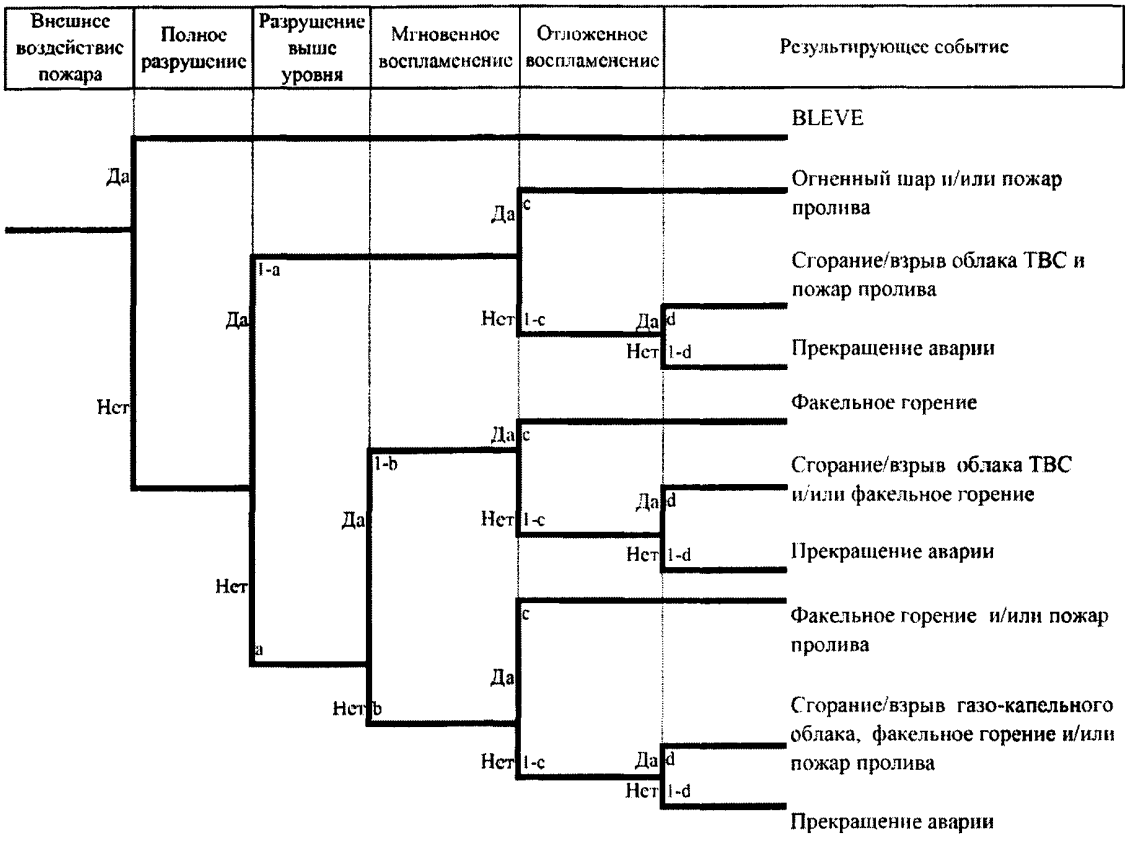


Рис. 2. Дерево событий при разгерметизации емкостного оборудования с ШФЛУ

На рисунке 2 приняты следующие условные вероятности событий:

емкость сохраняет целостность после появления разрушения (a) – 0,95;

разрушение ниже уровня жидкости (b) – пропорционально отношению средней высоты уровня жидкости (взлива) к высоте емкости (если нет данных, принимается равным 0,8);

мгновенное воспламенение и образование горящих проливов/факелов (c) определяется в зависимости от аварийного расхода с максимальным значением 0,2 согласно «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404);

появление на пути дрейфующего облака источника зажигания (d) определяется в зависимости от аварийного расхода с максимальным значением 0,24;

частота внешнего воздействия пожара (e) в непосредственной близости от емкости определяется максимально на уровне 2,5*10-5 год-1 на один аппарат согласно «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 г. № 404) или из частоты возникновения пожара вблизи аппарата.

Приведенные условные вероятности могут быть скорректированы с учетом дополнительных решений, направленных на снижение риска аварий на рассматриваемых ОПО.

Линейная часть трубопровода

Анализ последствий аварийного выброса ШФЛУ и иных нестабильных жидких углеводородов рекомендуется проводить с учетом следующих сценариев, физико-химических процессов и допущений.

При расчете последствий выброса рекомендуется учитывать два типа истечений:

через коррозионные свищи (характеризуются невысокой интенсивностью утечки до 2÷3 кг/с);

через трещины в трубопроводе, образовавшиеся в результате заводских дефектов труб, брака СМР, механических повреждений, ошибок эксплуатации или отказа оборудования.

Доля утечек первого типа составляет 70% от общего количества выбросов.

Размеры коррозионного свища и трех характерных трещин («малая», «средняя», «гильотинный разрыв»), а также вероятностей их образования определяются в соответствии с Руководством по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 июня 2016 г. № 228.

Образование дефектного отверстия (трещин) является событием, инициирующим развитие аварийной ситуации в окружающей среде. После разгерметизации начинается выброс ШФЛУ из трубопровода. Если трубопровод сухопутный, то вещество через трещину поступает во внешнюю среду с давлением в 1 атм, если же трубопровод проложен через водный объект, то помимо атмосферного давления в 1 атм следует учитывать давление водяного столба.

Вследствие истечения ШФЛУ в трубопроводе и падения давления от места разгерметизации по продуктопроводу начинают распространяться волны разрежения. Одна волна бежит против потока (к началу участка трубопровода), ШФЛУ в этой волне ускоряется, и расход потока возрастает; вторая волна распространяется по потоку (к концу трубопровода), ШФЛУ в этой волне тормозится, и расход потока вещества уменьшается.

Если давление в трубопроводе в распространяющихся волнах разрежения упадет ниже давления насыщенных паров ШФЛУ для данной температуры, то в трубопроводе произойдет вскипание ШФЛУ, и тогда в трубопроводе будет двигаться двухфазный поток. От места, где началось вскипание, по трубопроводу начинает двигаться волна вскипания, в которой и происходит фазовый переход. В результате в трубопроводе с ШФЛУ распространяется двух фронтовая структура из волны разрежения и волны вскипания. Вскипание потока в трубопроводе приведет к тому, что двухфазная среда будет ускоряться значительно меньше, чем, если бы это была стабильная жидкость (если сравнивать суммарные расходы), происходит т.н. «запирание» потока. Кроме того, в двухфазном потоке в протяженных трубах существенную роль будет играть трение, поскольку появление газовой фазы приводит к росту скорости движения среды. Все это приводит к тому, что удельный расход на месте выброса в случае вскипания транспортируемой среды существенно меньше, чем в случае отсутствия вскипания.

Когда волны разрежения достигают границ участка трубопровода, они начинают взаимодействовать с оборудованием, установленным в начале

и в конце рассматриваемого участка. В зависимости от типа и характеристик этого оборудования (емкость, насос), а также в зависимости от действий, предпринятых персоналом, возможны различные варианты реагирования системы на процесс распространения волн разрежения в трубопроводе.

При моделировании аварий рассматривались простейшие варианты реакции оборудования, установленного на границах трубопровода:

емкости, присоединенные к трубопроводу, демпфируют приход волн, обеспечивая на границе давление, соответствующее давлению в емкости;

насосы, принимающие или нагнетающие ШФЛУ в трубопровод, изменяют свой режим работы в соответствии с характеристикой «напор-расход».

Изменение условий на границе вызовет ответное, распространяющееся по трубопроводу, возмущение потока, которое приведет через некоторое время к изменениям давления в трубопроводе на месте выброса, а это в свою очередь повлечет за собой изменение скорости выброса и новые, но уже более слабые, волновые процессы и т.д.

Распространение волн разрежения от места разгерметизации, изменение давления и расхода в трубопроводе регистрируется системой обнаружения утечек за времена, зависящие от объема и расхода утечки.

В течение временного интервала от начала аварийного выброса до остановки насосов происходит истечение ШФЛУ из трубопровода в напорном режиме, т.е. в условиях, когда в трубопровод подается и из трубопровода отбирается ШФЛУ. Давление на месте разгерметизации, а, следовательно, и масса ШФЛУ, выброшенная из трубопровода на этой стадии, определяется размером дефектного отверстия, величиной падения давления в трубопроводе, степенью вскипания ШФЛУ в трубопроводе и характеристиками насосов на трубопроводе. Если, время от начала аварии (от момента возникновения дефектного отверстия) до остановки насосов достаточно велико (т.е. в несколько раз превышает время циркуляции волны по трубопроводу), то, возможно, установление стационарного выброса из трубопровода в напорном режиме. При этом в трубопроводе установится новый профиль давления, характеризующийся

более резким градиентом от начала трубопровода до места разгерметизации, и более плавным спадом давления от места разгерметизации до конца трубопровода. На месте выброса ШФЛУ в профиле давления наблюдается излом.

После полной остановки насосов и остановки движения ШФЛУ по трубопроводу, в трубопроводе образуются участки, заполненные парами ШФЛУ при давлении насыщенных паров. Истечение ШФЛУ из дефектного отверстия на этом этапе будет полностью определяться лишь профилем трассы и температурой окружающей среды (она будет определять долю вскипания ШФЛУ в трубопроводе и соответственно давление насыщенных паров в трубопроводе). Скорость истечения будет зависеть от перепада высоты дефектного отверстия и высоты столба ШФЛУ в трубопроводе на участке до перевальных точек, а также от давления насыщенных паров ШФЛУ. Давление в трубопроводе на месте аварии будет обусловлено сначала разностью этих высот по всей трассе трубопровода (с учетом давление насыщенных паров), а после полного перекрытия кранового узла - разностью высот только на отсеченном участке трубопровода (с учетом давление насыщенных паров).

При самотечном режиме истечения (отсутствует нагнетание/отбор ШФЛУ в/из трубопровода) можно выделить две стадии поступления ШФЛУ в окружающую среду. На первой стадии, когда уровень отверстия разгерметизации расположен ниже уровня жидкой фазы ШФЛУ, происходит выброс жидкой фазы. На второй стадии, когда уровень жидкости достигает уровня отверстия разгерметизации, начинается выброс только газовой фазы, истекающей из трубопровода, находящейся при давлениях менее давления насыщенных паров. При этом если ШФЛУ находилась в перегретом состоянии на момент достижения уровня отверстия разгерметизации, то возможно его дальнейшее вскипание в трубопроводе, после чего в «карманах» трубопровода, останется охлажденная ШФЛУ, которая будет испаряться из трубопровода (в т.ч. и за счет подвода тепла от грунта).

При этом следует отметить, что при истечении из трубопровода с ШФЛУ в локальных максимумах профиля трассы продуктопровода могут образовываться газовые «подушки» с избыточным давлением, поскольку при падении давления в этих точках ниже давления насыщенного пара транспортируемого продукта начинается переход жидкости в газовую фазу (кипение). За счет этого избыточного давления в локальных максимумах трубопровода возможно частичное передавливание жидкости из одного локального минимума (кармана) в другой, а при достижении в ходе расширения газовой «подушки» локального минимума открывается возможность перехода газа из одной газовой «подушки» в другую.

Одновременно с остановкой насосов и перекрытием запорной арматуры к месту аварии высылаются аварийные бригады.

ШФЛУ, вылившаяся из трубопровода непосредственно на месте аварии, разливается по территории (акватории), прилегающей к месту выброса, и интенсивно испаряется. Площадь разлива существенным образом зависит от:

объема вылившейся ШФЛУ;

температуры воздуха окружающей среды;

рельефа местности, где произошел выброс;

свойств подстилающей поверхности на месте разлива.

Описанный выше сценарий охватывает только стадию поступления ШФЛУ в окружающую среду. Поскольку ШФЛУ и ее пары обладают способностью к воспламенению, существует вероятность возникновения пожара на месте аварии. Наиболее вероятным источником случайного воспламенения являются искры от двигателей транспортных средств. Другими источниками случайного зажигания являются разряды статического и атмосферного электричества, искры при соударении металлических частей, поверхности, нагретые до высокой температуры, неосторожные действия человека (курение, разведение костров) и т.д.

При появлении источника зажигания в области, загазованной парами ШФЛУ, происходит их воспламенение и проскок пламени по шлейфу облака

к месту пролива с последующим возгоранием пролива (пожар пролива). При этом в окружающей среде возможно распространение ударных волн. Возможно также диффузионное догорание переобогащенных объемов смесей ШФЛУ с воздухом. При зажигании непосредственно пролива также возможен проскок пламени по шлейфу. Попадание человека в зону облака, где возможно горение, может привести к его поражению открытым пламенем. Кроме того, если воспламенение произошло в момент, когда еще продолжается выброс, то возможно образование горящего факела на месте разрушения трубопровода.

Таким образом, в общей схеме развития аварии и в типовых сценариях можно выделить следующие процессы и стадии:

мгновенная разгерметизация трубопровода при отверстии размером, соответствующим одной из четырех определенных выше величин;

начало истечения ШФЛУ из трубопровода в напорном режиме в окружающую среду, в т.ч. в воду при прохождении трубопровода по дну водоемов;

вскипание ШФЛУ в трубопроводе и образование двухфазного потока в трубопроводе;

образование на месте выброса ШФЛУ из трубопровода облака газа (и при определенных обстоятельствах капель), охлажденных до температуры кипения; интенсивное смешение ШФЛУ с воздухом;

образование на месте аварии пролива ШФЛУ, растекание ШФЛУ по прилегающей территории, кипение, испарение; загрязнение почвы; в случае попадания ШФЛУ в воду растекание ШФЛУ по поверхности и разнос пятен ШФЛУ течением и ветром по акватории;

рассеяние взрывопожароопасного облака ТВС в атмосфере;

распространение волн разрежения от места разгерметизации к границам трубопровода; длительность этой стадии равна приблизительно времени прихода звукового возмущения;

изменение режима работы насосов на входе/выходе трубопровода в ответ на распространение волн разрежения;

регистрация утечки системой обнаружения утечки и выдача сообщения на пульт оператору о возникновении утечки; длительность этой стадии составляет не более 5 мин с момента выхода продукта (при наличии современной системы обнаружения утечек свищи и малые трещины обнаруживаются за 5 мин., время обнаружения через средние и крупные трещины – от 3 до 5 мин);

принятие оператором решения об остановке насосов, перекрытии КУ и направлении к месту аварии аварийно-спасательной бригады;

полная остановка насосов;

окончание истечения ШФЛУ в напорном режиме и истечение ШФЛУ в самотечном режиме из всего трубопровода (длительность стадии: от остановки насосов до полного перекрытия задвижками аварийного участка трубопровода);

перекрытие КУ;

время прибытия аварийной бригады к аварийному участку;

истечение жидкого/двухфазного ШФЛУ в самотечном режиме из отсеченного участка трубопровода; в т.ч. истечение ШФЛУ из подводных участков трубопровода;

полный сток ШФЛУ из трубопровода, за исключением жидкости, оставшейся в «карманах».

При воспламенении паров или пролива ШФЛУ добавляются следующие стадии:

инициирование горения паров ШФЛУ или самого пролива;

сгорание (пожар-вспышка)/взрыв облака ТВС;

пожар пролива, поражение отрытым пламенем, тепловым излучением близлежащих к месту пожара объектов;

факельное (струевое) горение;

образование токсичных продуктов в процессе пожара пролива, рассеяние их в атмосфере, поражение токсичными продуктами людей, загрязнение атмосферы.

С учетом изложенного рекомендуется использовать следующую группу сценариев при образовании трещины на линейной части трубопровода ШФЛУ:

Разгерметизация трубопровода или кранового узла → начало выброса ШФЛУ из трубопровода → образование на месте разрушения пролива ШФЛУ (для подземного трубопровода – фильтрация ШФЛУ через грунт с возможностью размыва почвы) → растекание, кипение и испарение ШФЛУ (в т.ч. при соприкосновении с почвой); интенсивное смешение с воздухом → образование в атмосфере газокапельного облака охлажденного до температуры кипения ШФЛУ → распространение по трубопроводу волн разгрузки → вскипание ШФЛУ в трубопроводе (если ШФЛУ находилась в перегретом (относительно температуры кипения) состоянии) → истечение ШФЛУ из трубопровода, в т.ч. в двухфазном режиме при вскипании ШФЛУ в трубопроводе → отключение насосов и остановка перекачки ШФЛУ; образование участков в трубопроводе, заполненных газовой фазой ШФЛУ при давлении насыщенного пара → перекрытие кранового узла → распространение облака ШФЛУ в атмосфере→ воспламенение ШФЛУ → сгорание облака ШФЛУ, возникновение на месте разрушения факела, пожар пролива → воздействие на соседние объекты, окружающую среду, поражение людей; загрязнение ШФЛУ или продуктами горения компонентов окружающей среды → локализация и ликвидация разлития (пожара).

На основе группы сценариев и имеющихся сведений о технологическом процессе, мерах защиты (барьеров безопасности), данных по аварийности и инцидентах, рекомендуется приводить более детальные сценарии аварий. Для этой цели рекомендуется учитывать типовые сценарии, представленные в руководствах по безопасности: «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утвержденном приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 29 июня 2016 г. № 272, и «Методика оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей», утвержденном приказом Федеральной службы по экологическому,

технологическому и атомному надзору от 17 сентября 2015 г. № 366, руководстве по безопасности «Методические рекомендации по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и магистральных нефтепродуктопроводов», утвержденном приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 июня 2016 г. № 228.

Пример дерева событий представлен на рисунке 3.

Оценки негативных последствий выброса ОВ рекомендуется использовать для определения наиболее опасных участков КП/ПП, аварии на которых могут привести к повышенному социально-экономическому ущербу (гибели и травмированию людей), материальному ущербу и экологическому ущербу, а также участки линейной части с повышенной вероятностью возникновения аварий:

а) участки, вблизи которых на расстояниях действия поражающих факторов расположены населенные пункты, отдельные общественные здания и места массового скопления людей;

б) участки, вблизи которых на расстояниях действия поражающих факторов расположены комплексы зданий, сооружений, оборудования сторонних организаций;

в) подземные переходы через автомобильные и железные дороги и примыкающие к ним участки;

г) участки, проходящие по обрабатываемым сельскохозяйственным угодьям;

д) участки, вблизи которых на расстояниях действия поражающих факторов расположены лесные угодья;

е) подводные переходы с береговыми размываемыми участками;

ж) участки пересечений с различными трубопроводами;

з) участки, на которых когда-либо имели место разрывы и свищи или по результатам диагностирования обнаружены опасные дефекты в стенке трубы.



Рисунок 3 – Дерево событий развития аварии с образованием трещины на линейной части трубопровода ШФЛУ

Приложение № 6
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 30 марта 2020 г. № 139

МЕТОДИКА ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМОЙ ЧАСТОТЫ АВАРИЙ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

1. Общие положения

При балльно-факторной оценке ожидаемой частоты аварий и инцидентов с разгерметизацией трубопровода на сухопутном участке КП/ПП используется совокупность наиболее значимых факторов, влияющих на вероятность нарушения целостности трубопровода (далее – факторы влияния), которая разделена на 9 групп (таблица 1).

Таблица 1

Учитываемые группы факторов влияния

Обозначение группы	Наименование группы факторов влияния	Весовой коэффициент группы, p_i
FG_1	Возможные механические воздействия третьих лиц	0,34
FG_2	Наружная коррозия (без учета КРН)	0,03
FG_3	Коррозия под напряжением	0,02
FG_4	Внутренняя коррозия и эрозия	0,02
FG_5	Качество производства труб и оборудования	0,09
FG_6	Качество строительно-монтажных работ	0,27
FG_7	Внутренние динамические нагрузки	0,05
FG_8	Природные воздействия	0,08
FG_9	Уровень технической эксплуатации	0,10
	Итого	1,00

Каждая группа FG_i (i=1,2,…9 – номер группы) состоит из определенного числа J(i) факторов влияния (таблица 5). Количество факторов в разных группах различно и зависит от номера (*i*) группы. Каждая группа FG_i и каждый фактор F_{ij}

внутри *i*-й группы (*j*-номер фактора в данной группе) характеризуются определенными относительными «вкладами» в аварийность (долями влияния), учитываемыми с помощью весовых коэффициентов p_i и q_{ij}. Значения p_i приведены выше в таблице 1, значения q_{ij} - в таблице 5.

Ряд факторов влияния может определяться несколькими характеристиками и в связи с этим может иметь несколько составляющих, которые называются подфакторами и обозначаются $F_{ij}^{(m)}$, где m – номер подфактора.

Факторы и подфакторы имеют различную природу и могут принимать как качественные, так и количественные (дискретные или непрерывные) «натуральные» значения. Например, фактор «Минимальная глубина заложения трубопровода» может принимать количественные значения в непрерывном диапазоне от 0 до нескольких метров. То есть каждому фактору F_{ij} соответствует шкала дискретных $\{f_{ijs}, s=1,...,S\}$ (где S - максимальное число возможных значений фактора F_{ij}) или непрерывных «натуральных» значений $f_{ij} \in [f_{ij}^{(min)}; f_{ij}^{(max)}]$ этого фактора (где $f_{ij}^{(min)}$; $f_{ij}^{(max)}$ - соответственно минимальное и максимальное значения F_{ij}), отражающая возможный диапазон его изменения от «наихудшего» значения до «наилучшего» с точки зрения влияния на вероятность разгерметизации КП/ПП.

С целью унифицированного учета влияния разнородных факторов на ожидаемую частоту аварий и инцидентов на КП/ПП диапазоны изменений «натуральных» значений различных факторов трансформированы в единую 10-балльную шкалу. При этом 0 баллов соответствуют наилучшему для КП/ПП влиянию со стороны данного фактора, т.е. наименьшей вероятности нарушения его целостности, а 10 баллов соответствуют наихудшему для КП/ПП влиянию, т.е. наибольшей вероятности нарушения его целостности. Промежуточные бальные значения соответствуют промежуточным уровням вероятности нарушения целостности КП/ПП на рассматриваемом участке. Перевод «натуральных» шкал в 10-балльную шкалу осуществляется с помощью балльно-факторных функций (БФФ) $B_{ij}=\varphi_{ij}(F_{ij})$ (где B_{ij} – число баллов),

трансформирующих «натуральные» значения фактора влияния F_{ij} (или его подфактора) в соответствующие балльные оценки. Данные функции заданы в виде формул или таблиц в зависимости от вида конкретного фактора (подфактора) влияния (см. раздел 3).

Центральный постулат описываемого методического подхода заключается в том, что для рассматриваемого *n*-ого участка трассы КП/ПП определяется, во сколько раз ожидаемая частота аварий и инцидентов с разгерметизацией трубопровода на этом участке отличается от средней удельной частоты таких событий $\lambda_{ср}$ на КП/ПП ЕСГ. При этом ожидаемая частота аварий на *n*-ом участке трассы рассчитывается как:

$$\lambda_n = \lambda_{ср} \cdot k_{рег} \cdot k_{возр} \cdot k_{кат} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{I} \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}}{B_{ср}} \qquad (1)$$

где $\lambda_{ср}$ – средняя удельная частота аварий и инцидентов с разгерметизацией трубопровода на КП/ПП ЕСГ в целом, событий/(1000 км·год) (принимается равной среднестатистической (определенной за последние 10 лет) удельной частоте таких событий на КП/ПП ЕСГ[5];

$k_{рег}$– региональный коэффициент влияния (см. таблицу 2);

$k_{возр}$ – возрастной коэффициент влияния (см. таблицу 3);

$k_{кат}$ – категорийный коэффициент влияния (см. таблицу 4);

$B_{ср}$ – балльная оценка гипотетического среднестатистического сухопутного участка трубопровода ЕСГ, аварийность на котором соответствует среднестатистической удельной частоте аварий на КП/ПП ЕСГ ($B_{ср}$ =3,18 балла);[6]

B_{ij} – балльная оценка наблюдаемого на анализируемом участке КП/ПП «натурального» значения фактора F_{ij}, определяемая с помощью соответствующей БФФ;

---

[5] За период с 1997 по 2017 год среднестатистическая удельная частота аварий и инцидентов на КП/ПП ЕСГ ПАО «Газпром» составила 0.5 события/(1000 км·год).

[6] Эта балльная оценка является величиной постоянной, определенной один раз на этапе разработки данного методического подхода через балльные оценки средних значений $B_{ij\text{-}ср}$ каждого фактора влияния с использованием статистических данных по распределению российских трубопроводов по их технико-технологическим, эксплуатационным параметрам и характеристикам природного и социального окружения.

p_i - доля (весовой коэффициент) *i*-й группы факторов;

q_{ij} - доля (весовой коэффициент) *j*-го фактора в *i*-той группе;

I =7 – общее число расчетных групп факторов влияния;

J(i) – общее число факторов влияния в *i*-й группе.

2. Последовательность действий по определению ожидаемых частот аварий и инцидентов с разгерметизацией трубопровода на участках КП/ПП

Последовательность расчета λ_n на тех или иных участках трубопровода включает следующие шаги:

1) Выполнить разбиение трассы рассматриваемого КП/ПП на участки (выделить ПОУ), для которых необходимо определить λ_n. (В общем случае анализируемые ПОУ, выделяемые на КП/ПП для анализа, не равны по длине. Однако при необходимости построения непрерывного поля потенциального риска вдоль протяженного КП/ПП рекомендуется деление трассы КП/ПП на равные участки, длиной, например, по 0,1; 0,5 или 1 км).

2) Выполнить шаги 3) – 13) для каждого из выделенных участков КП/ПП.

3) Для рассматриваемого *n*-го участка КП/ПП определить значение регионального коэффициента $k_{рег}$, исходя из принадлежности участка к северному, центральному или южному региону с помощью таблицы 2.

Таблица 2

Значения регионального коэффициента влияния[7]

Наименование региона и относящиеся к нему субъекты РФ	**Северный** (Республика Карелия, Ленинградская обл., Новгородская обл., Псковская обл., Калининградская обл.,	**Центральный** (Республика Башкортостан, Республика Удмуртия, Костромская обл., Кировская обл.,	**Южный** (Волгоградская обл., Воронежская обл., Ростовская обл., Республика Калмыкия,

[7] Региональный коэффициент $k_{рег}$ отражает влияние на ожидаемую частоту аварий и инцидентов глобальных природно-климатических факторов северного, центрального и южного регионов, а также социально-экономических региональных факторов, учитывающих особенности развития региона на обозримом историческом отрезке, давая возможность учесть влияние на аварийность завуалированных, труднораспознаваемых причин.

	Тверская обл., Смоленская обл., Архангельская обл., Республика Коми, Тюменская обл., Вологодская обл., Ярославская обл., Тверская обл., Томская обл., Омская обл., Новосибирская обл., Кемеровская обл., Республика Алтай, Алтайский край, Республика Саха (Якутия), Амурская обл., Хабаровский край, Еврейская авт. обл, , Сахалинская обл., Иркутская обл., Кемеровская обл.)	Ивановская обл., Нижегородская обл., Марий Эл, Владимирская, Республика Чувашия, Республика Мордовия, Пензенская обл., Москва, Московская обл., Калужская обл., Тульская обл., Рязанская обл., Брянская обл., Орловская обл., Липецкая обл., Тамбовская обл., Курская обл., Белгородская обл., Воронежская обл., Пермский край, Республика Удмуртия, Кировская обл., Свердловская обл., Ульяновская обл., Самарская обл., Республика Татарстан, Оренбургская обл., Челябинская обл., Курганская обл., Приморский край, Республика Беларусь)	Астраханская обл., Ставропольский край, Карачаево-Черкесская Республика., Чеченская Республика, Кабардино-Балкарская Республика, Республика Северная Осетия-Алания, Республика Ингушетия, Республика Дагестан. Краснодарский край Саратовская обл., Пензенская обл., Республика Крым, Республика Кыргызстан, Республика Армения)
Значение $k_{рег}$	1,13	0,81	1,23

4) Определить значение «возрастного» коэффициента $k_{возр}$ для анализируемого участка с помощью таблицы 3, исходя из реального срока эксплуатации участка КП/ПП (с учетом даты проведения капитального ремонта с заменой труб, если он был).

Таблица 3

Значения возрастного коэффициента влияния

Возрастной диапазон КП/ПП, лет	0-4	5-9	10-14	15-19	20-29	30 и более	30 и более (со сниженным разрешенным давлением)
$k_{возр}$	0,7	0,5	0,9	1,05	1,4	1,5	1,0

5) Определить значение категорийного коэффициента $k_{кат}$ для анализируемого участка с помощью таблицы 4, исходя из категории участка.

Таблица 4

Значения категорийного коэффициента влияния

Категория участка КП/ПП (в соответствии с СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*»)	B	I	II	III	IV
$k_{кат}$	0,7	0.75	0,85	0.9	1,13

6) Определить основные технико-технологические характеристики КП/ПП на этом участке (условный диаметр КП/ПП, проектное, разрешенное и фактическое давления КП/ПП) и наихудшие в пределах участка фактические «натуральные» значения учитываемых факторов влияния последовательно по каждой группе факторов (см. раздел 3 настоящего приложения).

7) Определить для каждого фактического «натурального» значения фактора его балльную оценку в 10-балльной шкале с помощью БФФ $B_{ij}=\varphi_{ij}(F_{ij})$, формульные или табличные выражения которых приведены в разделе 3 настоящего приложения. Если по каким-либо причинам «натуральное» значение какого-то фактора определить не удалось, его балльная оценка принимается равной 10 (наихудшему значению).

8) Откорректировать полученные балльные оценки B_{ij} для каждого фактора, умножив их на соответствующие данному фактору весовые коэффициенты q_{ij} и p_i с получением произведений $p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}$ (весовые коэффициенты приведены в разделе 3 настоящего приложения).

9) Просуммировать откорректированные («взвешенные») балльные оценки внутри каждой *i*-й группы факторов с получением групповых балльных оценок:

$$B_i = \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij}$$

10) Определить итоговую балльную оценку B_n рассматриваемого *n*-го участка КП/ПП путем суммирования полученных выше групповых балльных оценок по всем группам факторов влияния:

$$B_n = \sum_{i=1}^{I} B_i .$$

11) Определить значение локального коэффициента влияния по формуле:

$$k_{лок} = \frac{B_n}{B_{ср}},$$

где $B_{ср}$=3,18 балла.

12) Определить значение ожидаемой частоты аварий на рассматриваемом *n*-ом участке КП/ПП (предварительно уточнив значение $\lambda_{ср}$ за последние 10 лет) по формуле:

$$\lambda_n = \lambda_{ср} \cdot k_{рел} \cdot k_{возр} \cdot k_{кат} \cdot k_{лок}.$$

13) Построить распределение $\lambda_n(x)$ удельной ожидаемой частоты аварий по длине трассы КП/ПП.

3. Перечень, весовые коэффициенты и балльно-факторные функции факторов влияния для оценки частоты аварий на участках КП/ПП

3.1. Перечень учитываемых факторов влияния и весовые коэффициенты групп и факторов в каждой группе приведены в таблице 5.

Таблица 5

Факторы влияния и их весовые коэффициенты

Группа факторов влияния	Вес группы p_i	Фактор влияния		Вес фактора в группе q_{ij}
1	2	3		4
FG_1:Возможные механические воздействия третьих лиц	0,34	F_{11}	Минимальная глубина заложения подземного трубопровода	0,18
		F_{12}	Уровень антропогенной активности	0,18
		F_{13}	Согласовательно-разъяснительная работа	0,10
		F_{14}	Состояние охранной зоны трубопровода	0,10
		F_{15}	Частота патрулирования трассы трубопровода	0,14
		F_{16}	Нарушения охранной зоны и зон минимальных расстояний	0,20
		F_{17}	Аварии и отказы, имевшие место на трубопроводе из-за воздействий 3-х лиц	0,10

Группа факторов влияния	Вес группы p_i	Фактор влияния		Вес фактора в группе q_{ij}
				Итого 1,00
FG_2:Наружная коррозия (без учета КРН)	0,03	F_{21}	Коррозионные свойства грунтов	0,09
		F_{22}	Температура перекачиваемого продукта	0,06
		F_{23}	Наличие зон блуждающих токов	0,09
		F_{24}	Результаты шурфований	0,07
		F_{25}	Тип и состояние изоляционного покрытия	0,18
		F_{26}	Время, прошедшее с момента последних электрометрических обследований	0,14
		F_{27}	Качество работы устройств ЭХЗ	0,18
		F_{28}	Мониторинг и контроль эффективности ЭХЗ	0,09
		F_{29}	Аварии и отказы, имевшие место по причине наружной коррозии	0,10
				Итого 1,00
FG_3:Коррозия под напряжением (КРН)	0,02	F_{31}	Комбинированный фактор КРН (НДС+условия развития КРН+ отношение фактического давления в МТ к проектному), состоящий из подфакторов: $F_{31\text{-}1}$- коррозионная активность грунта $F_{31\text{-}2}$- тип и состояние изоляционного покрытия $F_{31\text{-}3}$- удаленность участка МТ от НС	0,60
		F_{32}	Наличие водотоков	0,15
		F_{33}	Уровень грунтовых вод	0,15
		F_{34}	Аварии и отказы, имевшие место по причине КРН	0,10
				Итого 1,00
FG_4:Внутренняя коррозия и эрозия	0,02	F_{41}	Коррозионная и эрозионная активность продукта	0,45
		F_{42}	Пассивная и активная защита от внутренней коррозии	0,45
		F_{43}	Аварии и отказы, имевшие место по причине внутренней коррозии и эрозии	0,10
				Итого 1,00
FG_5:Качество производства труб и оборудования	0,09	F_{51}	Изготовитель и год выпуска труб для трубопровода	0,50
		F_{52}	Испытания трубопровода	0,40
		F_{53}	Аварии и отказы, имевшие место по причине производственных дефектов труб и оборудования	0,10
				Итого 1,00

Группа факторов влияния	Вес группы p_i	Фактор влияния		Вес фактора в группе q_{ij}
FG_6:Качество строительно-монтажных работ (СМР)	0,27	F_{61}	Категория участка по сложности производства СМР	0,20
		F_{62}	Климатический район и сезон производства СМР	0,20
		F_{63}	Контроль качества СМР	0,20
		F_{64}	Контроль качества сварных соединений	0,20
		F_{65}	Адекватность применяемых материалов и изделий	0,05
		F_{66}	Качество обращения с материалами	0,05
		F_{67}	Аварии и отказы, имевшие место по причине дефектов СМР	0,10
				Итого 1,00
FG_7:Внутренние динамические нагрузки	0,05	F_{71}	Возможность возникновения гидравлических ударов	0,35
		F_{72}	Усталость металла	0,55
		F_{73}	Аварии и отказы, имевшие место по причине внутренних динамических нагрузок	0,10
				Итого 1,00
FG_8:Природные воздействия	0,08	F_{81}	Подвижки и деформации грунта	0,50
		F_{82}	Состав грунта с точки зрения его несущей способности	0,10
		F_{83}	Наличие на участке линейной арматуры и наземных узлов разветвленной конфигурации	0,10
		F_{84}	Превентивные мероприятия	0,20
		F_{85}	Аварии и отказы, имевшие место по причине природных воздействий	0,10
				Итого 1,00
FG_9:Уровень технической эксплуатации	0,10	F_{91}	Эксплуатационная документация	0,09
		F_{92}	Техническая оснащенность ЛЭС	0,15
		F_{93}	Укомплектованность ЛЭС	0,15
		F_{94}	Периодичность ТО и ППР	0,18
		F_{95}	Квалификация персонала	0,18
		F_{96}	Системы телемеханики и автоматики	0,15
		F_{97}	Аварии и отказы, имевшие место по причине нарушений ПТЭ	0,10
				Итого 1,00

3.2. Балльные оценки B_{ij} факторов влияния, перечисленных в таблице 5, определяются с помощью соответствующих БФФ, описанных ниже в настоящем подразделе.

3.2.1. БФФ для факторов влияния из группы FG_1 «Возможные механические воздействия третьих лиц»

3.2.1.1. БФФ $B_{11}=\varphi_{11}(F_{11})$ для фактора F_{11} «Минимальная глубина заложения подземного трубопровода»

БФФ для данного фактора имеет вид:

$$\begin{aligned} &B_{11}=1.5-0.83\cdot h && \text{при } 0.6 \le h \le 1.8 \text{ (м)} \\ &B_{11}=(1+100\cdot(h-0.6)^2 && \text{при } 0.3 \le h < 0.6 \text{ (м)} \\ &B_{11}=10 && \text{при } h < 0.3 \text{ (м)} \end{aligned} \qquad (2)$$

$h = h_{гр} + h_{доп}$

где h – эквивалентная глубина заложения КП/ПП, м;

$h_{гр}$- толщина слоя грунта над верхней образующей КП/ПП, м;

$h_{доп}$- толщина слоя грунта, эквивалентная толщине дополнительного механического защитного покрытия КП/ПП (например, бетонных плит), м, определяемая по таблице 6.

Таблица 6

Эквивалентирование защитных средств КП/ПП слоем грунта

Дополнительная защита КП/ПП	Эквивалентная толщина слоя грунта, $h_{доп}$, м
Бетонное покрытие толщиной 0.05 м	0.2
Бетонное покрытие толщиной 0.1 м	0.3
Защитный кожух (футляр)	0.6

3.2.1.2. БФФ $B_{12}=\varphi_{12}(F_{12})$ для фактора F_{12} «Уровень антропогенной активности»

Данный фактор влияния включает 4 подфактора, балльно-факторные функции которых приведены в таблице 7 (*m* – номер подфактора).

Таблица 7

БФФ для подфакторов фактора F_{12} «Уровень антропогенной активности»[8]

m		Составляющие фактора F_{12} и их балльно-факторные функции	$B_{12}^{(m)}$
1	$F_{12}^{(1)}$	Плотность населения (Н) в районе прохождения трассы КП/ПП: - при $0 \le H \le 150$ (чел./км^2) $B_{12}^{(1)}=0{,}02 \cdot H$ - при $H > 150$ (чел./км^2) $B_{12}^{(1)}=3$	←
2	$F_{12}^{(2)}$	Активность строительных работ в районе участка КП/ПП: - высокая (в пределах 500м от оси КП/ПП строительные, земляные, сейсмографические и т.п. работы, как правило, ведутся более 3 месяцев в году) - умеренная (указанные работы ведутся от 1 до 3 месяцев в году или КП/ПП проходит по ежегодно обрабатываемым сельхозугодьям) - низкая (указанные работы носят эпизодический характер) - отсутствует (указанные работы никогда не проводились ранее и не проводятся сейчас)	3 2 1 0
3	$F_{12}^{(3)}$	Удельное количество подземных переходов ($n_{ажд}$) через авто- и железные дороги на участке КП/ПП, шт/км: - при $0 \le n_{ажд} \le 2$ (шт/км) $B_{12}^{(3)} = n_{ажд}$ - при $n_{ажд} > 2$ (шт/км) $B_{12}^{(3)}=2$	←
4	$F_{12}^{(4)}$	Удельное количество пересечений ($n_{ком}$) участка КП/ПП с подземными трубопроводами и другими подземными коммуникациями шт/км: - при $0 \le n_{ком} \le 6$ (шт/км) $B_{12}^{(4)} = 0{,}33 \cdot n_{ком}$ - при $n_{ком} > 6$ (шт/км) $B_{12}^{(4)}=2$	←

Балльная оценка фактора F_{12} рассчитывается как сумма балльных оценок 4-х подфакторов:

$$B_{12} = \sum_{m=1}^{4} B_{12}^{(m)}$$

3.2.1.3. БФФ $B_{13}=\varphi_{13}(F_{13})$ для фактора F_{13} «Согласовательно-разъяснительная работа»

Фактор влияния F_{13} включает 3 подфактора, балльно-факторные функции которых представлены в таблице 8 (*m* – номер подфактора).

[8] Если анализируемый участок КП/ПП располагается на территориях с потенциальной опасностью совершения противоправных действий (диверсий) на МГ, то балльная оценка данного фактора влияния принимается равной 10 баллам.

Таблица 8

БФФ для подфакторов фактора F_{13} «Согласовательно-разъяснительная работа»

m	Составляющие фактора F_{13} и их возможные значения		$B_{13}^{(m)}$
1	$F_{13}^{(1)}$	Система согласования и контроля проведения строительных и взрывных работ в охранной зоне: - строго соблюдается (все работы согласуются и контролируются филиалом ЭО) - в основном соблюдается (имели место отдельные нарушения инструкций в части контроля проведения работ) - нечетко соблюдается (имели место неоднократные случаи нарушения инструкций в части согласования и контроля проведения работ) - не соблюдается (были многочисленные случаи проведения работ сторонними организациями без разрешения филиалом ЭО с грубыми нарушениями инструкций, приводившими к инцидентам и авариям)	 0 0,5 -1,5 2-3 4
2	$F_{13}^{(2)}$	Наличие у землепользователей обновляемых карт с нанесенной трассой КП/ПП: - обновляемые (не реже 1 раза в 3 года) карты с трассой КП/ПП имеются у всех землепользователей - обновленные карты с трассой КП/ПП имеются у большей части землепользователей (или - у всех, но с частотой обновления 1 раз в 3,5 - 4 года) - обновленные карты с трассой КП/ПП имеются у меньшей части землепользователей (или - у всех, но с частотой обновления 1 раз в 5 - 7 лет) - обновленные карты с трассой КП/ПП отсутствуют у всех землепользователей (или карты есть, но частота обновления - 1 раз в 8-10 лет и реже)	 0 1-1,5 2-2,5 3
3	$F_{13}^{(3)}$	Разъяснительная работа в организациях и среди населения: - проводится регулярно (оповещения предприятий о необходимости выполнения Правил охраны КП/ПП и соответствующие обращения к населению в прессе - не реже 2 раз в год) - проводится с недостаточной частотой (1 раз в год) - проводится нерегулярно (реже 1 раза в год) - не проводится (оповещения не рассылаются, и обращения в прессе не печатаются)	 0 1 2 3

Итоговая балльная оценка фактора рассчитывается как сумма балльных оценок 3-х подфакторов:

$$B_{13} = \sum_{m=1}^{3} B_{13}^{(m)}$$

3.2.1.4. БФФ $B_{14}=\varphi_{14}(F_{14})$ для фактора F_{14} «Состояние охранной зоны трубопровода»

Фактор влияния F_{14} включает 2 подфактора, балльно-факторные функции для которых приведены в таблице 9 (*m* – номер подфактора).

Таблица 9

БФФ для составляющих фактора F_{14} «Состояние охранной зоны КП/ПП»

m	Составляющие фактора F_{14} и возможные значения		$B_{14}^{(m)}$
1	$F_{14}^{(1)}$	Степень расчистки трассы КП/ПП древесно-кустарниковой растительности (доля общей протяженности участка трубопровода, очищенная от растительности), $r_{расч}$ (%): при $0 \le r_{расч} \le 100$ (%) $B_{14}^{(1)}=6-0{,}06\cdot r_{расч}$	←
2	$F_{14}^{(2)}$	Процент отсутствующих на участке КП/ПП знаков закрепления трассы (z,%): - при $0 \le z \le 20$ (%) $B_{14}^{(2)}=0{,}2\cdot z$ - при $z > 20$ (%) $B_{14}^{(2)}=4$	←

Итоговая балльная оценка фактора рассчитывается как сумма балльных оценок 2-х подфакторов:

$$B_{14}=\sum_{m=1}^{2} B_{14}^{(m)}$$

3.2.1.5. БФФ $B_{15}=\varphi_{15}(F_{15})$ для фактора F_{15} «Частота патрулирования трассы трубопровода»

Данный фактор включает 2 равнозначных подфактора, балльно-факторные функции которых представлены в таблице 10 (m – номер подфактора).

Таблица 10

БФФ для составляющих фактора F_{15} «Частота патрулирования трассы КП/ПП»

m	Составляющие фактора F_{15} и их возможные значения		$B_{15}^{(m)}$
1	$F_{15}^{(1)}$ -	Частота патрулирования (обходов, объездов, облетов) участка КП/ПП:	
		- не реже 2 раз в неделю	0
		- раз в неделю	1
		- 3 раза в месяц	2
		- 2 раза в месяц	3
		- 1 раз в месяц	4
		- реже 1 раза в месяц	5
2	$F_{15}^{(2)}$	Частота облетов участка КП/ПП с приборами обнаружения утечек:	
	-	- чаще 2 раз в год	0
		- 2 раза в год	1
		- от 1 до 2 раз в год,	2
		- 1 раз в год	3
		- от 1 раза в год до 1 раза в 2 года	4
		- реже 1 раза в 2 года	5

Итоговая балльная оценка фактора F_{15} рассчитывается как сумма балльных оценок 2-х составляющих:

$$B_{15} = \sum_{m=1}^{2} B_{15}^{(m)}$$

3.2.1.6. БФФ $B_{16}=\varphi_{16}(F_{16})$ для фактора F_{15} «Нарушения охранной зоны и зон минимальных расстояний»

БФФ задана для данного фактора в таблице 11.

Таблица 11

БФФ для фактора F_{16} «Нарушения охранной зоны и зон минимальных расстояний»

№	Возможные значения фактора F_{16}	B_{16}
1	Объект-нарушитель (из перечисленных в строках 1-12 таблицы 4, строках 1-7 таблицы 20 СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*» (утверждены_ приказом Федерального агентства по строительству и жилищно-коммунальному хозяйству от 25 декабря 2012 г. № 108/ГС)) находится в пределах охранной зоны КП/ПП или в охранной зоне КП/ПП проводятся несанкционированные строительные или взрывные работы	10
2	Объект-нарушитель (из перечисленных в строках 1, 11, 12 таблицы 4, строках 1, 2 , 6, 7 таблицы 20 СП 36.13330.2012) находится на расстоянии $R< 0,5\cdot R_{min}$ от оси КП/ПП*	10
3	Объект-нарушитель (из перечисленных в строках 1, 11, 12 таблицы 4, строках 1, 2 , 6, 7 таблицы 20 СП 36.13330.2012) находится на расстоянии $0,5\cdot R_{min} \le R < R_{min}$ от оси КП/ПП*	8-9
4	Объект-нарушитель (из перечисленных в строках 2, 4, 5 таблицы 4, строке 3 таблицы 20 СП 36.13330.2012) находится на расстоянии $R< 0,5\cdot R_{min}$ от оси КП/ПП*	7
5	Объект-нарушитель (из перечисленных в строках 2, 4, 5 таблицы 4, строке 3 таблицы 20 СП 36.13330.2012) находится на расстоянии $0,5\cdot R_{min} \le R < R_{min}$ от оси КП/ПП*	6
6	Объект-нарушитель (из перечисленных в строках 3, 6 таблицы 4, строках 4, 5 таблицы 20 СП 36.13330.2012) находится на расстоянии $R< 0,5\cdot R_{min}$ от оси КП/ПП *	5
7	Объект-нарушитель (из перечисленных в строках 3, 6 таблицы 4, строках 4, 5 таблицы 20 СП 36.13330.2012) находится на расстоянии $0,5\cdot R_{min} \le R < R_{min}$ от оси КП/ПП*	4
8	Объект-нарушитель (из перечисленных в строках 8-10, 13-17 таблицы 4, строках 8, 9 таблицы 20 СП 36.13330.2012) находится на расстоянии $R< 0,5\cdot R_{min}$ от оси КП/ПП *	3
9	Объект-нарушитель (из перечисленных в строках 8-10, 13-17 таблицы 4, строках 8, 9 таблицы 20 СП 36.13330.2012) находится на расстоянии $0,5\cdot R_{min} \le R < R_{min}$ от оси КП/ПП*	2
10	Нарушение(я) охранной зоны и зон минимальных расстояний имеют место на соседнем с анализируемым участке КП/ПП	1
11	Нарушений охранной зоны и зон минимальных расстояний на анализируемом участке КП/ПП нет	0
*R_{min} - минимальное расстояние от объекта до КП/ПП, нормативно варьируемое в зависимости диаметра и класса КП/ПП и вида объекта (см. таблицы 4, 20 СП 36.13330.2012)		

3.2.1.7. БФФ $B_{17}=\varphi_{17}(F_{17})$ для фактора F_{17} «Аварии и отказы, имевшие место на трубопроводе из-за воздействий третьих лиц»

БФФ функция имеет следующий вид:

$$B_{17} = 2 \cdot N_{свищ\text{-}мех} + 10 \cdot N_{рзр\text{-}мех}\ , \qquad (3)$$

где $N_{свищ\text{-}мех.}$- количество имевших место свищей (утечек) на анализируемом участке по причине механических повреждений трубопровода третьими лицами за весь период его эксплуатации;

$N_{рзр\text{-}мех}$ – количество имевших место разрывов на анализируемом участке по причине мехповреждений трубопровода третьими лицами за весь период его эксплуатации.

Если расчетное значение B_{17} получится больше 10, то итоговое значение B_{17} принимается равным 10 баллов.

3.2.2. БФФ для факторов влияния из группы FG_2 «Наружная коррозия (без учета КРН)»

Если анализируемый участок трубопровода построен из новых труб с изоляцией из экструдированного или напыленного полиэтилена заводского нанесения со сварными стыками, изолированными термоусаживающимися манжетами, то вероятность возникновения коррозионных повреждений пренебрежимо мала и допускается принять равной 0 суммарную балльную оценку данной группы факторов, т.е.$B_2 = 0$, без проведения дальнейшего анализа по данной группе факторов. В ином случае анализ проводится по стандартной схеме с рассмотрением каждого фактора данной группы.

3.2.2.1. БФФ $B_{21}=\varphi_{21}(F_{21})$ для фактора F_{21} «Коррозионные свойства грунтов»

БФФ для данного фактора оперирует 2-мя показателями: удельным сопротивлением грунта $\rho_г$ (Ом·м) и фактом наличия/отсутствия чередования грунтов на анализируемом участке КП/ПП, и имеет вид:

$$B_{21} = k_{21\text{-}1} \qquad \text{при } \rho_г > 100$$

$$B_{21} = k_{21\text{-}1} + 2{,}5 - 0{,}025 \cdot \rho_г \qquad \text{при } 20 < \rho_г \le 100 \qquad (4)$$

$B_{21} = k_{21\text{-}2} \cdot (6\text{-}0{,}2 \cdot \rho_г)$ при $5 < \rho_г \le 20$

$B_{21} = k_{21\text{-}2} \cdot 5$ при $\rho_г \le 5$;

где $k_{21\text{-}1}=2$, $k_{21\text{-}2}=2$ - при первом типе чередования грунтов, когда среднее (геометрическое) значение $\rho_г$ на анализируемом участке длиной L в пять или более раз меньше средних (геометрических) значений $\rho_г$ на прилегающих к нему участках длиной по $3L$ (рисунок 1);

$k_{21\text{-}1}=1$, $k_{21\text{-}2}=1{,}5$ - при втором типе чередования грунтов, когда среднее значение $\rho_г$ на анализируемом участке длиной L в пять или более раз меньше среднего значения $\rho_г$ на прилегающем к нему с одной стороны участке длиной $3L$ и одновременно с этим больше среднего значения $\rho_г$ на прилегающем к нему с другой стороны участке длиной $3L$;

$k_{21\text{-}1}=0$, $k_{21\text{-}2}=1$ - при третьем типе чередования грунтов, когда среднее значение $\rho_г$ на анализируемом участке длиной L одновременно больше средних значений $\rho_г$ на прилегающих к нему с двух сторон участках длиной $3L$.

В качестве значения $\rho_г$ в приведенной выше БФФ фигурирует геометрическое среднее

$$\rho_г = \sqrt[n]{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdots \rho_n}, \qquad (5)$$

где $\rho_1 \ldots \cdot \rho_n$ – измеренные значения удельного сопротивления грунт в ***n*** точках (анализируемого участка трассы КП/ПП и прилегающих к нему участках длиной $3L$), отстоящих не менее чем в 100 м друг от друга, Ом·м.

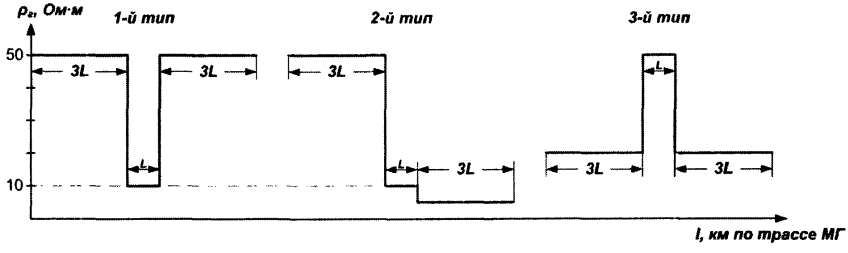


Рисунок 1 - Типы чередования грунтов с различными удельными сопротивлениями

3.2.2.2. БФФ $B_{22}=\varphi_{22}(F_{22})$ для фактора F_{22} «Температура перекачиваемого продукта»

БФФ для данного фактора отражает факт увеличения интенсивности коррозии с повышением температуры газа и имеет вид:

$B_{22}=0{,}2 \cdot t_п$ при $0^oC \le t_п \le 50^oC$ (6)

$B_{22}=10$ при $t_п > 50^oC$,

где $t_п$ - температура перекачиваемого продукта.

3.2.2.3. БФФ $B_{23}=\varphi_{23}(F_{23})$ для фактора F_{23} «Наличие зон блуждающих токов»

БФФ задана в таблицах 12 и 13 соответственно для коротких и для протяженных анализируемых участков КП/ПП.

Таблица 12

БФФ для фактора «Наличие зон блуждающих токов» (для коротких участков КП/ПП с $L \le 3$ км)

№	Возможные значения фактора F_{23}	B_{23}
1	На анализируемом участке и прилегающих к нему с 2-х сторон участках длиной по 3 км не обнаружено зон блуждающих токов	0
2	На анализируемом участке и прилегающих к нему с 2-х сторон участках длиной по 3 км обнаружены знакопеременные зоны блуждающих токов	3
3	На анализируемом участке и прилегающих к нему с 2-х сторон участках длиной по 3 км обнаружены анодные зоны блуждающих токов	10

Таблица 13

БФФ для фактора «Наличие зон блуждающих токов» (для протяженных участков КП/ПП длиной несколько десятков км)

№	Возможные значения фактора F_{23}	B_{23}
1	На анализируемом участке КП/ПП не обнаружено зон блуждающих токов	0
2	На анализируемом участке КП/ПП обнаружены знакопеременные зоны блуждающих токов	3
3	На анализируемом участке КП/ПП обнаружены анодные зоны блуждающих токов	10

3.2.2.4. БФФ $B_{24}=\varphi_{24}(F_{24})$ для фактора F_{24}: «Результаты шурфований»

При определении фактических значений и балльной оценки данного фактора учитывают наихудшие результаты шурфований на анализируемом

участке КП/ПП (если шурфований было несколько), причем проведенных не ранее чем за 2-3 года до момента проведения оценки ожидаемой частоты аварий для данного участка. БФФ представлена в виде матрицы (таблица 14).

Таблица 14

БФФ для фактора F_{24} «Результаты шурфований»

		Фактическая скорость коррозии		
		Менее 0,1 мм/год	0,1-0,3 мм/год	Более 0,3 мм/год
Состояние изоляционного покрытия (ИП)	Хорошее (по критериям ВРД 39-1.10-026-2001)	0	-	-
	Удовлетворительное (по критериям ВРД 39-1.10-026-2001)	0,5	0,5-1,5	2
	Сквозные дефекты размером более 1 $см^2/м^2$	3	4-6	9-10
	Наличие отслоений ИП	3	7-8	9-10
	Комбинация отслоений ИП и сквозных дефектов размером более 1 $см^2/м^2$	6	9	10
При отсутствии шурфований на анализируемом участке B_{24} = 5 баллов				

3.2.2.5. БФФ $B_{25}=\varphi_{25}(F_{25})$ для фактора F_{25} «Тип и состояние изоляционного покрытия»

БФФ для данного фактора представлена в виде матрицы (таблица 15).

Таблица 15

БФФ для фактора F_{25} «Тип и состояние изоляционного покрытия»

		Тип и условия нанесения ИП				
		Из экструдированного или напы-ленного полиэтилена заводского нанесения со сварными стыками, изолированными термоусаживающими-ся манжетами	Из экструдированного или напыленного полиэтилена заводского нанесения со сварными стыками, изолированными полимерными липкими лентами	Битумная мастика базового и трассового нанесения	Усиленные пленочные базового и трассового нанесения	Нормальные пленочные базового и трассового нанесения
Относительная протяженно	0	0	1**	2	3	4
	1-5	0*	2	3	4	5
	6-10	0*	3	4	5	6

		Тип и условия нанесения ИП				
		Из экструдированного или напы-ленного полиэтилена заводского нанесения со сварными стыками, изолированными термоусаживающими-ся манжетами	Из экструдированного или напыленного полиэтилена заводского нанесения со сварными стыками, изолированными полимерными липкими лентами	Битумная мастика базового и трассового нанесения	Усиленные пленочные базового и трассового нанесения	Нормальные пленочные базового и трассового нанесения
сть участков (в пределах анализируемого участка КП/ПП) с неудовлетворительным состоянием ИП, %	11-15	0*	4	5	6	7
	15-20	0*	5	6	7	8
	21-25	0*	6	7	8	9
	> 25	0*	7	8	9	10
*Считается, что ИП заводского нанесения со сварными стыками, изолированными термоусаживающимися манжетами, находится в удовлетворительном, хорошем и отличном состояниях. **Для ИП заводского нанесения со сварными стыками, изолированными липкими полимерными лентами, учитывается не относительная протяженность участка, а процент сварных стыков с неудовлетворительным состоянием ИП.						

3.2.2.6. БФФ $B_{26}=\varphi_{26}(F_{26})$ для фактора F_{26} «Время, прошедшее с момента последних электрометрических обследований»

БФФ представлена системой следующих выражений:

$$B_{26}=0,4\cdot T_{эо} \quad \text{при } 0<T_{эо}\leq 5$$

$$B_{26}=-18+4\cdot T_{эо} \quad \text{при } 5<T_{эо}\leq 7 \qquad (7)$$

$$B_{26}=10 \quad \text{при } T_{эо}>7$$

где $T_{эо}$ - количество лет, прошедших с момента проведения последних обследований.

3.2.2.7. БФФ $B_{27}=\varphi_{27}(F_{27})$ для фактора F_{27} «Качество работы средств ЭХЗ»

Фактор влияния F_{27} включает 3 подфактора, балльно-факторные функции для которых приведены в таблице 16 (*m* –номер подфактора).

Таблица 16

БФФ подфакторов фактора F_{27} «Качество работы средств ЭХЗ»

m	Составляющие фактора F_{27} и их возможные значения		$B_{27}^{(m)}$
1	$F_{27}^{(1)}$	Защищенность КП/ПП по протяженности ($З_п$,%) (сохранение разности потенциалов "труба-земля" в пределах от -0.85 до - 1.1 В):	
		$З_п = 100\%$	0
		$96 < З_п \le 99\%$	1
		$92 < З_п \le 96\%$	2
		$88 < З_п \le 92\%$	3
		$85 \le З_п \le 88\%$	4
		$З_п < 85\%$	5
2	$F_{27}^{(2)}$	Срок ввода ЭХЗ в эксплуатацию на участке:	
		- одновременно с КП/ПП	0
		- менее, чем через 1 год после начала эксплуатации КП/ПП	1
		- через 1-2 года после начала эксплуатации КП/ПП	2
		- более, чем через 2 года после начала эксплуатации КП/ПП	3
3	$F_{27}^{(3)}$	Периодичность обслуживания и проверки работы средств ЭХЗ:	
		- не реже 1(2) раз в месяц на УКЗ, обеспеченных (необеспеченных) дистанционным контролем; 4 раз в месяц на УДЗ и 1 раза в полгода на УПЗ	0 1
		- с отклонениями от Правил эксплуатации	2
		- грубые нарушения сроков	
При отсутствии средств ЭХЗ на трубопроводе $B_{27}=10$			

Итоговая балльная оценка фактора рассчитывается как сумма балльных оценок 3-х подфакторов:

$$B_{27} = \sum_{m=1}^{3} B_{27}^{(m)}$$

3.2.2.8. БФФ $B_{28}=\varphi_{28}(F_{28})$ для фактора F_{28} «Мониторинг и контроль эффективности ЭХЗ»

Балльная оценка данного фактора в целом рассчитывается как сумма балльных оценок 3-х подфакторов:

$$B_{28} = \sum_{m=1}^{3} B_{28}^{(m)} \cdot$$

БФФ первых 2-х подфакторов задаются в табличном виде (строки 1 и 2 таблицы 17), а БФФ третьего подфактора - в виде формул (см. 3-ю строку таблицы 17).

Таблица 17

БФФ 3-х составляющих фактора F_{28} «Мониторинг и контроль эффективности ЭХЗ»

m	Составляющие фактора F_{28} и их возможные значения		$B_{28}^{(m)}$
1	$F_{28}^{(1)}$	Расстояния между КИК ($L_{кик}$) и установка КИК на "проблемных" участках: 1) $L_{кик} \leq 1.0$ км, контроль всех проблемных участков 2) $L_{кик} \leq 1.0$ км, контролируются не все проблемные участки 3) $1.0 < L_{кик} \leq 3.0$ км или контролируются не все проблемные участки 4) местами $L_{кик}>3.0$ км, не все проблемные участки контролируются 5) контроль не производится	 0 1 2 3 4
2	$F_{28}^{(2)}$	Частота $f_{кик}$ (раз в год) проведения измерений в КИК: $f_{кик} \geq 2$ (ПТЭ) $1 < f_{кик} < 2$ $f_{кип} \leq 1$ - измерения не производятся	 0 1 2 3
3	$F_{28}^{(3)}$	Время, (количество лет $T_{ки}$), прошедшее с момента проведения последних измерений с короткими интервалами, - вид балльно-факторной функции: $B_{28}^{(3)} = 0{,}2 \cdot T_{ки}$ при $0<T_{ки} \leq 5$ $B_{28}^{(3)} = -4+\cdot T_{ки}$ при $5<T_{ки} \leq 7$ $B_{28}^{(3)} = 3$ при $T_{ки} > 7$	 ←

3.2.2.9. БФФ $B_{29}=\varphi_{29}(F_{29})$ для фактора F_{29} «Аварии и отказы, имевшие место по причине наружной коррозии»

БФФ для данного фактора имеет следующий вид:

$$B_{29} = 2 \cdot N_{свищ\text{-}кор} + 10 \cdot N_{рзр\text{-}кор}, \quad (8)$$

где $N_{свищ\text{-}кор}$- количество имевших место свищей (утечек) на анализируемом участке по причине наружной коррозии за весь период его эксплуатации;

$N_{рзр\text{-}кор}$ – количество имевших место разрывов на анализируемом участке по причине наружной коррозии за весь период его эксплуатации.

Если расчетное значение B_{29} получится больше 10, то итоговое значение B_{29} принимается равным 10 баллов.

3.2.3. БФФ для факторов влияния из группы FG_3 «Коррозия под напряжением (КРН)»

Если анализируемый участок трубопровода построен из новых труб с изоляцией из экструдированного или напыленного полиэтилена заводского нанесения со сварными стыками, изолированными термоусаживающимися манжетами, то вероятность возникновения стресс-коррозионных повреждений пренебрежимо мала и допускается принять равной 0 суммарную балльную оценку данной группы факторов, т.е. $B_3 = 0$, без проведения дальнейшего анализа по данной группе факторов.

3.2.3.1. БФФ $B_{31}=\varphi_{31}(F_{31})$ для фактора F_{31} «Комбинированный фактор КРН»

БФФ для фактора F_{31} представлена в виде матрицы (таблица 18).

Таблица 18

Балльные оценки B_{31} возможных значений фактора F_{31} .

$B_{31\text{-}ГИКС}$ ↓	$\overline{P} \le 0,4$	$0,4<\overline{P}\le 0,55$	$0,55<\overline{P}\le 0,7$	$0,7<\overline{P}\le 0,85$	$0,85<\overline{P}<1,0$	$\overline{P}\ge 1,0$
26-30	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
21-25	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
16-20	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,0
11-15	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
6-10	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
1-5	0,5	1,5	2,5	3,5	4,5	5,5
0	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0

Здесь $\overline{P}=P_{факт}/P_{пр}$ - отношение фактического давления газа на анализируемом участке трубопровода к проектному давлению;

$B_{31\text{-}ГИКС}$ - сумма балльных оценок для подфакторов: $F_{31}^{(1)}$ «Коррозионная активность грунта», $F_{31}^{(2)}$ «Тип и состояние изоляционного покрытия», $F_{31}^{(3)}$ «Удаленность участка КП/ПП от нагнетающей НС», т.е.:

$$B_{31\text{-}ГИКС} = \sum_{m=1}^{3} B_{31}^{(m)} . \qquad (9)$$

Балльно-факторная функции подфактора $F_{31}^{(1)}$ «Коррозионная активность грунта» оперирует только значениями удельного электрического сопротивления грунта ($\rho_г$) без учета чередования грунтов (поскольку процессы КРН индифферентны к чередованию электросопротивления грунтов). Балльно-факторная функция для данного подфактора имеет следующий вид:

$$B_{31}^{(1)} = 0 \qquad \text{при } \rho_г > 100;$$

$$B_{31}^{(1)} = 5 - 0{,}05 \cdot \rho_г \quad \text{при } 20 < \rho_г \le 100; \qquad (10)$$

$$B_{31}^{(1)} = 12\text{-}0{,}4 \cdot \rho_г \qquad \text{при } 5 < \rho_г \le 20$$

$$B_{31}^{(1)} = 10 \qquad \text{при } \rho_г \le 5.$$

БФФ для подфактора $F_{31}^{(2)}$ «Тип и состояние изоляционного покрытия» представлена в таблице 19.

Таблица 19

БФФ для подфактора $F_{31}^{(2)}$ «Тип и состояние изоляционного покрытия»

Тип и условия нанесения изоляционного покрытия	Возраст покрытия, лет	$B_{31}^{(2)}$
ИП из экструдированного или напыленного полиэтилена заводского нанесения со сварными стыками, изолированными термоусаживающимися манжетами. Другие ИП нового поколения.	0-15	0
ИП из экструдированного или напыленного полиэтилена заводского нанесения со сварными стыками, изолированными полимерными липкими лентами	0-15	2
Битумная мастика базового и трассового нанесения	0-20	1-3
Битумная мастика базового и трассового нанесения	Более 20	4
Усиленные пленочные ИП базового и трассового нанесения	0-7	7
Нормальные пленочные ИП базового и трассового нанесения	0-7	8
Усиленные пленочные ИП базового и трассового нанесения	Более 7	9
Нормальные пленочные ИП базового и трассового нанесения	Более 7	10

БФФ для подфактора $F_{31}^{(3)}$ «Удаленность участка КП/ПП от нагнетающей НС» имеет вид:

$$B_{31}^{(3)} = 10 - 0{,}1 \cdot L_{кс} \quad \text{при } 0 \text{ км} \le L_{нс} \le 100 \text{ км} \qquad (11)$$

$$B_{31}^{(3)} = 0 \qquad \text{при } L_{нс} > 100 \text{ км}$$

где $L_{нс}$ – расстояние от выхода НС до середины анализируемого участка КП/ПП, км.

3.2.3.2. БФФ $B_{32}=\varphi_{32}(F_{32})$ для фактора F_{32} «Наличие водотоков»

БФФ для данного фактора выражается в виде следующих формул:

$$B_{32} = 3{,}33 \cdot n_{вод} \qquad \text{при } 0 \le n_{вод} \le 3 \text{ (шт./км)} \qquad (12)$$

$B_{32}=10$ при $n_{вод} > 3$ (шт/км)

где $n_{вод}$ – количество пересекаемых трубопроводом водотоков на 1 км.

3.2.3.3. БФФ $B_{33}=\varphi_{33}(F_{33})$ для фактора F_{33} «Уровень грунтовых вод»

БФФ для данного фактора имеет вид:

$$B_{33}=10\cdot r_{угв\text{-}1} + 5\cdot r_{угв\text{-}05} \quad (13)$$

$B_{33} = 0$ при $r_{угв\text{-}0}=1$,

где $r_{угв\text{-}1}$ – доля от общей протяженности анализируемого участка КП/ПП, на которой проектная отметка УГВ пересекает трубу;

$r_{угв\text{-}05}$ - доля от общей протяженности анализируемого участка КП/ПП, на которой проектная отметка УГВ выше верхней образующей трубы;

$r_{угв\text{-}0} = 1 - r_{угв\text{-}1} - r_{угв\text{-}0,5}$ - доля анализируемого участка МГ, на которой проектная отметка УГВ ниже нижней образующей трубы.

3.2.3.4. БФФ $B_{34}=\varphi_{34}(F_{34})$ для фактора F_{34} «Имевшие место аварии и отказы по причине коррозии под напряжением»

БФФ для данного фактора имеет следующий вид:

$$B_{34} = 2\cdot N_{свищ\text{-}крн} + 10\cdot N_{рзр\text{-}крн}, \quad (14)$$

где $N_{свищ\text{-}крн}$- количество имевших место свищей (утечек) на анализируемом участке по причине КРН за весь период его эксплуатации;

$N_{рзр\text{-}крн}$ – количество имевших место разрывов на анализируемом участке по причине КРН за весь период его эксплуатации.

Если расчетное значение B_{34} получится больше 10, то итоговое значение B_{34} принимается равным 10 баллов.

3.2.4. БФФ для факторов влияния из группы FG_4 «Внутренняя коррозия и эрозия»

3.2.4.1. БФФ $B_{41}=\varphi_{41}(F_{41})$ для фактора F_{41} «Коррозионная и эрозионная активность продукта»

БФФ фактора F_{41} представляет собой сумму двух БФФ для 2-х составляющих (коррозионной и эрозионной). Эти БФФ приведены в таблице 20

(m – номер подфактора). Если общая сумма баллов в итоге превышает 10, то B_{41}= 10.

Таблица 20

БФФ для фактора F_{41} «Коррозионная и эрозионная активность продукта»

m	Составляющие фактора F_{41} и их возможные значения		$B_{41}^{(m)}$
1	$F_{41}^{(1)}$	Коррозионная активность продукта: - сильная (продукт несовместим с материалом трубы) - средняя (содержание примесей выше требуемого по ОСТ, ТУ, ТБ) - имеет случайный характер (при отказе очистного оборудования) - отсутствует в принципе	 8-10 4-7 1-3 0
2	$F_{41}^{(2)}$	Эрозионная активность продукта: - сильная (на участке имели место эрозионные повреждения) - средняя (содержание мехпримесей выше требуемого по ОСТ, ТУ,ТБ) - имеет случайный характер (при отказе очистного оборудования) - отсутствует	 5 3-4 1-2 0

3.2.4.2. БФФ $B_{42}=\varphi_{42}(F_{42})$ для фактора F_{42} «Пассивная и активная защита от внутренней коррозии»

Итоговая балльная оценка фактора определяется как сумма балльных оценок 6-ти составляющих с помощью таблицы 21, задающей БФФ фактора (m – номер подфактора). Если общая сумма баллов превышает 10, то B_{42}=10.

Таблица 21

БФФ для фактора «Пассивная и активная защита от внутренней коррозии»

m	Составляющие фактора F_{42} и их возможные значения		$B_{42}^{(m)}$
1	$F_{42}^{(1)}$	Ингибитор коррозии: - вводится регулярно по инструкции или не требуется - вводится нерегулярно - не вводится при его необходимости	 0 1-3 4
2	$F_{42}^{(2)}$	Внутреннее изоляционное покрытие: - присутствует или не требуется - отсутствует при его необходимости	 0 5
3	$F_{42}^{(3)}$	Очистка полости трубопровода: - производится по установленному графику - производится с нарушениями графика - не производится	 0 1-2 3
4	$F_{42}^{(4)}$	Мониторинг внутренней коррозии (с помощью купонов, зондов): - периодически производится - не производится	 0 2
5	$F_{42}^{(5)}$	Предварительная подготовка продукта к транспорту: -нарушений работы оборудования не наблюдалось	 0

		-нарушения имели место	1-2
6	$F_{42}^{(6)}$	Установленная периодичность испытаний (анализа состава) продукта перед вводом в трубопровод: - соблюдается - не соблюдается	 0 1

3.2.4.3. БФФ $B_{43}=\varphi_{43}(F_{43})$ для фактора F_{43} «Имевшие место аварии и отказы по причине внутренней коррозии и эрозии»

БФФ для данного фактора имеет следующий вид:

$$B_{43} = 2 \cdot N_{свищ-вкэ} + 10 \cdot N_{рзр-вкэ}, \quad (15)$$

где $N_{свищ-вкэ.}$- количество имевших место свищей (утечек) на анализируемом участке по причине внутренней коррозии и эрозии за весь период его эксплуатации;

$N_{рзр-вкэ}$ – количество имевших место разрывов на анализируемом участке по причине внутренней коррозии и эрозии за весь период его эксплуатации.

Если расчетное значение B_{43} получится больше 10, то итоговое значение B_{43} принимается равным 10 баллов.

3.2.5. БФФ для факторов влияния из группы FG_5 «Качество производства труб и оборудования»

3.2.5.1. БФФ $B_{51}=\varphi_{51}(F_{51})$ для фактора F_{51} «Изготовитель и год выпуска труб для КП/ПП»

БФФ для данного фактора задана в табличном виде (см. таблицу 22).

Таблица 22

БФФ для фактора F_{51} «Изготовитель и год выпуска труб» (балльные оценки труб разных диаметров, изготовленных на разных заводах до и после 2001г.)

Диаметр труб, вид сварки	Год выпуска	Завод(страна) – изготовитель труб								
		Япония, Германия (Маннесман)	Италия	Челябинский ТЗ	Ижорский ТЗ	Выксунский МЗ	Харцызский ТЗ	Волжский ТЗ	Новомосковский ТЗ	Болгария, Чехия
530 мм - 820 мм ЭДСФ*	До 2001 г.	0	2	10	-	3	8	8	10	8
	После 2001 г.	0	2	4	1	1	3	3	5	4
Менее 530 мм ТВЧ**	До 2001 г.	0	2	10	-	8	-	-	10	8
	После 2001 г.	0	2	4	-	3	-	-	4	4

Менее 426 мм, Б/Ш***	До 2001 г.	0	2	10	-	-	-	2	-	10
	После 2001 г.	0	2	5	-	-	-	2	-	3
*ЭДСФ – электродуговая сварка под флюсом. **ТВЧ – сварка токами высокой частоты. *** Б/Ш – бесшовные трубы. ****Прочерк означает, что трубы указанного диаметра завод не выпускает.										

3.2.5.2. БФФ $B_{52}=\varphi_{52}(F_{52})$ для фактора F_{52} «Испытания КП/ПП»

Данный фактор включает два подфактора:

$F_{52}^{(1)}$ - «Отношение испытательного давления к рабочему $P_{исп}/P_{пр}$» (0...6 баллов);

$F_{52}^{(2)}$ - «Время, прошедшее с момента последнего испытания ($T_{исп}$)» (0...4 балла).

БФФ для фактора F_{52} складывается из БФФ указанных подфакторов:

$$B_{52} = B_{52}^{(1)} + B_{52}^{(2)}. \quad (16)$$

Вид БФФ для подфактора $F_{52}^{(1)}$ определен исходя из следующих предположений:

чем выше испытательное давление, тем ниже вероятность разгерметизации КП/ПП при дальнейшей эксплуатации;

наихудшие значения составляющей, соответствующие 6 баллам, лежат в интервале $P_{исп}/P_{пр}<1,1$.

БФФ для подфактора $F_{52}^{(1)}$ имеет следующий вид:

$B_{52}^{(1)}=15 - 10\cdot(P_{исп}/P_{пр})$ при $1,1\le P_{исп}/P_{пр}\le 1,5$ (17)

$B_{52}^{(1)}=6$ при $P_{исп}/P_{пр}<1,1$.

Вид БФФ для второго подфактора $F_{52}^{(2)}$ определен исходя из следующих предположений:

- чем больше времени прошло с момента последних испытаний КП/ПП, тем выше вероятность разгерметизации КП/ПП при дальнейшей эксплуатации,

- наихудшие значения составляющей, соответствующие 4 баллам, лежат в интервале $T_{исп}>10$ лет.

БФФ для второго подфактора $F_{52}^{(2)}$ а имеет вид:

$$B_{52}^{(2)} = 0{,}4 \cdot T_{исп} \quad \text{при } 0 \leq T_{исп} \leq 10 \text{ (лет)} \qquad (18)$$

$$B_{52}^{(2)} = 4 \quad \text{при } T_{исп} > 10 \text{ (лет)}.$$

3.2.5.3. БФФ $B_{53}=\varphi_{53}(F_{53})$ для фактора F_{53} «Аварии и отказы, имевшие место по причине производственных дефектов труб и оборудования»

БФФ для данного фактора имеет следующий вид:

$$B_{53} = 2 \cdot N_{свищ\text{-}труб} + 10 \cdot N_{рзр\text{-}труб}, \qquad (19)$$

где $N_{свищ\text{-}труб}$ - количество имевших место свищей (утечек) на анализируемом участке по причине производственных дефектов труб за весь период его эксплуатации;

$N_{рзр\text{-}труб}$ – количество имевших место разрывов на анализируемом участке по причине производственных дефектов труб за весь период его эксплуатации.

Если расчетное значение B_{53} получится больше 10, то итоговое значение B_{53} принимается равным 10 баллов.

3.2.6. БФФ для факторов влияния из группы FG_6 «Качество строительно-монтажных работ»

3.2.6.1. БФФ $B_{61}=\varphi_{61}(F_{61})$ для фактора F_{61} «Категория участка по сложности производства работ»

БФФ для данного фактора представлена в таблице 23. В качестве возможных значений фактора F_{61} выступают различные категории участков по сложности строительства (которые не следует путать с категориями, определяющими требования к КП/ПП, связанные с обеспечением прочности труб).

Таблица 23

БФФ для фактора F_{61} «Категория участка по сложности производства работ»

№	Возможные значения фактора F_{61}	B_{61}
1	Участки I категории сложности строительства (болота II и III типов, вечномерзлые грунты, горные участки, барханные незакрепленные пески, продольные уклоны крутизной более 30° и протяженностью более 100м)	8-10
2	Участки II категории сложности строительства (болота I типа, закрепленные барханные пески, продольные уклоны крутизной до 30°, косогорные участки с	4-7

№	Возможные значения фактора F_{61}	B_{61}
	боковой крутизной до 15°, подземные и воздушные переходы через железные дороги, отдельные продольные уклоны с крутизной более 30° и протяженностью менее 100м, овраги и балки)	
3	Участки III категории сложности строительства (отдельные продольные уклоны крутизной до 30° малой протяженности, косогорные участки с малой крутизной, подземные и воздушные переходы через автодороги, балки)	1-3
4	Равнинные, сухие участки	0

3.2.6.2. БФФ $B_{62}=\varphi_{62}(F_{62})$ для фактора F_{62} «Климатический район и сезон проведения СМР»

БФФ для данного фактора задана в виде таблицы 24.

Таблица 24

БФФ для фактора «Климатический район и сезон проведения СМР»

№	Возможные значения фактора F_{62}: Климатический район* и сезон проведения СМР	B_{62}
1	От умеренно холодного до умеренно теплого с мягкой зимой (II_4,II_5,II_6,II_7,II_8,II_9), лето	0
2	Умеренно теплый с мягкой зимой(II_9), жаркий сухой(II_{11}), весна,осень	1-2
3	Жаркий сухой (II_{11}), лето	2
4	От умеренно холодного до умеренно теплого(II_4,II_5,II_6,II_7),весна,осень	3-4
5	Арктический, холодный,очень холодный (I_1,I_2, II_2,II_3), лето	3-4
6	Арктический, холодный,очень холодный (I_1,I_2, II_2,II_3), весна, осень	5-7
7	Умеренно теплый влажный, умеренно теплый с мягкой зимой (II_8,II_9), зима	6-7
8	От умеренно холодного до умеренно теплого (II_4,II_5,II_6,II_7), холодный, очень холодный (I_1,I_2), весна,лето,осень+болота	7-8
9	Арктический,холодный,очень холодный (I_1,I_2, II_2,II_3), лето+болота	7-8
10	От умеренно холодного до умеренно теплого (II_4,II_5,II_6,II_7), зима	8-9
11	Арктический, холодный,очень холодный (I_1,I_2, II_2,II_3), зима	10
*Обозначения климатическихз районов приводятся в соответствии с ГОСТ 16350-80 «Климат СССР. Районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей» (введен в действие постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 17 декабря 1980 г. № 5857)		

3.2.6.3. БФФ $B_{63}=\varphi_{63}(F_{63})$ для фактора F_{63} «Контроль качества строительных работ»

БФФ для данного фактора представлена в таблице 25.

Таблица 25

БФФ для фактора «Контроль качества строительных работ»

№	Возможные значения фактора F_{63}:	B_{63}
1	Производителями работ осуществлялся операционный контроль качества по всем технологическим процессам, был произведен выборочный приборный	0

	контроль качества всех видов работ заказчиком, органами госнадзора и госинспекции, о чем свидетельствуют соответствующие документы.	
2	Производителями работ осуществлялся операционный контроль качества по всем технологическим процессам, был произведен выборочный контроль качества отдельных видов работ заказчиком, о чем свидетельствуют соответствующие документы.	1-2
3	Производителями работ осуществлялся операционный контроль качества по всем технологическим процессам, о чем свидетельствуют документы; технадзор заказчика осуществлялся без надлежащего приборного оснащения	3-5
4	Операционный контроль проводился не по всем операциям; технадзор Заказчика осуществлялся без приборного оснащения или отсутствовал	6-8
5	Уровень операционного контроля низкий; технадзор заказчика отсутствовал или о проверках качества работ ничего не известно	9-10

3.2.6.4. БФФ $B_{64}=\varphi_{64}(F_{64})$ для фактора F_{64} «Контроль качества сварных соединений»

БФФ для данного фактора имеет вид:

$$B_{64} = 22{,}1 - 0{,}22 \cdot K_{св} \quad \text{при } 55\% \le K_{св} \le 100\ \% \qquad (20)$$

$$B_{64} = 10 \quad \text{при } K_{св} < 55\ \%$$

где $K_{св}$ - процент охвата сварных стыков (в пределах анализируемого участка) контролем физическими методами.

3.2.6.5. БФФ $B_{65}=\varphi_{65}(F_{65})$ для фактора F_{65} «Адекватность применяемых материалов и изделий»

БФФ для данного фактора представлена в виде таблицы 26.

Таблица 26

БФФ для фактора F_{65} «Адекватность применяемых материалов и изделий»

№	Возможные значения фактора F_{65}:	B_{65}
1	Имеется в наличии вся документация, свидетельствующая о применении строго соответствующих проекту материалов и изделий, а также сертификаты, паспорта, другие документы, подтверждающие качество примененных материалов или их замен	0
2	Имеющаяся документация свидетельствует о произведенных заменах материалов и изделий, требуемых по проекту, на сходные по основным характеристикам	1-2
3	При отсутствии части подтверждающей документации, существуют свидетельства персонала об отсутствии нарушений проектных требований в части примененных материалов и изделий.	2-5
4	Существуют документальные свидетельства о применении на этапе строительства материалов и изделий, не соответствующих проекту и в той или	

	иной степени отличающихся от проектных по основным характеристикам в худшую сторону	6-10
5	Отсутствие документации, подтверждающей применение материалов и изделий в соответствии с проектом	10

3.2.6.6. БФФ $B_{66}=\varphi_{66}(F_{66})$ для фактора F_{66} «Качество хранения и обращения с материалами»

Вероятность использования при строительстве и ремонте КП/ПП дефектных материалов зависит от условий транспортировки материалов до места строительства, условий хранения до момента установки или применения, правильности обращения с ними во время проведения технологических операций. Любые дефекты труб, полученные во время транспортировки, могут в дальнейшем стать очагами развития трещин, а повреждение изоляционных покрытий ведет к ускоренной коррозии КП/ПП. С учетом этого фактор F_{66} включает 3 подфактора:

- $F_{66}^{(1)}$ - удаленность КП/ПП от центров производства труб и оборудования и труднодоступность участков КП/ПП (от 0 до 4 баллов);

- $F_{66}^{(2)}$ - условия хранения материалов и изделий (от 0 до 3 баллов);

- $F_{66}^{(3)}$ - условия обращения с материалами и изделиями при производстве работ (от 0 до 3 баллов).

БФФ для указанных подфакторов представлены в таблице 27 (m – номер подфактора).

Итоговая балльная оценка фактора рассчитывается как сумма балльных оценок 3-х подфакторов:

$$B_{66} = \sum_{m=1}^{3} B_{66}^{(m)} \qquad (21)$$

Таблица 27

Балльно-факторные функции 3-х подфакторов фактора F_{66} «Качество хранения и обращения с материалами»

m	Подфакторы фактора F_{66} и их возможные значения		$B_{66}^{(m)}$
1	$F_{66}^{(1}$	Удаленность КП/ПП от центров производства труб и оборудования, труднодоступность участков КП/ПП: - дальность транспортировки более 2000 км, число погрузок-разгрузок – максимальное	4 3

m	Подфакторы фактора F_{66} и их возможные значения		$B_{66}^{(m)}$
		- дальность транспортировки от 1000 до 2000 км, число погрузок-разгрузок – выше среднего - дальность транспортировки от 500 до 1000 км, число погрузок-разгрузок – среднее - дальность транспортировки менее 500 км, число погрузок-разгрузок – минимальное	2 0-1
2	$F_{66}^{(2}$	Условия хранения материалов и изделий: - материалы защищены от вредных воздействий окружающей среды и хранятся в надлежащих условиях - материалы защищены от вредных воздействий, но хранятся с нарушениями требуемых условий (например, правильности складирования и т.п.) - материалы не защищены от вредных воздействий окружающей среды	 0 1-2 3
3	$F_{66}^{(3}$	Условия обращения с материалами и изделиями при производстве работ: - способы подготовки материалов к установке (применению) и обращение с ними во время технологических операций строго соответствовали требованиям НД по производству работ - не соответствовали в той или иной мере требованиям НД по производству работ	 0 1-3

3.2.6.7. БФФ $B_{67}=\varphi_{67}(F_{67})$ для фактора F_{67} «Аварии и отказы, имевшие место по причине дефектов СМР»

БФФ для данного фактора имеет следующий вид:

$$B_{67} = 2 \cdot N_{свищ\text{-}смр} + 10 \cdot N_{рзр\text{-}смр}, \quad (22)$$

где $N_{свищ\text{-}смр.}$- количество имевших место свищей (утечек) на анализируемом участке по причине дефектов СМР за весь период его эксплуатации;

$N_{рзр\text{-}смр}$ – количество имевших место разрывов на анализируемом участке по причине дефектов СМР за весь период его эксплуатации.

Если расчетное значение B_{67} получится больше 10, то итоговое значение B_{67} принимается равным 10 баллов.

3.2.7. БФФ для факторов влияния из группы FG_7 «Внутренние динамические нагрузки»

3.2.7.1. БФФ $B_{71}=\varphi_{71}(F_{71})$ для фактора F_{71} «Возможность возникновения гидравлических ударов»

БФФ для данного фактора представлена в таблице 28.

Таблица 28

БФФ для фактора F_{71} «Возможность возникновения гидравлических ударов»

№	Возможные значения фактора F_{71}	B_{71}
1	Высокая вероятность гидроударов (наличие на анализируемом участке запорной арматуры, насосов; низкая сжимаемость и высокая скорость жидкости; отсутствие устройств, предотвращающих гидроудары)	7-10
2	Средняя или низкая вероятность гидроударов (параметры и скорость жидкости не исключают возможности возникновения волн давления, но они не представляют большой опасности, поскольку гасятся соответствующими устройствами – уравнительными резервуарами, предохранительными клапанами, устройствами медленного закрытия задвижек)	2-6
3	Низкая вероятность гидроударов (свойства жидкости практически исключают возможность всплеска давления, превышающего $P_{раб}$ на 10 %.	0-1

3.2.7.2. БФФ $B_{72}=\varphi_{72}(F_{72})$ для фактора F_{72} «Усталость металла»

БФФ базируется на оценке степени неблагоприятности комбинации числа циклов нагружения ($N_ц$) за все время эксплуатации участка, и амплитуды этой нагрузки ($A_н$), выраженной в % от рабочего давления в трубопроводе (таблица 29). Если на участке выявлено несколько источников циклических напряжений, то за итоговую балльную оценку принимается наибольшая из полученных оценок для каждого источника.

Таблица 29

БФФ для фактора F_{72} «Усталость металла»

$A_н$, % от $P_{раб}$	Число циклов нагружения в течение всего периода эксплуатации, $N_ц$				
	$<10^3$	10^3-10^4	10^4-10^5	10^5-10^6	$>10^6$
100	5.5	6.7	8.0	9.3	10
90	4.0	6.0	7.3	8.7	9.3
75	3.4	5.5	6.7	8.0	8.7
50	2.7	4.7	6.0	7.3	8.0
25	2.0	4.0	5.5	6.7	7.3
10	1.4	3.4	4.7	6.0	6.7
0	1	2.7	4.0	5.5	6.0

3.2.7.3. БФФ $B_{73}=\varphi_{73}(F_{73})$ для фактора F_{73} «Аварии и отказы, имевшие место по причине внутренних динамических нагрузок»

БФФ для данного фактора имеет следующий вид:

$$B_{73} = 2 \cdot N_{свищ\text{-}вдн} + 10 \cdot N_{рзр\text{-}вдн}\ , \qquad (23)$$

где $N_{свищ-вдн.}$- количество имевших место свищей (утечек) на анализируемом участке по причине внутренних динамических нагрузок за весь период его эксплуатации;

$N_{рзр-вдн}$ – количество имевших место разрывов на анализируемом участке по причине внутренних динамических нагрузок за весь период его эксплуатации.

Если расчетное значение B_{73} получится больше 10, то итоговое значение B_{73} принимается равным 10 баллов.

3.2.8. БФФ для факторов влияния из группы FG_8 «Природные воздействия»

3.2.8.1. БФФ $B_{81}=\varphi_{81}(F_{81})$ для фактора F_{81} «Подвижки и деформации грунта»

Фактор включает 6 подфакторов, отражающих возможность возникновения и степень опасности на участке КП/ПП природных процессов (оползней, селей, землетрясений, просадок, пучения, карстов, паводков), связанных с перемещениями и деформациями грунта или инициирующих их. БФФ для 6 подфакторов данного фактора приведены в таблице 30 (m – номер подфактора).

Таблица 30

БФФ для составляющих фактора F_{81}

m	Подфакторы фактора F_{81} и их возможные значения		$B_{81}^{(m)}$
1	$F_{81}^{(1)}$	Оползневые процессы: - 50-100% участка КП/ПП находится в зоне весьма опасных оползней* - 30 - 50% участка КП/ПП находится в зоне весьма опасных оползней - 50-100% участка КП/ПП находится в зоне опасных оползней - 30- 50% участка КП/ПП находится в зоне опасных оползней - участок КП/ПП находится в зоне малоопасных оползней - оползневые процессы на участке отсутствуют	 5,5 4 3 2 1 0
2	$F_{81}^{(2)}$	Селевая опасность: - участок КП/ПП находится в зоне очень высокой селевой опасности** - участок КП/ПП находится в зоне высокой селевой опасности - участок КП/ПП находится в зоне средней селевой опасности - участок КП/ПП находится в зоне низкой селевой опасности - участок КП/ПП находится в зоне очень низкой или нулевой селевой опасности	 3 2,5 2 1 0
3	$F_{81}^{(3)}$	Многолетнемерзлые породы (ММП): - участок КП/ПП находится в зоне сильнольдистых ММП*** - участок КП/ПП находится в зоне среднельдистых ММП - участок КП/ПП находится в зоне слабольдистых ММП - ММП на участке нет	 1 0,7 0,5

m	Подфакторы фактора F_{81} и их возможные значения		$B_{81}^{(m)}$
			0
4	$F_{81}^{(4)}$	Карстовые процессы: - участок КП/ПП находится в зоне весьма опасных карстовых процессов**** - участок КП/ПП находится в зоне опасных карстовых процессов - карстовых процессов на участке нет	0,5 0,3 0
5	$F_{81}^{(5)}$	Землетрясения: - участок КП/ПП - в зоне весьма опасных сейсмических процессов (9 баллов по шкале MSK-64)***** - участок КП/ПП - в зоне опасных сейсмических процессов (8 б. MSK-64) - участок КП/ПП - в зоне умеренно опасных сейсмопроцессов (7 б. MSK-64) - участок КП/ПП - в зоне малоопасных сейсмопроцессов (6 б. по MSK-64) - участок КП/ПП – вне сейсмически опасных зон	0,5 0,4 0,3 0,2 0
6	$F_{81}^{(6)}$	Паводки и половодья: - участок КП/ПП находится в зоне регулярных сильных паводков и половодий - участок КП/ПП Г находится в зоне эпизодических паводков и половодий - участок КП/ПП – вне зон паводков и половодий	0,5 0,3 0
Если данные о возможности перемещений грунта на участке неизвестны, то B_{81}=10			
*Показатели опасности оползневых процессов приведены в таблице 31 **Показатели селевой опасности приведены в таблице 32. ***Типы ММП по льдистости приведены в таблице 33. ****Показатели опасности карстовых процессов приведены в таблице 34. *****Показатели сейсмической опасности приведены в таблице 35.			

Таблица 31

Показатели опасности оползневых процессов

Тип процесса по степени опасности	Пораженность территории ,%	Повторяемость активизации процесса, раз за 100 лет	Максимальный объем оползня, тыс. куб. м	Максимальная глубина захвата пород оползнем, м	Максимальная скорость смещения, м/сут
Весьма опасный	25-50	2-3	1000	30	1
Опасный	10-24	5-10	100	20	Преимущест-венно менее 1 м/сут.

Таблица 32

Показатели опасности селей

Категории опасности	Площадь территории, занятой селевыми бассейнами, %	Максимальный объем единовременных выносов, тыс. м ^{3}
Очень высокая	>75	>3.000
Высокая	50-75	500-3.000
Средняя	10-50	50-500
Низкая	5-10	10-50
Очень низкая	<5	<10

Таблица 33

Классификация горных пород в криолитозоне по природной суммарной льдистости ММП

Тип многолетнемерзлых пород (ММП)	Природная суммарная льдистость ММП, %
Сильнольдистые ММП	Более 40
Среднельдистые ММП	20…40
Слабольдистые ММП	Менее 20

Таблица 34

Показатели опасности карстовых провалов

Тип процесса по степени опасности	Пораженность территории,%	Скорость карсто-вой денудации, куб. м/кв.м · год	Диаметр поверхностных карстовых форм, м		Частота провало в, раз за 10 лет на 1 кв.м	Преимущест-венный литологический состав карстующихся пород
			средни й	максим альный		
Весьма опасный	Более 25	5,0	30	150	1	Галоидные, сульфатные, карбонатно-сульфатные
Опасный	10-25	2,0-5,0	10-30	50	0,5-2	Сульфатно-карбонатные, карбонатные: известняки

Таблица 35

Показатели сейсмической опасности

Тип процесса по степени опасности	Категория опасности, баллы	Ускорение колебаний грунта, см/с^2	Скорость колебаний грунта, см/с	Амплитуда колебаний грунта, см	Площадь одновременных сотрясений, тыс. кв.км	Остаточные деформации, см
Весьма опасный	9	400-900	55-180	20-80	От 0,1 до 8-20	50-150
Опасный	8	180-400	18-55	5-20	От 0,1 до 20-80	5-50
Умеренно опасный	7	80-180	5,5-18	1,25-5	От 0,1 до 80-200	0,5-5
Малоопас-ный	6	35-80	1,8-5,5	5-10	От 0,1 до 200-800	0,05-0,5
Незначительно опасный	5 и менее	16-36 и менее	0,55-1,8 и менее	0,08-0,32 и менее	От 0,1 до 800-2000	0-0,05

Итоговая балльная оценка фактора рассчитывается как сумма балльных оценок 6-ти подфакторов:

$$B_{81} = \sum_{m=1}^{6} B_{81}^{(m)} \qquad (24)$$

3.2.8.2. БФФ $B_{82}=\varphi_{82}(F_{82})$ для фактора F_{82} «Состав грунта(с точки зрения его несущей способности)»

БФФ для данного фактора задана в таблице 36.

Таблица 36

БФФ для фактора F_{82} «Состав грунта (с точки зрения его несущей способности)»

№	Возможные значения фактора F_{82}	B_{82}
1	Торфяники сильно и слаборазложившиеся (низкая несущая способность)	9-10
2	Пески-пылеватые мерзлые и пылеватые с включениями гальки, гравия и валунов; супеси пластичные, мерзлые, мало- и сильнольдистые; мягкопластичные глины и суглинки (низкая несущая способность)	6-8
3	Суглинки полутвердые тугопластичные, мерзлые - малольдистые и льдистые, с включениями гравия и гальки; полутвердые тугопластичные глины; мелкие плотные влажные и водонасыщенные пески (средняя несущая способность)	3-5
4	Глины твердые, мерзлые-малольдистые и льдистые; глинистые сланцы с кварцевыми жилами; твердые суглинки и супеси; гравелистые крупные влажные и водонасыщенные пески (нормальная несущая способность)	0-2
При поверхностном обводнении балльная оценка увеличивается на 1 балл		

3.2.8.3. БФФ $B_{83}=\varphi_{83}(F_{83})$ для фактора F_{83} «Наличие на участке линейной арматуры и наземных узлов разветвленной конфигурации»

Фактор учитывает дополнительное влияние, оказываемое наличием на КП/ПП тяжелой наземной арматуры, на вероятность возникновения при сезонных колебаниях температуры и неравномерной осадке грунта значительных напряжений и деформаций изгиба участков КП/ПП, примыкающих к наземным узлам и, следовательно, на вероятность разрушения КП/ПП.

БФФ для фактора задана в табличном виде (см. таблицу 37).

Таблица 37

БФФ для фактора F_{83} «Наличие на участке линейной арматуры и наземных узлов разветвленной конфигурации»

№	Возможные значения фактора F_{83}	B_{83}
1	На участке присутствует надземный узел со сложной обвязкой и арматурой без фундамента	8-10
2	На участке присутствует сложный надземный узел с арматурой на фундаменте, рамная конструкция рассчитана с учетом рекомендаций современных нормативных документов	4-7
3	На участке присутствует линейная арматура без фундамента	6-8
4	На участке присутствует линейная арматура на фундаменте	2-5
5	Надземные сооружения отсутствуют	0

3.2.8.4. БФФ $B_{84}=\varphi_{84}(F_{84})$ для фактора F_{84} «Превентивные мероприятия»

К превентивным и компенсационным мерам относятся:

1) Меры, обеспечивающие ослабление напряжений в КП/ПП и повышение его устойчивости. Среди них: заложение КП/ПП ниже глубины деформаций грунта (для подводных переходов - ниже предполагаемой глубины размыва), перенос участка трассы, устройство подпорных стенок на косогорах, установка компенсаторов, грунтовая разгрузка КП/ПП с помощью устройства параллельных траншей, создание опорных мерзлых массивов, расчленение массива пучинистого грунта с помощью поперечных траншей, применение утяжелителей, анкеров, конструкций и способов балластировки с применением геотекстильного синтетического материала;

2) Меры по изменению свойств грунта, например, осушение грунта с помощью систем дренажа;

3) Охлаждение перекачиваемого продукта на участках с ММП;

4) Проведение мониторинга деформаций грунта и изменений положения КП/ПП.

В соответствии с этим фактор F_{84} включает 4 подфактора, БФФ которых представлены в таблице 38. Итоговая балльная оценка фактора рассчитывается как сумма балльных оценок 4-х подфакторов.

Таблица 38

БФФ для подфакторов фактора F_{84} «Превентивные и компенсационные мероприятия»

m	Подфакторы фактора F_{84} и их возможные значения		$B_{84}^{(m)}$
1	$F_{84}^{(1)}$	Меры по ослаблению напряжений и повышению устойчивости КП/ПП: - имеют место (или не требуются) - требуются, но не вполне адекватны - требуются, но не имеют места	 0 1-2 3
2	$F_{84}^{(2)}$	Мероприятия по изменению свойств грунта: - проводятся (или не требуются) - проводятся не вполне адекватно - требуются, но не проводятся	 0 1 2
3	$F_{84}^{(3)}$	Охлаждение транспортируемого продукта для предотвращения растепления ММП: - осуществляется (или не требуется) - осуществляется не вполне адекватно - требуется, но не осуществляется	 0 1 2
4	$F_{84}^{(4)}$	Мониторинг деформаций грунта и перемещений КП/ПП: - проводится постоянно с помощью специальных систем - проводится визуально (по реперам) 2 раза в год - проводится редко - не проводится	 0 1 2 3

3.2.8.5. БФФ $B_{85}=\varphi_{85}(F_{85})$ для фактора F_{85} «Аварии и отказы, имевшие место из-за природных воздействий»

БФФ для данного фактора имеет следующий вид:

$$B_{85} = 2 \cdot N_{\text{свищ-прир}} + 10 \cdot N_{\text{рзр-прир}}, \qquad (25)$$

где $N_{свищ-прир.}$- количество имевших место свищей (утечек) на анализируемом участке по причине природных воздействий за весь период его эксплуатации;

$N_{рзр-прир}$ – количество имевших место разрывов на анализируемом участке по причине природных воздействий за весь период его эксплуатации.

Если расчетное значение B_{85} получится больше 10, то итоговое значение B_{85} принимается равным 10 баллов.

3.2.9. БФФ для факторов влияния из группы FG_9 «Уровень технической эксплуатации»

3.2.9.1. БФФ $B_{91}=\varphi_{91}(F_{91})$ для фактора F_{91} «Эксплуатационная документация»

Фактор включает 3 подфактора, учитывающие наличие у персонала ЛЭС и периодичность обновления технической и оперативной документации (ТД). БФФ для 3-х подфакторов представлены в таблице 39.

Таблица 39

БФФ для подфакторов фактора F_{91} «Эксплуатационная документация»

m	Составляющие фактора F_{91} и их возможные значения		$B_{91}^{(m)}$
1	$F_{91}^{(1)}$	Наличие необходимой документации: - в наличии весь требуемый в соответствии с действующими в ЭО правилами эксплуатации КП/ПП объем ТД - часть ТД отсутствует или физически изношена	 0 1-4
2	$F_{91}^{(2)}$	Внесение необходимых изменений и записей в ТД: - необходимые изменения и записи вносятся незамедлительно - изменения и записи вносятся с задержками - изменения не вносятся	 0 1-3 4
3	$F_{91}^{(3)}$	Пересмотр инструкций и схем: - производится не реже 1 раза в 3 года - производится реже, чем 1 раз в 3 года	 0 2

Итоговая балльная оценка фактора рассчитывается как сумма балльных оценок 3-х подфакторов:

$$B_{91} = \sum_{m=1}^{3} B_{91}^{(m)} \qquad (26)$$

3.2.9.2. БФФ $B_{92}=\varphi_{92}(F_{92})$ для фактора F_{92} «Техническая оснащенность ЛЭС»

Фактор отражает влияние на вероятность нарушения целостности КП/ПП степени оснащенности ЛЭС (в процентах от требуемой по "Табелю оснащенности") транспортом (вездеходами), землеройной техникой, трубоукладчиками, автокранами, очистными и изоляционными машинами, сварочными агрегатами, измерительными приборами, материалами, запчастями, в предположении, что чем выше техническая оснащенность ЛЭС, тем оперативнее и качественнее проводятся диагностические и ремонтные работы и тем меньше вероятность аварии.

БФФ для данного фактора имеет вид:

$$B_{92} = 12{,}5 - 0{,}125 \cdot K_{осн} \quad \text{при } 20 \le K_{осн} \le 100$$

$$B_{92} = 10 \quad \text{при } K_{осн} \le 20 \qquad (27)$$

$$B_{92} = 0 \quad \text{при } K_{осн} > 100,$$

где $K_{осн}$ - общая оснащенность (%), рассчитываемая как среднее арифметическое уровней оснащенности по отдельным видам техники и материалов.

3.2.9.3. БФФ $B_{93}=\varphi_{93}(F_{93})$ для фактора F_{93} «Укомплектованность ЛЭС персоналом»

БФФ для данного фактора - такая же, как для фактора F_{92}, выражаемая формулами (26). Но вместо $K_{осн}$ в качестве аргумента БФФ выступает фактическая относительная численность персонала ($K_{ук}$) в ЛЭС в процентах от требуемой по нормам.

3.2.9.4. БФФ $B_{94}=\varphi_{94}(F_{94})$ для фактора F_{94} «Периодичность технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов»

БФФ для этого фактора представлена в таблице 40.

Таблица 40

БФФ фактора F_{94} «Периодичность технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов»

№	Возможные значения фактора F_{94}: Периодичность осмотров, ТО и ППР	B_{94}
1	В соответствии с действующими в ЭО правилами эксплуатации КП/ПП	0

2	Частота осмотров, ТО и ППР на 5-50% ниже требуемой по действующим в ЭО правилам эксплуатации	1-6
3	Частота осмотров, ТО и ППР на 51-100% ниже требуемой по действующим в ЭО правилам эксплуатации	7-9
4	Систематические грубые нарушения сроков проведения ТО и ППР (частота осмотров, ТО и ППР более чем в 2 раза ниже требуемой по действующим в правилам эксплуатации или они вообще не проводятся)	10

3.2.9.5. **БФФ $B_{95}=\varphi_{95}(F_{95})$ для фактора F_{95} «Квалификация персонала»**

Квалификация персонала ЛЭС зависит от полученного базового специального образования и квалификационного разряда (подфактор $F_{95}^{(1)}$), дальнейшего повышения квалификации (подфактор $F_{95}^{(2)}$), и периодической проверки знаний работников (подфактор $F_{95}^{(3)}$). Балльно-факторная функция имеет вид:

$$B_{95} = 10 - \sum_{m=1}^{3} B_{95}^{(m)} \qquad (28)$$

где $\sum_{m=1}^{3} B_{95}^{(m)}$ - сумма баллов, соответствующих опциям, имеющим место в филиале ЭО, в который входит анализируемый участок КП/ПП, определяемая с помощью таблицы 41. Балльная оценка каждой составляющей взвешивается с учетом доли работников (%), имеющих то или иное образование (квалификационный разряд), доли работников, регулярно повышающих свою квалификацию, и доли работников, экзаменуемых с требуемой по нормативам периодичностью. Для данного фактора, в отличие от всех остальных, балльные оценки $B_{95}^{(m)}$ подфакторов начисляются по обратной логике - лучшим значениям подфакторов начисляется больше баллов, худшим – меньше баллов, однако итоговая балльная оценка B_{95} фактора в соответствии с (27) за счет операции вычитания остается в рамках общей логики, принятой здесь.

Таблица 41

Балльные оценки составляющих фактора F_{95} «Квалификация персонала»

m	Составляющие фактора F_{95} и их возможные значения		$B_{95}^{(m)}$
1	$F_{95}^{(1)}$	Образование : - высшее и среднее специальное - общее среднее и спецкурсы в учебно-курсовом комбинате (УКК) или 5, 6 квалификационный разряд рабочего	 4 3

m	Составляющие фактора F_{95} и их возможные значения		$B_{95}^{(m)}$
		- неполное среднее и спецкурсы в УКК или 3, 4 квалификационный разряд рабочего - 1-й…2-й квалификационный разряд рабочего - отсутствие специального образования и разряда	2 1 0
2	$F_{95}^{(2)}$	Периодическое повышение квалификации	3
3	$F_{95}^{(3)}$	Периодическое тестирование персонала (ФНП, правила эксплуатации, правила безопасности, должностные инструкции и др.) в объеме занимаемой должности и выполняемой работы	3

3.2.9.6. БФФ $B_{96}=\varphi_{96}(F_{96})$ для фактора F_{96} «Системы автоматики и телемеханики»

Системы телемеханики обеспечивают получение диспетчером филиала ЭО необходимого объема информации о режиме работы КП/ПП, позволяя своевременно отреагировать на недопустимые изменения основных технологических параметров, прежде всего, давления перекачиваемого газа. Системы автоматики обеспечивают автоматическое срабатывание защитных устройств в аварийных режимах. Степень влияния этого фактора на вероятность возникновения аварии вследствие повышения давления сверх допустимого уровня определяется тем, насколько полно (по охвату эксплуатационного участка), точно (по месту) и оперативно система обеспечивает телеизмерения давления в пределах филиала ЭО, обеспечивает ли аварийную сигнализацию по давлению, автоматическое управление отключением перекачивающих агрегатов и соответствующей арматурой. При назначении баллов следует учитывать надежность используемой системы.

БФФ функция для данного фактора представлена в таблице 42.

Таблица 42

БФФ для фактора F_{96} «Системы автоматики и телемеханики»

№	Возможные значения фактора F_{96}	B_{96}
1	Система телемеханики и автоматики обеспечивает телеизмерение давления и температуры газа, потенциала катодной защиты (и других параметров ЭХЗ); телеизмерение данных датчиков «интеллектуальных вставок», аварийную сигнализацию по давлению, по загазованности территории; телесигнализацию положения линейных кранов по трассе и телеуправление ими, автоматическую передачу сигнала на отключение перекачки в случае недопустимого повышения давления.	0-2

2	Система телемеханики обеспечивает телеизмерение давления в пределах филиала ЭО, аварийную сигнализацию, телесигнализацию положения линейных кранов по трассе. Число баллов определяется в зависимости от физического износа (уровня надежности) системы.	4-6
3	Система телемеханики морально и физически устарела или отсутствует	8-10

3.2.9.7. БФФ $B_{97}=\varphi_{97}(F_{97})$ для фактора F_{97} «Аварии и отказы, имевшие место из-за нарушений правил эксплуатации»

БФФ для данного фактора имеет следующий вид:

$$B_{97} = 2 \cdot N_{свищ-пэ} + 10 \cdot N_{рзр-пэ}, \quad (29)$$

где $N_{свищ-пэ}$.- количество имевших место свищей (утечек) на анализируемом участке по причине нарушений правил эксплуатации за весь период его эксплуатации;

$N_{рзр-пэ}$ – количество имевших место разрывов на анализируемом участке по причине нарушений правил эксплуатации за весь период его эксплуатации.

Если расчетное значение B_{97} получится больше 10, то итоговое значение B_{97} принимается равным 10 баллов.

При этом на стадии эксплуатации КП/ПП настоящая методика используется в полном объеме, как описано в разделах 1-3 настоящего приложения.

На стадии проектирования КП/ПП балльные оценки факторов влияния определяются с учетом данных, имеющихся в проектной документации, и по результатам инженерных изысканий (приняв возраст трубопровода равным 0 лет), кроме следующих балльных оценок:

B_{13} – определяется с учетом текущей практики соответствующей работы эксплуатирующей организации, которая будет эксплуатировать проектируемый трубопровод;

B_{14} – определяется для $r_{расч} = 100\%$ и z=0;

B_{15} =0; B_{16} =0; B_{17} =0; B_{24} =0;

B_{25} – определяется при относительной протяженности участков с неудовлетворительным состоянием ИП, равной 0%;

B_{26} =0;

$B_{27}^{(1)}$ =$B_{27}^{(2)}$=$B_{27}^{(3)}$=0;

$B_{28}^{(1)}$ =$B_{28}^{(2)}$=$B_{28}^{(3)}$=0;

B_{29} =0;

B_{31} – определяется при $\overline{P}=1$ и возрасте ИП, равном 0 лет;

B_{34} =0; B_{42} =0; B_{43} =0; $B_{52}^{(2)}$=0; B_{53} =0; B_{63} =0; B_{64} =0; B_{65} =0;

$B_{66}^{(2)}$=0; $B_{66}^{(3)}$=0; B_{67} =0; B_{72} =1.

На предпроектной стадии при объективном отсутствии ряда данных балльные оценки факторов влияния принимаются как для стадии проектирования КП/ПП (см. выше).

Приложение № 7
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 30 марта 2020 г. № 139

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ИНТЕНСИВНОСТИ ИСТЕЧЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВА ВЫБРАСЫВАЕМОГО ОПАСНОГО ВЕЩЕСТВА ПРИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ КОНДЕНСАТОПРОВОДОВ И ПРОДУКТОПРОВОДОВ

1. Интенсивность истечения и объем выброса ОВ (в том числе объем, участвующий в создании поражающих факторов) при разгерметизации трубопроводов (линейной части) и оборудования, технологических трубопроводов на площадочных объектах КП/ПП рекомендуется определять:

1) для случая разгерметизации линейной части или технологических трубопроводов – с использованием Руководств по безопасности:

приложения № 9 к Методическим рекомендациям по проведению количественного анализа риска аварий на опасных производственных объектах магистральных нефтепроводов и магистральных нефтепродуктопроводов, утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 июня 2016 г. № 228, при истечении стабильной углеводородной жидкости (стабильный конденсат) на линейной части;

приложения № 2 к Методике анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазодобычи, утвержденной приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 августа 2015 г. № 317, при истечении нестабильной углеводородной жидкости (нестабильный конденсат, СУГ, ШФЛУ) на линейной части;

приложения № 6 к Методике оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных газов, утвержденной приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 сентября 2015 г. № 365, при разрыве технологических газопроводов;

приложения № 6 к Методике оценки риска аварий на технологических трубопроводах, связанных с перемещением взрывопожароопасных жидкостей, утвержденной приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 17 сентября 2015 г. № 366, при истечении стабильной углеводородной жидкости из технологических трубопроводов;

2) при разгерметизации оборудования на площадочных объектах – в соответствии с Руководством по безопасности «Методика моделирования распространения аварийных выбросов опасных веществ», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. № 158.

Выбросы от работы дыхательной арматуры и испарения со свободной поверхности резервуаров характеризуются объемом, который рассчитывается в соответствии с приложением № 3 «Методика определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 года № 404).

При необходимости более точных расчетов рекомендуется использовать методы вычислительной гидродинамики (численного моделирования) в соответствии с руководством по безопасности «Методика оценки последствий аварий на взрывопожароопасных химических производствах», утвержденным приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 20 апреля 2015 г. № 160.

Для расчетов интенсивности истечения и объемов выбросов при гильотинном разрыве линейно части КП/ПП процесс истечения в зависимости от реализуемых граничных условий и вида ОВ (стабильный или нестабильный)

целесообразно разбивать на несколько стадий (рисунки 1, 2), реализуемых для двух частей (по разные стороны от разрыва) трубопровода.

При этом рассчитанные в конце каждой стадии параметры течения являются исходными для следующей стадии. Начальные условия для первых стадий (распространение волны разрежения) определяются исходя из расчетов установившегося движения среды при транспортировке.

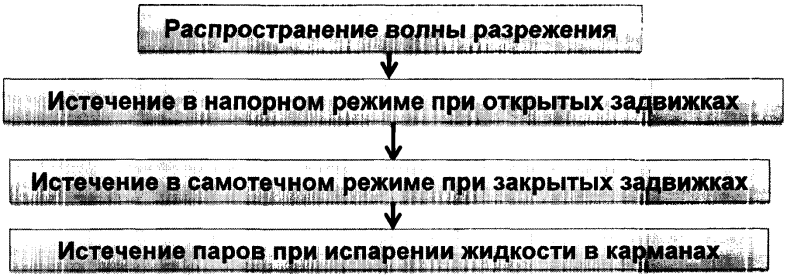


Рисунок 1 – Стадии истечения стабильной жидкости при гильотинном разрыве КП/ПП

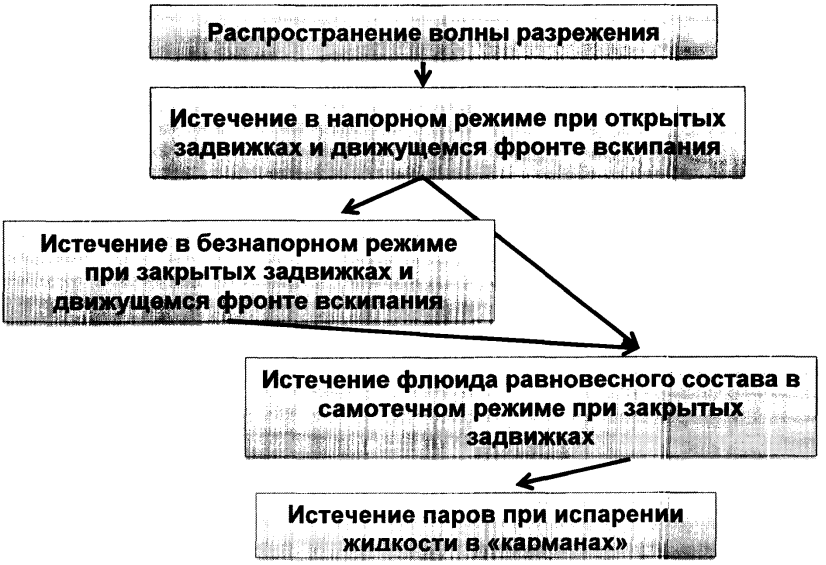


Рисунок 2 – Стадии истечения нестабильной жидкости при гильотинном разрыве КП/ПП

Методические рекомендации по расчету размеров лужи при проливе жидкости

При аварийной разгерметизации конденсатопроводов происходит истечение под давлением сжиженного газа и «мгновенное» испарение в окружающем пространстве определенной его части. При этом за счет изоэнтальпийного расширения (дросселирования) оставшаяся часть жидкости охлаждается относительно исходной (в рабочих условиях) температуры и растекается по поверхности грунта. Поскольку при атмосферном давлении охлажденный сжиженный газ переходит уже в новое равновесное (насыщенное) состояние, любой подвод тепла из окружающей среды приводит к дальнейшему испарению части его массы с одновременным изменением компонентного состава смеси за счет преимущественного («фракционного») испарения наиболее высококипящих компонентов.

Таким образом, массовая интенсивность испарения сжиженного газа при аварийном истечении определяется тремя факторами:

резким падением давления;

теплопритоком из массива грунта;

турбулентно-диффузионным потоком тепла из атмосферы.

Сценарии истечения и растекания жидкости могут быть весьма разнообразны в зависимости от сезонного состояния поверхности грунта, рельефа местности и других факторов. Не снижая общности модели, с учетом возможности более полного и качественного учета теплового баланса, принимается, что при истечении продукта происходит образование лужи с площадью пролива $F_{пр}$, м^2, пропорциональной текущему объему $V(t)$, м^3, находящегося в луже продукта,

$$F_{пр}=f_р \cdot V(t) \qquad (1)$$

где $f_р$ - коэффициент разлития, м$^{-1}$ (при отсутствии данных допускается принимать равным 5 м$^{-1}$ при проливе на неспланированную грунтовую поверхность, 20 м$^{-1}$ при проливе на спланированное грунтовое покрытие, 150 м$^{-1}$ при проливе на бетонное или асфальтовое покрытие).

Аппроксимируя удельную интенсивность испарения, полученную из расчетов и из обработки экспериментальных данных для различных ситуаций разлива конденсата различного состава *f(t)*, кг/(м^2·с), формулой $f(t)=a_0 \cdot t^b$, материальный баланс в луже запишется в виде

$$\rho \frac{dV(t)}{dt} = (1-k)G_1(t) - a_0 f_p t^b V(t) \qquad (2)$$

где $G_1(t)$ - массовая суммарная интенсивность истечения конденсата из обоих концов поврежденного трубопровода, кг/с,

ρ - плотность пролитого конденсата, кг/м^3,

$k<1$ – коэффициент изоэнтальпийного испарения жидкости.

Значение коэффициента k, отвечающего за учет парообразования вследствие падения давления, определяется из термодинамических расчетов. Приближенно можно считать:

$$k = 1 - \exp\left(-\frac{C_p \cdot [T_a - T_b]}{L_g}\right),$$

где C_P - удельная теплоемкость конденсата, Дж/(кг·К);

T_a - температура окружающего воздуха, К;

T_g - температура кипения конденсата при атмосферном давлении, К;

L_g - удельная теплота парообразования конденсата, Дж/кг.

Решением (2) при $V(0)=0$ является

$$V(t) = \frac{(1-k)}{\rho} \exp\left(-\frac{a_0 f_p t^{b+1}}{\rho(b+1)}\right) \times \int_0^t G_1(\tau) \cdot \exp\left(\frac{a_0 f_p \tau^{b+1}}{\rho(b+1)}\right) d\tau \qquad (3)$$

Зная *V(t),* по уравнению (1) определяем текущую площадь пролива.

Методические рекомендации по расчету испарения пролива

Методика расчета испарения пролива основана на использовании предварительно рассчитанных для различных ситуаций аппроксимирующих зависимостей удельной интенсивности испарения и рассчитанных по методике размеров лужи при проливе конденсата.

Интегральная интенсивность испарения *F(t)*, кг/с, определяется как произведение величин:

$$F(t) = f_p f(t) V(t).$$

Для потребностей практического использования удельные скорости испарения конденсата различного состава для различных условий из лужи аппроксимируются уравнением:

$$f(t) = a_0 t^b = k_1 k_2 a t^b \qquad (4)$$

где вириальные коэффициенты *a* и *b* определяются из таблицы 1;

k_1 - коэффициент, учитывающий наличие ветра, б/р;

k_2 - коэффициент учета шероховатости поверхности грунта, б/р.

Таблица 1

Вириальные коэффициенты (пример)

Состав смеси	Тип грунта			
	Бетон	Сухой песок, влажность 15%	Влажный песок, влажность 80%	Суглинок, влажность 20%
ШФЛУ, лето, Тгр=10°С, Твозд=10°С	a=0.241 b= - 0.437	a=0.4424 b= - 0.411	a=0.6272 b= - 0.4272	a=0.5334 b= - 0.4336
ШФЛУ, зима, Тгр=-5°С, Твозд=-10°С	a=0.191 b= - 0.43	a=0.4536 b= - 0.4172	a=0.5152 b= - 0.4224	a=0.4158 b= - 0.4224
Пропан(40)-Бутан(60) лето, Тгр=10°С, Твозд=10°С	a=0.0663 b= - 0.271	a=0.15763 b= - 0.276	a=0.1747 b= - 0.265	a=0.1403 b= - 0.26
Пропан(40)-Бутан(60) зима, Тгр=-5°С, Твозд=-10°С	a=1.046 b= - 0.33	a=0.21 b= - 0.284	a=0.266 b= - 0.31	a=0.2171 b= - 0.31
Пропан(50)-Бутан(50) лето, Тгр=10°С, Твозд=10°С	a=0.0575 b= - 0.28	a=0.1456 b= - 0.28	a=0.1532 b= - 0.27	a=0.1341 b= - 0.279
Пропан(50)-Бутан(50) зима, Тгр=-5°С, Твозд=-10°С	a=0.1 b= - 0.347	a=0.2453 b= - 0.341	a=0.2638 b= - 0.335	a=0.21 b= - 0.33
Пропан(60)-Бутан(40) лето, Тгр=10°С, Твозд=10°С	a=0.0575 b= - 0.28	a=0.1456 b= - 0.28	a=0.1532 b= - 0.27	a=0.1341 b= - 0.279
Пропан(60)-Бутан(40) зима, Тгр=-5°С, Твозд=-10°С	a=0.1 b= - 0.347	a=0.2453 b= - 0.341	a=0.2638 b= - 0.335	a=0.21 b= - 0.33

Коэффициент поправки на ветер определяется по уравнению:

$$k_1 = 1 + 0.0021 \cdot v,$$

где v – скорость ветра, м/с.

Коэффициент поправки на шероховатость поверхности k_2 для реальных грунтов изменяется в пределах 1,5 – 4,5 и определяется методом экспертной оценки. Наиболее широко используемое (рекомендуемое) значение - 2,63.

Таблица 2

Состав ШФЛУ, используемый для расчета параметров в таблице 1

Состав ШФЛУ	Мольная доля	Состав ШФЛУ	Мольная доля
Этан	0.0251	Изопентан	0.0368
Н-бутан	0.2341	Изобутан	0.087
Гексан	0.0322	Н-пентан	0.0895
Пропан	0.4953		

Приложение № 8
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 30 марта 2020 г. № 139

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РАЗЛЕТА ОСКОЛКОВ ПРИ РАЗРУШЕНИИ РЕЗЕРВУАРОВ С ЖИДКОСТЬЮ

Основной особенностью разлета осколков при авариях на ОПО является неопределенность в начальных условиях задачи. Общепринятым является положение, в соответствии с которым масса m (кг) и угол вылета (по отношению к горизонту) θ_0 осколков носят вероятностный характер, а абсолютное значение начальной скорости осколка U_0 (м/с) – детерминировано и консервативно определяется по таблице 1.

Таблица 1

Значение скорости первичных осколков в зависимости от аварийного элемента

	Аварийный элемент	Формула для вычисления начальной скорости осколка U_0
1.	Наземный цилиндрический резервуар из хрупких сталей	$U_0 = 1.71 \cdot \left(\frac{\rho_{об}}{M_{об}} \times E_{эф} \right)^{0.564}$
2.	Наземный сферический резервуар из хрупких сталей	$U_0 = 1.08 \cdot \left(\frac{\rho_{об}}{M_{об}} \times E_{эф} \right)^{0.581}$

В таблице 1 введены обозначения: $M_{об}$, $\rho_{об}$ – соответственно масса (кг) и плотность материала (кг/м^3) оболочки наземного аварийного резервуара (предполагается, что наземное оборудование разрушается на 10 фрагментов); $E_{эф}$ – эффективная энергия взрыва резервуара, Дж.

Эффективная энергия взрыва резервуара определяется по соотношению:

$$E_{эф} = k \cdot c_p \cdot M_l \cdot (T - T_b),$$

где k – доля выделившейся энергии, перешедшая в механическую (допускается принимать равной 0.5);

c_p – удельная теплоемкость жидкости (допускается принимать равной 2000 Дж/кг·К);

M_l – масса жидкости в резервуаре, кг;

T – температура жидкой фазы, К

T_b –температура кипения при атмосферном давлении, К.

При наличии в резервуаре предохранительного устройства (клапана или мембраны) величина T определяется по формуле:

$$T = \frac{B}{A - \lg(P_{val})} - C_A + 273.15,$$

где P_{val} – давление срабатывания предохранительного устройства;

A, B, C_A – константы зависимости давления насыщенных паров жидкости от температуры (константы Антуана), определяемые по приложению № 3 к настоящему Руководству или по справочной литературе.

При взрывной разгерметизации резервуара с нестабильной жидкостью по механизму «BLEVE» в качестве T следует принимать начальную температуру жидкости.

При взрывной разгерметизации за счет нагрева сосуда температура T должна рассчитываться из уравнений теплопереноса.

Далее при известных начальных скоростях разлет осколков рекомендуется рассчитывать по приложению № 8 к Руководству по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах магистрального трубопроводного транспорта газа», утвержденному приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 26 декабря 2018 г. № 647.

Приложение № 9
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 30 марта 2020 г. № 139

КРИТЕРИИ ПОРАЖАЮЩЕГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ АВАРИИ НА ЧЕЛОВЕКА, ИМУЩЕСТВО, КОМПОНЕНТЫ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

Анализ возможности поражения человека, разрушения объектов инфраструктуры или загрязнения окружающей среды при авариях на КП/ПП с обращением жидких углеводородов базируется на одном из двух видов критериев: детерминированном или вероятностном. При первом виде критерия каждому уровню (степени) поражения соответствует определенное значение поражающего воздействия. При втором определенному значению поражающего воздействия соответствует некоторая вероятность поражения. Поскольку одна и та же мера воздействия может вызвать последствия различной степени тяжести, величина вероятности поражения P выражается функцией Гаусса:

$$P(\mathrm{Pr}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\mathrm{Pr}-5} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx,$$

через пробит-функцию Pr.

В общем случае пробит-функция имеет вид:

$$\mathrm{Pr} = a + b \ln(D),$$

где a и b – константы, зависящие от вида и параметров негативного воздействия; D – доза негативного воздействия.

При использования детерминированного характеристического критерия условная вероятность поражения (степень повреждения) принимается равной 1, если значение физической характеристики поражающего фактора аварии

превышает предельно допустимый уровень, и находится в диапазоне [0; 1), если значение предельно допустимого уровня не достигается.

При использовании вероятностного критерия условная вероятность поражения 0,9 и более - соответствует полному поражению, а условная вероятность менее 0,01 - отсутствию поражения.

Условные вероятности поражения людей и степени повреждения зданий, оборудования и компонентов природной среды определяются с помощью детерминированных и вероятностных критериев в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1

Алгоритм определения условных вероятностей поражения людей и степеней повреждения зданий, технологического оборудования, компонентов природной среды с помощью детерминированных и вероятностных критериев поражения

Реципиенты	Поражающие воздействия			
	Осколочное	Барическое	Термическое	Токсическое
Люди на открытой площадке	Условная вероятность поражения оценивается по вероятности попадания осколка в человека (приложение № 8) в предположении, что попадание осколка в человека приводит к его гибели.	Условная вероятность поражения (степень повреждения) определяется в соответствии с приложением № 3 Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств» (утверждено приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11 марта 2013 г. № 96).	Условная вероятность поражения рассчитывается по приложению № 5 РБ АОР* с возможностью изменения сценария поведения человека.	Условная вероятность поражения рассчитывается по приложению № 5 РБ АОР*.
Люди в помещении	Условная вероятность поражения оценивается с учетом вероятности попадания осколка в здание (приложение № 8) с дальнейшим применением детерминированных характеристических критериев, приведенных в таблицах 4, 6 настоящего приложения.		До момента воспламенения конструктивных элементов здания учитывается экранирующий эффект (коэффициент уязвимости - 0,2), после воспламенения условная вероятность поражения определяется по «Методике определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах» (с изменениями на 14 декабря 2010 года). Приложение к приказу МЧС России от 10 июля 2009 года № 404.	
Здания, сооружения	Степень повреждения оценивается с		Степень повреждения оценивается по	Не устанавливается.

	применением детерминированных критериев таблицы 4 настоящего приложения с учетом вероятности попадания осколка, рассчитываемой по приложению № 8.		детерминированным критериям, приведенным в таблицах 2, 3 настоящего приложения.	
Оборудование		Степень повреждения оценивается с применением детерминированных характеристических критериев, приведенных в таблице 7 настоящего приложения.	Степень повреждения рассчитывается по приложению № 5 РБ АОР*.	
Компоненты природной среды	Не устанавливается.		Степень повреждения оценивается по детерминированным критериям таблицы 5 настоящего приложения.	Ущерб оценивается с учетом Постановления Правительства РФ от 13.09.2016 № 913 «О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах».
*В таблице под РБ АОР подразумевается руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах» (приказ № 144) .				

Таблица 2

Значения критических тепловых потоков, обеспечивающие воспламеняемость горючих строительных материалов

Материал	**Значение теплового потока при воспламенении, кВт/м^2**
Битумная кровля	7.0
Древесина (сосна влажностью 12%) шероховатая	13.9
Древесина сосновая, крашенная масляной краской	17.4
Древесно-стружечные плиты (плотностью 417 кг/м^3)	8.9
Темная древесина	12.56
Древесина с обугленной поверхностью, фанера	7.0
Хлопок-волокно	7.5
Слоистый пластик	15.4
Стеклопластик	15.3
Пергамин	17.4
Резина	14.8
Рулонная кровля	17.4
Картон серый	10.8
Декоративный бумажно-слоистый пластик	19.0 – 24.0
Металлопласт	24.0 – 27.0
Пенопласты типа ПСБ, ППУ, ФРП	7.4
Пластик слоистый типа гетинакс	15.4
Плита древесно-волокнистая	13.0
Плита древесно-стружечная	12.0
Плита древесно-стружечная с отделкой	12.0
Плита древесно-волокнистая с лакокрасочным покрытием под ценные породы дерева	12.0 – 16.0
Кожа искусственная	17.9 – 20.0
Стеклопластик на полиэфирной основе	14.0
Лакокрасочные покрытия	25.0
Обои моющиеся ПВХ на бумажной основе	12.0
Линолеум ПВХ	10.0 – 12.0
Линолеум алкидный	10.0
Линолеум ПВХ на тканевой основе	6.0 – 12.0
Покрытие ковровое	4.0 – 6.0

Таблица 3

Зависимость степени повреждения зданий, сооружений, транспортных средств (при условии их возгорания) от воздействующего на них теплового потока и типа по пожарной нагрузке

Значение воздействующего теплового потока, кВт/м^2	Степень повреждения зданий, сооружений, транспортных средств*		
	Тип объекта по уровню пожарной нагрузки		
	Офисные и жилые здания, грузовики	Вспомогательные производственные	Основные производственные здания

	и трейлеры с тентами из горючих материалов (высокая пожарная нагрузка)	здания, транспортные средства (средняя пожарная нагрузка)	и цеха с минимумом горючих материалов, автодороги, железные дороги, металлические наружные конструкции (низкая пожарная нагрузка)
Менее 7	0	0	0
От 7 включительно до 20	1.0	0.1	0
От 20 включительно до 25	1.0	0.4	0.1
От 25 включительно до 30		0.7	
От 30 включительно до 35		1.0	
Свыше 35	1.0	1.0	
*Численные значения степени повреждения соответствуют: 0 – отсутствие повреждений; 0.1 – слабые повреждения; 0.4 – средние повреждения; 0.7 – сильные повреждения; 1.0 – полное уничтожение.			

Таблица 4

Детерминированные критерии осколочного воздействия (отношение массы осколка *m*, кг, к массе объекта *M*, кг), соответствующие различным степеням повреждения зданий, сооружений, установок, оборудования

Значение *m/M*	$10^{-3} – 10^{-2}$	$10^{-2} – 5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} – 10^{-1}$	$>10^{-1}$
Степень повреждения зданий, сооружений	0.1 (слабое повреждение)	0.4 (среднее повреждение)	0.7 (сильное повреждение)	1.0 (полное разрушение)
Степень повреждения оборудования с газом/флюидом под давлением	1.0 (полное разрушение) (консервативно принимается, что любое попадание осколка в оборудование с газом/флюидом под давлением приводит к уничтожению оборудования)			

Таблица 5

Детерминированные критерии термического поражения компонентов природной среды и соответствующие степени повреждения

Компонент окружающей среды	Критическое значение теплового потока, кВт/м^2	Степень повреждения
Древесная растительность	7	1,0 Полное уничтожение (необратимая деградация)
Почвы	35	
Лесная подстилка	5	
Сельскохозяйственные культуры	5	

Таблица 6

Зависимость условной вероятности поражения человека с разной степенью тяжести от степени разрушения здания

Тяжесть поражения человека	Степень повреждения здания			
	Полная (1,0)	Сильная (0,7)	Средняя (0,4)	Слабая (0,1)
Смертельная	0.6	0.49	0.09	0
Тяжелая травма	0.37	0.34	0.1	0
Легкая травма	0.03	0.17	0.2	0.05

Таблица 7

Детерминированные критерии барического воздействия, соответствующие различным степеням повреждения технологического оборудования или наружных установок различных видов

	Наименование оборудования	Избыточное давление на фронте ВУВ (ΔP_ϕ) для разных степеней повреждения, Па			
		слабое повреждение, $k_{повр-об}$ = 0,1	среднее повреж-дение, $k_{повр-об}$ = 0,4	сильное повреждение, $k_{повр-об}$ = 0,7	полное разруше-ние $k_{повр-об}$ =1
	Сооружения и оборудование на объектах газовой промышленности				
1	Газопровод подземный	$3\cdot10^5$	$7\cdot10^5$	$1{,}2\cdot10^6$	$>1{,}5\cdot10^6$
2	Газопровод наземный в обваловании	$1{,}5\cdot10^5$	$3\cdot10^5$	$5\cdot10^5$	$> 5\cdot10^5$
3	Газопровод надземный	$5\cdot10^3$-10^4	$3\cdot10^4$	$5\cdot10^4$	$>5\cdot10^4$
4	Балочные висячие, арочные переходы через естественные препятствия и инженерные коммуникации	$5\cdot10^3$-10^4	10^4-$2\cdot10^4$	$2{,}5\cdot10^4$	$>2{,}5\cdot10^4$
5	Линейные крановые узлы и узлы запуска и приема очистных устройств	$2\cdot10^5$	$3\cdot10^5$	10^6	$>10^6$
6	Вертикальные аппараты (абсорберы, сепараторы, реакторы, скрубберы и т.п.):				
	- колонны высотой до 25 м	$3\cdot10^4$-$4\cdot10^4$	$4\cdot10^4$-$5\cdot10^4$	$5\cdot10^4$-$6\cdot10^4$	$>6\cdot10^4$
7	Пылеуловители	$5\cdot10^3$-10^4	10^4-$2\cdot10^4$	$2\cdot10^4$-$3\cdot10^4$	$>3\cdot10^4$
8	Пункт редуцирования газа	$5\cdot10^3$-10^4	10^4-$2\cdot10^4$	$2\cdot10^4$-$3\cdot10^4$	$>3\cdot10^4$
9	Трубопроводы газовой обвязки	$5\cdot10^3$-10^4	10^4-$2\cdot10^4$	$2\cdot10^4$-$3\cdot10^4$	$>3\cdot10^4$
10	Холодильники, теплообменные аппараты:				
	- на нулевой отметке	$2\cdot10^4$-$4\cdot10^4$	$4\cdot10^4$-$5\cdot10^4$	$5\cdot10^4$-10^5	$>10^5$
	- на этажерках	$5\cdot10^3$-10^4	10^4-$3\cdot10^4$	$3\cdot10^4$-$5\cdot10^4$	$>5\cdot10^4$
11	Компрессорные, котельные, регуляторные, насосные станции в кирпичных зданиях	$8\cdot10^3$-$1{,}5\cdot10^4$	$1{,}5\cdot10^4$-$2{,}5\cdot10^4$	$2{,}5\cdot10^4$-$3{,}5\cdot10^4$	$>4\cdot10^4$
12	Насосы, открытые компрессоры	$3\cdot10^4$	$3\cdot10^4$-$7\cdot10^4$	$7\cdot10^4$-$1{,}3\cdot10^5$	$>1{,}3\cdot10^5$

Приложение № 10
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 30 марта 2020 г. № 139

СХЕМА РАСЧЕТОВ УДЕЛЬНОЙ МАССОВОЙ СКОРОСТИ ВЫГОРАНИЯ И СРЕДНЕЙ ПО ПОВЕРХНОСТИ ИНТЕНСИВНОСТИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ ПОЖАРАХ ПРОЛИВА СТАБИЛЬНЫХ И НЕСТАБИЛЬНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

Расчет удельной массовой скорости выгорания и средней по поверхности интенсивности теплового излучения при пожарах пролива стабильных и нестабильных углеводородных жидкостей проводится в два этапа.

На первом этапе при известном эффективном диаметре пролива $-D_{эф.f}$, м значение удельной массовой скорости выгорания m_f, кг/(м^2·с) определяется по соотношению:

$$m_f = m_f^0 \cdot \left[1 - \exp\left(-\beta_f \cdot D_{эф.f}\right)\right] \quad , \qquad (1)$$

где величины m_f^0, β_f определяются по таблице 1.

В случае отсутствия опасной жидкости в таблице 1 принимается величина $\beta_f = 0.7$ м$^{-1}$, а значение m_f^0 определяется по расчетной формуле (2):

$$m_f^0 = 10^{-3} \cdot \frac{\Delta H_c}{\Delta H_v + C_p \cdot \left(T_b - T_a\right)}, \qquad (2)$$

где ΔH_c, ΔH_v – удельные теплоты сгорания и испарения при температуре кипения, МДж/кг; C_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, МДж/(кг·К); T_b, T_a – соответственно температура кипения при атмосферном давлении и температура воздуха.

Термодинамические величины C_p, ΔH_c, ΔH_v, T_b для индивидуальных веществ рекомендуется принимать согласно справочной информации. Для смесей указанные величины определяются расчетными или экспериментальными методами.

Таблица 1

Значение параметров m_f^0 и β_f для различных веществ

Вещество	**Формула**	**Массовая скорость выгорания, m_f^0 кг/(м²с)**	β_f, **м⁻¹**	**Температура пламени, К**
СПГ	(в основном CH_4)	0,078	1,1	1500
СУГ	(в основном C_3H_8)	0,099	1,4	-
Метанол	CH_3OH	0,017	-	1300
Этанол	C_2H_5OH	0,015	-	1490
Бутан	C_4H_{10}	0,078	2,7	-
Гексан	C_6H_{14}	0,074	1,9	1300
Гептан	C_7H_{16}	0,101	1,1	-
Бензин	-	0,048	3,6	-
Газолин	-	0,055	2,1	1450
Керосин	-	0,039	3,5	1480
Трансформаторное масло	-	0,039	0,7	1500
Мазут	-	0,035	1,7	-
Неочищенная нефть	-	0,022-0,045	2,8	-

На втором этапе при известных значениях эффективного диаметра пролива $D_{эф.f}$, м; длины пламени L_f, м; удельной массовой скорости выгорания $-m_f$, кг/(м²·с) вычисляется величина средней по поверхности интенсивности теплового излучения $-E_f$, кВт/м²:

$$E_f = 10^3 \cdot \frac{F_s \cdot \Delta H_c \cdot m_f}{1 + 4(L_f / D_{эф.f})}, \qquad (3)$$

где доля излучаемого тепла F_s определяется по таблице 2. В случае отсутствие в таблице 2 вещества, подобного по физико-химическим свойствам участвующему в аварии, допускается принимать $F_s = 0.4$.

Таблица 2

Доля излучаемого тепла F_s при пожаре пролива для различных веществ

Вещество	**Доля излучаемого тепла F_s**
Бензол	0,35 – 0,36
Бензин	0,13 – 0,40
Бутан	0,199 – 0,269
Метан	0,15 – 0,34
Метанол	0,162 – 0,177

Приложение № 11
к Руководству по безопасности
«Методические рекомендации по
проведению количественного анализа
риска аварий на конденсатопроводах
и продуктопроводах», утвержденному
приказом Федеральной службы по
экологическому, технологическому
и атомному надзору
от 30 марта 2020 г. № 139

ПОРЯДОК РАСЧЕТА УГЛОВОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОБЛУЧЕННОСТИ ОТ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ИЗЛУЧАТЕЛЯ

В декартовой системе координат, расположенной в плоскости земли, с осью абсцисс, направленной по наклону пламени для наклонных цилиндрических излучателей или произвольно для вертикальных, и центром координат в очаге аварии, угловые коэффициенты облученности $F_{qi}(x,y)$ единичных взаимно перпендикулярных площадок, расположенных в точке $A(x,y)$ от боковой цилиндрической поверхности пламени, задаются соотношениями:

$$F_{qi}(x,y)=\begin{cases} F_i(x,y,L_{ny})-F_i(x,y,L_n) & при \quad x\cdot\cos(\varphi)>L_n \\ F_i(x,y,L_n)+F_i(x,y,L_{ny}) & при \quad L_n\ge x\cdot\cos(\varphi)>L_{ny} \\ F_i(x,y,L_n)-F_i(x,y,L_{ny}) & если\ иное \quad i=1\div 3 \end{cases} \qquad (1)$$

$$F_1(x,y,L)=\sqrt{\frac{(L-x\cos(\varphi))^2}{x^2+y^2+L^2-2xL\cos(\varphi)}}\times arctg\left(\sqrt{\frac{R_\phi^2}{x^2+y^2+L^2-2xL\cos(\varphi)}}\right)+$$

$$+\sqrt{\frac{R_\phi^2}{y^2+R_\phi^2+x^2\sin^2(\varphi)}}\times arctg\left(\sqrt{\frac{(L-x\cos(\varphi))^2}{y^2+R_\phi^2+x^2\sin^2(\varphi)}}\right);$$

$$F_2(x,y,L)=arctg\left(\sqrt{\frac{R_\phi^2}{y^2+x^2\sin^2(\varphi)}}\right)-\sqrt{\frac{y^2+x^2\sin^2(\varphi)}{x^2+y^2+L^2-2xL\cos(\varphi)}}\times arctg\left(\sqrt{\frac{R_\phi^2}{x^2+y^2+L^2-2xL\cos(\varphi)}}\right);$$

$$F_3(x,y,L)=arctg\left(\sqrt{\frac{(L-x\cos(\varphi))^2}{y^2+x^2\sin^2(\varphi)}}\right)-\sqrt{\frac{y^2+x^2\sin^2(\varphi)}{R_\phi^2+y^2+x^2\sin^2(\varphi)}}\times arctg\left(\sqrt{\frac{(L-x\cos(\varphi))^2}{R_\phi^2+y^2+x^2\sin^2(\varphi)}}\right),$$

где φ – угол наклона оси факела к горизонту;

x, y – координаты;

L_n - полная длина факела, м;

$L_{ну}$ - длина начального негорючего участка, м;

$R_ф$ - радиус факела, м.

Результирующий угловой коэффициент облученности в точке $A(x, y)$ от боковой поверхности определяется по соотношению:

$$F_q(x, y) = \sqrt{F_{q1}(x, y)^2 + F_{q2}(x, y)^2 + F_{q3}(x, y)^2}. \qquad (2)$$

Результирующий угловой коэффициент облученности в точке $A(x, y)$ от торцевой поверхности $F_q^*(x, y)$ определяется как:

$$F_q^*(x, y) = \begin{cases} \dfrac{R_ф^2 \cdot [x\cos(\varphi) - L_n]}{[x^2 + y^2 + L_n{}^2 - 2xL_n\cos(\varphi)]^{1,5}} & при \quad x\cos(\varphi) > L_n, \\ \dfrac{R_ф^2 \cdot [L_{ну} - x\cos(\varphi)]}{[x^2 + y^2 + L_{ну}{}^2 - 2xL_{ну}\cos(\varphi)]^{1,5}} & при \quad L_{ну} > x\cos(\varphi); tg(\varphi) > \dfrac{R_ф}{L_{ну}} \\ 0 & если\ иное \end{cases}. \qquad (3)$$

В силу аддитивности тепловых потоков суммарный (от всей поверхности факела) коэффициент облученности в точке $A(x, y)$ составляет:

$$F_q^S(x, y) = F_q(x, y) + F_q^*(x, y). \qquad (4)$$

gost.e-ecolog.ru