

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИРОДНЫХ ГАЗОВ И
ГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ – Газпром ВНИИГАЗ»
(ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

На правах рукописи



Ямников Станислав Андреевич

**Разработка методики определения ключевых параметров страхования
экологических рисков техногенных чрезвычайных ситуаций на
магистральных газопроводах в условиях ограниченности статистической
информации**

05.26.02 – Безопасность в чрезвычайных ситуациях (в нефтяной и газовой
промышленности)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор Шевченко Андрей Владимирович

Москва – 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
Глава 1. АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРАХОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПОСТАНОВКА НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	15
1.1. Экологическое страхование как механизм управления рисками техногенных чрезвычайных ситуаций.....	15
1.2. Экологическое страхование в газовой отрасли.....	19
1.3. Методы оценки экологических рисков, возникающих при авариях на линейной части магистральных газопроводов.....	28
1.4. Постановка научной задачи и замысел ее решения.....	36
ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ	41
Глава 2. ОБОСНОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРАХОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АВАРИЯМ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ.....	43
2.1. Структура методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков и состав исходных данных.....	43
2.2. Сбор исходных данных и идентификация опасностей.....	47
2.3. Оценка экологического риска, возникающего при авариях на линейной части магистральных газопроводах.....	50
2.3.1. Оценка частоты страховых событий.....	50
2.3.2. Определение возможных сценариев развития аварии и условных вероятностей их реализации.....	55
2.3.3. Оценка размера последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду.....	61
2.3.3.1. Детерминированный метод.....	62

2.3.3.2. Вероятно-статистический метод.....	67
2.3.3.3. Правила сопоставления и использования результатов расчетов детерминированным и вероятностно-статистическим методами.....	71
2.3.4. Оценка экологического ущерба от аварии на линейной части магистрального газопровода.....	73
2.3.4.1. Определения максимального ущерба по EML методологии детерминированным методом.....	74
2.3.4.2. Определение параметров законов распределения экологического ущерба вероятно-статистическим методом.....	77
2.4. Определение параметров страхования экологических рисков	79
2.4.1. Определение страховой суммы.....	80
2.4.2. Обоснование страховой премии	81
2.4.3. Установление оптимального уровня франшизы.....	83
ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ.....	86
Глава 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРАХОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ	88
3.1. Использование методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных чрезвычайных ситуаций применительно к авариям на линейной части магистральных газопроводов	88
3.2. Сбор исходных данных и идентификация опасности.....	91
3.3. Оценка экологического риска, возникающего при авариях на линейной части магистральных газопроводах	96
3.3.1. Оценка частоты страховых событий.....	96
3.3.2. Определение возможных сценариев развития аварии и условных вероятностей их реализации.....	98
3.3.3. Оценка размера последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду.....	99

3.3.4. Оценка экологического ущерба от аварии на линейной части магистрального газопровода	112
3.4. Определение параметров страхования экологических рисков	123
3.4.1. Определение страховой суммы	123
3.4.2. Обоснование страховой премии.....	124
3.4.3. Установление оптимального уровня франшизы.....	125
ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ.....	131
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	132
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	135
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	149
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	152
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	157

ВВЕДЕНИЕ

Газовая промышленность является одной из системообразующих отраслей экономики Российской Федерации, определяющая развитие не только всего промышленного производства страны, в первую очередь как потребителя энергоресурсов, но и общества в целом – преимущественно за счет поступлений в федеральный бюджет при реализации газа и газового конденсата за рубежом. В основе поступательного движения вперед газовой отрасли и ее подсистем лежит Концепция устойчивого развития газовой промышленности, сформированная на основе объединения экономических, социальных и экологических принципов рационального хозяйствования [1]. Устойчивое развитие газовой отрасли в целом подразумевает необходимость обеспечения, в свою очередь, устойчивого развития всех ее подсистем, вплоть до отдельных компаний и производств, в том числе в условиях чрезвычайной ситуации (далее – ЧС).

Необходимость обеспечения устойчивого развития обуславливает реализацию в последние годы новых мега проектов в газовой отрасли, увеличение пропускной способности и протяженности строящихся и реконструируемых магистральных газопроводов (далее – МГ), рост единичных мощностей газоперекачивающего оборудования, увеличение совокупных объемов транспортируемого углеводородного сырья [2]. Это объективно приводит и к существенному росту риска ЧС, обусловленных авариями на таких объектах, и необходимости развития методов управления риском ЧС, включая методологию прогнозирования и оценки ущербов при возникновении ЧС техногенного характера.

Добыча газа и газового конденсата, транспортировка и переработка относятся к разряду высокорисковых производств. При авариях на особо опасных производственных объектах (далее – ОПО) газовой отрасли возможно возникновение крупномасштабных ЧС и, как следствие, значительных убытков как для имущественного сектора, включая возникновение ответственности

перед третьими лицами за вред, причиненный их имуществу и здоровью, так и за вред, наносимый окружающей среде [3].

В разработку методических основ оценки потенциальной опасности производственных объектов в условиях ЧС, применения результатов анализа риска ЧС для решения практических задач управления риском ЧС, включая и экологические риски, внесли большой вклад известные отечественные ученые В.А. Легасов, Н.А. Махутов, В.А. Акимов, А.Н. Елохин, В.С. Сафонов, А.А. Быков, А.В. Шевченко, В.Н. Башкин, В.В. Лесных, А.А. Швыряев, Е.В. Кловач, В.И. Сидоров, П.Г. Белов, Р.А. Самсонов, Г.А. Моткин, А.С. Тулупов, и другие.

Можно с уверенностью сказать, что большинство экспертов сходятся во мнении, что одним из наиболее эффективных и часто используемых методов управления рисками ЧС, в том числе экологическими рисками, которые обусловлены авариями на потенциально опасных объектах газовой отрасли, является страхование. Под экологическими рисками (аварийными экологическими рисками) в работе понимаются риски ЧС, связанные с внезапным загрязнением окружающей среды в результате аварии на ОПО.

Основными задачами экологического страхования со стороны страхователя являются:

1) возмещение ответственности перед третьими лицами за причинение ущерба окружающей природной среде, возникающего вследствие аварии на ОПО;

2) сохранение финансовой стабильности страхователя, ввиду передачи ответственности за возмещение возможного ущерба страховой компании и перевода неопределённых убытков в категорию плановых платежей в качестве страховой премии.

3) повышение безопасности ОПО по критериям экологического риска ЧС.

Экспертами отмечается [4], что для газовой промышленности возможно внедрение, как комплексного страхования всех мощностей, так и отдельных

элементов, например, страхование экологических рисков при авариях на МГ. Актуальность такого выбора объекта страхования заключается в том, что газопроводы в большей части относятся к ОПО II и I классов опасности, аварии на которых могут приводить к чрезвычайным ситуациям с причинением значительного ущерба окружающей среде ввиду того, что линейная часть магистральных газопроводов (далее – ЛЧМГ) прокладывается в непосредственном контакте с окружающей средой.

Экологическое страхование в России является добровольным видом страхования. Возможность осуществления экологического страхования устанавливается статьей 18 Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» [5] и типовым положением о порядке добровольного экологического страхования в Российской Федерации, утвержденное Минприроды России и Российской государственной страховой компанией соответственно 3 декабря и 20 ноября 1992 г. [6].

Заключение страхового договора на добровольной основе подразумевает соблюдение интересов, как страхователя, так и страховщика. Однако между страхователем и страховщиком могут наблюдаться противоречия интересов. Страховщики заинтересованы в получении максимальной прибыли за счет страхования наименее убыточных экологических рисков и минимизации страховых возмещений. В то время как компания, выступающая страхователем, имеет противоположные интересы, а именно, – минимизация расходов на страхование; гарантированное получение страхового возмещения; обеспечение оптимального страхового покрытия [7].

Таким образом, для достижения цели заключения страхового договора на оптимальных для себя условиях страхователю важно иметь обоснованную позицию при выходе на страховой рынок, что возможно только при адекватной оценке размера таких ключевых страховых параметров как страховая премия, лимиты ответственности, страховая сумма и франшиза. Такая позиция при выходе на страховой рынок может быть закреплена, например, в программах страхования, разрабатываемых страхователем. Для решения этой задачи

необходимо применение настолько это возможно наиболее точных и достоверных методов анализа и оценки экологических рисков, позволяющих надежно прогнозировать вероятность возникновения, вид и размер ущерба окружающей среде, особенно в условиях ограниченности соответствующей статистической информации.

Поэтому **целью** работы является повышение обоснованности определения оптимальных с позиции страхователя ключевых параметров страхования аварийных экологических рисков.

Объектом исследования является применение механизма экологического страхования в газовой отрасли на примере страхования ответственности за причинение вреда окружающей среде в результате аварии на ЛЧМГ.

Предмет исследования – методы оценки экологических рисков и параметров экологического страхования.

Границами исследования являются экологические риски, обусловленные авариями на ЛЧМГ с нанесением внезапного ущерба компонентам природной среды (атмосферный воздух, лесной фонд, почва). Риски, связанные с экологическими изменениями в окружающей среде в ходе нормальной эксплуатации ОПО и не вызванные техногенными ЧС, не рассматриваются.

Анализ методического обеспечения страхования экологических рисков, возникающих при авариях на ЛЧМГ, показал наличие противоречия, требующего научного разрешения, а именно:

аварии на ЛЧМГ с причинением ущербов окружающей среды характеризуются малой статистикой и слабой надежностью данных, особенно, что касается величин ущербов окружающей среде, тем самым ограничено использование классических статистических методов оценки рисков для расчета страхового тарифа применительно к конкретным объектам страхования. Это обуславливает преимущественное использование детерминированного подхода для оценки экологического риска при авариях на

ЛЧМГ. Однако при этом получаемые с его помощью результаты крайне ограничены в использовании при расчете размера страховой премии (страхового тарифа), так как при проведении актуарных расчетов необходимо знать математическое ожидание и дисперсию возможного ущерба.

Выявленное противоречие свидетельствует о том, что в настоящее время необходимый методический аппарат для страхования экологических рисков в условиях ограниченности статистической информации развит недостаточно. Это обуславливает актуальность сформулированной ниже научной задачи, решаемой в диссертационном исследовании.

Научная задача – разработка методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных чрезвычайных ситуаций, обусловленных авариями на ЛЧМГ, в условиях ограниченности статистической информации с использованием комбинаций вероятностно-статистических, детерминированных и экспертных методов оценки риска, актуарной математики и методов математической статистики.

Для решения поставленной научной задачи необходимо:

- 1) провести анализ отечественного и международного опыта по применению механизма экологического страхования в газовой промышленности;
- 2) проанализировать имеющиеся методики оценки экологических рисков, возникающих при авариях на ЛЧМГ;
- 3) исследовать подходы для разработки тарифов экологического страхования;
- 4) разработать методику определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС, обусловленных авариями на ЛЧМГ, и рекомендаций по ее применению.

Решение перечисленных выше задач позволило автору получить результаты, составляющие **научную новизну** работы, а именно

- 1) впервые предложено применение комбинации детерминированных и вероятностно-статических методов оценки экологического ущерба с

нахождением поправочных коэффициентов K_i и K_{y_i} , которые определяются как функция отношения результата расчета размера последствия воздействия поражающих факторов аварии и, соответственно, вероятного максимального экологического ущерба или его компонентов, полученных с использованием детерминированного метода, к максимальному значению в исходной выборке статистических данных. Использование поправочных коэффициентов позволяет скорректировать полученные функции распределения случайных величин в привязке к конкретному газопроводу/участкам газопровода с учетом его технологических особенностей, а также особенностей окружающей среды;

2) в условиях ограниченности статистической информации с использованием предложенной автором комбинации графической техники статистического анализа в виде построения квантиль-квантиль графиков и методов асимптотической теории вероятности экстремальных величин для оценки экологического ущерба, возникающего при авариях на ЛЧМГ, впервые обосновано применение экспоненциального и логарифмически нормального законов распределения с соответствующими параметрами для описания функций распределения размеров последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду и размеров экологического ущерба или его компонентов;

Применение подобной комбинации вероятностно-статических и детерминированных методов оценки экологического ущерба, предложенное автором, позволяет в условиях ограниченности статистических данных, необходимых для проведения актуарных страховых расчетов, повысить обоснованность определения оптимальных для страхователя ключевых параметров страхования аварийных экологических рисков.

В целом научная значимость работы состоит в выработке целостной совокупности научных знаний, включающих порядок и математический аппарат определения параметров страхования аварийных экологических рисков, которая достаточна для осуществления процесса добровольного экологического страхования в пределах точности исходных данных.

Новизна результатов для практики заключается в разработке рекомендаций и выполнении оценки экологических рисков и параметров их страхования при развитии газотранспортных мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока [8].

Обоснованность научных результатов обуславливается корректным применением положений асимптотической теории вероятностей экстремальных величин, математической статистики и регрессионного анализа, актуарной математики.

Достоверность первого научного результата обусловлена его непротиворечивостью в сравнение с практиками расчетов параметров договоров страхования и значениями страховых тарифов, применяемыми в настоящий момент на страховом рынке.

Достоверность второго научного результата обуславливается проведением статистического анализа реальных данных по экологическим ущербам, возникшим при авариях на ЛЧМГ, которые можно рассматривать в качестве репрезентативной выборки при использовании графической техники статистического анализа в виде построения квантиль-квантиль графиков. Это подтверждается получением корреляционных связей в математических моделях законов распределения, которые могут быть охарактеризованы в соответствии шкалой Чеддока как «очень сильные», что позволяет считать синтезированные математические модели пригодными для практического использования.

На защиту выносятся:

1) методика определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС в условиях ограниченности статистической информации применительно к авариям на ЛЧМГ;

2) рекомендации по предпочтительным законам распределения размеров последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду и размеров экологического ущерба или его компонентов и определению ключевых параметров страхования аварийных экологических рисков с использованием разработанной методики на примере МГ «Якутия-Хабаровск».

Теоретическая значимость исследований состоит в развитии методов актуарной математики и методов анализа экологических рисков в условиях ограниченности статистических данных.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в определении ключевых параметров страхования (страховая сумма, лимит ответственности на один страховой случай, размер страховой премии и уровень франшизы) аварийных экологических рисков для газопровода «Якутия – Хабаровск»;

обосновании для целей страхования величин потенциального экологического ущерба при авариях на различных линейных частях газопроводов, входящих в состав Восточной газовой программы, и предложений по ключевым параметрам страхования.

Основные результаты работы реализованы в:

1) Программе природоохранных и компенсационных природоохранных мероприятий для объектов ПАО «Газпром» при развитии газодобывающих, газотранспортных, газоперерабатывающих и газохимических мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока, утвержденной Членом Правления, начальником Департамента по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ПАО «Газпром» О.Е. Аксютиним 9 сентября 2014 г.;

2) научном процессе ООО «Газпром ВНИИГАЗ» при выполнении научно-исследовательских работ по договорам с ПАО «Газпром»;

3) научно-технической и природоохранной деятельности ООО «Газпром добыча Ямбург».

Апробация работы. Основные результаты докладывались и обсуждались в ходе проведения следующих научных конференций:

1. III научно-практическая молодежная конференция «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» (г. Москва, 2011 г.).

2. IV научно-практическая молодежная конференция «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» (г. Москва, 2012 г.);

3. III Международная конференция и выставка «Экологическая безопасность в газовой промышленности» ESGI – 2013 (г. Москва, 2013 г.);

4. IV Международная конференция и выставка «Экологическая безопасность в газовой промышленности» ESGI – 2015 (г. Москва, 2015 г.);

5. VI Международная научно-техническая конференция «Газотранспортные системы: настоящее и будущее» GTS – 2015 (г. Москва, 2015 г.);

6. VI Международная молодежная научно-практическая конференция «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность. Перспективы и проблемы импортозамещения» (г. Москва, 2015 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликованы 11 работ, в том числе пять в ведущих рецензируемых научных изданиях, входящих в «Перечень...» ВАК Минобрнауки России.

Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности: 05.26.02 - Безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям) по пунктам:

пять – разработка теории и методологии управления риском чрезвычайных ситуаций, обоснование критериев и социально приемлемых уровней риска;

восемь – разработка методологии прогнозирования природных и техногенных опасностей, рисков возникновения чрезвычайных ситуаций, динамики и их последствий, оценки ущерба.

Структура и объем. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 119 источника, трех приложений. Основное содержание работы изложено на 157 страницах, содержит 12 рисунков и 31 таблицу.

В первой главе исследованы отечественный и международный опыт по применению механизма экологического страхования в газовой промышленности, методики оценки экологического риска при ЧС, обусловленных авариями на ЛЧМГ, и подходы к разработке тарифов

экологического страхования. На основе выявленного противоречия в возможностях теории и потребности практики сформулирована научная задача исследования и предложен замысел ее решения.

Во второй главе излагается методика определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС в условиях ограниченности статистической информации применительно к авариям на ЛЧМГ, состоящая из двух последовательных основных этапов:

1) оценка аварийного экологического риска для ЛЧМГ на основе использования комбинации детерминированного и экспертных методов с асимптотической теорией вероятности экстремальных величин. Такой подход позволяет находить законы распределения размера экологического ущерба при авариях на конкретных МГ, что в конечном итоге повышает обоснованность прогнозирования размера экологического риска в условиях неопределенности;

2) проведение актуарных расчетов на основе использования модели коллективного риска с непрерывным временем и методов математической статистики экстремальных величин для определения параметров страхового покрытия, требований по виду и размеру франшизы, значений страховой премии и страхового тарифа.

Представленная методика позволяет уменьшить неопределенность (повысить обоснованность) при определении параметров страхования экологических рисков, возникающих при авариях на ЛЧМГ, с целью дальнейшего выхода на страховой рынок и получения более выгодных для компании условий заключения договора страхования.

В третьей главе представлены рекомендации по выбору законов распределения для описания функций распределения размеров последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду и размеров экологического ущерба или его компонентов, а также по определению ключевых параметров страхования аварийных экологических рисков, с использованием разработанной методики на примере МГ «Якутия-Хабаровск».

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРАХОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ В ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ПОСТАНОВКА НАУЧНОЙ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1. Экологическое страхование как механизм управления рисками техногенных чрезвычайных ситуаций

Методология анализа и управления риском ЧС (в широком смысле) есть не что иное, как всестороннее исследование опасности, включающее оценку, анализ риска и управление риском, предполагающее принятие решений по мерам воздействия на риск, их осуществление с последующим мониторингом и контролем.

В настоящий момент существуют различные методологические подходы к проведению процедуры управления риском, отраженные в стандартах:

- 1) Международный Стандарт ISO 31000 Риск Менеджмент – Принципы и руководства [9];
- 2) Управление рисками организации. Интегрированная модель, Комитет спонсорских организаций Комиссии Тредвей, COSO ERM (2004 г.) [10];
- 3) Стандарт управления рисками, FERMA – Federation of European Risk Management Associations (2002) [11];
- 4) Руководство по безопасности «Методические основы по проведению анализа опасностей и оценки риска аварий на опасных производственных объектах», утвержденного приказом Ростехнадзора от 11 апреля 2016 г. № 387;
- 5) ГОСТ Р. 51901.1-2002 «Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем» и др.

Несмотря на определенные различия в названии и объединении различных этапов и процедур (рис.1.1 – рис.1.3), все они содержат, по сути,

одинаковую достаточно логичную последовательность действий, которая начинается с идентификации опасностей:

определяются источники опасностей, события, причины и последствия, устанавливаются причинно-следственные связи опасных событий с их источниками и последствиями,

а далее:

проводится количественная оценка уровней рисков, то есть устанавливается степень возможности реализации событий и определяется размер последствий,

производится ранжирование рисков, заключающееся в установлении рисков, приоритетных для применения управленческих мер воздействия на них,

определяются возможные меры реагирования на риски, их эффективность с применением тех или иных критериев, в том числе экономических, принимаются решения о применении на практике тех или иных мер по управлению рисками или корректирующим действиям с дальнейшим контролем и мониторингом уровней риска [12].

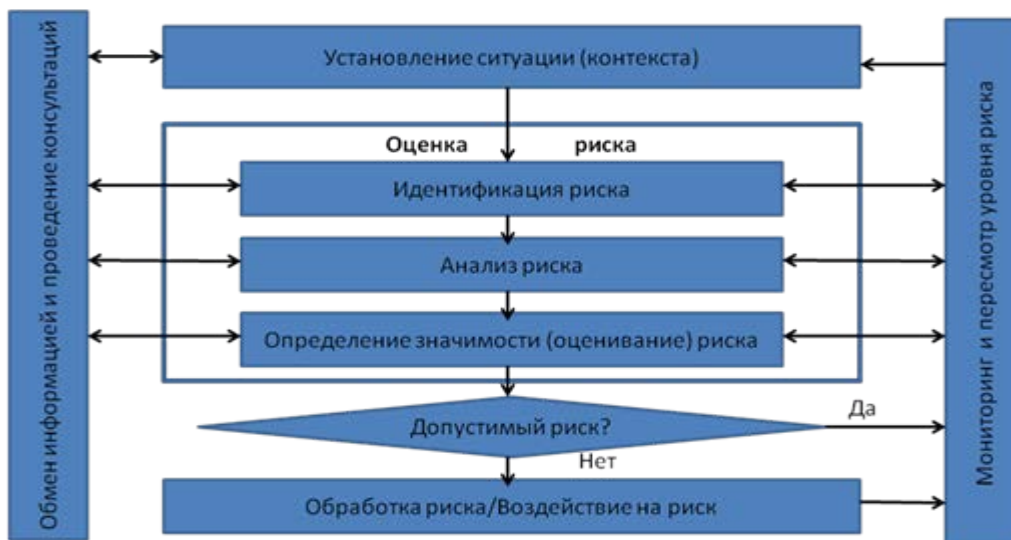


Рисунок. 1.1. Схема итеративного процесса риск-менеджмента стандарта ISO 31000

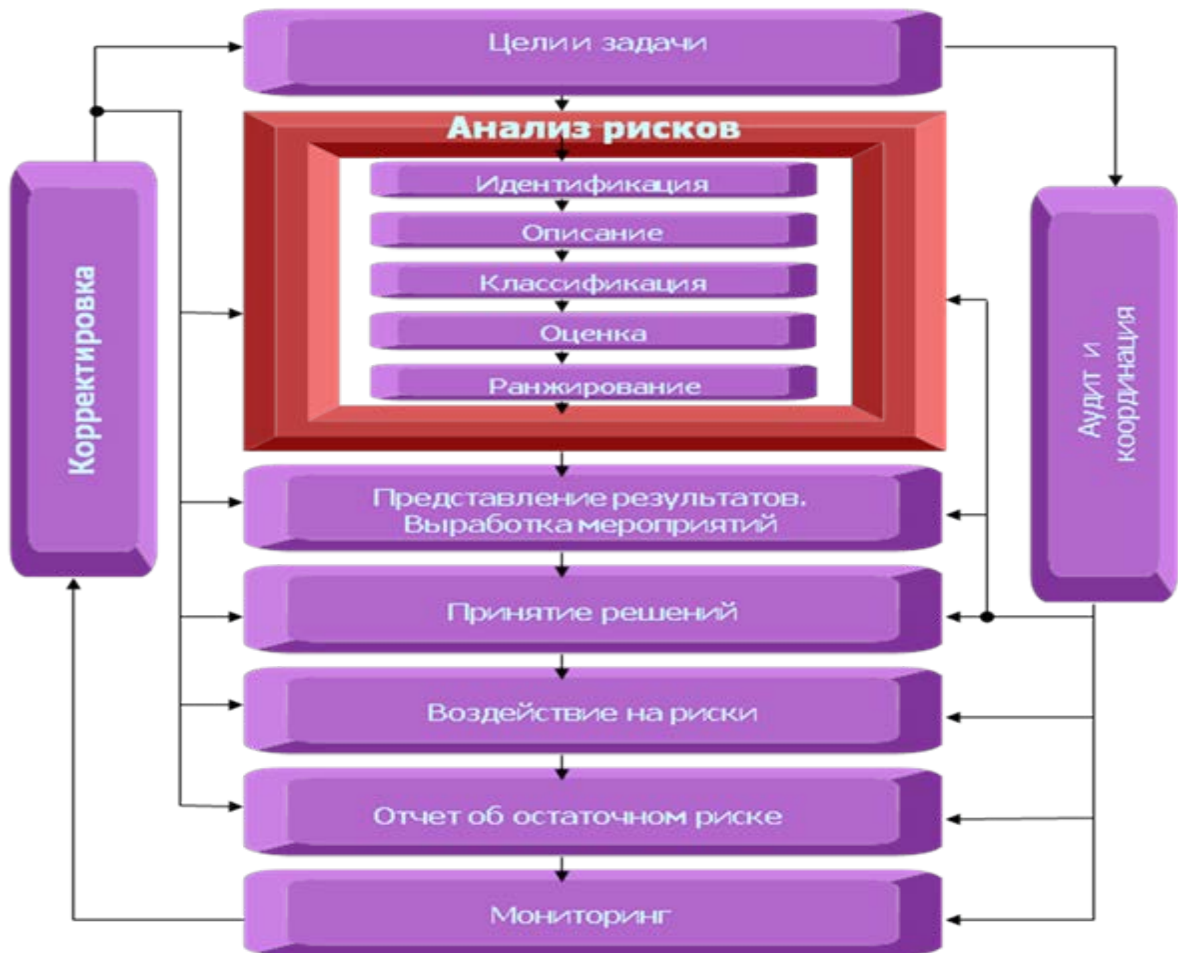


Рисунок 1.2. Методологическая схема процесса риск-менеджмента
(Стандарт FERMA, 2003)



Рисунок 1.3. Компоненты управления рисками по стандарту COSO

В теории риск-менеджмента выделяются четыре основных способа реагирования на риск:

уклонение от риска/исключение риска/избежание риска – отказ от деятельности, которая может привести к появлению негативных последствий значимого уровня, что подразумевает под собой полный отказ от действий или каких-либо устройств, заключающих в себе данный риск;

сокращение/снижение риска – проведение действий, направленных на уменьшение частоты возникновения или последствий реализации риска (например, совершенствование систем безопасности, мероприятия по технике безопасности, проектирование специальных защитных систем, обучение персонала, создание запасов, комплектующих на случай аварии и т.д.);

разделение/передача/распределение риска – страхование, привлечение партнера, создание различных отраслевых ассоциаций, совместных предприятий, обмен долями в капиталах, привлечение нового акционера, реструктуризация бизнеса;

принятие/сохранение/удержание риска – самострахование, отсутствие действий, применяемых при сокращении/снижении риска [7, 13, 14].

Страхование является одним из наиболее часто используемых методов управления рисками ЧС, связанными с авариями на ОПО газовой отрасли. Сущность этого метода заключается в передаче ответственности за возмещение возможного ущерба другому субъекту, специализирующемуся на таких операциях, – страховой компании. Использование страхования означает снижение участия (а иногда даже полный отказ от участия) самой фирмы в покрытии убытков за счет перекладывания своего риска на страховую компанию за определенную плату [14].

В настоящее время в Российской Федерации действует Федеральный закон "Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте", действие которого направлено на возмещение ущерба имуществу и здоровью третьих лиц [15], в том числе в ЧС. Однако экологические риски

выведены из-под действия данного закона, то есть размер ответственности за причинение экологического ущерба определяется, как правило, в суде и при наличии искового заявления. Такое положение вещей имеет ряд недостатков:

1) ситуации, когда потерпевшие отказываются защищать свои права в судебном порядке по тем или иным причинам или не могут определить виновное лицо, позволяют причинителям вреда избежать ответственности, в то время как ст. 77 Федерального закона от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды" закрепляет обязанность юридических и физических лиц возместить вред, причиненный окружающей среде, в полном объеме [5];

2) потенциальный размер ущерба окружающей среде при аварии на ОПО может быть достаточно велик, чтобы негативно отразиться на финансовом состоянии компании нефтегазовой отрасли [3]. «Классическим» примером такой аварии может служить авария на нефтяной платформе Deepwater Horizon в Мексиканском заливе с последующим катастрофическим ущербом окружающей среде.

Это свидетельствует об актуальности использования экономических механизмов управления экологическими рисками ЧС с одной стороны для собственников природных ресурсов, в частности государства, а с другой - для хозяйственных субъектов, эксплуатирующих ОПО. Одним из таких механизмов является экологическое страхование ответственности за загрязнение окружающей среды при техногенных ЧС.

1.2. Экологическое страхование в газовой отрасли

Вопросам экологического страхования посвящен ряд работ отечественных и зарубежных авторов [4,16-34].

Экологическое страхование ответственности за загрязнение окружающей среды – один из наиболее эффективных механизмов перераспределения риска и возмещения ущерба, возникающего вследствие негативного воздействия на

окружающую природную среду, и направлено на обеспечение экологической безопасности и компенсации убытков третьих лиц [19].

При этом необходимо уточнить, что под загрязнением может пониматься как нанесение ущерба окружающей среде в ЧС, обусловленной аварией (внезапное и непредвиденное загрязнение), так и накопленное (историческое) загрязнение. В рамках настоящей работы в дальнейшем будут рассматриваться только аварийные экологические риски ЧС – риски, связанные с внезапным загрязнением окружающей среды в результате аварии на ОПО.

Страхование ответственности за причинение ущерба предполагает формирование специальных денежных фондов (резервов) за счет уплачиваемых страхователями страховых взносов для компенсации вероятных потерь (которые принимает на свою ответственность страховщик в соответствии с договором страхования) от загрязнения окружающей природной среды и обеспечивает права государства как собственника природных ресурсов на поддержание приемлемого качества окружающей среды и необходимого уровня воспроизводства природных ресурсов [19,20,21].

В мировой практике страхование в сфере природопользования возмещает убытки, наносимые окружающей среде и «третьим лицам», за счет средств самих участников рынка, а не госбюджета. Это дает возможность государству направлять больше денег на превентивные мероприятия, а при необходимости в случае катастрофических последствий ЧС эффективно консолидировать государственные ресурсы и ресурсы страховых компаний на проведение восстановительных работ [19, 26].

По экспертным оценкам 90 – 95 % европейских промышленных предприятий с успехом используют механизм страхования экологических рисков. Добровольное экологическое страхование весьма распространено в США как инструмент обеспечения финансовых гарантий. Кроме того, это эффективный инструмент ликвидации последствий экологических катастроф. Например, в результате разлива нефти в Мексиканском заливе в 2010 году компании BP и ее партнерам было выплачено страховое возмещение,

превысившее 1,5 млрд долл. Достаточно развита индустрия экологического страхования в Европе, чему способствовали создание соответствующей законодательной базы, эффективной системы судебного преследования за экологические правонарушения и формирование развитого общественного экологического сознания. Экологическое страхование постоянно совершенствуется, вносятся изменения в законодательную базу, страховые компании постепенно уменьшают число исключений и одновременно повышают лимит ответственности. Все большее число стран стремятся к созданию системы обязательного экологического страхования, внедрению механизма совместной ответственности за ущерб, нанесенный в результате загрязнения окружающей среды [19, 26, 28].

Страхование экологических рисков в Российской Федерации реализуется предприятиями на добровольной основе, как правило, в рамках корпоративных программ управления рисками. Институт экологического страхования в Российской Федерации закреплен на законодательном уровне в ст. 18 ФЗ №7 от 10.01.2002 г. «Об охране окружающей среды» [5] и должен гарантировать выполнение требования статей 14, 77, 78 данного закона – об обязанности полного возмещения вреда окружающей среде, а также Гражданского кодекса Российской Федерации, который устанавливает обязательность возмещения ущерба пострадавшим и определяет взаимодействие страхователя и страховщика.

До конца 2011 г. необходимость экологического страхования для предприятий нефтегазового комплекса определялось в связи с действием Федерального закона от 21 июля 1997 г. №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» [35], предусматривавшего обязанность организации, эксплуатирующей опасный производственный объект, страховать ответственность по причине вреда, в том числе окружающей среде, в ЧС, обусловленных авариями на ОПО. Включение экологических рисков обсуждалось и в ходе разработки закона об обязательном страховании владельцев опасных производственных объектов (ОСОПО). Однако, согласно

его окончательной версии, вступившей в силу 1 января 2012 года (Федеральный закон Российской Федерации от 27 июля 2010 года № 225-ФЗ "Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте"), действие закона не получило распространение на отношения, возникающие вследствие причинения вреда природной среде [15].

Таким образом, в настоящий момент в России экологическое страхование осуществляется на добровольной основе в рамках заключения договоров страхования общей гражданской ответственности (как расширение ОСОПО) или комплексных договоров экологического страхования [32].

Так, например, экологическое страхование в ЧС, осуществляемое Группой Газпром [36], как страхование ответственности за аварийное загрязнение окружающей среды, направлено на обеспечение экологической безопасности, возмещение вреда окружающей среде и компенсацию убытков, которые могут понести третьи лица. Начиная с 2014 года, между ПАО «Газпром» и АО «СОГАЗ» заключаются договора страхования, которыми предусматривается покрытие рисков причинения вреда окружающей среде в процессе наземных и морских геолого-разведочных и буровых работ, добычи, транспортировки, переработки, хранения углеводородов, эксплуатации источников повышенной опасности, строительства и других сопутствующих операций на территории Российской Федерации и континентального шельфа Российской Федерации. Эти договора страхования являются добровольными и служат дополнением к договорам обязательного страхования гражданской ответственности владельца опасного объекта (согласно Федеральному закону от 27 июля 2010 г. № 225-ФЗ).

Отметим, что договора страхования общей гражданской ответственности покрывают только риски внезапного и непредвиденного загрязнения окружающей среды, а комплексное страхование экологических рисков позволяет страховать риски экологической ответственности, риски финансовых потерь вследствие расходов на расчистку производственной территории от

загрязнения и перерыва в производстве и риски накопленного экологического ущерба [22].

Эксперты страхового рынка отмечают, что после введения ОСОПО часть предприятий перераспределила на него бюджет, ранее предназначавшийся на страхование экологических рисков, что дополнительно сократило объем этого рынка. Негативно воздействовало на спрос и то, что добровольное страхование, в отличие от обязательного, в соответствии с Налоговым кодексом не относится к производственным затратам предприятия, соответственно затраты на страхование относятся на прибыль предприятия [4, 30].

Необходимость отдельного законопроекта, устанавливающего обязательства по страхованию экологических рисков, обсуждается с 1994 г. Отправной точкой для его разработки послужила ЧС, которая была вызвана аварией на нефтепроводе в Усинском районе Республики Коми, для первоначальной ликвидации последствий которой, по данным Гринпис, международными финансовыми институтами были выделены займы на сумму 124 млн долл. США [37].

В последующие годы прошло несколько витков дискуссий на тему экологического страхования. Ряд регионов Российской Федерации (в том числе. Нижегородская и Ленинградская области, Республики Башкортостан и Чувашия) занимались разработкой законодательной базы на муниципальном уровне, однако впоследствии было признано, что регулирование данной области может осуществляться только на федеральном уровне [38].

На настоящий момент разработкой принципов экологического страхования в ЧС и соответствующей нормативной базы занимается Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. В качестве возможных подходов рассматривается создание федерального закона на тему обязательного экологического страхования либо поэтапное внесение изменений в соответствующие нормы действующих законов. Тогда «встраивание» экологического страхования в систему хозяйствования выглядит оправданным и обоснованным, более того, оно становится постоянным

финансовым инструментом осуществления природоохранной политики предприятия и предупреждения ЧС с одной стороны, и элементом независимого контроля его исполнения – с другой [4]. В частности, в соответствии с Федеральным законом от 30 декабря 2012 года № 287-ФЗ "О внесении изменений в Федеральный закон "О континентальном шельфе Российской Федерации", договор страхования является подтверждением обязательного финансового обеспечения осуществления мероприятий по предупреждению ЧС из-за разливов нефти на континентальном шельфе. В дальнейшем предполагается возможность создания нормативного акта, закрепляющего необходимость страхования экологических рисков при осуществлении определенного круга видов деятельности, в том числе относящихся к нефтегазовой отрасли [39, 40, 41].

Представители ведущих страховых организаций считают, что экологическое страхование в ЧС должно проходить по вмененной модели, подразумевающей отсутствие публичного договора страхования и установленного государством тарифного регулирования [40]. Введение федерального закона об обязательном экологическом страховании по такой модели с одной стороны обяжет предприятия заключать договора страхования экологических рисков, а с другой – не затронет экономическую суть добровольного (коммерческого) страхования в понимании того, что величина страхового тарифа есть результат сделки между страховщиком и страхователем с учетом конъюнктуры рынка, но величина тарифа не может быть ниже некоторого граничного значения по данному виду страхования для конкретной страховой компании. Данный факт отражает двойственную и противоречивую природу страхового тарифа, выбор которого связан с интересами обеих сторон [4, 14, 30].

Независимо от формы страхования страхователь заинтересован в минимизации тарифа, поскольку, несмотря на источник уплаты страховых взносов (прибыль или себестоимость), как правило, с точки зрения хозяйствующего субъекта, страховой взнос всегда относится к дополнительным

издержкам [4, 29]. Страховщики в свою очередь стремятся к увеличению тарифов, за счет которых формируется страховой фонд, позволяющий брать на себя ответственность покрытия потенциальных убытков, установленных в договоре экологического страхования. В то же время завышенная величина тарифной ставки влияет на желание страхователя заключать договор страхования, поскольку тот может перейти к другому страховщику, предлагающему более выгодные условия [29], или осуществить процедуры по снижению экологического риска ЧС.

В любом случае размеры как страховых премий, так и страховых возмещений, должны быть соотнесены с риском причинения ущерба окружающей среде, что стимулирует страхователя минимизировать его размер, финансируя различные предупредительные мероприятия и модернизируя производство. В противном случае страхователя ожидает увеличение количества исков о возмещении ущерба, что приведет к существенному увеличению стоимости страхования или к отказу страховщиков от принятия рисков, что уже может отразиться на финансовой стабильности компании [28].

Для газовой промышленности возможно внедрение, как комплексного страхования всех мощностей в ЧС, так и отдельных элементов, например, страхование экологических рисков ЧС, обусловленных авариями на магистральных газопроводах. Магистральные газопроводы относятся к опасным производственным объектам, аварии на которых могут приводить к чрезвычайным ситуациям с причинением значительного ущерба окружающей среде ввиду того, что линейная часть трубопроводов прокладывается в непосредственном контакте с окружающей средой.

Примерами аварий на трубопроводах с причинением крупных ущербов окружающей среде могут служить:

4 июня 1989 года в 11 км от города Аша в момент прохождения двух пассажирских поездов произошёл мощный взрыв облака топливо-воздушной смеси, образовавшейся в результате аварии на проходящем рядом трубопроводе «Сибирь-Урал-Поволжье». Погибли 575 человек (по другим

данным 645), ранены более 600. Возникший при взрыве пожар охватил территорию около 250 гектар [42];

20 июня 2016 года на 44-ом километре автодороги Ивдель-ХМАО в лесном массиве произошел разрыв МГ «Ямбург-Елец 1» с последующим возгоранием. От вспышки газа произошло возгорание леса и лесной подстилки на 45 гектарах [43];

30 июля 2004 года на МГ в 40 км от Брюсселя произошла утечка и взрыв газа. Цепь взрывов уничтожила две фабрики, оставив между заводами большой кратер. Тела погибших (24 человека) и обломки оборудования были разбросаны в радиусе 500 м от места катастрофы, на площади до 25 гектаров выгорела вся растительность. Действие взрывной волны ощущалось на расстоянии до 10 км от места аварии [44].

Особенную актуальность данный вопрос приобретает в связи с реализацией запланированных в последние годы новых мега проектов (в частности строительство газопровода «Сила Сибири»), возрастанием пропускной способности и протяженности строящихся и реконструируемых магистральных газопроводов, ростом единичных мощностей газоперекачивающего оборудования, увеличением совокупных объемов транспортируемого углеводородного сырья [2].

Таким образом, договор экологического страхования, заключенный на оптимальных для страхователя условиях, позволяет решить следующие задачи:

1) возмещение ответственности перед третьими лицами за причинение ущерба окружающей природной среде, возникающего вследствие аварии на ОПО;

2) сохранение финансовой стабильности страхователя, ввиду передачи ответственности за возмещение возможного ущерба страховой компании и перевода неопределённых убытков в категорию плановых в качестве страховой премии;

3) повышение безопасности ОПО по критериям экологического риска ЧС.

С другой стороны, интерес любой страховой компании заключается в реализации трех главных условий страховой деятельности [3]:

- 1) безусловное возмещение убытков страхователя, возникающих вследствие наступления страховых случаев;
- 2) возмещение затрат страховщика, связанных с осуществлением страховой деятельности;
- 3) получение страховщиком прибыли.

Заключение страхового договора на добровольной основе подразумевает соблюдение интересов, как страхователя, так и страховщика. Очевидно, что безусловное возмещение убытков страхователя возможно только при адекватном определении этих убытков, т.е. достоверной оценке экологических рисков ЧС, обусловленных авариями на ОПО, а также использовании признанных страховым рынком и страхователем методов расчетов параметров страховой защиты (страховая премия и сумма, лимиты ответственности, вид и размер франшизы).

Вопросы возмещения затрат страховщика, связанных с осуществлением страховой деятельности (возмещения расходов на ведение дела) и получением страховщиком прибыли в рамках настоящей работы не рассматриваются. Однако необходимо отметить, что решены они могут быть только при адекватном определении нетто-премии [3].

Таким образом, адекватная оценка размера таких ключевых страховых параметров как страховая премия, лимиты ответственности, страховая сумма и франшиза позволит обеспечить максимальное смягчение последствий реализации возможных экологических рисков ЧС. Для решения этой задачи необходимо применение настолько это возможно наиболее точных и достоверных методов анализа и оценки рисков, позволяющих надежно прогнозировать вероятность возникновения, вид и размер ущерба окружающей среде.

1.3. Методы оценки экологических рисков, возникающих при авариях на линейной части магистральных газопроводов

В целом можно выделить два подхода к анализу риска – детерминированный и вероятностный. При детерминированном подходе используемые методы предусматривают анализ этапов развития аварий, начиная от исходного события через последовательность предполагаемых отказов до установившегося конечного состояния. Ход аварийного процесса изучается и предсказывается с помощью построения математических моделей, проведения сложных расчетов. Недостатками являются: потенциальная возможность упустить редко реализующиеся, но важные цепочки развития аварий; сложность построения достаточно адекватных математических моделей; необходимость проведения сложных и дорогостоящих экспериментальных исследований [45, 46].

Вероятностный подход предусматривает проведение анализа риска в условиях неопределенностей, связанных с отсутствием или неполнотой информации о процессах возникновения и развития аварии, допущениями применяемых моделей для описания развития аварийного процесса. В таком случае подразумевается случайный характер возникновения нежелательных событий и размера ущерба от их проявления.

Примером детерминированного подхода к анализу и оценки экологического риска, возникающего при авариях на ЛЧМГ, могут служить применяемые в настоящий момент в ПАО «Газпром» методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром» [47], разработанные с учетом ранее проведенных исследований по данному вопросу [48-57].

Данные указания содержат подробное описание последовательных этапов количественного анализа риска применительно к технологическим объектам транспорта газа ПАО «Газпром» в объеме требований, предъявляемых к

содержанию деклараций промышленной безопасности руководящими документами Ростехнадзора. В документе рассматриваются вопросы:

оценки ожидаемых частот возникновения аварий;

построения сценариев развития аварий и оценки масштабов распространения поражающих факторов аварий;

оценки негативного воздействия поражающих факторов аварий на человека, технологическое оборудование, здания, сооружения и другие материальные объекты, а также на компоненты окружающей природной среды;

оценки ожидаемого материального ущерба от аварий [47].

При этом для оценки частоты возникновения аварии на ЛЧМГ используется методика МЭОЧАГаз (балльно-факторный анализ), описанная в составе Рекомендаций [58], которая позволяет прогнозировать аварийность (определять ожидаемые удельные частоты аварий) на произвольном участке газопровода конечной длины, характеризующемся конкретным набором факторов и условий эксплуатации (природно-климатическими, антропогенными, технико-технологическими, историческими (связанными с периодом сооружения и эксплуатации газопровода) и другими), с учетом влияния этих факторов на вероятность нарушения целостности газопровода. Для решения задачи прогнозирования в методике используется принцип корректировки среднестатистической удельной частоты аварий на линейной части газопроводов, с помощью специально выстроенной системы факторов влияния, их весовых коэффициентов и балльных оценок. В основе данной методики лежит использование статистических данных по авариям на российских газопроводах, что позволяет избежать искажения информации о причинах и закономерностях возникновения и развития аварийных ситуаций на них относительно аналогичных методик, которые основаны на анализе данных по авариям на европейских МГ [59].

Отметим, что для определения оценки частоты возникновения аварии на ЛЧМГ могут использоваться статистические методы анализа данных по

аварийности или методы моделирования – построение деревьев отказов (Fault Tree Analysis).

К преимуществам статистических методов можно отнести использование накопленного опыта реальных событий, что позволяет учесть не только очевидные причины аварий, но и «скрытые» и тем самым увеличить точность и корректность прогнозов. При этом к настоящему времени накоплена достаточная база данных аварийности МГ, в том числе российских, что позволяет нивелировать недостатки данных методов, связанных в первую очередь с применимостью к конкретным объектам именно в связи с недостаточностью данных [60].

Для построения сценариев развития аварии в методических указаниях [47] используется метод анализа дерева событий (Event Tree Analysis) суть которого состоит в определении для каждого расчетного сценария аварии на каждом расчетном источнике опасностей вероятности его реализации при условии, что авария произошла.

Далее проводится расчет распространения поражающих факторов аварий в окружающей среде с использованием математического моделирования для каждого расчетного сценария аварии газодинамических и тепло-массообменных процессов, определяющих особенности физико-химических трансформаций истекающего флюида в окружающей среде (например, характер воспламенения газа, форму и размеры пламени), а также возникновение и распространение поражающих факторов аварии (теплового облучения, воздушной волны сжатия, осколков и т.п.) на рассматриваемой территории с учетом природно-климатических характеристик местности [47].

Аналогичные детерминированные математические модели (применительно к авариям на ЛЧМГ) описаны в СТО Газпром 2-1.19-530-2011 «Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и определение размера вреда окружающей природной среде при авариях на магистральных газопроводах» [61]. Полученные результаты используются для оценки ущерба окружающей среде. В стандарте регламентирован подход к учету эколого-

экономических последствий конкретных аварий на МГ, основанный на требованиях нормативно-правовых актов федерального уровня. Стандарт используется для контроля, организации и выполнения работ по определению объемов выбросов загрязняющих веществ и размера платы за причиненный вред компонентам окружающей среды при расследовании аварий на МГ.

Представленный методический аппарат применяется, в том числе для обоснований страховых параметров при подготовке договоров страхования ответственности эксплуатирующих организаций ПАО «Газпром» за причинение вреда жизни, здоровью или имуществу других лиц и окружающей природной среде в ЧС, обусловленных авариями [47].

Отметим, что применительно к страхованию экологических рисков ЧС, обусловленных авариями на ЛЧМГ, детерминированные методы возможно использовать при расчетах таких показателей как страховая сумма и лимиты ответственности, опираясь на известный и общеупотребимый (страховыми брокерами, страховщиками, андеррайтерами и независимыми сюрвейерами) подход – EML-методология (методология расчета максимального возможного убытка – Estimated Maximum Loss) [3].

EML-методология является общепринятым на мировом страховом рынке инструментом оценки риска и широко практикуется на этапе подготовки к страхованию. Отметим, что по сложившейся практике [62] оценка максимально возможного ущерба в целях страхования не является точным соответствием реальному значению максимально достижимого ущерба по конкретному риску. Как правило, для целей страхования максимально возможный ущерб оценивается как наиболее вероятный из максимальных ущербов, то есть оценивается EML и PML (Probable Maximum Loss – вероятный максимальный убыток) и от этих параметров рассчитывается стоимость страхования.

Под PML подразумевается вероятный максимальный ущерб – максимальный размер ущерба, который можно ожидать при наступлении страхового случая, учитывая обычные условия риска и не принимая во внимания маловероятные катастрофические события; в упрощенном виде

может трактоваться как убыток от страхового события при умеренно неблагоприятном вероятном стечении обстоятельств [63, 64].

Соответственно EML – оценка максимального возможного ущерба, который исходит из наихудших предположений. Например, при расчете убытка от пожара при разрыве МГ делается предположение о том, что все системы безопасности не сработают, пожарная бригада не приедет на место и распространение огня может быть сдержано только какими-либо непреодолимыми механическими препятствиями или недостатком горючего вещества. В таком случае оценка EML может служить верхней границей лимита ответственности, оценка PML – нижней границей [64, 65, 66].

Необходимо отметить, что по своей сути EML-методология представляет собой количественную оценку риска (ущерба), проведенную с помощью детерминированного подхода, то есть для случая страхования экологических рисков от аварий на ЛЧМГ для расчета EML или PML может быть использован методический аппарат анализа и оценки риска ЧС, используемый в ПАО Газпром в настоящий момент.

При этом необходимо выделить несколько существенных ограничений по его использованию при определении параметров договора страхования экологических рисков ЧС:

1) детерминированный подход характеризуется относительной сложностью расчетов и необходимостью использования большого количества исходных данных, что не всегда возможно;

2) не учитывается смешанный детерминированно-стохастический характер процесса «страхование». Финансовый поток страховых премий, размер страховой суммы и лимитов ответственности детерминирован в период действия договора страхования, а в тоже время потоки заявленных убытков (ущербов) и страховых возмещений имеют стохастическую природу, при этом случайный характер носят как число страховых случаев, так и размер ущерба. Эта специфика отражена в методах расчета страховых тарифов.

Длительный опыт развития актуарных расчетов и математической теории страхования позволил разработать принципы, методы и модели для оценки величины тарифов различных видов страхования. Многие методы расчета страховых тарифов основаны или сводятся к принципу эквивалентности, который состоит в определении страхового тарифа как математического ожидания выплат. Соответственно премии полностью расходуются на выплаты по страховым случаям. Естественно, что такой принцип дает оценку значения нетто-тарифа для страхования, поэтому иногда носит название *Net premium principle*. Посчитанный таким образом тариф не может быть непосредственно использован в страховой практике, поскольку не учитывает затрат компании на организацию страхования и влияние ряда дополнительных случайных факторов. Как нижняя оценка тарифа он может служить индикатором уровня величины. Наиболее часто в практическом страховании используют принцип ожидаемого значения (*expected value principle*), принцип дисперсии (*variance principle*) и принцип стандартного отклонения (*standard deviation principle*). Их отличительная черта – использование коэффициента нагрузки, которая является весовым коэффициентом для математического ожидания или дисперсии ущерба (выплат) [30, 31, 67, 68].

Выбор метода (модели) оценки страховых тарифов зависит от наличия и полноты статистических данных, требуемой точности оценки, вида страхуемого риска и ряда других условий. Данные методы наиболее часто используют в практическом страховании. Их особенность состоит в том, что для расчета необходимо знание математического ожидания и дисперсии ущерба, то есть необходимо задать функцию распределения случайной величины, что говорит, очевидно, о необходимости применения методов, основанных на применении вероятностного подхода к оценке рисков.

Примером применения вероятностного подхода при оценке рисков аварий на ЛЧМГ является работа [69], в которой на базе статистической обработки массива данных по авариям на МГ построены функции корреляции, гистограммы плотностей распределения вероятностей, регрессионные модели и

теоретические распределения, которые позволяют прогнозировать основные параметры повышения эксплуатационной надежности и безопасности газопровода.

Ключевым ограничением использования данной методики при страховании экологических рисков, обусловленных авариями на ЛЧМГ, является применимость ее к определенным объектам страхования, то есть к конкретным газопроводам. Вместе с тем аварии на ЛЧМГ с причинением ущербов окружающей среды характеризуются малой статистикой и слабой надежностью данных, особенно, что касается величин ущербов окружающей среде [4, 19, 28].

Очевидно, что при расчетах адекватных страховых тарифов для конкретного МГ необходимо адекватно прогнозировать возможные ущербы компонентам окружающей среды с учетом того в каких природных условиях проложена трасса МГ, так как размер такого ущерба напрямую зависит от того, какие лесные породы, типы почвы и др. могут попасть под негативное воздействие поражающих факторов аварии.

К настоящему времени разработано множество методик по оценке материального ущерба окружающей среде, в том числе при авариях на ОПО, имеющих свои достоинства и ограничения в использовании [70, 71, 72]. При этом, в соответствии со статьей 78 ФЗ «Об охране окружающей среды», вред окружающей среде, причиненный юридическим или индивидуальным предпринимателем, возмещается в соответствии с утвержденными в установленном порядке таксами и методиками исчисления размера вреда окружающей среде, а при их отсутствии исходя из фактических затрат на восстановление нарушенного состояния окружающей среды».

В некоторых случаях причинитель вреда, не дожидаясь судебных разбирательств, начинает восстанавливать нарушенные компоненты окружающей среды, во-первых, возмещать все равно придется, а, во-вторых, промедление в некоторых случаях чревато тем, что ухудшение состояния окружающей среды будет продолжаться и это, соответственно, выльется в

большие затраты на восстановление. Несмотря на то, что природопользователь начал восстанавливать нарушенное состояние окружающей среды или, может быть, уже восстановил, органы государственного экологического надзора, прокуратура, органы местного самоуправления (поскольку они являются собственниками некоторых природных ресурсов) обращаются в суд с исковыми требованиями о взыскании с причинителя вреда сумм, рассчитанных на основе такс и методик, в соответствии со статьей ч.3. ст. 77 ФЗ «Об охране окружающей среды». Возникает невыгодная для хозяйственного субъекта ситуация, когда решение учитывать или нет ранее затраченные средства на восстановление окружающей среды в счет подданного иска принимает суд, основываясь, в том числе, на ранее принятых другими судами решениях. Так, например, суды отказывали в зачете средств, основываясь на том, что ликвидация причинителем вреда загрязнения своими силами и возмещение вреда по утверждённым таксам и методикам являются самостоятельными формами компенсации ущерба, например, постановление Федерального арбитражного суда Западно-Сибирского округа от 17.12.2013 по делу №А75-2278/2013 и постановление Федерального арбитражного суда Западно-Сибирского округа от 24.09.2014 по делу №А75/4505/2012 [73].

В связи с этим логичным, при расчетах параметров договоров экологического страхования, использовать утвержденные на федеральном уровне таксы и методики исчисления размера вреда окружающей среде.

Таким образом, в ходе проведенного анализа выявлено противоречие, требующее научного разрешения, между потребностью страхователя в условиях малой статистики и ограниченности данных по экологическим ущербам устанавливать оптимальные параметры страховой защиты, с одной стороны, и возможностями существующих подходов и разрозненных методик по их определению, с другой стороны.

1.4. Постановка научной задачи и замысел ее решения

Проведенный анализ методического обеспечения страхования экологических рисков в газовой отрасли показал, что аварии на ЛЧМГ с причинением ущербов окружающей среды характеризуются малой статистикой и ограниченностью данных, особенно, что касается величин ущербов окружающей среде, тем самым ограничено использование классических статистических методов оценки рисков для расчета страхового тарифа применительно к конкретным объектам страхования. Это обуславливает преимущественное использование детерминированного подхода для оценки экологического риска при авариях на ЛЧМГ. Однако при этом получаемые с его помощью результаты крайне ограничены в использовании при расчете размера страховой премии (страхового тарифа), так как при проведении актуарных расчетов необходимо знать математическое ожидание и дисперсию возможного ущерба. Разрешение выявленного противоречия возможно:

применением комбинации детерминированного и вероятностного подходов при решении задачи совершенствования для целей страхования методики анализа и оценки экологического риска ЧС. Это позволит находить законы распределения размера экологического ущерба при авариях на конкретных газопроводах, и в конечном итоге повысит обоснованность прогноза размера экологического риска в условиях ограниченности данных;

использованием в условиях ограниченности статистических данных теории построения функций распределения редких событий – асимптотической теории вероятности экстремальных величин (EVT - Extreme Value Theory) для анализа существующих данных по авариям на ЛЧМГ с причинением ущербов окружающей среде.

Изложенное выше, позволяет осуществить постановку научной задачи и определить замысел ее решения.

Научная задача заключается в разработке методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных

чрезвычайных ситуаций, обусловленных авариями на ЛЧМГ, в условиях ограниченности статистической информации с использованием комбинаций вероятно-статистических, детерминированных и экспертных методов оценки риска, актуарной математики и методов математической статистики.

Замысел решения научной задачи представлен в виде общей схемы методики на рис.1.4.

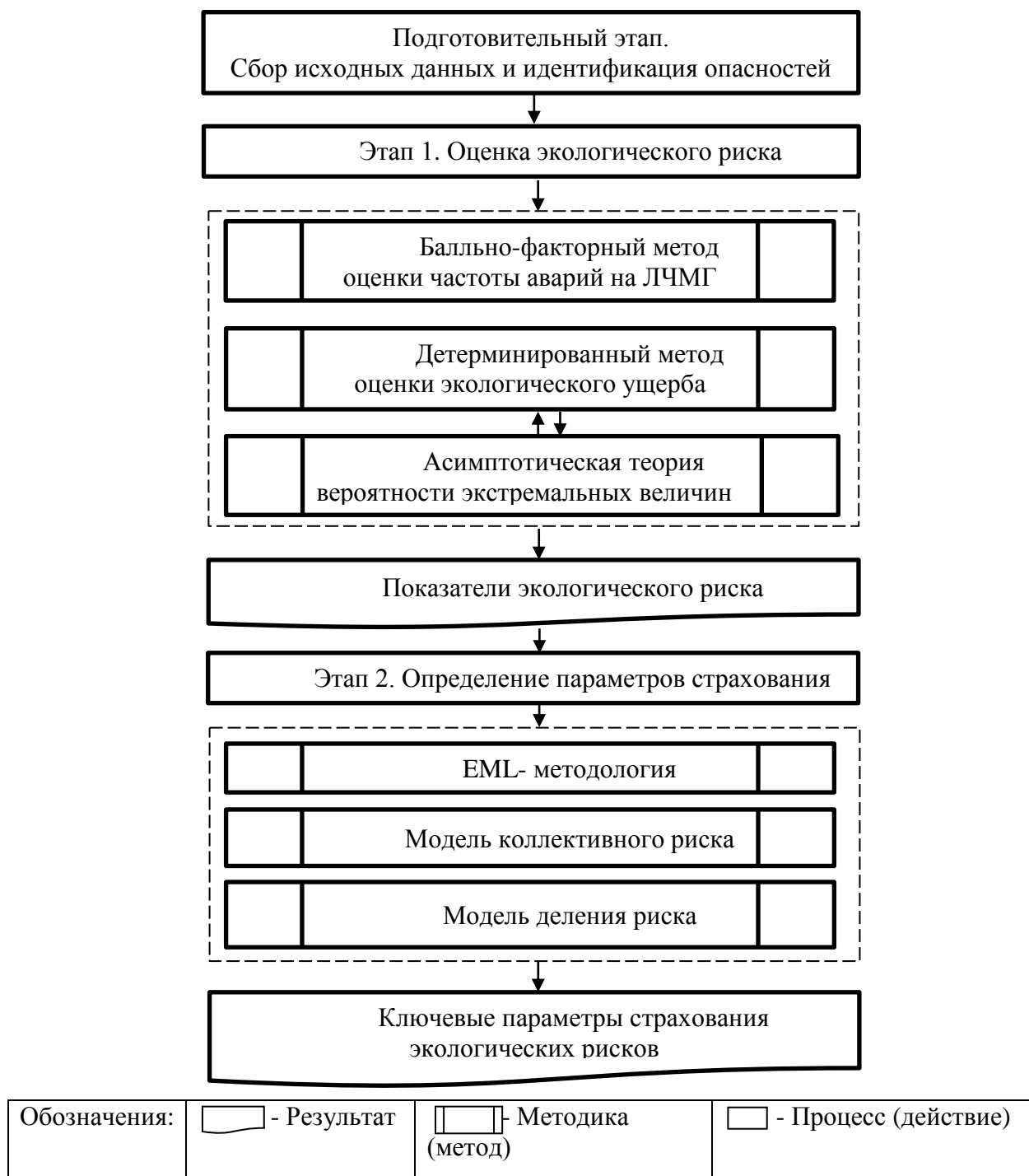


Рисунок 1.4 Общая схема методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков ЧС

Методика определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС в условиях недостаточности статистической информации (рис. 1.4) применительно к авариям на ЛЧМГ состоит из двух последовательных этапов:

- 1) оценка экологического риска ЧС, обусловленного авариями на ЛЧМГ;
- 2) актуарные расчеты для определения параметров страхового покрытия, требований по виду и размеру франшизы, значений страховой премии и страхового тарифа.

Для оценки экологического риска ЧС, обусловленного авариями на ЛЧМГ, автором предложено использовать сочетание разработанного к настоящему моменту в ПАО «Газпром» детерминированного методического аппарата анализа и оценки риска [47, 58, 61] с вероятностным подходом к оценке рисков, что позволит решить основную методическую проблему обоснования значения страховой премии, вызванную необходимостью рассматривать два случайных процесса: процесс числа страховых событий и процесс суммарных страховых требований. Детерминированные и вероятностные методы анализа риска различаются по характеру исходной и результирующей информации, и они могут сочетаться в различных комбинациях для получения более объективной оценки риска. Такие методы получили название гибридных или комбинированных. Использование вероятностного подхода к оценке экологического риска позволит учесть имеющиеся базу статистических данных по причиненным ранее ущербам окружающей среде при авариях на ЛЧМГ и описать значение экологического риска как случайную величину, а в сочетании с детерминированным методом позволит уточнить искомые значения (тем самым снизить влияние слабой надежности данных) в условиях неопределенности и ограниченности статистических данных для конкретных газопроводов.

На основе вероятностного подхода построены различные методы оценки рисков, которые в зависимости от имеющейся исходной информации делятся на:

- 1) статистические – применяемые при наличии большого числа данных (длительные наблюдения, частые события) и основанные на статистическом анализе информации о частоте событий и/или размере причиненного ущерба;
- 2) вероятностно-статистические – основанные на совместном использовании статистических данных и предположений о функции распределения рассматриваемой случайной величины;
- 3) теоретико-вероятностные – используемые для оценки рисков от редких событий, когда статистика практически отсутствует;
- 4) эвристические – основанные на использовании субъективных вероятностей, получаемых с помощью экспертного оценивания, и используемые при оценке комплексных рисков от совокупности опасностей, когда отсутствуют не только статистические данные, но и математические модели (или их точность слишком низка) [14, 45, 46].

Определяющим критерием для выбора вероятностного метода оценки риска является наличие статистической базы. Для случаев аварий на ЛЧМГ характерны малая статистика и слабая надежность данных по величинам ущерба окружающей среде, а также «тяжелохвостность» распределения ущерба. В связи с этим применение классических методов статистического анализа затруднено. В работах [74, 75] рассмотрена теория построения функций распределения редких событий – теория вероятности экстремальных величин (EVT – Extreme Value Theory). Ключевым моментом теории является аналог центральной предельной теоремы, который показывает, как будет выглядеть распределение экстремальных величин при увеличении числа наблюдений.

В работах [76 – 79] обоснованно применение комбинации техники графического статистического анализа – квантиль-квантиль диаграмм и методов, базирующихся на теории вероятности экстремальных величин, для прогнозирования рисков различной природы. Идея построения квантиль-квантиль графиков или диаграмм основана на факте, что для основных классов распределений оценочные квантили линейно связаны с соответствующими стандартными квантилями из этого класса распределений. Использование

графической техники статистического анализа устраняет многие присущие классическим статистическим методам недостатки, связанные с явным или неявным принятием гипотезы о нормальности закона распределения, а также вариативности получаемых результатов, связанных с выбором длины интервала и начальной точки деления при классической статистической попытке получить какую-то «наблюденную» плотность распределения. Путь, свободный от этой неоднозначности, состоит в замене интервалов равной длины интервалами равной вероятности, откуда вытекают методы сравнения, основанные на сопоставлении каждого индивидуального наблюдения (эмпирическое распределение) с соответствующей теоретической величиной (теоретическое распределение), лежащие в основе графической техники статистического анализа. Еще одно несомненное ее преимущество – простота: выбор закона распределения часто может быть осуществлен простой визуальной проверкой или посредством построения линии регрессии с определением коэффициента детерминации, по которому можно судить о близости эмпирического распределения к теоретическому распределению и возможности применения полученного регрессионного уравнения на практике с использованием шкалы Чеддока.

Следующим преимуществом использования графической техники построения квантиль диаграмм является возможность получения достоверных статистических оценок на малых выборках данных, порядка 10–20 значений. В этом заключаются ее высокая эффективность и прогностическая результативность [76 – 79].

В работе [7] отражены возможности применения описанного выше подхода в сочетании с моделями актуарной математики для анализа договоров страхования, такими как модели коллективного риска и деления риска. Предлагаемая методология главным образом нацелена на решение задач определения страхователем корпоративных требований к страховым премиям, страховым суммам, лимитам ответственности, уровню собственного удержания и связанному с ним виду и величине франшизы для имущественного

страхования, однако можно предположить возможность адаптации данного подхода в сочетании с EML-методологией к определению параметров страхования экологических рисков.

Итак, резюмируя вышесказанное, можно предположить замысел решения задачи совершенствования методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков, возникающих при авариях на ЛЧМГ, заключающийся в применении комбинации различных методов оценки экологического риска:

с одной стороны, вероятно-статистического метода на основе графического статистического анализа в виде квантиль-квантиль диаграмм и теории вероятности экстремальных величин, позволяющего работать с малыми выборками,

а с другой – детерминированного метода расчета экологического риска с помощью методического аппарата, применяемого в ПАО «Газпром», позволяющего нивелировать ограниченность данных.

ВЫВОДЫ ПО ПЕРВОЙ ГЛАВЕ

1) ЧС, обусловленные авариями на ЛЧМГ, могут сопровождаться существенными экологическими ущербами. Анализ научной литературы в области безопасности в ЧС и управления рисками в газовой отрасли показал, что страхование может быть отнесено к экономическим механизмам предупреждения ЧС и является одним из методов управления риском ЧС, с помощью которого обосновываются критерии и приемлемые уровни риска с использованием научного аппарата прогнозирования техногенных опасностей, рисков возникновения ЧС, их последствий и оценки ущерба.

Поэтому научное обоснование методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков ЧС, обусловленных авариями на

ЛЧМГ, соответствует пунктам 5 и 8 Паспорта специальности 05.26.02 «Безопасность в чрезвычайных ситуациях (по отраслям)».

2) Дано понятие аварийных экологических рисков ЧС, под которыми в работе понимаются риски ЧС, связанные с внезапным загрязнением окружающей среды в результате аварии на ОПО.

3) При анализе существующей практики страхования экологических рисков в газовой отрасли в России выявлено, что наибольшая результативность данного вида страхования достигается только при обоюдном соблюдении интересов страхователя и страховщика за счёт адекватной оценки размера страховых параметров, что позволяет обеспечить максимальное смягчение последствий реализации возможных экологических рисков. Для решения этой задачи необходимо применение по возможности более точных и достоверных методов анализа и оценки рисков, позволяющих надежно прогнозировать вероятность возникновения, вид и размер ущерба окружающей среде.

4) Анализ существующих методик оценки экологических рисков, обусловленных авариями на ЛЧМГ, выявил наличие противоречия между потребностью страхователя в условиях малой статистики и ограниченности данных по экологическим ущербам устанавливать оптимальные параметры страховой защиты, с одной стороны, и возможностями существующих подходов и разрозненных методик по их определению, с другой стороны.

5) Для разрешения указанного противоречия автором выдвинута идея применения комбинации детерминированного и вероятностного подходов при решении задачи совершенствования для целей страхования методики анализа и оценки экологического риска ЧС. Это позволит повысить обоснованность прогноза величины экологического риска. В развитие выдвинутой идеи автором обоснована структура методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС в условиях недостаточности статистической информации применительно к авариям на ЛЧМГ.

ГЛАВА 2 ОБОСНОВАНИЕ ПОЛОЖЕНИЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРАХОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ ТЕХНОГЕННЫХ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ В УСЛОВИЯХ ОГРАНИЧЕННОСТИ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К АВАРИЯМ НА ЛИНЕЙНОЙ ЧАСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ

В главе 1 автором был обоснован методический подход к определению ключевых параметров страхования экологических рисков в условиях недостаточности статистической информации, основанный на сочетании детерминированного и вероятностного методов. Этот методический подход может быть с успехом применен к различным видам рисков техногенных ЧС при разработке методик определения ключевых параметров страхования для соответствующих видов рисков.

В связи с тем, что границами настоящего диссертационного исследования являются экологические риски ЧС, обусловленные авариями на ЛЧМГ с нанесением внезапного ущерба компонентам природной среды, предложенный автором методический подход был положен в основу разработки методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС применительно к авариям на линейной части магистральных газопроводов.

2.1. Структура методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков и состав исходных данных

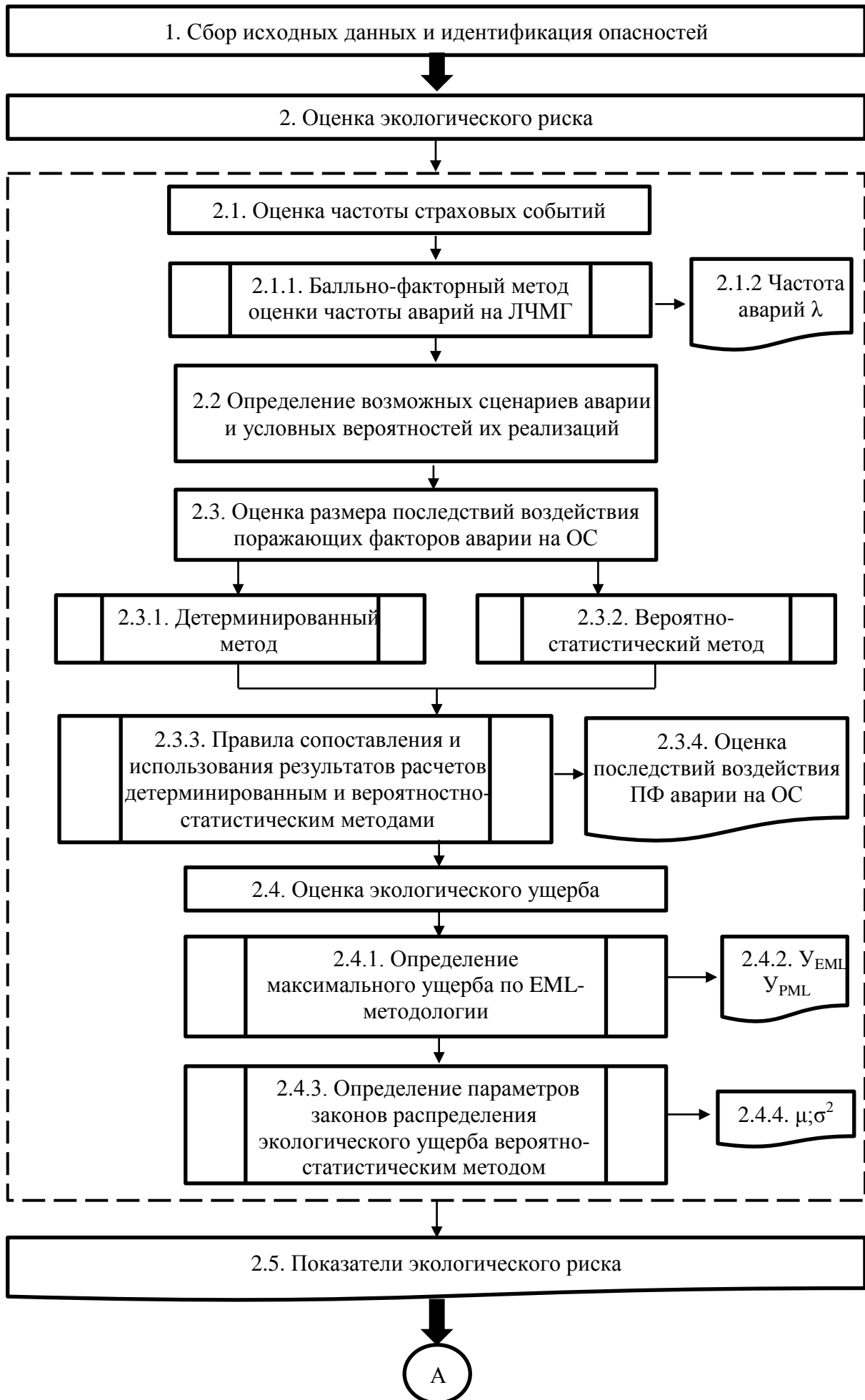
Назначением методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков ЧС, обусловленных авариями на ЛЧМГ, является установление оптимальных (с точки зрения страхователя) требований по параметрам страхового покрытия и ограничений по тарифам при выходе

страхователя на страховой рынок посредством организации конкурсных процедур.

Для решения поставленной задачи необходимо:

- 1) оценить экологический риск, возникающий при авариях на ЛЧМГ;
- 2) провести актуарные расчеты для определения параметров страхового покрытия, требований по виду и размеру франшизы, значений страховой премии и страхового тарифа.

Структура методики представлена на рисунке 2.1, обозначения фигур аналогично рисунку 1.4.



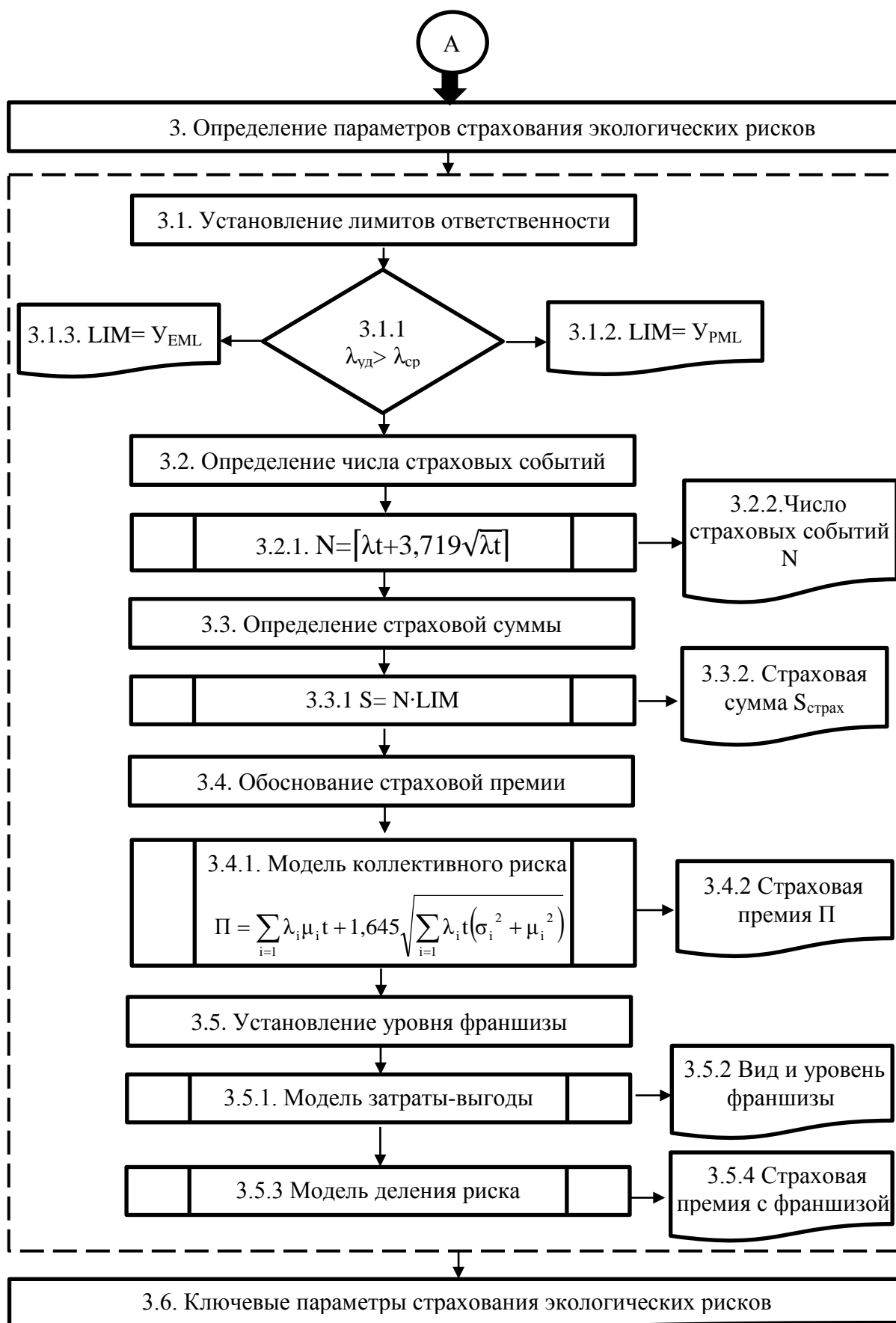


Рисунок 2.1 - Структура методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков ЧС, обусловленных авариями на ЛЧМГ

2.2. Сбор исходных данных и идентификация опасностей

Основными исходными данными для расчетов являются:

- 1) конструктивно-технологические параметры газопровода (диаметр (D), давление газа (P), температура газа, протяженность между компрессорными станциями (далее – КС), расстановка линейных и охранных кранов и др.)
- 2) доступная статистическая информация по авариям на газопроводах (размеры зон распространения поражающих факторов, количества выброшенного в атмосферу газа, размер ущерба);
- 3) данные об имевших место авариях на газопроводе;
- 4) план трассы газопровода с прилегающей территорией;
- 5) описание природно-климатических зон района расположения газопровода;
- 6) описание и основные характеристики лесных угодий и типов почвы вдоль трассы газопровода;
- 7) характеристики грунтов (коррозионные, механические, мерзлотные и др.) вдоль трассы газопровода;
- 8) общие сведения об эксплуатирующей (или намеченной к роли таковой – для проектируемых МГ) организации;
- 9) перечень и характеристики подземных переходов газопровода через дороги (автомобильные и железные);
- 10) сведения об идущих параллельно газопроводу авто- и железных дорогах, инженерных коммуникациях;
- 11) перечень и характеристики подводных переходов газопровода;
- 12) перечень и характеристики воздушных переходов газопровода;
- 13) перечень пересечений газопровода с инженерными коммуникациями;
- 14) данные о размещении и численности населения близлежащих населенных пунктов.

При анализе риска аварий на ЛЧМГ в качестве источника опасности идентифицируется непосредственно газопровод, по которому производится

транспортировка опасного вещества – природного газа. Процедура идентификации в данном случае заключается в определении опасных свойств транспортируемого газа, перечислении возможных физических проявлений аварии на МГ и определении возможных причин аварий на МГ [60].

В качестве аварии на ЛЧМГ принимаем разрыв газопровода в результате его разгерметизации (исходное событие) на полное сечение с выбросом природного газа в окружающую среду с воспламенением или без воспламенения. Такая трактовка аварии обусловлена особенностями разгерметизации и разрушения МГ высокого давления. Для МГ существует критический размер сквозной трещины по образующей трубы, составляющий примерно $1/4$ диаметра МГ, при превышении которого происходит, как правило, ее дальнейший самопроизвольный рост и возникновение протяженного (от нескольких десятков до ста и более метров) разрыва, который однозначно идентифицируется как авария [80]. Если длина трещины меньше критической, то вероятнее всего образование свища, который не представляет серьезной угрозы для реципиентов, и, следовательно, не подпадает под данное понимание аварии.

Основными физическими проявлениями аварии на ЛЧМГ являются:

разрыв газопровода без воспламенения газа, истекающего в виде свободной(ых) высокоскоростной(ых) струи(й) из концов разрушенного МГ или низкоскоростного шлейфа из грунтового котлована;

разрыв газопровода с воспламенением газа и образованием струевых пламен или колонного пожара в грунтовом котловане.

К основным факторам, обуславливающими специфичность возникновения и развития аварий на линейной части МГ (в отличие от других опасных производственных объектов), относятся [60, 81]:

наличие высоких механических напряжений в конструктивных элементах МГ, поэтому даже относительно незначительные отклонения действительных условий от принятых за исходные в проектных расчетах могут привести систему в предельное состояние;

непосредственный контакт МГ с природной средой, чем обусловлена более высокая степень их уязвимости от агрессивных воздействий с ее стороны по сравнению с другими технологическими объектами;

наличие сложных по условиям строительства и труднодоступных участков трасс МГ, что предопределяет возможность появления дефектов уже при транспортировке труб к месту и в ходе строительно-монтажных работ и обуславливает трудности при проведении профилактических работ и ремонтов;

высокая производительность и значительная протяженность (объем) отдельных секций МГ (между линейными кранами), что объективно обуславливает в случае аварии выброс за короткий промежуток времени в окружающую среду больших количеств взрывопожароопасного газа;

прохождение трасс МГ зачастую по территориям с высокой плотностью населения и интенсивной хозяйственной деятельностью, доступность охранных зон, с одной стороны, повышают вероятность аварий на МГ в результате антропогенных воздействий (т.е. повреждений МГ различного рода землеройной техникой и в результате актов вандализма), а с другой, – увеличивает вероятность возникновения социального и материального ущерба в случае аварии.

Аварии на МГ происходят по различным причинам, определяемым источником негативного воздействия на МГ (или инициирующим событием) и механизмом этого воздействия, приводящего к разгерметизации трубопровода. Согласно статистике, в качестве таких источников и механизмов фигурируют в основном следующие:

коррозионное растрескивание под напряжением (стресс-коррозия), подземная и атмосферная коррозия;

механические повреждения (строительной техникой, бурильным оборудованием, якорями судов, в результате взрывных работ, актов вандализма и т.п.);

дефекты труб, оборудования и материалов во время их изготовления, транспортировки и СМР;

внутренняя коррозия и эрозия;
циклические нагрузки, приводящие к усталостному разрушению;
природные факторы (подвижки грунта в результате оседания, размыва, морозного пучения и др. процессов, эффекты растепления многолетнемерзлых грунтов, обводнение траншей) [60, 81, 82].

Многообразие причин и факторов, влияющих на возникновение аварийной ситуации должно учитываться при оценке аварийности газопровода.

Выходным результатом данного этапа является описание объекта страхования – магистрального газопровода (технологические параметры, природно-климатические зоны и др.) с учетом возможного разделения его на участки (например, по участкам между компрессорными станциями или по природным ландшафтам).

2.3. Оценка экологического риска, возникающего при авариях на линейной части магистральных газопроводах

2.3.1. Оценка частоты страховых событий

В диссертации количество страховых случаев, то есть аварий на МГ, рассматривается как случайная величина. В соответствии с работами [58, 60, 83] поток числа аварий может быть описан с помощью закона распределения Пуассона

$$p_n(t) = \exp(-\lambda t) \cdot \frac{(\lambda t)^n}{n!}, \quad (2.1)$$

где: $\lambda \geq 0$ – параметр, показывающий среднее количество событий, имеющих признаки страхового случая, предъявляемых за единичный интервал времени (например, год).

Для описания случайной величины «количество аварий» необходимо определить ожидаемую частоту аварий на ЛЧМГ в год.

При оценке ожидаемых частот аварий на ЛЧМГ следует учитывать: статистические данные по количеству, частоте и причинам аварий на газопроводах с разными технико-технологическими параметрами;

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

Исходя из этого определение частоты аварий будем основывать на методике МЭОЧАГаз [58, 60], предназначенной для прогнозирования аварийности (определения ожидаемой частоты аварий) на произвольном участке газопровода конечной длины, характеризующемся конкретным набором факторов и условий эксплуатации (природно-климатических, антропогенных, технико-технологических), с учетом влияния этих факторов на вероятность нарушения целостности газопровода (фигура 2.1.1).

Для решения задачи прогнозирования в методике МЭОЧАГаз используется принцип корректировки среднестатистической удельной частоты аварий на линейной части газопроводов с помощью специально выстроенной системы факторов влияния, их весовых коэффициентов и балльных оценок. Методика МЭОЧАГаз оперирует совокупностью наиболее значимых факторов, влияющих на вероятность нарушения целостности газопровода, которая разделена на семь групп (таблица 2.1).

Каждая группа FG_i состоит из определенного числа $J(i)$ факторов влияния. Каждая группа FG_i и каждый фактор F_{ij} внутри i -ой группы (j -номер фактора в данной группе) характеризуются определенными относительными «вкладами» в аварийность МГ (долями влияния), учитываемыми с помощью соответствующих весовых коэффициентов p_i и q_{ij} (приложение А).

Таблица 2.1 – Учитываемые группы факторов влияния в методике МЭОЧАГаз

№	Обозначение группы (FGi)	Наименование группы факторов влияния	Доля влияния (весовой коэффициент) группы, p_i
1	FG1	Возможные механические воздействия третьих лиц	0,14
2	FG2	Наружная коррозия (без учета коррозии под напряжением)	0,06
3	FG3	Коррозия под напряжением (КРН)	0,37
4	FG4	Качество производства труб и оборудования	0,12
5	FG5	Качество строительно-монтажных работ	0,20
6	FG6	Природные воздействия	0,06
7	FG7	Уровень технической эксплуатации	0,05
Итого			1,00

С целью унифицированного и формализованного подхода к учету влияния разнородных факторов на ожидаемую частоту аварий на МГ диапазоны изменений «натуральных» значений различных факторов трансформируются в единую 10-балльную шкалу. При этом 0 баллов соответствуют наилучшему для газопровода влиянию со стороны данного фактора, то есть наименьшей вероятности нарушения его целостности, а 10 баллов соответствуют наихудшему для газопровода влиянию – наибольшей вероятности нарушения его целостности. Промежуточные балльные значения соответствуют каким-либо промежуточным уровням вероятности нарушения целостности МГ на рассматриваемом участке.

Перевод «натуральных шкал» в единую 10-балльную шкалу осуществляется с помощью специально вводимых балльно-факторных функций $V_{ij} = \phi_{ij}(F_{ij})$ (где V_{ij} – число баллов), трансформирующих «натуральные» значения фактора влияния F_{ij} (или его подфактора) во всем диапазоне изменения этих значений в соответствующие балльные оценки. Данные функции определены экспертным методом с опорой на результаты анализа данных по аварийности МГ и заданы в виде формул, графиков или таблиц в зависимости от вида конкретного фактора (подфактора) влияния.

Центральный постулат методики МЭОЧАГаз заключается в том, что для рассматриваемого n-ого участка трассы газопровода определяется значение общего коэффициента влияния ($k_{вл}$), показывающего, во сколько раз ожидаемая частота аварий на этом участке отличается от среднестатистической частоты аварий на участках МГ ПАО «Газпром».

Ожидаемая частота аварий на n-ом участке трассы определяется как

$$\lambda = \lambda_{\text{ср}} \cdot k_{\text{вл}} \cdot L = \lambda_{\text{ср}} \cdot k_{\text{рег}} \cdot k_{\text{возр}} \cdot k_{\text{кат}} \cdot \frac{B_n}{B_{\text{ср}}} \cdot L, \quad (2.2)$$

где: $\lambda_{\text{ср}}$ – среднестатистическая частота аварий на МГ ПАО «Газпром»;

$k_{\text{вл}}$ – общий коэффициент влияния;

$k_{\text{рег}}$ – региональный коэффициент влияния;

$k_{\text{возр}}$ – «возрастной» коэффициент влияния;

$k_{\text{кат}}$ – «категорийный» коэффициент влияния;

B_n – итоговая балльная оценка рассматриваемого участка МГ;

$B_{\text{ср}}$ – балльная оценка гипотетического среднестатистического участка газопровода ПАО «Газпром»;

L – длина n-го участка газопровода.

Региональный коэффициент $k_{\text{рег}}$ отражает влияние на ожидаемую частоту аварий глобальных природно-климатических факторов, а также социально-экономических региональных факторов, давая возможность учесть влияние на аварийность завуалированных, труднораспознаваемых причин. Значения регионального коэффициента определены на основании анализа статистических данных по аварийности газопроводов, расположенных в разных регионах. Значения $k_{\text{рег}}$ для анализируемого участка газопровода следует выбирать непосредственно из таблицы 2.2 в зависимости от региона, в котором этот участок расположен.

Таблица 2.2 – Значения регионального коэффициента

Наименование региона	Северный	Центральный	Южный
Значение $k_{\text{рег}}$	1,13	0,81	1,23

«Возрастной» коэффициент $k_{\text{возр}}$ отражает влияние на ожидаемую частоту аварий продолжительности эксплуатации (возраста) рассматриваемого участка МГ. Значения «возрастного» коэффициента определены на основании анализа статистических данных по аварийности газопроводов с разными сроками эксплуатации. Значения $k_{\text{возр}}$ для анализируемого участка газопровода следует выбирать непосредственно из таблицы 2.3 в зависимости от «возраста» участка, отсчитываемого либо от даты ввода МГ в эксплуатацию (если он не подвергался капитальному ремонту), либо от даты завершения последнего капремонта участка МГ с заменой труб.

Таблица 2.3 – Значения «возрастного» коэффициента

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

«Категорийный» коэффициент $k_{\text{кат}}$ отражает влияние на ожидаемую частоту аварий категорийности участка МГ (по СНиП 2.05.06-85), которая связана с толщиной стенки газопровода. Чем выше категория участка газопровода (от IV к V), тем больше толщина стенки трубы (при прочих равных условиях) и выше запас прочности МГ. Значения «категорийного» коэффициента определены на основании анализа статистических данных по аварийности газопроводов разных категорий. Значения $k_{\text{кат}}$ для анализируемого участка газопровода следует выбирать непосредственно из таблицы 2.4 в зависимости от категории участка МГ.

Таблица 2.4 –Значения «категорийного» коэффициента

Категория участка МГ	V	I	II	III	IV
Значение $k_{кат}$	0,7	0,75	0,85	0,9	1,13

Локальный коэффициент влияния (отношение $V_n/V_{ср}$ в формуле (2.2)) учитывает влияние на вероятность нарушения целостности МГ всех конкретных местных факторов, действующих на анализируемом участке

Числитель V_n указанной дроби – это итоговая фактическая балльная оценка рассматриваемого участка МГ, то есть расчетная величина, представляющая собой сумму всех взвешенных с помощью весовых коэффициентов p_{ij} и q_{ij} балльных оценок конкретных «натуральных» значений факторов, действующих на участке.

Значение V_n определяется по формуле

$$V_n = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{J(i)} p_i \cdot q_{ij} \cdot B_{ij} \quad (2.3)$$

Знаменатель $V_{ср}$ – балльная оценка среднестатистического участка МГ ПАО «Газпром» Эти суммарные средние балльные оценки являются величинами постоянными, определенными через балльные оценки средних значений $B_{ij-ср}$ каждого фактора влияния. Величина $V_{ср}$ имеет значение 3,74 балла [58].

Таким образом, следуя вышеуказанным рекомендациям, получаем значение удельной частоты аварии ($\lambda_{уд}$) и ожидаемой частоты аварии (λ) на МГ в год и на каждом участке МГ (с учетом их длин) (фигура 2.1.2).

2.3.2. Определение возможных сценариев развития аварии и условных вероятностей их реализации

Применительно к ЛЧМГ сценарий аварии в обобщенном виде кратко описывается следующим образом: разгерметизация трубопровода с выбросом (истечением) природного газа в окружающую среду → взаимодействие потока

газа с компонентами окружающей среды и его физико-химические трансформации (физическое проявление аварии) → воздействие поражающих факторов на реципиенты → поражение реципиентов.

Возможные сценарии развития аварии на МГ подробно изложены в работах [2, 47, 60, 61, 83].

Наиболее значимые факторы, определяющие пути развития аварии на МГ и реализацию различных ее исходов (физических проявлений), приведены в таблице 2.5 [60, 82].

Таблица 2.5 - Факторы, определяющие исход аварии на газопроводе

Фактор	Характер влияния
Несущая способность грунта	Определяет вероятность реализации следующих исходов: 1) истечение газа в виде двух независимых струй из концов разрушенного трубопровода 2) истечение газа в виде «колонного» шлейфа из котлована, образовавшегося в результате разрушения МГ.
Состав грунта (содержание каменистых включений)	Влияет на вероятность воспламенения в момент разгерметизации МГ истекающего из разрыва газа
Наличие и распределение источников зажигания на прилегающей территории	Влияет на вероятность и момент времени воспламенения истекающего из МГ газа

Несущая способность грунта определяет характерные вариации формы истечения газа в атмосферу при разрыве подземных МГ, что существенно сказывается на характере рассеивания газа в атмосфере, а при воспламенении газоздушной смеси – и на характере горения. В случае аварии на МГ, проложенном в слабом грунте (торфяник, зона болот, песок), аварийное истечение газа вероятнее всего будет происходить в критическом режиме в виде двух свободных, т.е. невзаимодействующих струй [47, 60, 61, 83].

Если авария на подземном МГ имеет место на участке грунта с нормальной несущей способностью (глина, глинистые сланцы, галечниковый грунт, супесь с включениями гравия и гальки), то здесь более вероятно

истечение двух струй газа вдоль траншеи (котлована) навстречу друг другу. Направление потока будет зависеть от профиля образовавшейся траншеи, времени и факта срабатывания отсечных устройств, соотношения аккумулированных масс газа со стороны «высокого» и «низкого» давления и ряда других факторов [47, 60, 61, 83].

В случае воспламенения газа сразу после разрыва МГ характер горения в значительной мере будет определяться вышеописанными альтернативами разрушения трубы и истечения газа. В первом случае будут иметь место две высокоскоростные струи пламени, настильные или с некоторым углом наклона к горизонту. Во втором случае можно ожидать пожар «колонного» типа в виде близкого к вертикальному столбу пламени (так называемого, «рассеянного» факела, близкого по своим характеристикам к диффузионному пламени). Источниками зажигания при разрыве МГ могут послужить, прежде всего, фрикционные искры, образующиеся при динамическом воздействии высокоскоростной струи на грунт и воздушно-эрозионном разрушении траншеи с выбросом частичек грунта в поток газа, а также – искры, возникающие при соударении фрагментов разрушенного МГ. В связи с этим большое значение при «формировании» исхода аварии на подземном МГ имеет состав грунта, влияющий на вероятность загорания газа. В торфяниках, песках, сильнольдистых структурах вероятность воспламенения значительно ниже, чем в глинах, галечниковых грунтах и грунтах с каменистыми включениями [47, 60, 61, 83]. От наличия случайных или постоянных источников зажигания на территории, прилегающей к месту потенциальной аварии на МГ, зависит возможность реализации исхода, связанного с задержанным возгоранием струи газа с концентрацией в воздухе, находящейся в пределах воспламенения. Этот исход аварии более вероятен на надземных участках МГ, в частности на входе и выходе из КС.

В соответствии с указанными типами физических проявлений аварии на ЛЧМГ при анализе рисков рекомендуется учитывать следующие 4 группы сценариев (таблица 2.6) [2, 47].

Таблица 2.6 - Сценарии аварий на ЛЧМГ

Обозначение и название группы	Группа сценариев (типовая последовательность событий)	Поражающие факторы
1	2	3
С ₁ «Пожар в котловане» («Пожар колонного типа»)	Разрыв газопровода → образование котлована в грунте (как правило, в нормальных («твердых») грунтах) → образование первичной волны сжатия за счет расширения компримированного газа в атмосфере воздушной волны сжатия → разлет осколков трубы и фрагментов грунта → истечение газа из котлована в виде «колонного» шлейфа → воспламенение истекающего газа с образованием «столба» пламени в форме, близкой к цилиндрической → образование при воспламенении газа вторичной, незначительной по поражающему воздействию, воздушная волна сжатия (далее – ВВС) → попадание людей, сооружений, оборудования ЛЧМГ, транспорта, растительности в зону радиационного термического воздействия от пожара → гибель или получение людьми ожогов различной степени тяжести, а также травм от воздействия ВВС, осколков; уничтожение или повреждение перечисленных выше материальных объектов и элементов природной среды; загрязнение атмосферы продуктами сгорания.	Разлет осколков, ВВС, тепловое излучение от пламени, токсичные продукты сгорания
С ₂ «Струевые пламена»	Разрыв газопровода → «вырывание» плетей разрушенного газопровода из грунта на поверхность (как правило, «в слабонесущих» грунтах) → образование первичной ВВС → разлет осколков трубы и фрагментов грунта → истечение газа из газопровода в виде двух независимых высокоскоростных струй → воспламенение истекающего газа с образованием двух струй пламени, горизонтальных или наклонных (вверх) → образование при воспламенении газа вторичной, незначительной по поражающему воздействию, ВВС → попадание людей, сооружений, оборудования ЛЧМГ, транспорта, растительности в зону прямого или радиационного термического воздействия от пожара → гибель или получение людьми ожогов различной степени тяжести, а также травм, осколков; уничтожение или повреждение перечисленных выше материальных объектов и элементов природной среды; загрязнение атмосферы продуктами сгорания.	Разлет осколков, ВВС, скоростной напор струи, прямое воздействие пламени, тепловое излучение от пламени, токсичные продукты сгорания
С ₃ «Рассеивание низко-скоростного шлейфа газа»	Разрыв газопровода → образование котлована в грунте (как правило, в нормальных («твердых») грунтах) → образование ВВС → разлет осколков трубы и фрагментов грунта → истечение газа из газопровода в виде колонного шлейфа → рассеивание истекающего без воспламенения → попадание людей, сооружений, оборудования ЛЧМГ, транспорта в зону барического воздействия или газового облака → получение людьми травм и повреждение указанных выше материальных объектов в результате воздействия ВВС и/или скоростного напора струи и/или	Разлет осколков, ВВС, попадание природного газа в атмосферу

Обозначение и название группы	Группа сценариев (типичная последовательность событий)	Поражающие факторы
1	2	3
	осколков; асфиксия людей при попадании в газовое облако; загрязнение атмосферы природным газом.	
С ₄ «Рассеивание двух струй газа»	Разрыв газопровода → вырывание плетей разрушенного газопровода из грунта на поверхность (как правило, в «слабонесущих» грунтах) → образование ВВС → разлет осколков трубы и фрагментов грунта → истечение газа из газопровода в виде двух свободных независимых струй → рассеивание истекающего газа без воспламенения → попадание людей, сооружений, оборудования ЛЧМГ, транспорта в зону барического, осколочного воздействия или газового облака → получение людьми травм и повреждение указанных выше материальных объектов в результате воздействия ударной волны и/или скоростного напора струи и/или осколков; асфиксия людей при попадании в газовое облако; загрязнение атмосферы природным газом.	Разлет осколков, ВВС, скоростной напор струи, попадание природного газа в атмосферу

С точки зрения причинения вреда окружающей среде для целей страхования можно ограничиться рассмотрением двух вариантов развития аварии в качестве основных:

аварии с возгоранием природного газа - «пожар в котловане». Основными поражающими факторами являются тепловое излучение и токсичные продукты сгорания, а вред окружающей среде ущербом определяется платами за выбросы в атмосферный воздух продуктов сгорания газа, повреждение лесных насаждений, деградации почвы;

аварии без возгорания природного газа. Поражающий фактор – попадание природного газа в атмосферу. Соответственно наибольший размер вреда определяется платой за выброс метана как парникового газа [61].

Выбор сценария аварии во многом определяется компонентами природного ландшафта по трассе МГ. Например, для лесных ландшафтов наибольший ущерб будет наблюдаться в случае сценария с возгоранием природного газа, а для степного со скудной растительностью – сценария аварии без возгорания природного газа.

Определение условных вероятней реализация сценариев аварии сводится к определению вероятности возникновения возгорания газа. В таблице 2.7

приведены рекомендуемые базовые значения статистических условных вероятностей загорания/незагорания газа в зависимости от диаметра трубы.

Таблица 2.7 – Вероятность загорания/незагорания при аварии на ЛЧМГ

Dy, мм	Условная вероятность $P(B A)$ загорания газа	Условная вероятность $P(\bar{B} A)$ незагорания газа
1 400	0,72	0,28
1 200	0,74	0,26
1 000	0,6	0,4
700	0,5	0,5
500	0,3	0,7
300 и менее	0,1	0,9

Указанные базовые значения вероятностей загорания/незагорания газа рекомендуется корректировать с помощью коэффициента $k_{\text{заг}}$, зависящего от имеющего конкретного типа грунта, количества каменистых включений в нем, способных при соударении в потоке газа воспламенить газ [47]:

$$P_1 = k_{\text{заг}} \cdot P(B|A) \quad , \quad (2.4)$$

$$P_2 = 1 - k_{\text{заг}} \cdot P(B|A) \quad , \quad (2.5)$$

где: $k_{\text{заг}}=1,3$ – для грунтов с каменистыми включениями;

$k_{\text{заг}}=1,2$ – для глин;

$k_{\text{заг}}=1,0$ – для суглинков;

$k_{\text{заг}}=0,7$ – для торфяников, льдистых структур, песков.

Таким образом, приведенные выше положения и расчетные выражения позволяют осуществить уточнение данных по последствиям аварии для страхования, которые в дальнейшем используются в качестве исходной информации при оценке размера последствий воздействия ПФ аварии на окружающую среду (фигура 2.3).

2.3.3. Оценка размера последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду

Для оценки размеров негативных последствий от поражающих факторов (далее – ПФ) аварии необходимо определить объемы выброшенного газа в атмосферу – для аварии без возгорания газа или количество продуктов его горения и размеры зон тепловой радиации, приводящие к повреждению лесного фонда и почвы – для аварии с возгоранием газа.

Конкретная реализация сценария аварии может определяться рядом факторов, проклассифицированных в таблице 2.8 в соответствии с их влиянием на характер поступления газа в атмосферу и на особенности распространения опасных веществ в окружающей среде [2, 47, 61].

Таблица 2.8 - Факторы, определяющие сценарии аварии на ЛЧМГ

Фактор	Характер влияния
Факторы, влияющие на интенсивность аварийного выброса	
Расположение места аварии относительно КС и линейных запорных кранов	Влияет на интенсивность и продолжительность истечения газа из концов разорвавшегося МГ
Давление и диаметр в месте разрыва до аварии	Определяет интенсивность истечения газа, величину избыточного давления при расширении сжатого газа
Время от момента разгерметизации до перекрытия аварийной секции (время идентификации аварии + время на принятие решений и закрытия линейных (охранных) кранов)	Влияет на продолжительность аварийного истечения газа
Степень оперативности и грамотности действий персонала и аварийных спецслужб по локализации аварии и зон ее воздействия	Влияют на продолжительность аварии, ход ее развития и размеры зон негативных воздействий
Факторы, определяющие состояние окружающей среды до аварии	
Метеорологические факторы: скорость и направление ветра, класс стабильности атмосферы, влажность воздуха	Определяют различные варианты дисперсии газа, задают угол и направление наклона пламени; влажность воздуха определяет проницаемость атмосферы для теплового излучения
Факторы, определяющие состояние окружающей среды после аварии	
Наличие или отсутствие возгорания газа при аварии	Определяет составляющие вреда окружающей среде при аварии
Наличие или отсутствие вторичного пожара с его распространением за пределы зоны теплового воздействия аварии	Определяют контуры пожара и пройденные огнем площади лесных угодий

Часть перечисленных факторов являются детерминированными, поскольку связаны с конкретными местными условиями, существующими на анализируемом МГ – например, давление и диаметр в месте разрыва до аварии. Однако большая часть факторов является случайными величинами, к ним, относятся: угол и направление наклона пламени пожара, время перекрытия линейных кранов и т.п. Возможные комбинации именно этих факторов определяют многообразие сценариев аварий в составе той или иной группы. То есть, по сути, размеры последствий воздействия ПФ аварии являются случайными величинами.

Поэтому для повышения обоснованности прогноза размеров последствий от аварии автором предложено применение комбинации детерминированного и вероятностного подходов следующим образом:

- 1) произвести расчет размеров последствий от аварии детерминированным методом, задавая значения из массива фиксированных исходных данных, описывающих рассматриваемый МГ;
- 2) на основе имеющихся статических данных об авариях на МГ описать случайные величины «площадь поражения леса», «площадь деградации почвы» и «масса выброшенного газа» соответствующими законами (функциями) распределения;
- 3) сопоставить полученные результаты по определенным правилам.

2.3.3.1. Детерминированный метод

В основу математического аппарат прогнозирования объемов выбросов загрязняющих веществ для целей экологического страхования положены документы [47, 60, 61, 84].

Масса выбрасываемого в атмосферу газа для прогнозной оценки ущерба определяется на однопунктном заглубленном магистральном газопроводе в результате аварии, происходящей в середине участка между компрессорными станциями. На аварийном участке отсутствуют линейные краны или они не

могут быть закрыты. Время закрытия стационарных охранных кранов на компрессорных станциях включает в себя время идентификации аварии оператором, время принятия им решения об отключении компрессорной станции и время закрытия охранного клапана. До своего отключения верхняя компрессорная станция подает в аварийный участок магистрального газопровода дополнительную массу газа, а нижняя компрессорная станция отбирает из аварийного участка газ. Теплообмен между газом и окружающей средой отсутствует, температура газа на всем протяжении аварийного участка принимается постоянной и равной температуре почвы на глубине залегания газопровода. Расчетная схема приведена на рисунке 2.2

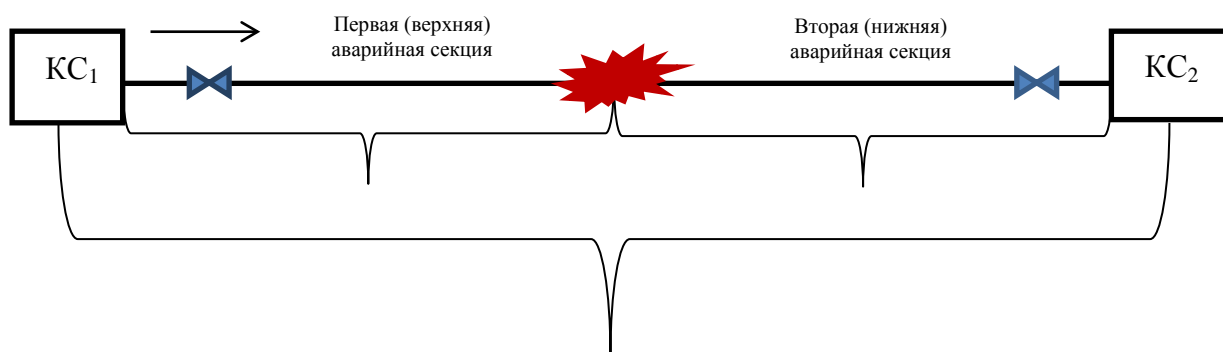


Рисунок 2.2 – Расчетная схема:

КС₁ – верхняя компрессорная станция, КС₂ – нижняя компрессорная станция,
 К₁, К₂ – стационарные охранные краны соответствующих компрессорных станций

Масса газа, выбрасываемого из первой (верхней) по ходу движения газа аварийной секции, для выбранного сценария аварии определяется по формуле

$$M_1 = \frac{7,56 \cdot 10^{-4} L d^2 P_1^{\text{ср.}}}{Z_1^{\text{ср.}} T_r} + M_{\text{КС}_1}, \quad (2.6)$$

где: L – длина аварийного участка магистрального газопровода между КС, м;

d – внутренний диаметр трубы, м;

- $P_1^{cp.}$ – среднее давление для первой (верхней) аварийной секции газопровода, Па, определяется по формуле (2.7);
- T_Γ – температура газа на выходе из КС, К, с учетом сделанного выше ограничения;
- $Z_1^{cp.}$ – коэффициент сжимаемости газа в верхнем участке газопровода до разрыва при параметрах $P_1^{cp.}, T_\Gamma$, определяется по формуле (2.9);
- $M_{КС1}$ – масса газа, которая нагнетается верхней КС в аварийную секцию до момента ее отсечения охранным клапаном, кг, определяется по формуле (2.10);
- $7,56 \cdot 10^{-4}$ – размерный коэффициент для описанного выше сценария аварии.

$$P_1^{cp.} = \frac{2}{3} \left(P_H + \frac{P_p^2}{P_H + P_p} \right), \quad (2.7)$$

где: P_H – давление газа на выходе из верхней КС, Па;

P_p – давление газа в месте разрыва, Па, определяется по формуле

$$P_p = \sqrt{P_H^2 - 0,5 (P_H^2 - P_K^2)}, \quad (2.8)$$

где: P_H – давление газа на выходе из верхней КС, Па;

P_K – давление газа на входе в нижнюю КС, Па;

0,5 – коэффициент, учитывающий в описанном сценарии, что авария происходит в середине участка между КС.

$$Z_{1(2)}^{cp.} = 1 + A_1 P_{пр.} + A_2 P_{пр.}^2, \quad (2.9)$$

где:

$$A_1 = -0,39 + \frac{2,03}{T_{пр.}} - \frac{3,16}{T_{пр.}^2} + \frac{1,09}{T_{пр.}^3} \dots,$$

$$A_2 = 0,0423 - \frac{0,1812}{T_{пр.}} + \frac{0,2124}{T_{пр.}^2},$$

$$P_{пр.} = \frac{P_{1(2)}^{cp.}}{T_{ПК}}; \quad T_{пр.} = \frac{T_\Gamma}{T_{ПК}},$$

$$P_{ПК} = \sum_{i=1}^n x_i P_{кр.i}; \quad T_{ПК} = \sum_{i=1}^n x_i T_{кр.i},$$

где: x_i – доля i -го компонента газовой смеси;
 $P_{кр.i}$ критические значения давления и температуры i -го компонента газовой смеси, определяемые по [85];
 $T_{кр.i}$ – температуры критические значения давления и температуры i -го компонента газовой смеси, определяемые по [85];
 n – количество компонентов газовой смеси.

$$M_{КС_{1(2)}} = \frac{\rho Q}{86400} t_{1(2)}, \quad (2.10)$$

где: ρ – плотность газа при стандартных условиях, кг/м^3 (для метана - $0,668 \text{ кг/м}^3$);
 Q – производительность газопровода в нормальном режиме его эксплуатации, $\text{м}^3/\text{сут.}$;
 $t_{1(2)}$ – время закрытия стационарного охранного клапана на первой (второй) аварийной секции, с.

Масса газа, выбрасываемого из второй (нижней) по ходу движения газа аварийной секции, для выбранного сценария аварии определяется по формуле

$$M_2 = \frac{7,56 \cdot 10^{-4} L d^2 P_2^{cp}}{Z_2^{cp} T_r} - M_{КС_2}, \quad (2.11)$$

где: P_2^{cp} – среднее давление для второй аварийной секции газопровода, Па, определяется по формуле (2.12);
 Z_2^{cp} – коэффициент сжимаемости газа в нижнем участке газопровода до разрыва при параметрах P_2^{cp}, T_r , определяется по формуле (2.9);
 $M_{КС}$ – масса газа, которая отбирается нижней компрессорной станцией из аварийной секции до момента ее отсечения нижним охранным клапаном, кг., определяется по формуле (2.10).

$$P_2^{cp} = \frac{2}{3} \left(P_p + \frac{P_k^2}{P_p + P_k} \right), \quad (2.12)$$

Полная масса газа, которая может быть выброшена при выбранном сценарии аварии, определяется по формуле

$$M = M_1 + M_2. \quad (2.13)$$

Возможная масса выбросов продуктов сгорания природного газа определяется для загрязняющих веществ (несгоревшего метана (CH_4) и других углеводородов в пересчете на метан, оксида углерода (CO), оксидов азота (NO_x) в пересчете на диоксид азота (NO_2) [14, 86]) по условию

$$m_i = \begin{cases} 5 \cdot 10^{-4} M & , \text{ для } \text{CH}_4 \\ 2 \cdot 10^{-2} M & , \text{ для } \text{CO} \\ 3 \cdot 10^{-3} M & , \text{ для } \text{NO}_2 \end{cases} . \quad (2.14)$$

При определении зон тепловой радиации принимаются следующие допущения:

исполнение трассы магистрального газопровода – однопроводное;

форма (в плане) зоны уничтожения лесного массива и деградации почвы принимается в виде правильного круга (рисунок 2.3);

для консервативной оценки ущерба принят характеристический критерий в виде критического удельного теплового потока Q равного 7 кВт/м^2 и 35 кВт/м^2 , приводящих, соответственно, к полному выгоранию или повреждению деревьев до степени прекращения роста и к деградации почвы.

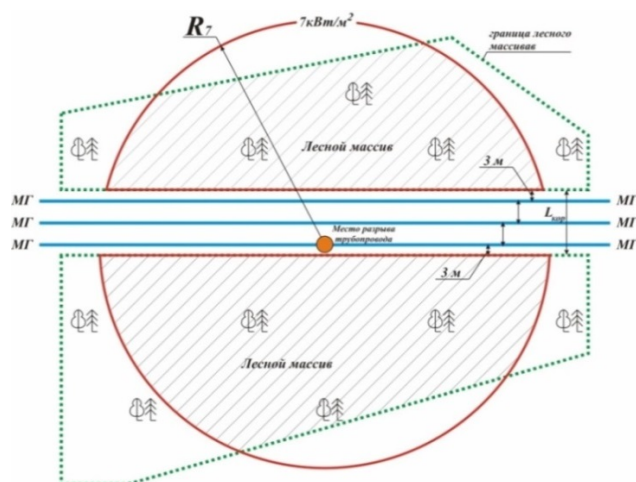


Рисунок 2.3 – К расчету площади уничтоженного огнем лесного массива при возникновении аварии с пожаром на газопроводе

В соответствии с [47, 60] автором в работе [84] были выведены формулы для упрощения расчета радиуса удельного теплового потока равного 7 кВт/м^2 и 35 кВт/м^2 :

$$R_7 = 30 (P_n d^2)^{0,52} \quad , \quad (2.15)$$

где: P_n – начальное давление в магистральном газопроводе, атм.;
 d – внутренний диаметр магистрального газопровода, м.

$$R_{35} = 36 (P_n d^2)^{0,26} \quad , \quad (2.16)$$

где: P_n – начальное давление в магистральном газопроводе, атм.;
 d – внутренний диаметр магистрального газопровода, м.

Тогда площадь уничтоженного лесного массива определяется как:

$$S_{л} = \pi R_7^2 - 2 R_7 L \quad , \quad (2.17)$$

где: L – ширина коридора МГ с учетом охранной зоны.

Соответственно, площадь деградации почвы $S_{п}$:

$$S_{п} = \pi R_{35}^2 \quad . \quad (2.18)$$

2.3.3.2. Вероятно-статистический метод

Для определения закона распределения случайных величин: «площадь повреждения леса», «площадь деградации почвы» и «масса выброшенного газа» в главе 1 обосновано использование графической техники статистического анализа с построением графиков квантилей. Исходными данными для статистического анализа могут служить значения распространения тепловой радиации при авариях на МГ с возгоранием газа, а также данные о количестве газа, выброшенного в атмосферу при любом сценарии аварии. В качестве тестовых законов распределений выступают нормальный и логнормальный законы распределения (предсказываемые центральной предельной теоремой), а также законы распределения экстремального типа – Вейбулла, Гумбеля, Парето и экспоненциальное распределение – в соответствии с результатами классической асимптотической теории экстремальных значений случайных величин.

График квантилей строится по следующему алгоритму [76-79]:

а) сначала исходные данные располагаются в порядке не убывания, получая вариационный ряд величин $X_1 \leq X_2 \leq \dots \leq X_N$;

б) вводится предположение о теоретическом распределении;

в) для выбранного теоретического распределения с использованием формул, приведенных в табл. 2.9, наблюдаемые значения случайной величины X наносятся на график;

г) по нанесенным наблюдениям с помощью классического метода наименьших квадратов вычисляются параметры линейного уравнения регрессии вида $y = a + bx$ и коэффициент детерминации, показывающий степень правдоподобия гипотезы;

д) действия б) – г) повторялись для других указанных выше распределений;

е) в качестве распределения, описывающего случайную величину, выбирается, то у которого коэффициент детерминации уравнения регрессии наибольший. С использованием шкалы Чеддока устанавливается характеристика силы корреляционной связи:

Показатели тесноты связи	0,1–0,3	0,3–0,5	0,5–0,7	0,7–0,9	0,9–0,99
Характеристика силы связи	Слабая	Умеренная	Заметная	Сильная	Очень сильная

При значениях коэффициента корреляции (тесноты связи), превышающих 0,7, зависимость результативного признака y от факторного x является высокой, а при значении более 0,9 – весьма высокой. Это в соответствии со значениями коэффициента детерминации означает, что более половины общей вариации результативного признака y объясняется влиянием изучаемого фактора x . Последнее позволяет считать оправданным применением метода функционального анализа для получения корреляционной связи, а синтезированные при этом математические модели признаются пригодными для их практического использования;

ж) с использованием формул, приведенных в табл. 2.9 определяются параметры выбранной функции распределения [76-79].

Таблица 2.9 – Формулы для нахождения параметров функции распределения

№ п/п	Функция распределения	Вид функции распределения	Формулы для построения графиков Квантилей		Формулы для расчета параметров функции распределения	
			ось абсцисс	ось ординат	δ	β
1	Вейбулла	$F(X) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{X}{\beta}\right)^\delta\right]$	$x_i = \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{i}{n+1}\right)\right]$	$y_i = \ln X_i$	$\frac{1}{b}$	$\exp a$
2	Гумбеля	$F(X) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{X-\beta}{\delta}\right)\right]$	$x_i = -\ln\left(-\ln\frac{i}{n+1}\right)$	$y_i = X_i$	$\frac{1}{b}$	a
3	Парето	$F(X) = 1 - \left(\frac{X}{\beta}\right)^{-\delta}$	$x_i = -\ln\left(1 - \frac{i}{n+1}\right)$	$y_i = \ln X_i$	$\frac{1}{b}$	$\exp a$
4	Логарифмически- нормальная	$F(X) = \Phi\left[\frac{\ln\left(\frac{X}{\beta}\right)}{\delta}\right]$	$x_i = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{i}{2}\right)$	$y_i = \ln X_i$	b	$\exp a$
5	Экспоненциальная	$F(X) = 1 - \exp(-\beta x)$	$x_i = -\ln\left(1 - \frac{i}{n+1}\right)$	$y_i = X_i$	–	$\frac{1}{b}$

Примечание: в таблице обозначено:

- i - номер по порядку наблюденного значения случайной величины;
- n - общее количество наблюденной случайной величины;
- X_i - наблюденное i -е значение случайной величины;
- Φ - функция стандартного нормального распределения;
- a, b - параметры линейного уравнения регрессии ($y=a+bx$), получаемого с использованием вероятностной бумаги методом наименьших квадратов.

Таким образом, используя метод построения квантиль-квантиль графиков, можно, с задаваемой степенью достоверности, определять функции распределения случайных величин: «площадь поражения леса», «площадь деградации почвы» и «масса выброшенного газа» по имеющимся статистическим данным.

Зная параметры функций распределения случайных величин (табл. 2.9) можно рассчитать математические ожидания $E(X)$ размеров воздействия ПФ аварии и значения квантилей случайных величин (табл. 2.10). Рекомендуемые значения вероятности для определения квантилей составляют:

0,999 – рекомендовано Базельским комитетом по банковскому надзору;

0,9973 – соответствует правилу "трех сигм" для нормального закона распределения;

0,95 – применяется в большинстве статистических исследований.

Таблица 2.10 – Формулы для нахождения математического ожидания и квантили порядка p

№	Функция распределения	$E(X)$	Квантиль X_p
1	Вейбулла	$\beta \cdot \Gamma(1 + 1/\delta)$	$\beta[-\ln(1 - p)]^{1/\delta}$
2	Гумбеля	$\beta + \frac{0,57722}{\delta}$	$\beta - \delta \ln(-\ln p)$
3	Парето	$\frac{\delta\beta}{\delta - 1}$	$\frac{\beta}{(1 - p)^{1/\delta}}$
4	Логарифмически-нормальная	$\beta \exp\left(\frac{\delta^2}{2}\right)$	$\beta \exp(\delta u_p)$
5	Экспоненциальная	$\frac{1}{\beta}$	$-\frac{1}{\beta} \ln(1 - p)$
Примечание: u_p – квантиль порядка p стандартного нормального распределения			

Однако, как показывает практика, статистика по размерам зон деградации почвы, как правило, отсутствует. В этом случае можно сделать допущение, что законы распределения случайных величин «площадь деградации почвы» и «площадь поражения леса» (статистика по которой имеется, например, в актах

об авариях) совпадают по классу и различаются только по параметрам, в силу общего поражающего фактора. Тогда параметры функции распределения случайной величины «площадь деградации почвы» можно определить с учетом предложенного автором поправочного коэффициента $K_{П}$, определяемого функцией отношения максимального значения площади деградации почвы, полученного детерминированным методом, к максимальному значению в исходной выборке данных по зонам поражения леса. При этом линейное уравнение регрессии, полученное для функции распределения случайной величины «площадь повреждения леса», корректируется с учетом поправочного коэффициента и приобретает вид $y=K_{П} \cdot a + K_{П} \cdot bx$. Далее для случайной величины «площадь деградации почвы» по таблице 2.9. возможно рассчитать параметры функции распределения и, следовательно, значения математического ожидания $E(X)$ и заданного квантиля [87].

Таким образом, в результате применение вероятно-статистического метода мы получаем диапазон значений размеров последствий влияния ПФ аварии на реципиенты (атмосферный воздух, лесной фонд, почва).

2.3.3.3. Правила сопоставления и использования результатов расчетов детерминированным и вероятно-статистическим методами

Для дальнейшей оценки экологического риска, возникающего при авариях на ЛЧМГ, необходимо сопоставить результаты расчетов, полученных детерминированным и вероятно-статистическим методом, и выбрать варианты последующих расчетов с использованием нижеуказанных правил [87].

В том случае, если значение выбранного квантиля отличается не более чем на 15 % (установлено нами экспертно исходя из точности применяемых методик расчета ПФ) от результата детерминированного расчета, то можно считать, что расчеты обоснованы, а их точность находится в пределах точности

исходных данных. Полученные функции распределения могут использоваться в дальнейших расчетах экологического ущерба: значение выбранного квантиля – при оценке максимально возможного ущерба от аварии (EML), а математическое ожидание $E(X)$ – при оценке вероятного максимального ущерба от аварии (PML).

Если результат детерминированного расчета превышает значение выбранного квантиля более чем на 15 % это означает, что используемая для статистического анализа выборка данных из-за своей ограниченности не учитывает возможные катастрофические последствия аварии на ЛЧМГ. В этом случае предлагается в дальнейших расчетах использовать результат детерминированного расчета при оценке EML, а при оценке PML – скорректированное с учетом предложенного автором поправочного коэффициента K_i значение математического ожидания случайной величины. Коэффициент K_i определяется функцией отношения результата детерминированного расчета к максимальному значению в исходной выборке данных X_{\max} . Тогда линейное уравнение регрессии, полученное для функции распределения случайной величины, корректируется с учетом поправочного коэффициента и приобретает вид $y=K_i \cdot a + K_i \cdot bx$. Далее по формулам из таблицы 2.9. рассчитываются значения параметров функции распределения и затем уже по таблице 2.10. – откорректированное значение математического ожидания.

Если значение выбранного квантиля больше чем результат детерминированного расчета на 15 %, то в дальнейших расчетах используются полученные функции распределения, откорректированные с учетом результатов детерминированного расчета – используя поправочный коэффициент K_i . Откорректированное значение выбранного квантиля используется при оценке EML, а откорректированное математическое ожидание – при оценке PML.

Если результат детерминированного расчета стремится к значению математического ожидания случайной величины, то в дальнейших расчетах

используются полученные функции распределения – значение выбранного квантиля применяется при оценке EML, а математическое ожидание – при оценке PML.

2.3.4. Оценка экологического ущерба от аварии на линейной части магистрального газопровода

Под ущербом от аварии на ЛЧМГ в настоящей методике понимается вред, нанесенный компонентам природной среды в результате аварии, который исчисляется в денежном эквиваленте в форме компенсационных выплат эксплуатирующей организацией за причинение указанного вреда (то есть за нарушение ею законодательства в сфере природопользования, обусловленное причинением вреда компонентам природной среды – лесному фонду, почве, воздуху). Размер экологического ущерба зависит напрямую от ряда факторов в первую очередь от размера распространения ПФ аварии, а также от характера повреждения лесного фонда, территориального расположения места аварии (региона, лесотаксового района) и др. При этом размеры экологического ущерба (в целом и по компонентам окружающей среды) также являются случайными величинами. Таким образом, аналогично пункту 2.3.3, для повышения обоснованности прогноза экологического ущерба необходимо использовать комбинацию детерминированного метода расчета ущерба и вероятно-статистического метода, для определения законов (функций) распределения случайных величин «ущерб лесному фонду», «ущерб почве», «ущерб атмосферному воздуху» и их параметров.

2.3.4.1. Определения максимального ущерба по ЕМЛ методологии детерминированным методом

Ущерб определяется как плата за вред компонентам природной среды. Исчисление размера вреда от уничтожения компонентов природной среды производится согласно соответствующим таксам, утвержденным постановлениями Правительства Российской Федерации [88-92].

В состав потенциального ущерба не включаются расходы, связанные с ликвидацией аварии, а также с приведением соответствующей территории в состояние, пригодное для дальнейшего использования, так как указанные расходы устанавливаются по факту аварии.

Вред, причиняемый растительному и животному миру, опосредуется через платы за повреждение лесных насаждений и деградации почвы.

При аварии с возгоранием газа расчет потенциального ущерба для природной среды $Y_{\text{экол.}}$, руб., производится по формуле

$$Y_{\text{экол.}} = Y_{\text{AB}} + Y_{\text{Л}} + Y_{\text{П}} \quad , \quad (2.19)$$

где: Y_{AB} – плата за причинение вреда атмосфере выбросами в атмосферный воздух загрязняющих веществ, руб.;

$Y_{\text{Л}}$ – плата за причинение вреда лесному фонду, руб.;

$Y_{\text{П}}$ – плата за причинение вреда почве, руб.

Для варианта аварии без возгорания газа ущерб природной среде обуславливается выбросом метана как парникового газа, тогда

$$Y_{\text{экол.}} = \bar{Y}_{\text{AB}} \quad , \quad (2.20)$$

где: \bar{Y}_{AB} – плата за причинение вреда атмосфере выбросом в атмосферный воздух метана, руб.

Расчет размера платы за причинение вреда атмосфере вследствие возможного выброса природного газа, продуктов его сгорания и иных загрязняющих веществ при авариях на объектах газового комплекса производится в соответствии с документами [88, 89] по формуле:

$$Y_{AB} = K_{пов.} K_{охр.} \sum_{i=1}^n m_i N_i, \quad (2.21)$$

где: Y_{AB} – плата за выбросы в атмосферный воздух загрязняющих веществ и иных веществ, руб.;

$K_{пов.}$ – коэффициент к ставкам платы за выброс загрязняющего вещества [88];

$K_{охр.}$ – коэффициент для особо охраняемых природных территорий, принимается равный двум [89];

m_i – масса выбросов i -го загрязняющего вещества, в том числе входящего в состав продуктов сгорания природного газа, т.;

N_i – базовый норматив платы за выброс одной тонны загрязняющего вещества в пределах установленных лимитов выбросов, руб./т, определяемый в соответствии с [89];

n – количество загрязняющих веществ.

Оценка потенциального ущерба от причинения вреда лесному фонду основывается на документе [90]. Размер вреда, который может быть причинен лесам, в том числе лесным насаждениям, вследствие нарушения лесного законодательства, представляет собой ущерб и упущенную выгоду, исчисленные на основе соответствующих такс. Ущерб, связанный с уничтожением лесного массива при дальнейшем распространении пожара (за границу круговой «первичной» зоны полного уничтожения лесного массива), не рассчитывается.

Размер платы за вред, причиненный лесному фонду $У_{л}$, руб., определяется по формуле

$$У_{л} = С K_1 K_2 K_3 K_4 V S_{л} \quad , \quad (2.22)$$

где: $С$ – ставка платы [91] за единицу объема древесины лесных насаждений по основной породе, руб./м³;

K_1 – коэффициент, учитывающий вид нарушения лесного законодательства, принимает значение равное 50 (для случая «уничтожение или повреждение до степени прекращения роста деревьев» [90]);

K_2 – коэффициент, учитывающий месяц повреждения деревьев. Принимает значения: для декабря – января равное 2, для остальных месяцев – 1;

K_3 – коэффициент к ставкам платы за единицу объема древесины, на 2017 [92];

K_4 – коэффициент, учитывающий целевое назначение леса или вид охраняемой природной территории, на которой он расположен [90];

V – корневой запас древесины, плотных куб. м. на га;

$S_{л}$ – площадь поврежденного леса, га.

Оценка потенциального ущерба от причинения вреда плодородному слою почвы основывается на документе [47, 60].

Размер платы за вред, причиненный плодородному слою почвы $У_{почва}$, руб. рассчитывается по формуле

$$У_{п} = S_{п} \cdot C_{п} \quad , \quad (2.23)$$

где: $S_{п}$ – площадь повреждения плодородного слоя почвы, га;

$C_{п}$ – затраты на рекультивацию почвы с учетом стоимости торфа, руб./га.

Использование при расчетах ущерба полученные в пункте 2.3.3. значения размеров последствий воздействия ПФ аварии позволяет получить соответственно значения максимального возможного ущерба (Y_{EML}) и вероятного максимального ущерба (Y_{PML}).

2.3.4.2. Определение параметров законов распределения экологического ущерба вероятно-статистическим методом

Определение законов распределения случайных величин «ущерб лесному фонду», «ущерб почве», «ущерб атмосферному воздуху» проводится аналогично, описанному в п. 2.3.3.2, с использованием техники графического статистического анализа.

При наличии сгруппированных массивов данных ущербов по реципиентам воздействия получаем соответственно их функции распределения, и по формулам, приведенным в таблице 2.11, определяем математические ожидания и дисперсии (моменты k -го порядка) ущерба атмосферному воздуху при горении газа ($\mu_{УАВ}$; $\sigma^2_{УАВ}$) и без горения газа ($\bar{\mu}_{УАВ}$; $\bar{\sigma}^2_{УАВ}$), лесному фонду ($\mu_{Ул}$; $\sigma^2_{Ул}$) и почве ($\mu_{Уп}$; $\sigma^2_{Уп}$).

Таблица 2.11 – Формулы для нахождения моментов k -го порядка

№ п/п	Функция распределения	Формула моментов k -го порядка
1	Вейбулла	$\beta^k \cdot \Gamma(1 + k/\delta)$
2	Гумбеля	$\beta^k + \frac{0,57722}{\delta^k}$
3	Парето	$\frac{\delta \beta^k}{\delta - k}$
4	Логарифмически-нормальная	$\beta^k \cdot \exp(k^2 \delta^2 / 2)$
5	Экспоненциальная	$\frac{k!}{\beta}$

Для решения задачи определения параметров функции распределения ущерба в привязке к конкретному газопроводу/участкам газопровода (при отсутствии соответствующей статистики) с учетом его технологических особенностей, а также особенностей окружающей его среды, автором предложено ввести поправочный коэффициент K_{y_i} , определяемый функцией отношения возможного максимального ущерба (Y_{PML}) или его компонентов по реципиентам воздействия, полученных с использованием детерминированного метода для конкретного газопровода/участков газопровода, к максимальному значению ущерба в использованных статистических данных X_{max} . Тогда линейное уравнение регрессии, полученное для функции распределения случайной величины, корректируется с учетом поправочного коэффициента и приобретает вид $y = K_{y_i} \cdot a + K_{y_i} \cdot bx$. Далее по формулам из таблицы 2.9. рассчитываются значения параметров функций распределения и затем уже по таблице 2.11. – откорректированные значения математических ожиданий и дисперсий экологического ущерба при аварии на ЛЧМГ.

С учетом того, что авария может происходить только по одному из сценариев ее развития (см. п. 2.3.2), представим функцию распределения ущерба в виде композиции распределений и выразим математическое ожидание μ экологического ущерба следующим образом

$$\mu = P_1 \cdot \mu_1 + P_2 \cdot \mu_2 \quad , \quad (2.24)$$

где: μ_1 - математическое ожидание ущерба при аварии с возгоранием;

μ_2 - математическое ожидание ущерба при аварии без возгорания;

P_1 - вероятность аварии с возгоранием газа;

P_2 - вероятность аварии без возгорания газа. При этом $P_1 + P_2 = 1$.

а дисперсия σ^2

$$\begin{aligned} \sigma^2 = E(X^2) - E^2(X) = P_1 \cdot \mu_1^2 + P_2 \cdot \mu_2^2 - (P_1^2 \cdot \mu_1^2 + P_2^2 \cdot \mu_2^2 + \\ + 2P_1 \cdot P_2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2) = P_1 \cdot \sigma_1^2 + P_2 \cdot \sigma_2^2 - 2P_1 \cdot P_2 \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \end{aligned} \quad , \quad (2.25)$$

где: σ_1^2 - дисперсия ущерба при аварии с возгоранием газа;

σ_2^2 - дисперсия ущерба при аварии без возгорания газа.

Исходя из формулы 2.19 математическое ожидание ущерба от аварии с возгоранием газа μ_1 может быть выражено через сумму независимых случайных величин следующим образом

$$\mu_1 = \mu_{\text{УАВ}} + \mu_{\text{УЛ}} + \mu_{\text{УП}} \quad , \quad (2.26)$$

а дисперсия σ^2_1 :

$$\sigma^2_1 = \sigma^2_{\text{УАВ}} + \sigma^2_{\text{УЛ}} + \sigma^2_{\text{УП}} \quad . \quad (2.27)$$

Математическое ожидание ущерба от аварии без возгорания в соответствии с формулой 2.20 равно $\mu_2 = \bar{\mu}_{\text{УАВ}}$ и дисперсия σ^2_2 соответственно равна $\sigma^2_2 = \bar{\sigma}_{\text{УАВ}}^2$.

Тогда математическое ожидание ущерба и дисперсия, необходимые для расчета страховых премий, могут быть выражены соответственно, как

$$\mu = P_1 \cdot (\mu_{\text{УАВ}} + \mu_{\text{УЛ}} + \mu_{\text{УП}}) + P_2 \cdot \bar{\mu}_{\text{УАВ}} \quad , \quad (2.28)$$

и

$$\sigma^2 = P_1 \cdot (\sigma^2_{\text{УАВ}} + \sigma^2_{\text{УЛ}} + \sigma^2_{\text{УП}}) + P_2 \cdot \bar{\sigma}_{\text{УАВ}}^2 - 2 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot (\mu_{\text{УАВ}} + \mu_{\text{УЛ}} + \mu_{\text{УП}}) \cdot \bar{\mu}_{\text{УАВ}} \quad . \quad (2.29)$$

Таким образом, результатами первого этапа будут являться следующие показатели экологического риска:

- 1) значения частоты аварии, полученной с помощью методики МЭОЧАГАЗ, рекомендованной для использования в ПАО «Газпром»;
- 2) значения математического ожидания (μ), дисперсии (σ^2), вероятного максимального (U_{PML}) и максимального возможного (U_{EML}) экологического ущерба, полученных при использовании предложенной автором комбинации вероятно-статистического и детерминированного методов.

2.4. Определение параметров страхования экологических рисков

На этапе 2 ставится задача выбора оптимальных условий страхования. С точки зрения страхователя ключевыми страховыми параметрами являются:

страховая премия, страховая сумма и лимит ответственности, уровень франшизы, страховой тариф.

2.4.1. Определение страховой суммы

Для определения страховой суммы сначала необходимо установить лимиты ответственности (фигура 3.1) и определить число страховых событий (фигура 3.2).

Для установления лимитов ответственности LIM по одному страховому случаю (фигура 3.1) необходимо воспользоваться следующим правилом (фигура 3.1.1):

если удельная частота аварии на газопроводе $\lambda_{уд}$ больше среднестатистической частоты аварий на МГ ПАО «Газпром» $\lambda_{ср}$, то лимит ответственности устанавливается исходя из значения возможного максимального ущерба U_{PML} (фигура 3.1.2);

соответственно, в том случае если удельная частота аварии на газопроводе $\lambda_{уд}$ меньше среднестатистической частоты аварий на МГ ПАО «Газпром» $\lambda_{ср}$, то лимит ответственности устанавливается исходя из значения максимального возможного ущерба U_{EML} (фигура 3.1.3).

Определение числа страховых случаев N (фигура 3.2) осуществляется с использованием выражения (фигура 3.2.1) [7]

$$N = \lceil \lambda t + 3,719 \sqrt{\lambda t} \rceil, \quad (2.30)$$

где: λ – ожидаемая частота аварии на газопроводе (п.2.2.2), 1/год;

3,719 – значение 99,9 % квантиля стандартного нормального распределения;

t – срок действия договора страхования, год;

$\lceil \rceil$ – оператор округления к большему целому.

Страховая сумма (фигура 3.3) определяется исходя из значений лимита ответственности и возможного количества страховых случаев

$$S_{\text{страх}} = N \cdot \text{LIM} \quad , \quad (2.31)$$

где: $S_{\text{страх}}$ – страховая сумма;

N – количество страховых случаев, ед.;

LIM – лимит ответственности по одному страховому случаю.

2.4.2. Обоснование страховой премии

Экологическое страхование относится к «рисковым» видам страхования. При расчете нетто-ставки страховой премии использован «принцип среднеквадратичного отклонения», согласно которому для расчета годовой нетто-премии необходимо приравнять общую сумму страховых взносов среднему значению всех выплат $\mu_{S(t)}$, произведенных за один год ($t=1$), сложенному с «рисковой надбавкой», пропорциональной среднеквадратическому отклонению $\sigma_{S(t)}$ от среднего значения этих выплат [7, 93, 94]

$$\Pi = \mu_{S(t)} + \alpha \sigma_{S(t)} \quad , \quad (2.32)$$

где: Π – значение годовой нетто-премии;

α – коэффициент гарантии безопасности страхования, значение которого определяется тарифной политикой страховой компании и лежит, как правило, в диапазоне от 1 до 2. В дальнейших расчетах принимается 95% уровень гарантий безопасности страхования, которому соответствует значение $\alpha=1,645$.

В рамках модели коллективного риска (фигура 3.4.1) с непрерывным временем страховой процесс описывается случайной величиной $S(t)$, определенной как сумма ущерба, предъявленных страховой компании за временной интервал $(0;t)$

$$S(t) = \sum_{n=0}^{N(t)} X_n \quad . \quad (2.33)$$

Причем здесь предполагается, что все функции распределения случайных величин X_1, X_2, X_3, \dots , характеризующих размеры убытков, имеют одинаковый закон. Верхний предел в суммировании является, в свою очередь, дискретной случайной величиной $N(t)$, которая описывает число страховых событий, произошедших за временной интервал $(0;t)$ и полностью характеризуется вероятностью $p_n(t)$ того, что за временной интервал $(0;t)$ произойдет ровно n страховых событий. Процесс $\{N(t), t \geq 0\}$ называется процессом числа страховых требований, а процесс $\{S(t), t \geq 0\}$ — процессом суммарных страховых требований [7].

Для моделирования первого процесса числа страховых событий обычно привлекается гипотеза о пуассоновском процессе, т.е. вероятностный закон распределения $p_n(t)$ представляет собой закон Пуассона (2.1) с математическим ожиданием и дисперсией

$$\mu_{N(t)} = \sigma_{N(t)}^2 = \lambda \cdot t \quad . \quad (2.34)$$

В свою очередь среднее значение $\mu_{S(t)}$ и среднеквадратическое отклонение $\sigma_{S(t)}$ случайной величины $S(t)$ выражаются через средние значения и дисперсии случайных величин X и $N(t)$ следующим образом [7, 93]:

$$\mu_{S(t)} = \mu_X \cdot \mu_{N(t)} = \mu_X \cdot \lambda \cdot t \quad , \quad (2.35)$$

$$\sigma_{S(t)} = \sqrt{\sigma_X^2 \cdot \mu_{N(t)} + \mu_X^2 \sigma_{N(t)}^2} = \sqrt{\lambda \cdot t \cdot (\sigma_X^2 + \mu_X^2)} \quad . \quad (2.36)$$

где: μ_X, σ_X^2 — математическое ожидание и дисперсия убытков;
 $\mu_{N(t)}, \sigma_{N(t)}^2$ — математическое ожидание и дисперсия числа страховых событий.

Тогда формула для расчета нетто-премии (Π) может иметь вид (фигура 3.4.1)

$$\Pi = \sum_{i=1} \lambda_i \mu_i t + 1,645 \sqrt{\sum_{i=1} \lambda_i t (\sigma_i^2 + \mu_i^2)} \quad , \quad (2.37)$$

где: λ_i – частота страховых событий, 1/год;
 t – время действия договора страхования, год;
 μ_i – математическое ожидание экологического ущерба, руб.;
 σ_i^2 – дисперсия экологического ущерба, руб.;
 i – номер участка МГ.

Далее рассчитываем значение брутто-премии. Брутто-премия — полная сумма страхового взноса (страховой премии), которую уплачивает страхователь страховщику в соответствии с договором страхования. Брутто-премия состоит из нетто-премии и нагрузки к нетто-премии. Нагрузка, как правило, включает три различных по назначению вида расходов, связанных со страховой деятельностью: административно-управленческие расходы, которые принято называть расходами на ведение дела; отчисления на предупредительные (превентивные) мероприятия; а также прибыль страховой компании [95].

Брутто-премия (Π_6) определяется в соответствии с «Методикой расчета тарифных ставок по рисковому видам страхования» [96] по формуле

$$\Pi_6 = \frac{\Pi}{1 - f/100} \quad , \quad (2.38)$$

где: f – доля нагрузки, принимается равной 30% [7, 97].

2.4.3. Установление оптимального уровня франшизы

Страхование с франшизой предназначено для исключения из страхового покрытия убытков, не превышающих определенной пороговой величины,

которую и называют франшизой. Иначе говоря, франшиза – это предельный минимальный размер убытка, на который не распространяется страховое покрытие. Убытки меньше франшизы остаются на удержании страхователя. При этом страховщик уменьшает величину страховой премии. Очевидно, при правильном планировании риска такой способ страхования выгоден обеим сторонам. Франшизу следует располагать в области небольших убытков, которые относительно часты и предсказуемы, и страхование которых может быть экономически неэффективным для страхователя. Страхователь тем самым уменьшает затраты на страхование и получает возможность более эффективно управлять своими рисками. Страховщику также выгодно страхование с франшизой, поскольку компенсация небольших, но частых убытков связана с непропорционально высокими организационными затратами [7, 98].

Когда организация решает осуществить страхование с франшизой, то это означает, что она готова взять на себя определенный уровень риска ради экономии на страховой премии. Таким образом, конкретный размер франшизы должен быть выбран, исходя из принципа минимизации совокупных затрат на страхование и сохранение риска. При этом должны приниматься в расчет также финансовые возможности организации выдержать ожидаемые убытки от сохраненного риска, то есть размер франшизы должен быть установлен исходя из уровня риск-аппетита (толерантности к риску), установленным в компании исходя из ее финансового состояния [99, 100].

В случае если риск-аппетит в организации не установлен возможно определение франшизы исходя результатов проведения анализа затраты-выгоды [7, 99, 100]. Для определения оптимального уровня франшизы, необходимо рассчитать для различных уровней условной франшизы:

- премию и снижение премии относительно базовой (п. 2.4.2);
- совокупный некомпенсируемый убыток – сокращение убытков;
- абсолютное значение снижения премии минус сокращение убытков.

Снижение премии как экономия средств будет характеризовать положительную составляющую экономического эффекта. В то же время часть убытков, в пределах уровня условной франшизы, будут покрываться из собственных средств, в том числе за счет экономии на премии. Оптимальным будет такой уровень франшизы, при котором достигается максимум «выгоды минус затраты», где под функцией «выгоды» выступает экономия на премии, а функцией «затрат» служит сокращение заявленных убытков (фигура 3.5.1).

Еще одним методом определения оптимального уровня франшизы является анализ зависимости относительного снижения числа страховых случаев и общего размера ущерба от уровня франшизы, что может позволить определить область значений оптимальной франшизы.

Формулы для расчета значений нетто-премий при условной (${}^{\text{усл}}\Pi_{\Phi}$) и безусловной (${}^{\text{без}}\Pi_{\Phi}$) франшизы при использовании модели деления риска (фигура 3.5.2) выведены в работе [7]

$${}^{\text{усл}}\Pi_{\Phi} = \lambda t \mu [1 - F_1(f)] + x_{\alpha} \sqrt{\lambda t \sigma^2 [1 - F_2(f)]} \quad , \quad (2.39)$$

$${}^{\text{без}}\Pi_{\Phi} = \lambda t \{ \mu [1 - F_1(f)] - f [1 - F(f)] \} + x_{\alpha} \sqrt{\lambda t \{ \mu' [1 - F_2(f)] - 2f \mu [1 - F_1(f)] + f^2 [1 - F(f)] \}} \quad (2.40)$$

где: x_{α} – квантиль уровня α стандартного нормального распределения;

f – уровень франшизы;

$F_1(f)$, – неполные функции моментов (первого и второго)

$F_2(f)$ распределения ущерба;

μ' – математическое ожидание квадрата значений экологического ущерба, руб.

Брутто-премия (Π_{Φ}) определяется по формуле 2.38.

Имея значения страховой суммы $S_{\text{страх}}$ и брутто-премии можно рассчитать оптимальное значение страхового тарифа T , %,

$$T = \frac{\Pi_{\Phi}}{S_{\text{страх}}} \cdot 100 \quad . \quad (2.41)$$

ВЫВОД ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

1) На примере аварий на линейной части магистральных газопроводов разработаны структура и обоснованы положения методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков в себя последовательное выполнение двух этапов:

оценку аварийного экологического риска для ЛЧМГ на основе сочетания детерминированного и экспертных методов с асимптотической теорией вероятности экстремальных величин;

проведение актуарных расчетов для определения параметров страхового покрытия, требований по виду и размеру франшизы, значений страховой премии и страхового тарифа.

2) Для повышения обоснованности прогноза размера последствий воздействия ПФ аварии на окружающую среду и размера экологического ущерба от аварии на ЛЧМГ предложено использовать комбинацию детерминированного и вероятностно-статистического методов.

3) Определение законов распределения случайных величин предложено проводить с использованием графической техники статистического анализа.

4) Для корректировки полученных законов распределения случайных величин размеров последствий воздействия ПФ аварии на окружающую среду предложено использование поправочного коэффициента K_i , который определяется функцией отношения результата детерминированного расчета к максимальному значению в исходной выборке данных.

5) Сформулировано правило сопоставления и использования результатов расчетов размеров последствий воздействия ПФ аварии на окружающую среду детерминированным и вероятностно-статистическим методами, позволяющее получить обоснованные результаты, которые могут использоваться в дальнейших расчетах максимально возможного и вероятного максимального экологических ущербов от аварии.

6) Для корректировки полученных законов распределения случайных величин размеров экологического ущерба в привязке к конкретному газопроводу/участкам газопровода с учетом его технологических особенностей, а также особенностей окружающей среды, предложено использовать поправочный коэффициент K_{y_i} , определяемого функцией отношения вероятного максимального ущерба или его компонентов по реципиентам воздействия, полученных с использованием детерминированного метода, к максимальному значению в исходной выборке данных.

7) При проведении актуарных расчетов страховой премии предложено использование модели коллективного риска с непрерывным временем и сформулировано правило для установления лимитов ответственности по одному страховому случаю и, соответственно, определения страховой суммы.

Представленная во второй главе методика позволяет в условиях ограниченности статистических данных, необходимых для проведения актуарных расчетов, определять оптимальные для страхователя значения ключевых параметров страхования экологических рисков, возникающих при авариях на ЛЧМГ, используя комбинацию вероятностных, расчетных и экспертных методов оценки риска, актуарной математики и математической статистики.

Поскольку страховой рынок предлагает ограниченную возможность выбора условий страхования, практически невозможно договориться о таких условиях, которые дали бы компании оптимальное распределение рисков. Однако при проведении переговоров со страховой компанией страхователь должен сформулировать свои предложения по условиям страхования и, в рамках этих предложений, определить для себя оптимальное соотношение риска и страховой премии. Понимание целей и желаемого результата позволит добиться от страховщика более выгодных для компании условий заключения договора.

ГЛАВА 3. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ КЛЮЧЕВЫХ ПАРАМЕТРОВ СТРАХОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ РИСКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАЗРАБОТАННОЙ МЕТОДИКИ

3.1. Использование методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных чрезвычайных ситуаций применительно к авариям на линейной части магистральных газопроводов

В настоящий момент в ПАО «Газпром» (как и в ряде других крупных компаний, в том числе нефтегазовой отрасли) внедрена модель вертикально интегрированной системы страховой защиты, предполагающей разработку научно-обоснованных программ страхования на основе процедуры анализа и оценке рисков и их размещения для реализации среди страховых компаний [101, 102]. Центром ответственности за бизнес процесс «страхование» в ПАО «Газпром» является Управление страхования. При осуществлении своих функций Управление страхования взаимодействует со структурными подразделениями ПАО «Газпром» и его дочерними обществами и организациями на каждом этапе бизнес-процесса «страхование», направленном на управление финансовыми последствиями от реализации рисков, способными оказать воздействие на ПАО «Газпром» и его дочерние общества, и включающем:

подачу предложений по программам страхования (на основе результатов проведения анализа и оценки рисков) и принятие по ним решения;

разработку/модернизацию/актуализацию программ страхования и принятие решений по программам страхования;

планирование, бюджетирование и контроль расходов на страхование;

осуществление выбора страховщика, заключение договоров страхования;

реализацию программ страхования, оплату страховой премии, организацию и контроль востребования страхового возмещения;

мониторинг эффективности программ страхования, анализ программ страхования и подготовку отчетности по системе страховой защиты ПАО «Газпром» и его дочерних обществ [98].

Схема бизнес-процесса «страхование» представлена на рисунке 3.1.

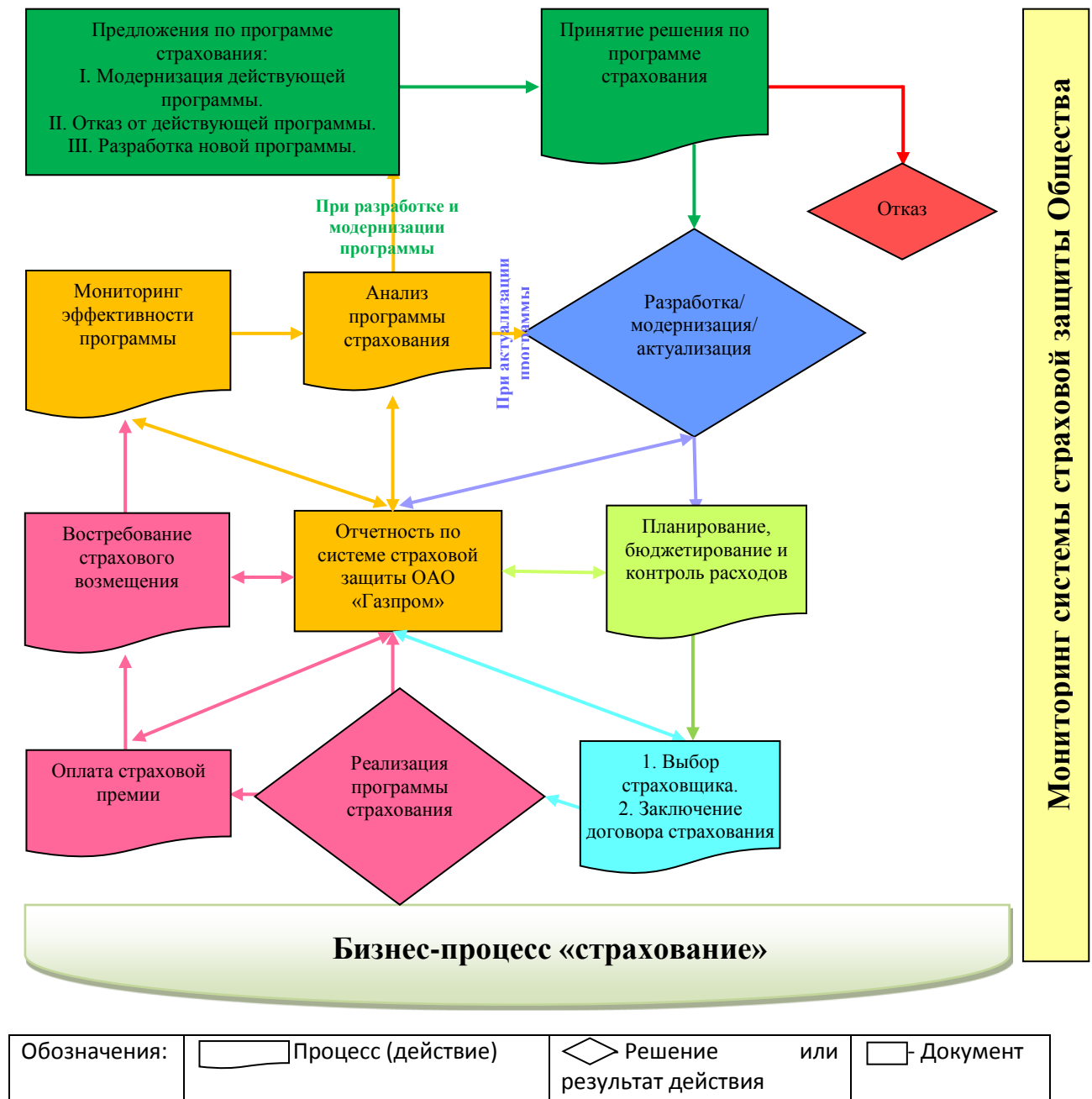


Рисунок 3.1 - Схема бизнес-процесса «страхование»

Из сказанного следует, что на решение задачи заключения страхового договора на оптимальных для страхователя условиях направлены два взаимосвязанных процесса:

- 1) разработка программы страхования на основе результатов процедуры анализа и оценки риска;
- 2) мониторинг эффективности и анализ программы страхования с целью ее дальнейшей модернизации.

Разработка программы страхования подразумевает решение следующих основных задач:

- определение объектов страхования;
- определение перечня рисков, подлежащих страхованию;
- определение размера страховых премий;
- определение страховых сумм (лимитов и подлимитов);
- определение уровня собственного удержания (франшиз);
- определение требований к размещению программы страхования.

Одним из последних этапов разработки программы страхования является краткое изложение результатов работы в виде предложений страховому рынку. Они формируются с целью прояснить собственную позицию компании, которую она намерена занять на переговорах со страховой компанией с целью защиты собственных интересов. Кроме того, программа страхования, изложенная таким образом, позволит страховщику лучше понять потребности компании и проанализировать свои возможности в предоставлении соответствующего страхового покрытия.

Управление страхования ПАО «Газпром» осуществляет мониторинг эффективности программ страхования в период их действия и анализ в конце срока в соответствии с порядком, определенном нормативными документами ПАО «Газпром», разработанными при непосредственном участии автора [103], регламентирующими взаимодействие Управления страхования со

структурными подразделениями ПАО «Газпром» и его дочерними обществами в области страхования [104-106].

Таким образом, практическое применение предложенной автором методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС возможно при разработке и/или модернизации программ страхования ПАО «Газпром».

В общем случае использование разработанной методики применительно к авариям на ЛЧМГ заключается в последовательном выполнении двух основных этапов:

оценка экологического риска, возникающего при аварии на ЛЧМГ;

проведение актуарных расчетов для определения параметров страхового покрытия, требований по виду и размеру франшизы, значениям страховой премии и страхового тарифа.

Рекомендации по использованию данной методики даются на примере строящегося в настоящее время МГ «Якутия-Хабаровск».

3.2. Сбор исходных данных и идентификация опасности

На данном этапе следует:

- 1) осуществить сбор исходных данных по показателям, определенным в главе 2;
- 2) дать описание потенциального объекта страхования (технологические параметры, природно-климатические зоны и др.);
- 3) провести анализ данных об имевших место авариях на ЛЧМГ, расположенных в похожих природно-климатических условиях;
- 4) рассмотреть особенности пролегания трассы МГ, акцентируя внимание на возможных причинах возникновения аварий;

5) условно разделить МГ на участки так, чтобы они могли по возможности характеризоваться едиными географическими, природно-ландшафтными и/или технологическими условиями;

б) дать характеристику каждого участка в контексте экологической составляющей (природно-климатические зоны, преобладающие породы леса, лесотаксовые районы, почвы, тип грунта). Рекомендуется использовать картографические данные.

МГ «Якутия - Хабаровск» (рис 3.2) является первой частью ГТС «Сила Сибири». Заказчиком строительства является дочернее общество ПАО «Газпром» – ООО «Газпром трансгаз Томск», генеральным проектировщиком – ОАО «ВНИПИгаздобыча». Общая протяженность газопровода около 2700 километров, диаметр труб 1420 и 1220 мм, рабочее давление 9,8 МПа. Производительность – 38 млрд. куб. м в год. В качестве допущения принимается, что природный газ полностью состоит из метана. Согласно географическому районированию рассматриваемый газопровод относится к Приленской провинции таёжной области Восточносибирской стороны. Приленская провинция охватывает верховья Лены и южную часть Лено-Вилуйского междуречья. В ландшафтном отношении находится в зоне тайги [107].

Особенностями пролегания трассы МГ, влияющими на возможность возникновения аварии, можно считать:

1) большая часть магистрального газопровода (70 %) проходит по территории с индексом сейсмического районирования от 8 до 10 баллов;

2) большая часть магистрального газопровода (40 %) проходит по территории многолетнемерзлых грунтов с глубиной промерзания 1,0–2,0 м и более и глубиной оттаивания менее 0,5 м [107].

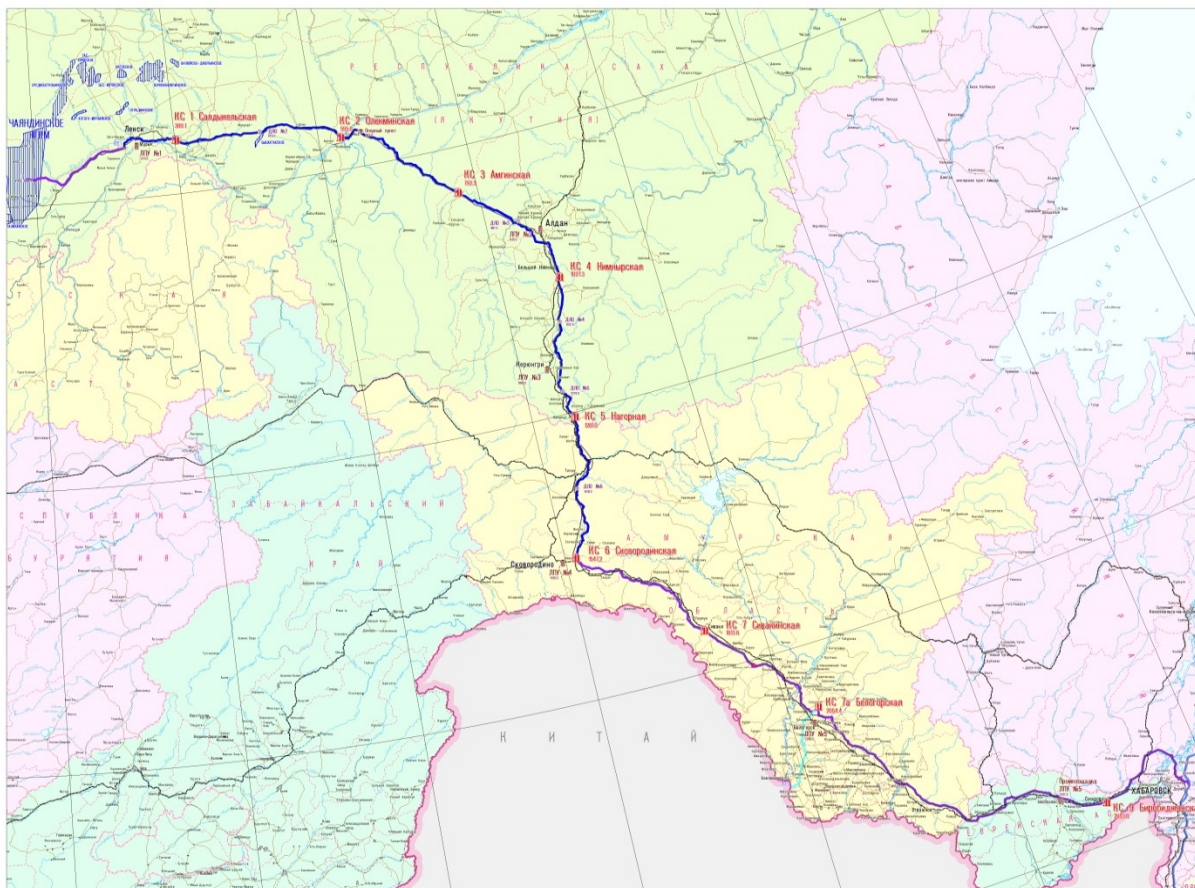


Рисунок 3.2 Трасса МГ «Якутия-Хабаровск»

Таким образом, проект МГ «Якутия – Хабаровск» предполагает эксплуатацию объекта в экстремальных условиях повышенного сейсмического воздействия вечномёрзлых грунтов, что имеет значение при оценке частоты страховых событий и сценариях развития аварии. МГ «Якутия-Хабаровск» был предварительно разделен на 11 участков (таблица 3.1). Характеристика экологической составляющей для МГ определена в работе [84] и представлена в таблице 3.2.

Таблица 3.1 Участки МГ «Якутия-Хабаровск»

№ участка	Длина, км	D, мм	Наименование участка газопровода	Субъект РФ
1	300	1420	Чаяндинское НГКМ – КС1 «Салдыкельская»	Республика Саха (Якутия)
2	255	1420	КС1 «Салдыкельская» – КС2 «Олекминская»	Республика Саха (Якутия)
3	237	1420	КС2 «Олекминская» – КС3 «Амгинская»	Республика Саха (Якутия)
4	235	1420	КС3 «Амгинская» – КС4 «Нимнырская»	Республика Саха (Якутия)
5	253	1420	КС4 «Нимнырская» – КС5 «Нагорная»	Республика Саха (Якутия)
6	267	1420	КС5 «Нагорная» – КС6 «Сковородинская»	Амурская область
7	266	1420	КС6 «Сковородинская» – КС7 «Сивакинская»	Амурская область
8	251	1420	КС7 «Сивакинская» – КС7а «Белогорская»	Амурская область
9	255	1220	КС7а «Белогорская» – КС8 «Теплоозерская»	Амурская область
10	334	1220	КС8 «Теплоозерская» – КС9 «Биробиджанская»	ЕАО
11	217	1220	КС9 «Биробиджанская» - ГТС «Сахалин-Хабаровск-Владивосток»	Хабаровский край

Таблица 3.2 Характеристика участков МГ «Якутия-Хабаровск»

№ участка	Природные зоны	Порода леса	Лесотаксовый район	Почвы	Тип грунта
1	Средняя тайга	Сосна	Третий Восточно - Сибирский	Мерзлотно - таежные	Мерзлые грунты
2	Средняя тайга	Сосна	Третий Восточно - Сибирский	Мерзлотно - таежные	Мерзлые грунты
3	Средняя тайга	Лиственница	Третий Восточно - Сибирский	Мерзлотно - таежные	Мерзлые грунты
4	Средняя тайга	Лиственница	Третий Восточно - Сибирский	Мерзлотно - таежные	Мерзлые грунты
5	Средняя тайга	Лиственница	Шестой Восточно - Сибирский	Тундровые-глинистые	Глина
6	Средняя тайга	Лиственница	Амурский	Тундровые-глинистые	Глина
7	Южная тайга	Береза	Амурский	Пойменные	Глина
8	Смешанные и широколиственные леса	Береза	Амурский	Пойменные	Глина
9	Смешанные и широколиственные леса	Почти полное отсутствие леса	Амурский	Пойменные	Глина
10	Южная тайга	Ель	Хабаровский	Бурые лесные	Суглинок
11	Смешанные и широколиственные леса	Почти полное отсутствие леса	Хабаровский	Пойменные	Глина

Для упрощения расчетов возможно объединение участков с идентичными природными характеристиками. В нашем случае возможно сокращение количества участков до 8 шт. за счёт объединения первого участка со вторым, третьего с четвертым и седьмого с восьмым (табл. 3.3).

Таблица 3.3 Участки МГ «Якутия-Хабаровск» с идентичными природными характеристиками

№ участка	Длина, км.	Диаметр МГ, мм.	Наименование участка газопровода	Расстояние между КС
1	555	1420	Чаяндинское НГКМ – КС2	277
2	472	1420	КС2 – КС4	236
3	253	1420	КС4 – КС5	253
4	267	1420	КС5 – КС6	267
5	517	1420	КС6 – КС7а	259
6	255	1220	КС7а – КС8	255
7	334	1220	КС8 – КС9	334
8	217	1220	КС9 - ГТС «СХВ»	217

На последующих этапах исходные данные будут дополняться исходя из специфики применения того или иного метода.

3.3. Оценка экологического риска, возникающего при авариях на линейной части магистральных газопроводах

3.3.1. Оценка частоты страховых событий

Оценка частоты страховых событий (частоты аварий) на участках МГ «Якутия-Хабаровск» производилась в соответствии с п.2.3.1.

Ввиду того, что рассматриваемый МГ в настоящий момент только строится, большая часть факторов, влияющих на вероятность нарушения целостности газопровода, не может быть корректно учтена. В связи с этим балльная оценка анализируемого участка V_n приравняется к балльной оценке среднестатистического по ПАО «Газпром» сухопутного участка МГ, то есть локальный коэффициент влияния V_n/V_{cp} равен 1. В таком случае формула 2.2 упрощается до следующего вида

$$\lambda = \lambda_{cp} \cdot k_{рег} \cdot k_{возр} \cdot k_{кат} \cdot L \quad (3.1)$$

Среднестатистическая частота аварий на сухопутных участках МГ принята равной 0,06 аварий на тысячу км в год [108]. Региональный коэффициент влияния определяется в соответствии с таблицей 2.2. Ввиду протяженности МГ и прохождения трассы через различные природно-климатические и географические зоны в качестве допущения принимается, что участки с первого по четвертый включительно относятся к Северному региону, а участки с пятого по восьмой соответственно к Центральному.

Возрастной коэффициент определяется исходя из таблицы 2.3 и для нового/строящегося газопровода равен 0,7.

Категорийный коэффициент определяется исходя из таблицы 2.4 и для газопровода диаметром свыше 1200 мм равен 0,9 (III категория).

Результаты оценки удельной ($\lambda_{уд}$) и ожидаемой (λ) частоты аварий на участках МГ «Якутия-Хабаровск», проводимой по формуле 3.1, представлены в таблице 3.4

Таблица 3.4 Частоты аварий на участках МГ «Якутия-Хабаровск»

№	Длина, км	$k_{рег}$	$k_{возр}$	$k_{кат}$	$\lambda_{ср} * 10^3$, км /год	$\lambda_{уд} * 10^3$, км /год	λ , ед. /год
1	555	1,13	0,7	0,9	0,06	0,04	0,02
2	472	1,13	0,7	0,9	0,06	0,04	0,01
3	253	1,13	0,7	0,9	0,06	0,04	0,02
4	267	1,13	0,7	0,9	0,06	0,04	0,02
5	517	0,8	0,7	0,9	0,06	0,03	0,01
6	255	0,8	0,7	0,9	0,06	0,03	0,008
7	334	0,8	0,7	0,9	0,06	0,03	0,01
8	217	0,8	0,7	0,9	0,06	0,03	0,007
МГ	2870	1,1	0,7	0,9	0,06	0,04	0,11

3.3.2. Определение возможных сценариев развития аварии и условных вероятностей их реализации

С точки зрения причинения вреда окружающей среде в дальнейшем можно ограничиться рассмотрением двух вариантов развития аварии в качестве основных:

аварии с возгоранием природного газа – «пожар в котловане». Основными ПФ являются тепловое излучение и токсичные продукты сгорания, а вред окружающей среде определяется платами за выбросы в атмосферный воздух продуктов сгорания газа, повреждение лесных насаждений, деградацию почвы;

аварии без возгорания природного газа. ПФ – попадание природного газа в атмосферу. Соответственно наибольший размер вреда определяется платой за выброс метана как парникового газа.

Следует проанализировать выделенные участки МГ с точки зрения вероятности загорания/незагорания газа при возникновении аварии. Для этого необходимо определить условную вероятность возгорания газа $P(B|A)$ в зависимости от диаметра трубы (табл. 2.7). Затем, определив коэффициент $k_{\text{заг}}$ (зависящего от имеющего конкретного типа грунта), рассчитать вероятность аварии с возгоранием газа (P_1) и без возгорания (P_2) по формулам (2.4) и (2.5). В таблице 3.5 представлены результаты расчетов

Таблица 3.5 Вероятности сценариев развития аварии по участкам МГ

№ участка	D, мм.	$P(B A)$	$k_{\text{заг}}$	P_1	P_2
1	1420	0,72	0,7	0,5	0,5
2	1420	0,72	0,7	0,5	0,5
3	1420	0,72	1,2	0,86	0,14
4	1420	0,72	1,2	0,86	0,14
5	1420	0,72	1,2	0,86	0,14
6	1220	0,74	1,2	0,89	0,11
7	1220	0,74	1,0	0,74	0,26
8	1220	0,74	1,2	0,89	0,11

3.3.3. Оценка размера последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду

А) Детерминированный метод определения размеров последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду

При определении размеров негативных последствий воздействий ПФ аварии на окружающую среду используется порядок, изложенный в пункте 2.3.3.1, со следующими допущениями и ограничениями:

исполнение трассы магистрального газопровода – однониточное;

авария происходит в середине участка между компрессорными станциями;

на аварийном участке отсутствуют линейные краны или они не могут быть закрыты;

время закрытия стационарных охранных кранов на компрессорных станциях включает в себя время идентификации аварии оператором, время принятия им решения об отключении компрессорной станции и время закрытия охранного клапана;

до своего отключения верхняя компрессорная станция подает в аварийный участок магистрального газопровода дополнительную массу газа, а нижняя компрессорная станция отбирает из аварийного участка газ;

теплообмен между газом и окружающей средой отсутствует, температура газа на всем протяжении аварийного участка принимается постоянной и равной температуре почвы на глубине залегания газопровода;

сценарий аварии с возгоранием газа – «пожар в котловане»;

форма (в плане) зоны уничтожения лесного массива и деградации почвы принимается в виде правильного круга;

для консервативной оценки принят характеристический критерий в виде критического удельного теплового потока Q равного 7 кВт/м^2 и 35 кВт/м^2 ,

приводящих, соответственно, к полному выгоранию или повреждению деревьев до степени прекращения роста и к деградации почвы [84].

Продемонстрируем полный расчет на примере участка №1 МГ «Якутия-Хабаровск». Исходные данные для расчета представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Исходные данные для расчета

Параметр	Значение
Компонентный состав, %: метан	80
$T_{кр}$ – критическая температура метана, °К	190,555
M – молярная масса метана, кг/кмоль	19,043
$P_{кр}$ – критическое давление метана, МПа	4598800
λ – коэффициент гидравлического сопротивления	0,01
d – диаметр трубы внутренний, м	1,40
Q – производительность МГ, млн м ³ /сут.	100
P_n – давление начальное до разрыва, Па	9800000
P_k – давление конечное до разрыва, Па	6860000
T_r – температура газа в начале МГ до разрыва, °К	273
ρ – плотность газа при стандартных условиях, кг/м ³	0,668
L – длина участка МГ между КС, м	275 000
k – показатель адиабаты газа	1,31
R – удельная газовая постоянная, Дж/ (кг К)	519,625
t_1 – время закрытия стационарного охранного крана на КС ₁ , с	210
t_2 – время закрытия стационарного охранного крана на КС ₂ , с	210

Для определения размера последствий воздействия ПФ на атмосферный воздух аварии необходимо первоначально определить полную массу выбрасываемого газа M , суммируя массы газа, выбрасываемого из первой (верхней) и второй (нижней) по ходу движения газа аварийных секций. Далее возможно рассчитать массу загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу в результате аварийного сгорания выброшенного газа.

Массу газа M_1 , выбрасываемого из первой (верхней) по ходу движения газа аварийной секции, определим по формуле (2.4). Для этого рассчитаем давление газа в месте разрыва P_p , среднее давление газа для первой аварийной

секции P_1^{cp} , коэффициент сжимаемости газа в верхнем участке газопровода до разрыва Z_1^{cp} и массу газа M_{KC1} , которая нагнетается верхней компрессорной станцией в первую аварийную секцию до момента отсечения аварийной секции охранным клапаном.

Давление газа в месте разрыва P_p найдем по формуле (2.8)

$$P_p = \sqrt{9800000^2 - 0,5 (9800000^2 - 6860000^2)} = 8458711,5 \text{ (Па)} .$$

Тогда среднее давление газа для первой аварийной секции P_1^{cp} по формуле (2.7) равно

$$P_1^{cp} = \frac{2}{3} \left(9800000 + \frac{8458711,5^2}{9800000 + 8458711,5} \right) = 9145777,6 \approx 9145778 \text{ (Па)} .$$

Коэффициент сжимаемости газа Z_1^{cp} определим по формуле (2.9)

$$Z_1^{cp} = 1 + (-0,142 \cdot 1,989) + 0,019 \cdot 1,989^2 = 0,794 \approx 0,8 ,$$

где:

$$P_{пк} = 4598800 \text{ Па}; \quad T_{пк} = 190,555 \text{ К} ;$$

$$P_{пр.} = \frac{9145778}{4598800} = 1,989; \quad T_{пр.} = \frac{273}{190,555} = 1,433 ;$$

$$A_1 = -0,39 + \frac{2,03}{1,433} - \frac{3,16}{1,433^2} + \frac{1,09}{1,433^3} = -0,142 \dots;$$

$$A_2 = 0,0423 - \frac{0,1812}{1,433} + \frac{0,2124}{1,433^2} = 0,019 .$$

Массу газа M_{KC1} найдем по формуле (2.6)

$$M_{KC1} = \frac{0,668 \cdot 130 \cdot 10^6}{86400} \cdot 210 = 211069,44 \approx 211069 \text{ (кг)} .$$

Тогда масса газа M_1 , выбрасываемого из первой (верхней) по ходу движения газа аварийной секции, равна

$$M_1 = \frac{7,56 \cdot 10^{-4} \cdot 555000 \cdot 1,4^2 \cdot 9145778}{0,8 \cdot 273} + 211069 = 34649144 \text{ (кг)} .$$

Масса газа M_2 , выбрасываемого из второй (нижней) по ходу движения газа аварийной секции, определим аналогично M_1 .

Среднее давление для второй аварийной секции газопровода P_2^{cp} по формуле (2.12) равно

$$P_2^{\text{cp}} = \frac{2}{3} \left(8458711,5 + \frac{6860000}{8458711,5 + 6860000} \right) = 7687163,5 \approx 7687164 \text{ (Па)} .$$

Коэффициент сжимаемости газа Z_2^{cp} по формуле (2.9)

$$Z_2^{\text{cp}} = 1 + (-0,142 \cdot 1,672) + 0,019 \cdot 1,672^2 = 0,817 \approx 0,82 ,$$

где:

$$P_{\text{ПК}} = 4598800 \text{ Па}; \quad T_{\text{ПК}} = 190,555 \text{ К} ;$$

$$P_{\text{пр.}} = \frac{7687164}{4598800} = 1,672; \quad T_{\text{пр.}} = \frac{273}{190,555} = 1,433 ;$$

$$A_1 = -0,39 + \frac{2,03}{1,433} - \frac{3,16}{1,433^2} + \frac{1,09}{1,433^3} = -0,142 \dots;$$

$$A_2 = 0,0423 - \frac{0,1812}{1,433} + \frac{0,2124}{1,433^2} = 0,019 .$$

Масса газа M_2 , выбрасываемого из второй (нижней) по ходу движения газа аварийной секции, при

$$M_{\text{КС}_2} = \frac{0,668 \cdot 130 \cdot 10^6}{86400} \cdot 210 = 211069,4444 \approx 211069 \text{ (кг)}$$

по формуле 2.11 равна

$$M_2 = \frac{7,56 \cdot 10^{-4} \cdot 555000 \cdot 1,4^2 \cdot 7687164}{0,82 \cdot 273} - 211069 = 28239706 \text{ (кг)} .$$

Полная масса выбрасываемого газа M по формуле (2.13) равна

$$M = 34649144 + 28239706 = 62888850 \text{ (кг)} \approx 62889 \text{ (т)} .$$

Тогда по формуле (2.14) масса поступающего в атмосферу при сгорании природного газа загрязняющего вещества метан равна

$$m_{\text{CH}_4} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 62889 \approx 31,4 \text{ (т)} .$$

Соответственно масса оксида углерода равна

$$m_{\text{CO}} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 62889 \approx 1258 \text{ (т)}.$$

Соответственно масса диоксида азота равна

$$m_{\text{NO}_2} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 62889 \approx 189 \text{ (т)}.$$

Таким образом, при возникновении на первом участке МГ «Якутия-Хабаровск» аварии без возгорания газа, масса выбрасываемого газа равна 63 тыс. т., а в случае возникновения аварии с возгоранием этой массы газа образуется следующее количество продуктов горения: метан – 31,4 т, оксид углерода - 1258 т, диоксид азота – 189 т.

Далее, для случая возникновения на первом участке МГ «Якутия-Хабаровск» аварии с возгоранием газа, необходимо определить радиусы тепловых потоков 7 кВт/м² (R₇) и 35 кВт/м² (R₃₅), воздействие которых приводят соответственно к уничтожению лесного массива и деградации почвы.

Радиус изолинии теплового потока R₇ найдем по формуле (2.15)

$$R_7 = 30 \left(98 \cdot 1,4^2 \right)^{0,52} = 461,9 \approx 462 \text{ (м)} ,$$

а радиус изолинии теплового потока R₃₅ по формуле (2.16)

$$R_{35} = 36 \left(98 \cdot 1,4^2 \right)^{0,264} = 144,26 \approx 144 \text{ (м)}.$$

Тогда площадь уничтоженного лесного массива по формуле (2.17) составит

$$S_{\text{л}} = 3,14 \cdot 462^2 - 2 \cdot 462 \cdot 25 = 647114(\text{м}^2) \approx 65 \text{ (га)} ,$$

а площадь деградации почвы по формуле 2.18

$$S_{\text{п}} = 3,14 \cdot 144^2 = 65111(\text{м}^2) \approx 6,5 \text{ (га)}.$$

В таблице 3.7 представлены результаты оценки размеров последствий воздействия ПФ аварии на окружающую среду для остальных участков МГ «Якутия-Хабаровск».

Таблица 3.7 – Результаты расчетов оценки размеров последствий воздействия ПФ аварии на окружающую среду по участкам МГ «Якутия-Хабаровск»

Участки	M, т	M _{CH₄} , т	M _{CO} , т	M _{NO₂} , т	S _л , га	S _п , га
1	62 889	31,4	1258	189	65	6,5
2	53 622	26,8	1072	161	65	6,5
3	28 752	14,3	571,4	85,7	65	6,5
4	30 153	15	603	90,5	65	6,5
5	58 735	29,4	1175	176	65	6,5
6	21 158	10,6	423,2	63,5	47	5,5
7	27 712	13,9	554,3	83,1	47	5,5
8	18 005	9	360	54	47	5,5

Б) Вероятно-статистический метод прогнозирования размеров негативных последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду

Вероятностный подход к определению размеров негативных последствий воздействия ПФ аварии на окружающую среду подразумевает рассмотрение количества выброшенного газа, размера зон поражения леса и деградации почвы в виде случайных величин. Для этого автором были собраны и проанализированы статистические данные об авариях на МГ ПАО «Газпром» за последние 10 лет. Это позволило сформировать вариационные ряды чисел, характеризующие массу газа, выброшенного в атмосферу при авариях на МГ диаметром 1220-1420 мм, а также размеры распространения тепловой радиации при авариях с возгоранием газа.

Определение законов распределения случайных величин «площадь повреждения леса» и «масса выброшенного газа» производилось с использованием техники графического статистического анализа.

Автоматизация процесса статистической обработки автором была осуществлена в программной среде «Microsoft Excel». С помощью разработанного алгоритма были построены графики квантилей функций распределения случайных величин массы выброшенного газа и площади повреждения леса (рис.3.3 – рис.3.4). В качестве тестовых законов распределений были взяты нормальный и логнормальный законы распределения (предсказываемые центральной предельной теоремой), а также законы распределения экстремального типа – Вейбулла, Гумбеля, Парето и экспоненциальное распределение в соответствии с результатами классической асимптотической теории экстремальных значений случайных величин (табл. 2.8).

Из приведенных графиков на рис. 3.3 видно, что наибольшая степень правдоподобия, оцениваемая по коэффициенту детерминации равному 0,983, соответствует экспоненциальному распределению [109]. При этом показатель тесноты связи в виде коэффициента корреляции равному 0,991 в соответствии шкалой Чеддока характеризует силу связи как «очень сильная» и позволяет считать оправданным применением техники графического статистического анализа для получения корреляционной связи, а синтезированная при этом математическая модель является пригодной для практического использования. Поэтому для описания функции распределения случайной величины «масса выброшенного газа» автором впервые обосновано применение экспоненциального распределения, параметры которого определяются с использованием формул, приведенных в табл. 2.9.

Нами, при оценке потенциальных ущербов окружающей среде, обусловленных развитием газовых мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока, на основании анализа договоров страхования ПАО «Газпром» и статистики по аварийным ущербам (характеризующейся «тяжелохвостовыми» распределениями) обосновано использование квантили, соответствующее вероятности 0,95 [8, 84, 110].

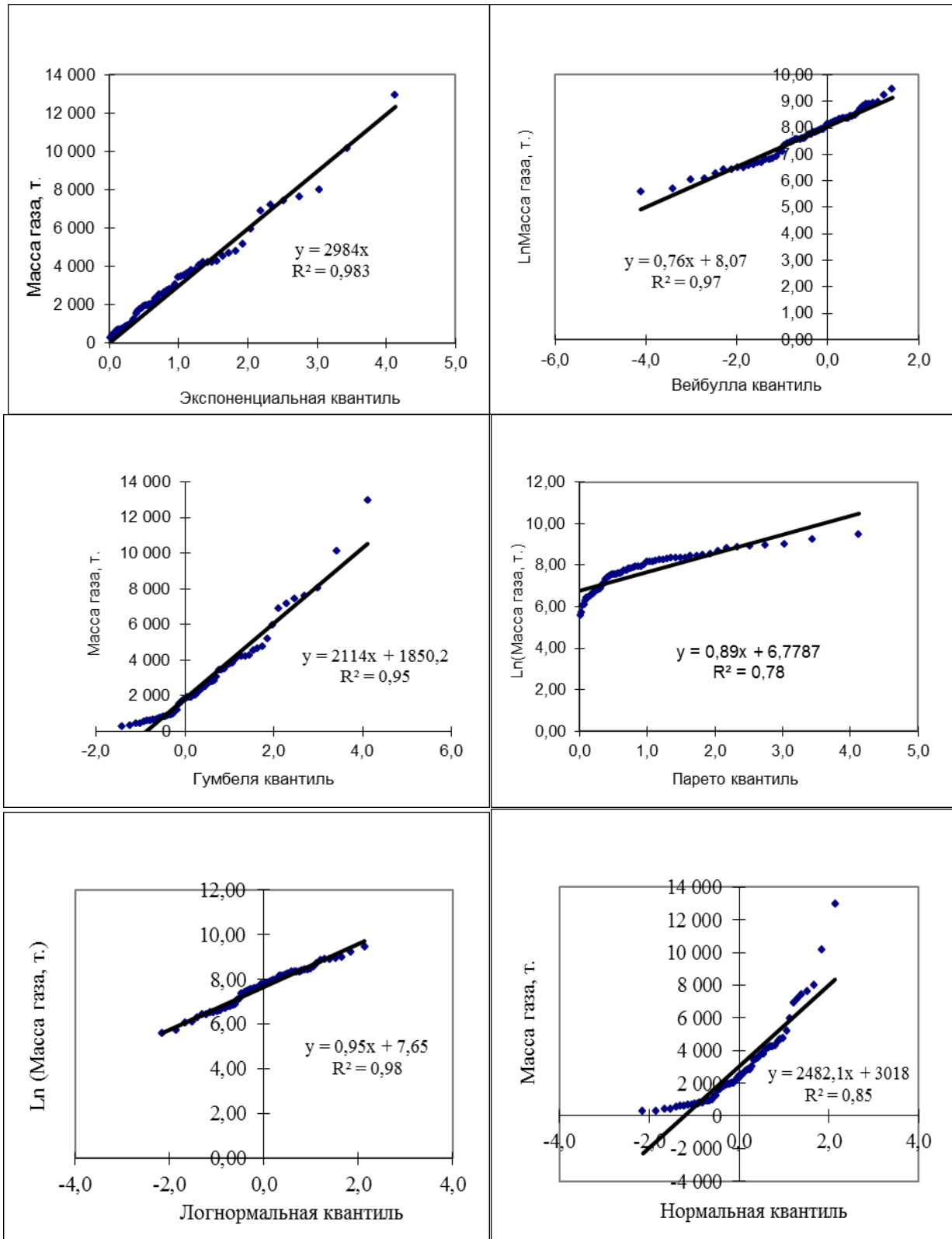


Рисунок 3.3 Графики квантилей функций распределения случайной величины
«масса выброшенного газа»

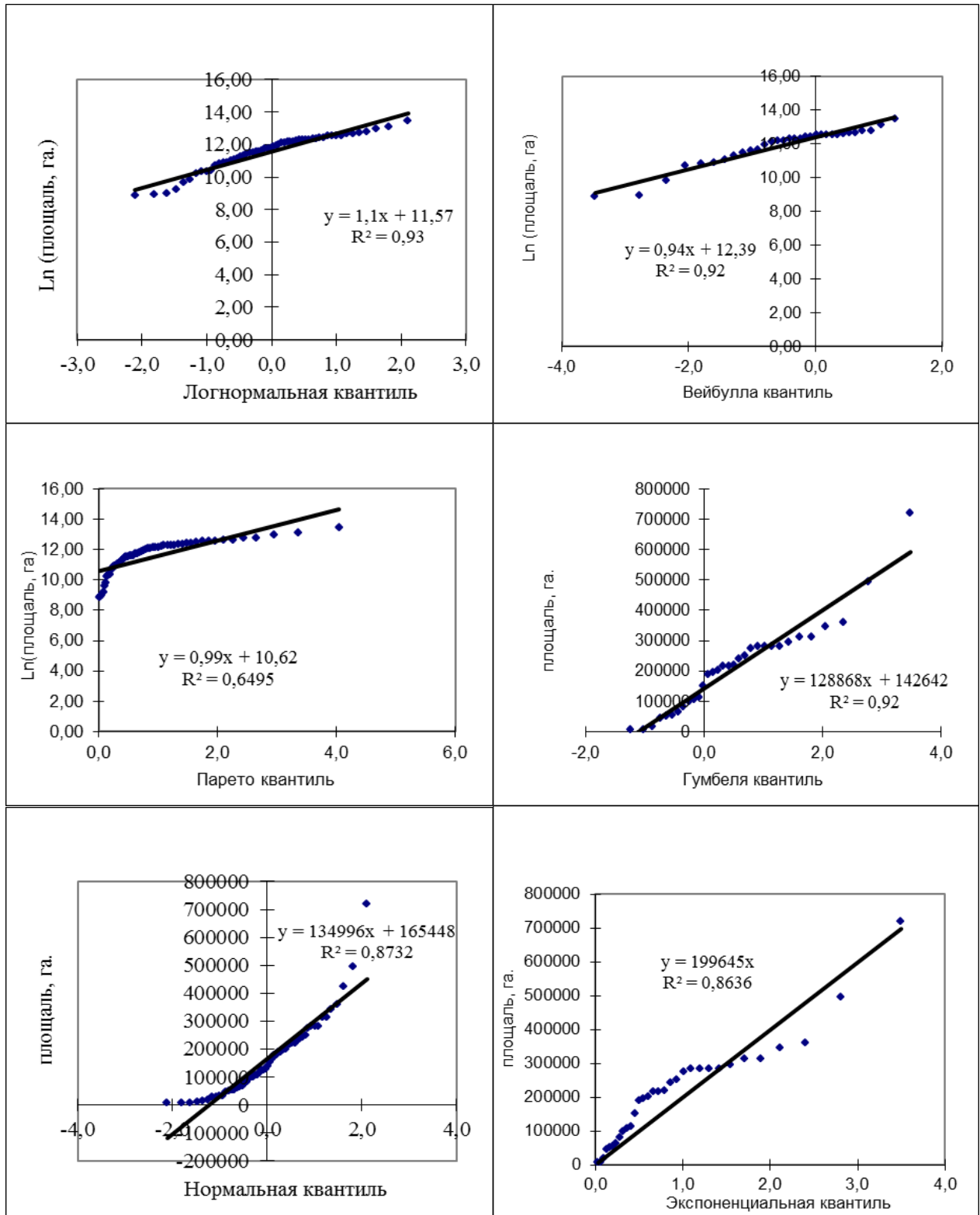


Рисунок 3.4. Графики квантилей функций распределения случайной величины «площадь повреждения леса»

Так, экспоненциальное распределение описывается формулой

$$F(M) = 1 - \exp(-\beta x) \quad , \quad (3.2)$$

линейное уравнение регрессии (рис. 3.3), приведенное на графике квантилей, соответствующей экспоненциальному распределению, имеет вид

$$y = a + bx = 2984x \quad .$$

Следовательно (табл. 2.9) параметр β будет равен

$$\beta = \frac{1}{b} = \frac{1}{2984} = 3,4 \cdot 10^{-4}.$$

Тогда, в соответствии с таблицей 2.10, математическое ожидание равно

$$E(M) = \frac{1}{\beta} = b = 2984 \text{ (т)},$$

а 0,95 квантиль

$$X_{0,95} = -\frac{1}{\beta} \ln(1 - 0,95) = -\frac{1}{3,4 \cdot 10^{-4}} \ln(0,05) \approx 8940 \text{ (т)}.$$

В свою очередь случайная величина «площадь повреждения леса» (« $S_{л}$ ») описывается логнормальным законом распределения (который также автором обоснован впервые) с коэффициентом детерминации 0,93 (рис. 3.4)

$$F(S_{л}) = \Phi \left[\frac{\ln \left(\frac{S_{л}}{\beta} \right)}{\delta} \right] \quad . \quad (3.3)$$

Учитывая, что коэффициент корреляции полученной математической модели составляет 0,93 и в соответствии со шкалой Чеддока характеризует силу связи как «очень сильная», то это позволяет считать ее пригодной для практического использования.

Линейное уравнение регрессии (рис. 3.4), приведенное на графике квантилей, соответствующей логнормальному распределению, имеет вид

$$y = a + bx = 11,57 + 1,1x .$$

Следовательно (табл. 2.9) параметр β будет равен

$$\beta = \exp a = \exp 11,57 = 105873 ,$$

а параметр $\delta = b = 1,1$.

Тогда, в соответствии с таблицей 2.10, математическое ожидание равно

$$E(X) = \beta \exp\left(\frac{\delta^2}{2}\right) = 105873 \cdot \exp\left(\frac{1,1^2}{2}\right) = 193880 (\text{м}^2) \approx 19 (\text{га}) ,$$

а 0,95 квантиль

$$X_{0,95} = \beta \exp \delta u_{0,95} = 105873 \cdot \exp(1,1 \cdot 1,645) = 646608 (\text{м}^2) \approx 65 (\text{га}) .$$

К сожалению, для определения закона распределения случайной величины «площадь деградации почвы» соответствующие статистические данные отсутствуют. В этом случае используем сделанное в Методике допущение, что законы распределения случайных величин «площадь деградации почвы» и «площадь повреждения леса» совпадают по типам и различаются только по параметрам, в силу общего поражающего фактора, а параметры функции распределения случайной величины «площадь деградации почвы» можно определить с учетом поправочного коэффициента. Этот поправочный коэффициент K_{Π} определяется функцией отношения максимального значения площади деградации почвы, полученного детерминированным методом, к максимальному значению в исходной выборке данных по зонам поражения леса

$$K_{\Pi} = \frac{\text{Ln } S_{\Pi}}{\text{Ln } S_{\max}} = \frac{\text{Ln } 65111}{\text{Ln } 720630} \approx 0,82 .$$

В таком случае параметры функции распределения случайной величины «площадь деградации почвы» β_{Π} и δ_{Π} соответственно равны:

$$\beta_{\Pi} = \beta_{\text{Л}}^{K_{\Pi}} = 105873^{0,82} = 13192 \quad \text{и} \quad \delta_{\Pi} = K_{\Pi} \delta_{\text{Л}} = 0,82 \cdot 1,1 = 0,9$$

Тогда математическое ожидание равно

$$E(X) = \beta \exp\left(\frac{\delta^2}{2}\right) = 13192 \cdot \exp\left(\frac{0,9^2}{2}\right) = 19778(\text{м}^2) \approx 2(\text{га}) \quad ,$$

а 0,95 квантиль

$$X_{0,95} = \beta \exp \delta u_{0,95} = 13192 \cdot \exp(0,9 \cdot 1,645) = 57980(\text{м}^2) = 6(\text{га}) \quad .$$

Результаты расчетов значений математических ожиданий и 0,95 квантилей случайных величин «масса выброшенного газа», «площадь повреждения леса» и «площадь деградации почвы» представлены в табл. 3.8.

Таблица 3.8: Значения математических ожиданий и 0,95 квантилей

Случайная величина	$E(X)$	$X_{0,95}$
$M, \text{т}$	2 984	8 940
$S_{\text{Л}}, \text{га}$	19	65
$S_{\Pi}, \text{га}$	2	6

Сопоставление, в соответствие с приведенными в Методике правилами (фигура 2.3.3.), результатов расчетов детерминированным (табл. 3.7) и вероятностно-статистическим методами (табл. 3.8) показывает:

для площадей повреждения леса и деградации почвы – значения 0,95 квантиля практически соразмерно с величинами негативных последствий воздействий поражающих факторов аварии, полученных детерминированным методом. Это свидетельствует о возможности использования значений 0,95 квантилей $S_{\text{Л}0,95}$ и $S_{\Pi0,95}$ при оценке максимально возможных ущербов (EML) лесу и почве соответственно, а математическое ожидание $E(S_{\text{Л}})$ и $E(S_{\Pi})$ при оценке вероятного максимального ущерба лесу и почве (PML);

для массы выброшенного газа – значения 0,95 квантиля значительно меньше величины негативных последствий воздействий ПФ аварии, полученных детерминированным методом. В таком случае корректней принять результаты, полученные детерминированным методом, при оценке максимального возможного ущерба атмосфере, а полученное значение математического ожидания $E(M)$ скорректируем с учетом поправочного коэффициента K_M . Коэффициент K_M определяется функцией отношения результатов детерминированного расчета к максимальному значению в исходной выборке данных M_{\max} .

Например, для участка №1, коэффициент K_M равен

$$K_{M1} = \frac{M_1}{M_{\max}} = \frac{62889}{12946} = 4,86.$$

Тогда, в соответствии с таблицами 2.9 и 2.10, математическое ожидание массы выброшенного газа равно

$$E(M_1) = \frac{K_{M1}}{\beta} = 4,86 \cdot 2984 = 14496 \text{ (т)}.$$

В таблице 3.9 представлены скорректированные значения математических ожиданий массы выброшенного газа по участкам МГ «Якутия-Хабаровск», которые можно использовать при оценке вероятного максимального ущерба атмосфере.

Таблица 3.9: Значения математических ожиданий массы выброшенного газа

№ участка	K_M	$E(M)$, т.
1	4,86	14 496
2	4,14	12 360
3	2,22	6 627
4	2,33	6 950
5	4,54	13 538
6	1,64	4 877
7	2,14	6 388
8	1,4	4 150

3.3.4. Оценка экологического ущерба от аварии на линейной части магистрального газопровода

А) Оценка вероятного максимального ущерба (PML) и максимального возможного ущерба (EML) детерминированным методом

Оценка ущерба для окружающей среды основывается на результатах прогнозирования масштабов последствий воздействия поражающих факторов аварии. Экологический ущерб определяется как плата за вред компонентам природной среды. Продемонстрируем полный расчет на примере участка №1 МГ «Якутия-Хабаровск».

Величину составляющей потенциального ущерба от причинения вреда атмосфере при горении газа определим по формуле (2.21).

Коэффициент к ставкам платы за выброс загрязняющего вещества $K_{пов}$, принимаем равным пяти, так как выброс аварийный.

Коэффициент для особо охраняемых природных территорий $K_{охр.}$ принимается равным единице, так как трасса участка №1 газопровода не проходит по территориям ООПТ.

Базовый норматив платы за выброс одной тонны загрязняющего вещества в пределах установленных лимитов выбросов в соответствии с [89] на 2018 г. принимаем равным для:

- метана – $N_{CH_4} = 108$ руб./т;
- оксида углерода – $N_{CO} = 1,6$ руб./т;
- диоксида азота – $N_{NO_2} = 138,8$ руб./т.

Для расчета вероятного максимального ущерба масса выброшенного газа в соответствии с таблицей 3.9 принимается равной 14 496 т. Тогда масса продуктов горения:

$$m_{CH_4} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 14496 \approx 7,3 \text{ (т)},$$

$$m_{CO} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 14496 \approx 290 \text{ (т)},$$

$$m_{\text{NO}_2} = 3 \cdot 10^{-3} \cdot 14496 \approx 43,5 \text{ (т)}.$$

Вероятный максимальный ущерб от причинения вреда атмосфере при горении газа составит

$$\begin{aligned} Y_{\text{AB}} &= K_{\text{пов.}} \cdot K_{\text{опр.}} \cdot (m_{\text{CH}_4} N_{\text{CH}_4} + m_{\text{CO}} N_{\text{CO}} + m_{\text{NO}_2} N_{\text{NO}_2}) = \\ &= 5 \cdot 1 \cdot (7,3 \cdot 108 + 290 \cdot 1,6 + 43,5 \cdot 138,8) = 36451 \approx 0,036 \text{ (млн. руб.)} \end{aligned}$$

Величину составляющей ожидаемого ущерба от причинения вреда атмосфере при аварии без возгорания газа \bar{Y}_{AB} определим аналогично при допущении, что 80% от полной массы выбрасываемого газа М является несгоревшим метаном

$$\bar{Y}_{\text{AB}} = K_{\text{пов.}} \cdot K_{\text{опр.}} \cdot m_{\text{CH}_4} N_{\text{CH}_4} \cdot 0,82 = 5 \cdot 1 \cdot 14496 \cdot 108 \cdot 0,8 = 6262272 \text{ (руб.)} \approx 6,3 \text{ (млн.руб.)}$$

Для расчета вероятного максимального ущерба масса выброшенного газа в соответствии с таблицей 3.7 принимается равной 62 889 т.

Тогда максимальный возможный ущерб от причинения вреда атмосфере при горении газа составит

$$Y_{\text{AB}} = 5 \cdot 1 \cdot (31,4 \cdot 108 + 1258 \cdot 1,6 + 189 \cdot 138,8) = 69732 \approx 0,16 \text{ (млн. руб.)}$$

Аналогично, допуская, что 80% от полной массы выбрасываемого газа М является несгоревшим метаном, определим максимальный возможный ущерб при аварии без возгорания газа.

$$\bar{Y}_{\text{AB}} = 5 \cdot 1 \cdot 62889 \cdot 108 \cdot 0,8 = 27168048 \approx 27,2 \text{ (млн.руб.)}$$

Оценку составляющей потенциального ущерба от причинения вреда лесному фонду производим по формуле (2.22).

В соответствие с [91] для участка №1 ставка платы определяется для третьего Сибирского лесотаксового района (приложения Б) по основной породе – сосна. В соответствии с приложением В ставка платы за единицу объема древесины лесных насаждений $C = 46,26 \text{ руб./м}^3$.

Корневой запас древесины V принимаем равным $150 \text{ м}^3/\text{га}$.

Таксу для исчисления размера ущерба K_1 принимаем равной 50 [90].

Коэффициент K_2 принимаем равным 1 для оценки PML и 2 для консервативной оценки EML [111].

Коэффициент K_3 принимаем равным 2,17 [92].

Коэффициент K_4 принимаем равным 1, так как участок №1 не проходит по территориям ООПТ.

Для расчета вероятного максимального ущерба лесному фонду площадь повреждения леса $S_{л}$, в соответствии с пунктом 3.1.4, принимается равной 19 га. Тогда

$$У_{л} = C K_1 K_2 K_3 K_4 V S_{л} = 46,26 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,17 \cdot 150 \cdot 19 = 14304749 \approx 14,3 (\text{млн.руб.}) .$$

Для расчета максимального возможного ущерба лесному фонду площадь повреждения леса $S_{л}$ принимается равной 65 га. Тогда

$$У_{л} = 46,26 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 2,17 \cdot 150 \cdot 65 = 97874595 \approx 97,9 (\text{млн.руб.}) .$$

Размер платы за вред, причиненный плодородному слою почвы $У_{п}$ рассчитывается по формуле (2.23).

В соответствии с консервативным подходом к оценке экологического ущерба при авариях на ЛЧМГ размер затрат на рекультивацию почвы принят равным 2,2 млн руб. на 1 гектар с учетом рыночной стоимости торфа по Дальневосточному Федеральному округу [112]. При этом необходимо отметить, что затраты на рекультивацию могут сильно варьироваться в зависимости от ряда факторов (сложность работ, стоимость сырья, удаленность и труднодоступность территории и др.) и в том числе использование наилучших доступных технологий [113], позволяющих повысить эффективность рекультивации тем самым снизив необходимое количество используемого сырья, длительность работ и в конечном итоге стоимость рекультивации [114-117].

Для расчета вероятного максимального ущерба площадь деградации почвы $S_{п}$, в соответствии с таблицей 3.8, принимается равной 2 га. Тогда

$$Y_{\Pi} = S_{\Pi} \cdot C_{\Pi} = 2 \cdot 2,2 = 4,4 \text{ (млн.руб.)} .$$

Для расчета максимального возможного ущерба площадь деградации почвы S_{Π} , принимается равной 6 га (таблица 3.8).

Тогда

$$Y_{\Pi} = 6 \cdot 2,2 = 13,2 \text{ (млн.руб.)} .$$

Вероятный максимальный ущерб окружающей среде (Y_{PML}) при аварии с возгоранием газа определялся в соответствии с формулой (2.19)

$$Y_{\text{экол.}} = Y_{AB} + Y_{Л} + Y_{\Pi} = 0,036 + 14,3 + 4,4 = 18,74 \text{ (млн.руб.)} .$$

Максимально возможный ущерб окружающей среде (Y_{EML}) при аварии с возгоранием газа равен

$$Y_{\text{экол.}} = Y_{AB} + Y_{Л} + Y_{\Pi} = 0,16 + 97,9 + 13,2 = 111,26 \text{ (млн.руб.)} .$$

Вероятный максимальный ущерб при аварии без возгорания газа равен

$$Y_{\text{экол.}} = \bar{Y}_{AB} \approx 6,3 \text{ (млн.руб.)} .$$

Максимально возможный ущерб при аварии без возгорания газа равен

$$Y_{\text{экол.}} = \bar{Y}_{AB} \approx 27,2 \text{ (млн.руб.)}$$

В таблицах 3.10–3.13 представлены результаты расчетов величин составляющих потенциального ущерба природной среде по участкам МГ «Якутия-Хабаровск». В таблице 3.14 представлены результаты расчетов вероятного максимального и максимально возможного ущербов окружающей среде по участкам МГ «Якутия-Хабаровск».

Таблица 3.10. Результаты расчетов вероятного максимального ущерба от причинения вреда атмосфере при авариях на МГ «Якутия-Хабаровск»

№ участка	K _{пов}	K _{опр}	E(M), т	m _{CH4} , т	m _{CO} , т	m _{NO2} , т	PML	
							У _{AB} , млн руб.	Ȳ _{AB} , млн руб.
1	5	1	14 496	7,3	290	43,5	0,036	6,3
2	5	1	12 360	6,2	247,2	37,1	0,031	5,3
3	5	1	6 627	3,3	132,5	19,9	0,017	2,9
4	5	1	6 950	3,5	139,0	20,9	0,017	3,0
5	5	1	13 538	6,8	270,8	40,6	0,034	5,8
6	5	1	4 877	2,4	97,5	14,6	0,012	2,1
7	5	1	6 388	3,2	127,8	19,2	0,016	2,8
8	5	1	4 150	2,1	83,0	12,5	0,01	1,8

Таблица 3.11. Результаты расчетов максимального возможного ущерба от причинения вреда атмосфере при авариях на МГ «Якутия-Хабаровск»

№ участка	K _{пов}	K _{опр}	M ₉₅ , т	m _{CH4} , т	m _{CO} , т	m _{NO2} , т	EML	
							У _{AB} , млн руб.	Ȳ _{AB} , млн руб.
1	5	1	62 889	31,4	1258	189	0,16	27,2
2	5	1	53 622	26,8	1072,4	160,9	0,13	23,2
3	5	1	28 752	14,4	575,0	86,3	0,07	12,4
4	5	1	30 153	15,1	603,1	90,5	0,08	13,0
5	5	1	58 735	29,4	1174,7	176,2	0,15	25,4
6	5	1	21 158	10,6	423,2	63,5	0,05	9,1
7	5	1	27 712	13,9	554,2	83,1	0,07	12,0
8	5	1	18 005	9,0	360,1	54,0	0,05	7,8

Таблица 3.12 – Результаты расчетов ущерба от причинения вреда лесному фонду при авариях на участках МГ «Якутия-Хабаровск»

№ участка	C, руб./м ³	K ₁	K ₂	K ₃	V, м ³ /га	E(S _л), га.	S _{л95} , га.	У _л , млн руб. PML	У _л , млн руб. EML
1	46,26	50	1	2,17	150	19	65	14,3	97,9
2	36,9	50	1	2,17	150	19	65	11,4	78,2
3	33,3	50	1	2,17	150	19	65	10,3	69,8
4	66,42	50	1	2,17	150	19	65	20,5	140,5

№ участка	C, руб./м ³	K ₁	K ₂	K ₃	V, м ³ /га	E(S _п), га.	S _{п95} , га.	У _л , млн руб. PML	У _л , млн руб. EML
5	41,58	50	1	2,17	150	19	65	12,9	88
6	–	–	–	–	–	–	–	–	–
7	111,24	50	1	2,17	150	19	65	34,5	235,2
8	–	–	–	–	–	–	–	–	–

Таблица 3.13 – Результаты расчетов ущерба от причинения вреда почве при авариях на участках МГ «Якутия-Хабаровск»

№	E(S _п), га	S _{п95} , га	C _п , млн руб./га	У _п , млн руб. PML	У _п , млн руб. EML
1-8	2	6	2,2	4,4	13,2

Таблица 3.14 – Результаты расчетов вероятного максимального и максимально возможного ущербов окружающей среде по участкам МГ «Якутия-Хабаровск»

№ участка	Авария с возгоранием газа								Авария без возгорания газа	
	PML				EML				PML	EML
	У _{ав} , млн руб.	У _л , млн руб.	У _п , млн руб.	У _э , млн руб.	У _{ав} , млн руб.	У _л , млн руб.	У _п , млн руб.	У _э , млн руб.	У _{ав} , млн руб.	У _{ав} , млн руб.
1	0,036	14,3	4,4	18,7	0,16	97,9	13,2	111,3	6,3	27,2
2	0,031	11,4	4,4	15,8	0,13	78,2	13,2	91,4	5,3	23,2
3	0,017	10,3	4,4	14,7	0,07	69,8	13,2	83,1	2,9	12,4
4	0,017	20,5	4,4	24,9	0,08	140,5	13,2	153,8	3,0	13
5	0,034	12,9	4,4	17,3	0,15	88	13,2	101,4	5,8	25,4
6	0,012	–	4,4	4,4	0,05	–	13,2	13,3	2,1	9
7	0,016	34,5	4,4	38,9	0,07	235,2	13,2	248,5	2,8	12
8	0,01	–	4,4	4,4	0,05	–	13,2	13,3	1,8	7,8

Полученные результаты свидетельствуют о том, что максимально возможный ущерб окружающей среде – 248,5 млн руб. – характерен для аварии с возгоранием газа на седьмом участке МГ «Якутия-Хабаровск».

Б) Оценка ущерба вероятно-статистическим методом (фигура 2.4.3)

Автором были собраны и проанализированы статистические данные об авариях с экологическим ущербом на ЛЧМГ ПАО «Газпром» за последние 10 лет, а также величины страховых выплат по экологической составляющей. Это позволило для аварий с возгоранием газа сформировать вариационный ряд чисел, характеризующий ущерб окружающей среде в виде суммарного ущерба лесному фонду и атмосферному воздуху. В связи с невозможностью выделения этих ущербов отдельно друг от друга и относительно малым значением ущербов атмосферному воздуху (табл. 3.11) введено допущение, что полученным числовым рядом можно описать случайную величину «ущерб лесу», а случайной величиной «ущерб атмосферному воздуху» можно пренебречь [118].

Для определения закона распределения случайной величины: «ущерб лесу» была использована техника графического статистического анализа, аналогично пункту 3.1.4. Были построены графики квантилей функции распределения случайной величины «ущерб лесу» (рис.3.5) для различных тестовых законов.

Из приведенных графиков видно, что случайная величина «ущерб лесу» ($У_{л}$) описывается логнормальным законом распределения – коэффициент детерминации 0,985. Поэтому логнормальный закон можно использовать при определении функций распределения случайной величины «ущерб лесу» [109]. Линейное уравнение регрессии (рис. 3.5), приведенное на графике квантилей, соответствующее логнормальному распределению, имеет вид

$$y=a+bx=12,4+1,8x.$$

Следовательно, параметр β будет равен

$$\beta=\exp a=\exp 12,4=242801,$$

а параметр $\delta = b = 1,1$.

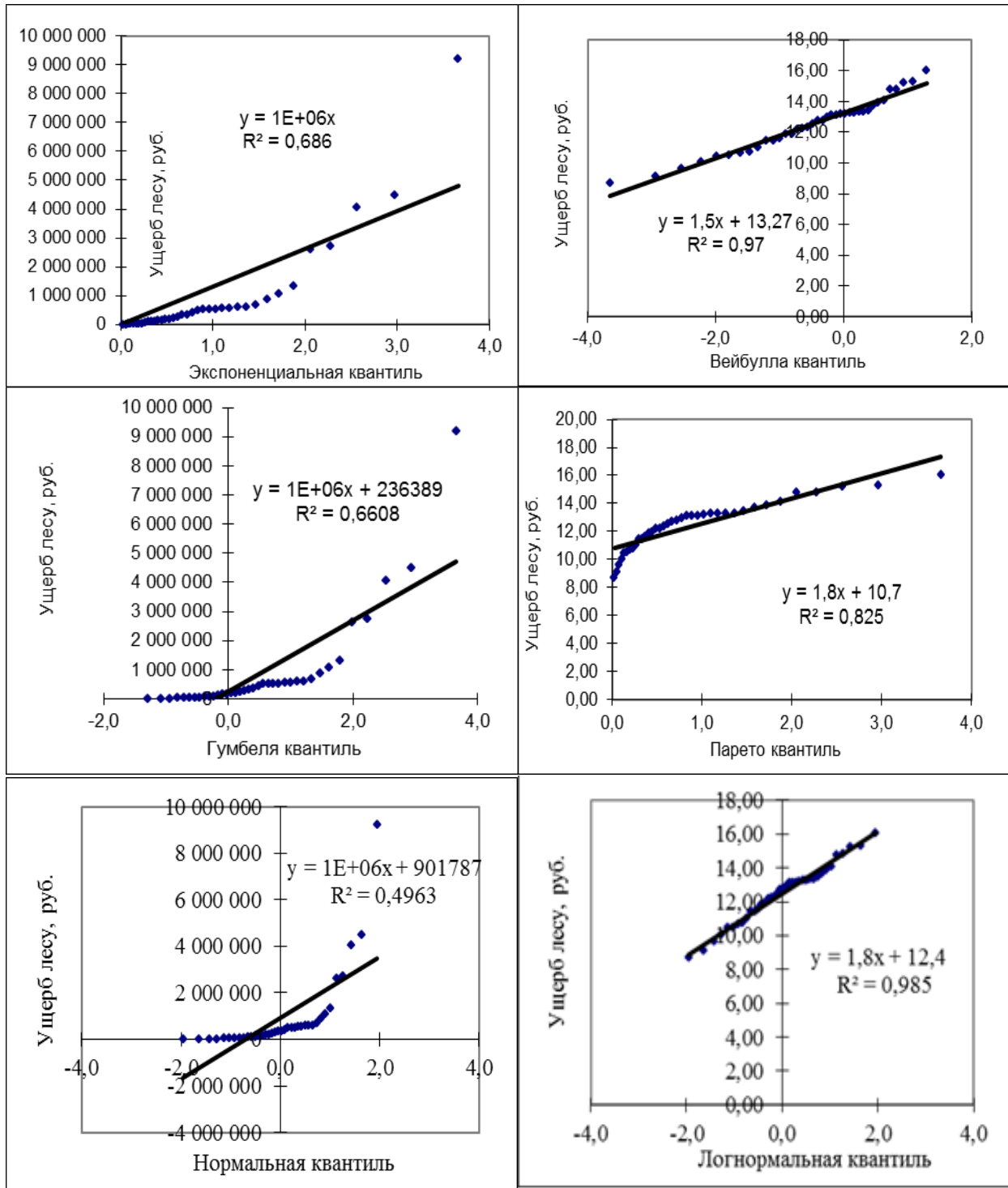


Рисунок 3.5 Графики квантилей функций распределения случайной величины «ущерб лесу»

Таким образом, случайная величина «ущерб лесу» ($Y_{л}$) описывается следующей функцией распределения:

$$F(Y_{л}) = \Phi \left[\frac{\ln \left(\frac{Y_{л}}{\beta} \right)}{\delta} \right] = \Phi \left[\frac{\ln \left(\frac{Y_{л}}{242801} \right)}{1,8} \right]$$

Однако полученная статистика иллюстрирует общую картину по всей стране и не отражает конкретные особенности пролегания, виды преобладающей породы леса для участков газопровода «Якутия – Хабаровск». С целью прогнозирования возможного ущерба лесному фонду по каждому участку газопровода было сделано допущение, что ущерб лесу описывается логарифмически-нормальным законом распределения с учетом поправочного коэффициента $K_{у_{л}}$, представляющего собой функцию отношения вероятного максимального ущерба лесу, полученного с использованием детерминированного метода для конкретного участка газопровода (табл. 3.11.), к максимальному значению ущерба в использованных статистических данных $Y_{л\max} = 9,2$ млн руб.

Тогда, в соответствие с таблицей 2.11, математическое ожидание и дисперсия ущерба для логнормального закона распределения будут определяться следующим образом:

математическое ожидание ущерба лесу при возгорании газа ($\mu_{у_{л}}$)

$$\mu_{у_{л}} = \beta^{K_{у_{л}}} \exp \left(\frac{(\delta K_{у_{л}})^2}{2} \right) \quad (3.4)$$

и дисперсия ($\sigma_{у_{л}}^2$)

$$\sigma_{у_{л}}^2 = \beta^{2K_{у_{л}}} \cdot \exp(K_{у_{л}}^2 \delta^2) \cdot \exp(K_{у_{л}}^2 \delta^2 - 1) \quad (3.5)$$

Например, для участка №1, коэффициент K равен

$$K_{у_{л1}} = \frac{\ln Y_{у_{л1}}}{\ln Y_{л\max}} = \frac{\ln(14,3)}{\ln(9,2)} = 1,0275$$

Тогда математическое ожидание ущерба лесу равно

$$\mu_{y_{л1}} = \beta^{K_{y_{л1}}} \exp\left(\frac{(\delta K_{y_{л1}})^2}{2}\right) = 242801^{1,0275} \cdot \exp\left(\frac{(1,8 \cdot 1,0275)^2}{2}\right) = 1888748(\text{руб.})$$

а дисперсия

$$\sigma_{y_{л1}}^2 = \beta^{2K_{y_{л1}}} \cdot \exp(K_{y_{л1}}^2 \delta^2) \cdot \exp(K_{y_{л1}}^2 \delta^2 - 1) = 242801^{2 \cdot 1,0275} \cdot \exp(1,0275^2 \cdot 1,8^2) \cdot \exp(1,0275^2 \cdot 1,8^2 - 1) = 3,9 \cdot 10^{13}(\text{руб.})$$

Результаты расчетов математического ожидания и дисперсии случайной величины «ущерб лесу» по участкам МГ «Якутия-Хабаровск» представлены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Математическое ожидание и дисперсия случайной величины «ущерб лесу» по участкам МГ «Якутия-Хабаровск»

№ участка	$K_{y_{л}}$	$\mu_{y_{л}} \cdot 10^{-6}$, руб.	$\sigma_{y_{л}}^2 \cdot 10^{-13}$, руб ² .
1	1,0275	1,89	10,55
2	1,0133	1,5	6,14
3	1,007	1,37	4,82
4	1,0499	2,69	25
5	1,021	1,7	8,25
6	–	–	–
7	1,0824	4,5	88,2
8	–	–	–

Для определения закона распределения случайной величины «ущерб почве» соответствующие статистические данные отсутствуют. В этом случае, как и ранее автором обосновано допущение, что законы распределения случайных величин «ущерб почве» и «ущерб лесу» совпадают по типам и различаются только по параметрам в силу общего поражающего фактора. Тогда параметры функции распределения случайной величины «ущерб почве» можно определить с учетом поправочного коэффициента $K_{y_{п}}$ аналогично отношению натуральных логарифмов значения вероятного максимального ущерба почве, полученного ранее детерминированным методом (табл. 3.12), к максимальному

значению в исходной выборке данных по ущербу лесному фонду $Y_{\text{Лmax}} = 9,2$ млн руб.

$$K_{y_{\text{п}}} = \frac{\text{Ln}(Y_{\text{п}})}{\text{Ln}(Y_{\text{Лmax}})} = \frac{\text{Ln}(4,4)}{\text{Ln}(9,2)} = 0,953$$

Расчет математического ожидания и дисперсии случайной величины «ущерб почве» проводятся аналогично случайной величине «ущерб лесу» по формулам (3.4) – (3.5). В этом случае математическое ожидание ущерба почве для каждого участка МГ «Якутия-Хабаровск»

$$\mu_{y_{\text{п}}} = \beta^{K_{y_{\text{п}}}} \exp\left(\frac{(\delta K_{y_{\text{п}}})^2}{2}\right) = 242801^{0,953} \cdot \exp\left(\frac{(1,8 \cdot 0,953)^2}{2}\right) = 593057 \approx 0,6 \cdot 10^6 \text{ (руб.)},$$

а дисперсия

$$\sigma_{y_{\text{п}}}^2 = \beta^{2K_{y_{\text{п}}}} \cdot \exp(K_{y_{\text{п}}}^2 \delta^2) \cdot \exp(K_{y_{\text{п}}}^2 \delta^2 - 1) = 242801^{2 \cdot 0,953} \cdot \exp(1,0013^2 \cdot 1,8^2) \cdot \exp(0,953^2 \cdot 1,8^2 - 1) = 0,63 \cdot 10^{13} \text{ (руб}^2\text{.)}$$

Для определения закона распределения случайной величины «ущерб атмосфере» при аварии без возгорания газа соответствующие статистические данные отсутствуют. В этом случае можно сделать допущение, что рассчитанное ранее детерминированным методом значение вероятного ущерба $\overline{Y_{\text{AB}}} = 6,3 \cdot 10^6$ руб. является математическим ожиданием $\overline{\mu}_{\text{YAB}}$ данной случайной величины для первого участков МГ «Якутия – Хабаровск», так как при определении массы газа использовалась статистика по выбросам газа (см. пункт 3.1.4). Тогда дисперсия равна

$$\overline{\sigma}_{\text{YAB}}^2 = \overline{\mu}_{\text{YAB}}^2 = (6,3 \cdot 10^6)^2 \approx 4 \cdot 10^{13} \text{ (руб}^2\text{.)}$$

Используя полученные значения, далее по формулам 2.28 – 2.29 найдем математическое ожидание μ и дисперсию σ^2 экологического ущерба при аварии на газопроводе с учетом вероятностей развития аварии по сценарию с возгоранием газа P_1 и без возгорания – P_2 (табл. 3.5.)

Так, для участка №1 математическое ожидание экологического ущерба

$$\mu = P_1 \cdot (\mu_{\text{YAB}} + \mu_{\text{Yл}} + \mu_{\text{Yп}}) + P_2 \cdot \bar{\mu}_{\text{YAB}} = 0,5 \cdot (1,89 \cdot 10^6 + 0,6 \cdot 10^6) + 0,5 \cdot 6,3 \cdot 10^6 = 4,3 \cdot 10^6 \text{ (руб.)},$$

а дисперсия

$$\sigma^2 = P_1 \cdot (\sigma_{\text{YAB}}^2 + \sigma_{\text{Yл}}^2 + \sigma_{\text{Yп}}^2) + P_2 \cdot \bar{\sigma}_{\text{YAB}}^2 - 2 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot (\mu_{\text{YAB}} + \mu_{\text{Yл}} + \mu_{\text{Yп}}) \cdot \bar{\mu}_{\text{YAB}} = 0,5 \cdot (10,55 \cdot 10^{13} + 0,6 \cdot 10^{13}) + 0,5 \cdot 4 \cdot 10^{13} - 2 \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot (1,89 \cdot 10^6 + 0,6 \cdot 10^6) \cdot 6,3 \cdot 10^6 = 6,7 \cdot 10^{13} \text{ (руб}^2\text{.)}$$

Результаты расчетов математического ожидания и дисперсии экологического ущерба для остальных участков МГ «Якутия-Хабаровск» представлены далее в таблице 3.16.

Таблица 3.16 – Результаты расчетов математического ожидания и дисперсии экологического ущерба по участкам МГ «Якутия-Хабаровск»

Участки	$\mu \cdot 10^{-6}$, руб.	$\sigma^2 \cdot 10^{-12}$, руб ² .
1	4,3	67
2	3,7	42
3	2	46
4	3,2	220
5	2,8	78
6	0,7	6
7	4,4	654
8	1,2	6

Полученные значения используются в дальнейшем как исходные данные при проведении актуарных расчетов.

3.4. Определение параметров страхования экологических рисков

3.4.1. Определение страховой суммы

Так как удельная частота аварии на газопроводе (табл. 3.4.) $\lambda_{\text{уд}}=0,04$ на 1000 км /год, меньше среднестатистической частоты аварий на МГ ПАО «Газпром $\lambda_{\text{ср}}=0,06$ на 1000 км /год, то лимит ответственности на один

страховой случай устанавливается равным значению максимального возможного ущерба (табл. 3.14.) $Y_{EML}=LIM=248,5$ млн. руб.

Далее определим возможное количество страховых случаев N по формуле (2.30).

$$N = \lceil \lambda t + 3,719\sqrt{\lambda t} \rceil = \lceil 0,11 \cdot 1 + 3,719\sqrt{0,11 \cdot 1} \rceil = \lceil 1,34 \rceil = 2$$

Таким образом, в год на всей протяженности МГ равной 2870 км может произойти две аварии (два страховых случая) [119].

Тогда страховая сумма по формуле (2.31) равна

$$S_{\text{страх}} = N \cdot LIM = 2 \cdot 248,5 = 497 \text{ млн.руб.}$$

3.4.2. Обоснование страховой премии

Имея значения частоты аварий на участках МГ «Якутия-Хабаровск» (табл. 3.4), а также значения математического ожидания и дисперсии потенциального ущерба окружающей среде (табл. 3.16) произведем расчет суммарной для всего МГ нетто-премии по формуле (2.37).

$$\Pi = \sum_{i=1}^8 \lambda_i t \cdot \mu_i + 1,645 \sqrt{\sum_{i=1}^8 \lambda_i t (\sigma_i^2 + \mu_i^2)} = 6377706 (\text{руб.}) \approx 6,4 \text{ млн.руб.}$$

Брутто-премия определяется с учетом нагрузки 30% по формуле (2.38)

$$\Pi_{\sigma} = \frac{\Pi}{1 - f/100} = \frac{6377706}{1 - 30/100} = 9111009 \text{ руб.} \approx 9,1 \text{ млн руб.}$$

Тогда страховой тариф по формуле (2.41) составит

$$T = \frac{9111009}{497000000} \cdot 100 = 1,83 \%$$

3.4.3. Установление оптимального уровня франшизы

При установлении оптимального уровня франшизы рассматривался вариант условной франшизы.

Для установления оптимального размера франшизы необходимо провести анализ по методу «затраты-выгоды», где снижение премии как экономия средств будет характеризовать положительную составляющую экономического эффекта. Для этого был проведен анализ снижения размера страховой премии относительно значения франшизы. Размер страховой премии с учетом франшизы разного уровня определялся по формуле (2.39).

В качестве допущения принято, что общий экологический ущерб для аварий на участках МГ «Якутия-Хабаровск» с возгоранием газа и без возгорания описывается логнормальным законом распределения. Тогда исходная формула преобразовывается в вид [8]

$$\text{усл } \Pi_{\Phi} = \sum_{i=1}^8 \lambda_i t \mu_i \left[1 - \Phi \left(\frac{\ln(f) - a - b^2}{b} \right) \right] + 1,645 \sqrt{\sum_{i=1}^8 \lambda_i t \sigma_i^2} \left[1 - \Phi \left(\frac{\ln(f) - a - 2b^2}{b} \right) \right] \quad (3.6)$$

где: a, b - параметры функции распределения случайной величины «размер экологического ущерба»

Параметры функции распределения для логнормального распределения можно найти через систему уравнений, используя значения математического ожидания и дисперсии (табл. 3.16),

$$\begin{cases} \mu = \exp(a + b^2/2) \\ \sigma^2 = \exp(2a + b^2) \cdot (\exp(b^2) - 1) \end{cases} \quad (3.7)$$

Тогда параметры a и b соответственно равны

$$\begin{cases} a = \ln \frac{\mu}{\exp(b^2/2)} \\ b = \ln \sqrt{\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1} \end{cases} \quad (3.8)$$

В качестве примера определим параметры закона распределения ущерба окружающей среде для участка №1:

$$\begin{cases} a = \ln \frac{\mu}{\exp(b^2/2)} = \ln \frac{4,3 \cdot 10^6}{\exp(1,23^2/2)} = 14,5 \\ b = \sqrt{\ln\left(\frac{\sigma^2}{\mu^2} + 1\right)} = \sqrt{\ln\left(\frac{67 \cdot 10^{12}}{4,3 \cdot 10^6} + 1\right)} = 1,23 \end{cases}$$

Результаты расчета параметров функции распределения случайной величины «размер экологического ущерба» по участкам МГ представлены в таблице 3.17.

Таблица 3.17 - Значения параметров а и b функций распределения случайной величины «ущерб окружающей среде» по участкам МГ «Якутия-Хабаровск»

№	$\mu \cdot 10^{-6}$, руб.	$\sigma^2 \cdot 10^{-12}$, руб.	a	b
1	4,3	67	14,5	1,23
2	3,7	42	14,4	1,18
3	2	46	13,2	1,59
4	3,2	220	13,4	1,76
5	2,8	78	13,6	1,55
6	0,7	6	12,1	1,6
7	4,4	654	13,5	1,88
8	1,2	6	13,1	1,28

Используя полученные значения, а также значения частоты аварий (табл.3.4) можно вычислить размер страховой нетто-премии с франшизой по формуле (3.6).

В таблице 3.18 представлены выборочные данные по значению страховой премии с различным уровнем франшизы.

Таблица 3.18 – Размер страховой премии с франшизой

Размер франшизы, руб.	Размер страховой премии, руб.	Относительное снижение размера страховой премии %
200 000	6 320 307	0,9
600 000	6 288 418	1,4
1 000 000	6 250 152	2
5 000 000	5 739 935	10
10 000 000	5 293 496	17
25 000 000	4 591 948	28
50 000 000	3 507 738	45
100 000 000	2 551 082	60

Анализ изменения размера страховой премии при различных уровнях франшизы показал:

если оставить на собственном удержании мелкие убытки (до 1 млн. руб.) то экономия средств, относительно размера премии без франшизы, составит – 2%;

оставляя на собственном удержании средние убытки (до 10 млн. руб.) можно получить скидку к премии в 17%;

оставляя на собственном удержании крупные убытки (до 100 млн. руб.) можно получить скидку к премии в 60%;

Однако необходимо сказать, что с учетом изначально небольшого размера страховой премии, абсолютные значения экономии средств достаточно малы и не могут являться определяющими при установлении франшизы, то есть в нашем случае проведения анализа «затраты-выгоды» недостаточно.

Еще одним методом определения оптимального уровня франшизы является анализ зависимости относительного снижения числа страховых случаев и общего размера ущерба от уровня франшизы (табл. 3.19), что может позволить определить область значений оптимальной франшизы.

Таблица 3.19 – Зависимость относительного снижения числа страховых случаев и общего размера ущерба от уровня франшизы

Относительный размер ущерба	Относительное снижение количества страховых случаев	Размер франшизы, руб.
99,75%	15,2%	200 000
99,59%	18,2%	300 000
99,43%	20,2%	400 000
99,21%	22,2%	500 000
98,16%	30,3%	600 000
97,85%	32,3%	700 000
97,85%	32,3%	800 000
97,43%	34,3%	900 000
97,21%	35,4%	1 000 000
95,10%	42,4%	1 500 000
92,20%	49,5%	2 000 000
91,71%	50,5%	2 500 000
89,24%	54,5%	3 000 000
87,66%	56,6%	3 500 000
85,89%	58,6%	4 000 000
79,00%	65,7%	4 500 000
75,60%	68,7%	5 000 000

Отметим, что:

франшиза 0,2 млн. руб. снижает количество заявлений об убытках на примерно 15%, при этом размер заявленных убытков уменьшается на 0,25%;

франшиза 0,6 млн. руб. снижает количество заявлений об убытках на 30%, при этом размер заявленных убытков уменьшается на менее чем 2%;

франшиза 1 млн. руб. снижает количество заявлений об убытках на 35%, при этом размер заявленных убытков уменьшается на менее чем 3%;

франшиза 2,5 млн. руб. снижает количество заявлений об убытках на 50%, при этом размер заявленных убытков уменьшается примерно на 8%;

Резюмируя вышесказанное можно сделать вывод, что введение франшизы на уровне 0,6 млн. рублей не скажется существенно на общем уровне размера потенциального ущерба, который снизится менее чем на 2%, тем не менее – на

треть уменьшит количество случаев заявления об убытках, что заметно скажется на снижении организационных издержек, связанных с урегулированием убытков.

В таком случае размер нетто-премии с франшизой 600 тыс. руб. равен 6 288 418 руб.

Брутто-премия определяется с учетом нагрузки 30% по формуле (2.38)

$$П_б = \frac{П_ф}{1 - f/100} = \frac{6288418}{1 - 30/100} = 8983454 \text{ руб.} \approx 9 \text{ млн руб.}$$

Тогда страховой тариф по формуле (2.41)

$$Т = \frac{8983454}{497000000} \cdot 100 = 1,8(\%)$$

Страховой тариф равен 1,8% от страховой суммы, что соответствует лучшим страховым практикам и рекомендациям страховщиков [90].

Значения параметров страхования экологических рисков, возникающих при аварии на ЛЧМГ «Якутия-Хабаровск» показаны в таблице 3.20

Таблица 3.20 – Параметры страхования

Параметр	Значение
Лимит ответственности L, млн руб.	248,5
Страховая сумма S, млн руб.	497
Франшиза условная f, млн руб.	0,6
Страховая брутто-премия $П_б$, млн руб.	9
Страховой тариф T, %	1,8

Таким образом, использование методики, разработанной автором, позволяет в условиях ограниченности статистических данных, необходимых для проведения актуарных расчетов, определять оптимальные для страхователя

ключевые параметры страхования экологических рисков для дальнейшего выхода на страховой рынок.

Повышение обоснованности определения оптимальных с позиции страхователя ключевых параметров страхования аварийных экологических рисков достигается комбинацией детерминированного и вероятностного методов с использованием установленных автором законов распределения случайных величин размеров последствий воздействия поражающих факторов аварии и экологического ущерба, которые могут уточняться на основе сформулированных им правил и предложенных поправочных коэффициентов K_i и K_{y_i} применительно к конкретным участкам газопровода, учитывающих их технологические особенности и особенности окружающей среды.

Достоверность полученных научных результатов подтверждается сравнением результатов, полученных при использовании различных методов, в частности вероятностного и детерминированного. А также непротиворечивостью результатов практике страхования. Так, сопоставление полученного значения страхового тарифа T со значениями тарифов экологического страхования, применяемых в настоящий момент на страховом рынке, показывает, что, например, согласно обзору страховой компании AIG размер тарифной ставки зависит от конкретных факторов, влияющий на оценку степени риска, продолжительности периода страхования и принимается, как правило, от 1 до 2% от страховой суммы [97], а полученное в ходе расчетов значение страхового тарифа T составляет 1,8%. Таким образом, рассчитанное значение страхового тарифа T соответствует страховому рынку, а это свидетельствует в пользу достоверности полученных научных результатов.

Разработанная автором методика использовалась аналогичным образом при формировании Программы природоохранных и компенсационных природоохранных мероприятий для объектов ПАО «Газпром» при развитии газодобывающих, газотранспортных, газоперерабатывающих и газохимических мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока с целью

выполнения оценок экологических рисков при авариях на магистральных газопроводах и параметров их страхования в разрезе Центров газодобычи (Иркутский, Красноярский, Якутский, Сахалинский, Камчатский) [8, 84, 110].

ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

1) Даны рекомендации по применению методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков, возникающих при авариях на ЛЧМГ, на примере газопровода «Якутия-Хабаровск».

2) Даны рекомендации по предпочтительным законам распределения размеров последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду и размеров экологического ущерба или его компонентов.

3) Применение комбинации вероятно-статистических, детерминированных и экспертных методов оценки экологического риска, актуарной математики и методов математической статистики позволило в условиях ограниченности статистических данных, необходимых для проведения актуарных страховых расчетов, определить следующие параметры страхования, оптимальные для страхователя:

страховой тариф – 1,8% от страховой суммы;

страховая сумма – 497млн. руб.;

лимит ответственности на один страховой случай – 248,5 млн. руб.;

размер условной франшизы – 600 тыс. руб.;

страховая премия – 9 млн. руб.

4) Полученные результаты использованы при обосновании параметров страховой защиты в Программе природоохранных и компенсационных природоохранных мероприятий для объектов ПАО «Газпром» при развитии газодобывающих, газотранспортных, газоперерабатывающих и газохимических мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В диссертации на основе выявленного противоречия при анализе методического обеспечения страхования экологических рисков, возникающих при авариях на ЛЧМГ, поставлена и решена актуальная научная задача по разработке методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных чрезвычайных ситуаций, обусловленных авариями на ЛЧМГ, в условиях ограниченности статистической информации, с использованием комбинаций вероятно-статистических, детерминированных и экспертных методов оценки риска, актуарной математики и методов математической статистики.

Поскольку страховой рынок предлагает ограниченную возможность выбора условий страхования, практически невозможно договориться о таких условиях, которые дали бы компании оптимальное распределение рисков. Однако при проведении переговоров со страховой компанией страхователь должен сформулировать свои предложения по условиям страхования и, в рамках этих предложений, определить для себя оптимальное соотношение риска и страховой премии. Понимание целей и желаемого результата позволит добиться от страховщика более выгодных для компании условий заключения договора.

2. По замыслу решения поставленной задачи разработанная впервые методика определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных чрезвычайных ситуаций, обусловленных авариями на ЛЧМГ, включает в себя два последовательных основных этапа:

оценка аварийного экологического риска для ЛЧМГ на основе использования комбинации детерминированного и экспертных методов с асимптотической теорией вероятности экстремальных величин. Такой подход позволяет находить законы распределения размера экологического ущерба при

авариях на конкретных МГ, что в конечном итоге повышает обоснованность прогнозирования размера экологического риска в условиях неопределенности;

проведение актуарных расчетов на основе использования модели коллективного риска с непрерывным временем и методов математической статистики экстремальных величин для определения параметров страхового покрытия, требований по виду и размеру франшизы, значений страховой премии и страхового тарифа.

Представленная методика позволяет в условиях ограниченности статистических данных, необходимых для проведения актуарных расчетов, определять оптимальные для страхователя значения ключевых страховых параметров экологического страхования при авариях на ЛЧМГ, используя комбинацию вероятностных, расчетных и экспертных методов оценки риска, актуарной математики и математической статистики.

3. Представлены рекомендации по выбору законов распределения для описания функций распределения размеров последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду и размеров экологического ущерба или его компонентов, а также по определению ключевых параметров страхования аварийных экологических рисков, с использованием разработанной методики на примере МГ «Якутия-Хабаровск». Сравнение полученных результатов с практиками расчетов параметров договоров страхования и значениями страховых тарифов, применяемыми в настоящий момент на страховом рынке, свидетельствует об их достоверности.

4. Практическое внедрение выполненных автором исследований заключается в:

определении ключевых параметров страхования (страховая сумма, лимит ответственности на один страховой случай, размер страховой премии и уровень франшизы) аварийных экологических рисков для газопровода «Якутия – Хабаровск»;

обосновании для целей страхования величин потенциального экологического ущерба при авариях на различных линейных частях газопроводов, входящих в состав Восточной газовой программы, и предложений по ключевым параметрам страхования.

Таким образом, можно с уверенностью сказать, что разработанная автором методика позволила повысить обоснованность определения оптимальных, с позиции страхователя, ключевых параметров страхования экологических рисков, возникающих при авариях на ЛЧМГ, а, следовательно, цель работы достигнута.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Устойчивое развитие газовой промышленности/ Под общей ред. В.А. Маркелова, О.П. Андреева, Д.Н. Кобылкина. – М.: ООО «Издательский дом Недра», 2013. – 244 с.
2. Садов В.А. Обеспечение экологической безопасности при строительстве и эксплуатации газопроводных систем А.В. Садов, С.Г. Павлов, О.Б. Наполов, С.В. Овчаров, С.А. Ковалев. – М.: ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2011. - 279 с.
3. Цховребов Ю.В. Страховая защита предприятий нефтяной отрасли как элемент управления промышленными рисками: Диссертация канд. техн. наук 05.26.03. – Москва, 2006. – 196 с.
4. Моткин Г.А. Экологическое страхование: итоги и перспективы. - М.: Изд-во МБА, 2010. – 70 с.
5. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) "Об охране окружающей среды".
6. Типовое положение о порядке добровольного экологического страхования в Российской Федерации (утв. Минприроды РФ 03.12.1992 N 04-04/72-6132, Российской государственной страховой компанией 20.11.1992 N 22).
7. Быков А.А. Статистический анализ урегулирования убытков по программам имущественного страхования: рекомендации для страхователей и риск-менеджеров крупных компаний. / А.А. Быков. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2014. – 242 с.
8. Программа природных и компенсационных природоохранных мероприятий для объектов ПАО «Газпром» при развитии газодобывающих, газотранспортных, газоперерабатывающих и газохимических мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока: утверждена членом Правления, начальником Департамента по транспортировке, подземному

хранению и использованию газа ПАО «Газпром» О.Е. Аксютиним 9 сентября 2014 года.

9. Международный Стандарт ISO 31000 Риск Менеджмент – Принципы и руководства // [http://www.pqm-online.com/assets/files/lib/std/iso_31000-2009\(r\).pdf](http://www.pqm-online.com/assets/files/lib/std/iso_31000-2009(r).pdf).

10. Управление рисками организации. Интегрированная модель, Комитет спонсорских организаций Комиссии Тредвей, COSO ERM (2004г.) // <http://www.coso.org/erm-integratedframework.htm>.

11. Стандарты управления рисками Федерация европейских ассоциаций риск-менеджеров, // <http://www.ferma.eu/app/uploads/2011/11/a-risk-management-standard-russian-version.pdf>.

12. Быков А.А. Оценка последствий аварий при страховании опасных объектов Монография / А. А. Быков, А. В. Колесников, В. М. Кондратьев-Фирсов. // под ред. М.И. Фалеева М.: ФКУ ЦСИ ГЗ МЧС России, 2013. 392 с.

13. Акимов В. А. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике / В. А. Акимов, В. В. Лесных, Н. Н. Радаев; МЧС России. — М.: Деловой экспресс, 2004. — 352 с.

14. Русакова В.В. Методология разработки генеральной схемы развития газовой отрасли / В. В. Русакова, А. С. Казак, Р. О. Самсонов. - М: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. - 315 с.

15. Федеральный закон от 27.07.2010 N 225-ФЗ (ред. от 23.06.2016) "Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте" (с изм. и доп., вступ. в силу с 11.09.2017).

16. Environmental risk management and the role of environmental insurance/ Broderick Ja.W., Lavoie D.R., Perel A.J. // Environmental Quality Management. 2000. Т. 10. № 1. С. 3.

17. Environmental insurance: an option to a phase in environmental site assessment/ Cornell M. // Real Estate Finance Journal. 2003. Т. 18. № 3. С. 24.

18. Insurance companies and environmental liabilities/ Ellison J.N., Insua N.M. // Pollution Engineering. - 2002. - Т. 34. № 2. С. 26.
19. Экологическая ответственность и экологическое страхование в России / В.В. Меньшиков, О.В. Меньшикова. // Вестник экологического образования в России. – 2012. – № 2. – С. 36-41.
20. Башкин В.Н. Управление экологическим риском. — М.: Научн. мир, 2005. — 368 с.
21. Башкин В.Н. Экологические риски: расчет, управление, страхование. — М.: Высш. шк., 2007. — 368 с.
22. Тенденции в страховании экологических рисков. / Маркин Ю.Г.// Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. – 2014. -№1.- С. 52-55.
23. Галабаева М.В. Страхование экологических рисков в современной экономике: монография. — М.: Издательство «Палеотип», 2006. — 148 с.
24. Гвозденко А. А.. Страхование: учеб. — М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2006. - 464 с.
25. Ахатов А. Г. Экологическое страхование как базовый элемент экономического механизма охраны окружающей среды и природопользования в контексте обеспечения экологической безопасности: проблемы правового регулирования//Евразийский юридический журнал/Eurasian Law Journal. М., № 19, 2009, С. 103—109.
26. Актуальность развития экологического страхования предприятий нефтехимического комплекса / И. А. Гусарова, А. А. Сагдеева. // Вестник казанского технологического университета. – 2011. - №5.- С. 162-168.
27. Моткин Г.А. Основы экологического страхования. - М.: Наука, 1996 - 192 с.
28. Расчетно-методический инструментарий страхования риска загрязнения окружающей среды. / А.С. Тулупов. // Экономика и математические методы – 2014 – том 50, № 1 – С. 3-15.

29. Экономические аспекты добровольного и обязательного экологического страхования./ А.С. Тулупов. // Экономика и математические методы – 2013 – том 49, № 2 – С. 44-53.

30. Самсонов Р.О. Системный анализ геоэкологических рисков в газовой промышленности Российской Федерации: Диссертация доктора техн. наук 05.13.01. – Тула, 2007. – 280 с.

31. Лесных В.В. Анализ риска и механизмов возмещения ущерба от аварий на объектах энергетики. — Новосибирск: Наука, сиб. предприятие РАН, 1999. — 251 с.

32. Лесных В.В. Оценка экологического ущерба и экологическое страхование объектов нефтегазовой отрасли/ В.Б. Житков, В.В. Лесных, Е.В. Зайцева, О.В. Меньшикова, В.А. Горин // Газовая промышленность. – 2013. - №7. – С. 79-83.

33. Жуков А.М. Экономические методы защиты от рисков при реализации нефтегазовых проектов: Диссертация канд. экон. наук 08.00.05. – Санкт-Петербург, 2011. – 126 с.

34. Елохин А.Н. Организация эффективной страховой защиты: практический опыт ОАО «ЛУКОЙЛ»: тезисы доклада // Материалы IV Международного профессионального форума «Управление рисками: решения для России», 2006.

35. Федеральный закон от 21.07.1997 N 116-ФЗ (ред. от 07.03.2017) "О промышленной безопасности опасных производственных объектов" (с изм. и доп., вступ. в силу с 25.03.2017).

36. Экологический годовой отчет ПАО «Газпром» за 2015 год.

37. <http://energyfuture.ru/rossijskaya-neftyanaya-katastrofa-1994-goda>

38. Экологическое страхование - надежный инструмент экономико-правового механизма охраны окружающей среды /Нецветаев А.Г., Жилкина М.С. // "Юридический мир", № 9 - 1999 г., с. 8-15.

39. <http://izvestia.ru/news/586120>.

40. <http://www.finmarket.ru/insurance/?id=3604375>.
41. <http://www.insur-info.ru/press/93022/>.
42. Гоник А.А. Уроки экологической катастрофы // Энергия: экономика, техника, экология. — Журнал Президиума РАН, 1999. — Вып. N 6. — С. 19-24.
43. <http://www.mchs.gov.ru/operationalpage/digest/Regionalnie/item/327209>
28.
44. <http://prom-nadzor.ru/content/analiz-riska-avariy-na-magistralnyh-truboprovodah-pri-obosnovanii-minimalnyh-bezopasnyh>.
45. Вишняков Я.Д., Радаев Н.Н. Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. — 2-е изд., исп. — М.: Издательский центр «Академия». 2008— 368 с.
46. Акимов В.А., Лесных В.В., Радаев Н.Н. Риски в природе, техносфере, обществе и экономике. — М.: Деловой экспресс, 2004. — 352с.
47. СТО Газпром 2-2.3-351-2009 «Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром».
48. Овчаров С.В. Разработка методов анализа риска эксплуатации магистральных трубопроводов.: Дис. Канд. техн. наук. М. 1998 - 344 с.
49. Поляков В.Н. Обоснование существования масштабного эффекта при разрушении магистральных трубопроводов // Газовая промышленность.- 1993. — № 3.- С. 20-23.;
50. Демченко В.Г., Демченко Г.В. Энергетическая оценка длины разрушения газопровода // Газовая промышленность.- 1999. — № 12. — С. 11-13;
51. Поляков В.Н., Колобанова А.Е., Минеев В.Н. Масштабный эффект при разрушении газопроводов // Строительство трубопроводов.- 1992. — № 10. — С. 36-38;
52. Максименко А.Ф., Клименко Е.Т., Стативко В.Л., Халлыев Н.Х. Определение зоны безопасности при разрыве газопровода // Газовая промышленность.- 2001. — № 2. — С. 38-39;

53. Нагорный В. , Поляковский В.А., Белинский И.В. Влияние взрыва подземного трубопровода на окружающую среду // Газовая промышленность.- 2001. – № 4.– С. 67;

54. Едигаров А.С., Сулейманов В.А. Математическое моделирование аварийного истечения и рассеивания природного газа при разрыве газопровода //Математическое моделирование.- 1995. – т.7. – № 4. – С. 37-52;

55. Комплекс методик по оценке размеров зон поражения при аварийном разрыве газопроводов: Отчет о НИР/ ООО "ВНИИГАЗ"; руководитель Г.С. Ракитина. - Москва, 2006 .-116 с.;

56. Chamberlain G. Developments in design methods for predicting thermal radiation from flames // Chem. Eng. - 1987.-V.65-p.299-309.

57. Crocker W.P., Napier D.H. Assessment of Mathematical Models for Fire and Explosion Hazards of Liquid Petroleum Gases // Hazardous Materials. - 1988 Vol.20. p.109-135.

58. Рекомендации по учету влияния технико-технологических, природно-климатических и других факторов при прогнозировании аварийности на магистральных газопроводах ОАО «Газпром». ООО «Газпром ВНИИГАЗ» 2007 г.

59. Шавкин С.В., Черноплёков А.Н., Гостева А.В., Монахов Р.Е., Ляпин А.А. Расчет частоты аварийной разгерметизации современных магистральных газопроводов для количественного анализа риска // Безопасность жизнедеятельности. Приложение к журналу. – 2009. – № 3. – С. 1-24.

60. Методические основы проведения анализа риска для магистральных газопроводов: учебное пособие /В.С. Сафонов, А.В. Мельников, П.П. Кукин. – М.: МАТИ, 2010. – 225 с.

61. СТО Газпром 2-1.19-530-2011 «Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух и определение размера вреда окружающей природной среде при авариях на магистральных газопроводах».

62. Maximum Probable Loss Methodology. Australian government, space licensing and safety office ISBN 0 642 723079, 2002.
63. Шинкаренко И.Э. Англо-русский словарь страховых терминов. – М.: Анкил, 2005. – 304 с.
64. Факов В.Я. Страхование: Англо-русский и русско-английский словарь. – М.: Международные отношения, 2007. – 256 с.
65. Юлдашев Р.Т. Страховой бизнес: Словарь-справочник. М.: «Анкил», 2005, 803 стр.
66. Страхование и управление риском: Терминологический словарь / Сост.: В.В.Тулинов, В.С.Горин. – М.: Наука, 2000. – 565 с. – ISBN 5-02008-388-7.
67. Ротарь В.И., Бенинг В.Е. Введение в математическую теорию страхования //Обзор прикладной и промышленной математики. – М.: 1994. Т.1. Вып. 5. – С. 698 – 780.
68. Акимов В.А. Экономические механизмы управления рисками чрезвычайных ситуаций/ В.А. Акимов, В.Я. Богачев, В.К. Владимирский, В.Д. Новиков, В.В. Лесных, В.А. Макеев, В.И. Сорокин, А.В. Шевченко// МЧС России. – М.: ИПП «Куна», 2004 – 312 с.
69. Стативко Виктор Ленинович. Разработка методов оценки последствий аварий на магистральных газопроводах с целью повышения их безопасности: диссертация кандидата технических наук: 25.00.19.- Москва, 2002.- 106 с.: ил. РГБ ОД, 61 03-5/621-8.
70. Тулупов А.С. Оценка вреда от нарушения природоохранного законодательства//Стандарты и качество. 2015. № 2 (932). С. 30-34.
71. Карпова В.В. Методический аппарат оценки экологического риска при авариях на нефтепроводах: Диссертация канд. техн. наук 05.26.03., 03.00.16 – Москва, 2007. – 237 с.
72. Тулупов А.С. Теория ущерба: общие подходы и вопросы создания методического обеспечения. – М.: Наука, 2009. – 284 с.

73. Грачева О. С. Некоторые проблемные аспекты возмещения вреда, причиненного окружающей среде // Вопросы международного и частного права. – 2016. – № 7. – С. 116–125.

74. Гумбель Э., Статистика экстремальных значений /Перевод с английского В.Ю. Татарского. – М.: издательство «МИР», 1965. – 450 с.

75. Стратегические риски России: оценка и прогноз/ МЧС России; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; - М.: Деловой экспресс, 2005. – 392 с.

76. Акимов В.А., Быков А.А., Щетинин Е.Ю. Введение в статистику экстремальных значений и ее приложения.- М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2009. – 524с.

77. Быков А.А. Прогнозирование риска чрезвычайных ситуаций на основе классических результатов асимптотической теории вероятностей экстремальных событий / Безопасность критичных инфраструктур и территорий: Тезисы докладов II Всероссийской научно-технической конференции и XII Школы молодых ученых, Екатеринбург: УрО РАН, 2008, с.10-11.

78. Быков А.А. Приложения асимптотической теории вероятностей экстремальных значений к прогнозированию риска экстремальных чрезвычайных ситуаций//Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования, Том 2, 2012, №1(2), сс.53-63.

79. Быков А.А. О предсказании поведения «хвостов» распределений и оценке «ожидаемых непредвиденных» потерь при управлении рисками// Проблемы анализа риска, Том 14, 2017, № 6, сс. 50-71.

80. Мазур И.И., Иванцов О.М., Молдаванов О.И. Конструктивная надежность и экологическая безопасность трубопроводов. - М.: Недра, 1990. - 264 с.: ил.

81. Влияние длительности эксплуатации на свойства металла труб магистральных газопроводов /Лубенский С.А., Ямников С.А. // Проблемы анализа риска – 2013– том 10, № 1 – С. 58-63.

82. Анализ основных причин разрушения труб магистральных газопроводов в ряде южных областей России /Лубенский С.А., Ямников С.А. // Проблемы анализа риска – 2012– том 9, № 3 – С. 48-55.

83. Овчаров С.В. Разработка методов анализа риска эксплуатации магистральных трубопроводов: Дис. Канд. техн. наук. М. 1998 - 344 с.

84. Отчёт о научно-исследовательской работе. Этап 1 «Оценка потенциального ущерба окружающей среде, включая аварийное воздействие при развитии газодобывающих, газотранспортных, газоперерабатывающих и газохимических мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока – ООО «Газпром ВНИИГАЗ», пос. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 2013 г. (№ 2661-0850-11-2 от 29.08.2012 «Оценка потенциального ущерба окружающей среде (животному и растительному миру, водным биологическим, лесным, земельным и другим ресурсам), включая аварийное воздействие, и разработка единой программы природоохранных и компенсационных природоохранных мероприятий для всех объектов ОАО «Газпром» при развитии газодобывающих, газотранспортных, газоперерабатывающих и газохимических мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока»).

85. ГОСТ 30319.1-96 «Газ природный. Методы расчета физических свойств. Определение физических свойств природного газа, его компонентов и продуктов его переработки».

86. СТО Газпром 2-1.19-200-2008 «Методика определения региональных коэффициентов трансформации оксидов азота на основе расчетно-экспериментальных данных».

87. Ямников С.А., Шевченко А.В. Методический подход повышения обоснованности параметров страхования экологических рисков в условиях ограниченности статистической информации применительно к авариям на линейной части магистральных газопроводов // Проблемы анализа риска, Том 15, 2018, №3, сс. 24-35.

88. Постановление Правительства РФ от 03.03.2017 N 255 "Об исчислении и взимании платы за негативное воздействие на окружающую среду" (вместе с "Правилами исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду").

89. Постановление Правительства РФ от 13.09.2016 N 913 (ред. от 09.12.2017) "О ставках платы за негативное воздействие на окружающую среду и дополнительных коэффициентах".

90. Постановление Правительства РФ от 08.05.2007 N 273 (ред. от 11.10.2014, с изм. от 02.06.2015) "Об исчислении размера вреда, причиненного лесам вследствие нарушения лесного законодательства" (вместе с "Методикой исчисления размера вреда, причиненного лесам, в том числе лесным насаждениям, или не отнесенным к лесным насаждениям деревьям, кустарникам и лианам вследствие нарушения лесного законодательства").

91. Постановление Правительства РФ от 22.05.2007 N 310 (ред. от 23.02.2018) "О ставках платы за единицу объема лесных ресурсов и ставках платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности".

92. Постановление Правительства РФ от 11.11.2017 N 1363 "О коэффициентах к ставкам платы за единицу объема лесных ресурсов и ставкам платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности".

93. Мак Томас. Математика рискованного страхования / Пер.с нем. – М.: ЗАО «Олимп-бизнес», 2005. - 432с.

94. Штрауб Э. Актуарная математика имущественного страхования. Пер. с нем. - М: Крокус-Т, 1993. - 328 с. с ил.

95. Ефимов С.Л. Брутто-ставка // Энциклопедический словарь. Экономика и страхование. — Москва: Церих-ПЭЛ, 1996. — С. 36. — 528 с.

96. Методика расчета тарифных ставок по рискованым видам страхования. Утв. Федеральной службой РФ по надзору за страховой деятельностью, 1993.

97. <https://www.aig.ru/content/dam/aig/emea/russia/documents/reports/calculation-environmental-ru-report.pdf>.

98. Отчёт о научно-исследовательской работе. Этап 2 «Разработка нормативных документов в области страхования имущественных интересов ОАО «Газпром»». – ООО «Газпром ВНИИГАЗ», пос. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 2011 г. (Договор № 2101-0050-10-1 от 07.04.2010 «Разработка нормативной документации в области организации и мониторинга страхования имущественных интересов ОАО «Газпром»»).

99. Отчёт о научно-исследовательской работе. Этап 1 «Разработка Комплексной целевой программы на 2010 – 2012 годы по совершенствованию системы страховой защиты имущественных интересов ОАО «Газпром» – ООО «Газпром ВНИИГАЗ», пос. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 2010 г. (Договор № 1601-0050-09-1 от 14.09.2009 «Разработка Комплексной целевой программы на 2010 – 2012 годы по совершенствованию системы страховой защиты имущественных интересов ОАО «Газпром»»).

100. Саченко Л.А. Количественные методы страхователя для определения эффективных условий страхования по отдельному риску/Страховое дело — 2013. — № 11 (248). — С. 10-18.

101. Ямников С.А. Методический аппарат обоснования страховых сумм программ экологического страхования при развитии газотранспортной сети Восточной Сибири и Дальнего Востока: в Сб. Газотранспортные системы: настоящее и будущее: тезисы докладов VI Международной научно-технической конференции GTS-2015 (28–29 октября 2015 г.). – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. – 174 с.

102. Ямников С.А. Методический подход к обоснованию оптимального значения страховой премии для программ экологического страхования при авариях на магистральных газопроводах: в Сб. Экологическая безопасность в газовой промышленности: тезисы докладов IV Международной конференции ESGI-2015 (02-03 декабря 2015 г.) – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. – 66 с.

103. Ямников С.А. Методика оценки эффективности программ страхования экологических рисков: в Сб. Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность. Перспективы и проблемы импортозамещения: тезисы докладов VI Международной молодежной научно-практической конференции (17–20 ноября 2015 г.). – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2015. – 92 с.

104. Положение о взаимодействии Управления страхования ОАО «Газпром» со структурными подразделениями Общества в области страхования (утверждено Заместителем Председателя Правления ОАО «Газпром» С.Ф. Хомяковым 23.05.2012, №07-521).

105. Положение о взаимодействии Управления страхования ОАО «Газпром» с дочерними обществами в области страхования (утверждено Заместителем Председателя Правления ОАО «Газпром» С.Ф. Хомяковым 23.05.2012, №07-522).

106. Р Газпром 106-2011 «Регламент сбора, обработки и использования информации в области страховой защиты имущественных интересов ОАО «Газпром» (утверждено Начальником Управления страхования ОАО «Газпром» М.Н. Шемякиной 12.12.2011 г.).

107. Андреев А. А. Анализ перспективы строительства магистрального газопровода «Сила Сибири» в условиях сейсмичности и вечномёрзлых грунтов // Молодой ученый. — 2015. — №10. — С. 134-139.

108. Аварийность на Российских магистральных трубопроводах http://riskprom.ru/TemaKtlg/RiskAvar/normirRsk/2015_MTT.pdf.

109. Ямников С.А., Шевченко А.В. К вопросу о возможных функциях распределения экологического ущерба применительно к авариям на линейной части магистральных газопроводов // Вести газовой науки: Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности. - М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2018. * П 2 (34). - С.252-257.

110. Отчёт о научно-исследовательской работе. Этап 2 «Разработка Программы природоохранных и компенсационных природоохранных

мероприятий для объектов ОАО «Газпром» при развитии газодобывающих, газотранспортных, газоперерабатывающих и газохимических мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока – ООО «Газпром ВНИИГАЗ», пос. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 2014 г. (№ 2661-0850-11-2 от 29.08.2012 «Оценка потенциального ущерба окружающей среде (животному и растительному миру, водным биологическим, лесным, земельным и другим ресурсам), включая аварийное воздействие, и разработка единой программы природоохранных и компенсационных природоохранных мероприятий для всех объектов ОАО «Газпром» при развитии газодобывающих, газотранспортных, газоперерабатывающих и газохимических мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока»).

111. Ямников С.А. Экологическое страхование в газовой отрасли, на примере лесных пожаров, инициируемых авариями на магистральных газопроводах // в Сб. Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность: тезисы докладов III научно-практической молодежной конференции (13-14 октября 2011 г.). – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2011 г. – 93 с.

112. <http://www.ineca.ru/?dr=bulletin/arhiv/0129&pg=009>

113. Шевченко А.В. Правовые основы внедрения наилучших доступных технологий при развитии газовых мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока / А.В. Шевченко, С.А. Ямников// Газовая промышленность. - 2015. - № 5. - С. 96-101.

114. Отчет о научно-исследовательской работе. Этап 1 «Оценка нарушенных и загрязненных почв и грунтов с выполнением требуемых физико-химических анализов. Разработка количественных параметров технологических процессов рекультивации почв и грунтов с выделением производственных выделов с однотипными техническими процессами» – ООО «Газпром ВНИИГАЗ», пос. Развилка, Ленинский р-н, Московская обл., 2016 г. (Договор ООО «Газпром добыча Ямбург» с ООО «Газпром ВНИИГАЗ» №2011414593 от

30.06.2014 «Разработка инновационной технологии реабилитации нарушенных и загрязненных почв и грунтов на территории ООО «Газпром добыча Ямбург»).

115. Патент №2610956 Российская Федерация, Способ получения гумата калия из местных торфов Ямало-Ненецкого АО / Арно О.Б., Арабский А.К., Башкин В.Н., Галиулин Р.Ф., Алексеев А.О., Галиулина Р.А., Мальцева А.Н., Ямников С.А., Николаев Д.С., Мурзагулов В.Р., заявитель и патентообладатель ООО «Газпром добыча Ямбург», ГАУ ЯНАО «Окружной технологический парк «Ямал». – №2015148114; заявл.09.11.2015 г.

116. Патент №2611165 Российская Федерация, Способ оценки эффективности рекультивации нарушенных тундровых почв посредством внесения местного торфа и гумата калия / Арно О.Б., Арабский А.К., Башкин В.Н., Галиулин Р.Ф., Алексеев А.О., Галиулина Р.А., Ямников С.А., Николаев Д.С., Мурзагулов В.Р., заявитель и патентообладатель ООО «Газпром добыча Ямбург», ГАУ ЯНАО «Окружной технологический парк «Ямал». – №2015148112; заявл.09.11.2015 г.

117. Русакова В.В., Казак А.С., Башкин В.Н., Бухгалтер Э.Б. и др. Управление экологическими рисками в газовой промышленности. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2009. – 200 с.

118. Ямников С.А. Оценка потенциального ущерба лесному фонду при авариях на магистральных газопроводах // в Сб. Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность: тезисы докладов IV научно-практической молодежной конференции (18-19 октября 2012 г.) – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2012 г. – 102 с.

119. Ямников С.А. Методический подход определения лимитов ответственности для целей экологического страхования при развитии газотранспортной системы Восточной Сибири и Дальнего Востока / Быков А.А., Шевченко А.В., Ямников С.А. // в Сб. Экологическая безопасность в газовой промышленности: тезисы докладов III Международной конференции ESGI-2013 (11–13 декабря 2013 г) – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2012 г. – 65 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Факторы влияния, учитываемые в МЭОЧАГаз для сухопутных участков газопроводов при отсутствии результатов ВТД

Группа факторов влияния	Вес группы p_i	Фактор влияния		Вес фактора в группе q_{ij}
FG ₁ : Возможные механические воздействия третьих лиц	0,14	F ₁₁	Минимальная глубина заложения подземного газопровода	0,18
		F ₁₂	Уровень антропогенной активности	0,18
		F ₁₃	Согласовательно-разъяснительная работа	0,10
		F ₁₄	Состояние охранной зоны газопровода	0,10
		F ₁₅	Частота патрулирования трассы газопровода	0,14
		F ₁₆	Нарушения охранной зоны и зоны минимальных безопасных расстояний	0,20
		F ₁₇	Аварии и отказы, имевшие место на газопроводе из-за воздействий 3-х лиц	0,10
FG ₂ : Наружная коррозия (без учета КРН)	0,06	F ₂₁	Коррозионные свойства грунтов	0,09
		F ₂₂	Температура перекачиваемого газа	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

Группа факторов влияния	Вес группы P_i	Фактор влияния		Вес фактора в группе q_{ij}
		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)	0,37	F ₃₁	Комбинированный фактор (НДС+условия развития КРН), состоящий из подфакторов: F ₃₁₋₁ - коррозионная активность грунта F ₃₁₋₂ - тип и состояние изоляционного покрытия F ₃₁₋₃ - удаленность участка МГ от КС F ₃₁₋₄ - отношение фактического давления в МГ к проектному F ₃₁₋₅ - диаметр МГ (учитывается в виде коэффициента k_D)	0,60
		F ₃₂	Наличие водотоков	0,15
		F ₃₃	Уровень грунтовых вод	0,15
		F ₃₄	Аварии и отказы, имевшие место по причине стресс-коррозии	0,10
				Итого 1,00
FG ₄ :Качество производства труб и оборудования	0,12	F ₄₁	Изготовитель и год выпуска труб для газопровода	0,50
		F ₄₂	Испытания газопровода	0,40
		F ₄₃	Аварии и отказы, имевшие место по причине производственных дефектов труб и оборудования	0,10
				Итого 1,00
FG ₅ :Качество строительного-монтажных работ (СМР)	0,20	F ₅₁	Категория участка по сложности производства СМР	0,20
		F ₅₂	Климатический район и сезон производства СМР	0,20
		F ₅₃	Контроль качества СМР	0,20

Группа факторов влияния	Вес группы P_i	Фактор влияния		Вес фактора в группе q_{ij}
		F ₅₄	Контроль качества сварных соединений	0,20
		F ₅₅	Адекватность применяемых материалов и изделий	0,05
		F ₅₆	Качество обращения с материалами	0,05
		F ₅₇	Аварии и отказы, имевшие место по причине дефектов СМР	0,10
FG ₆ : Природные воздействия	0,06	F ₆₁	Подвижки и деформации грунта	0,50
		F ₆₂	Состав грунта с точки зрения его несущей способности	0,10
		F ₆₃	Наличие на участке линейной арматуры и наземных узлов разветвленной конфигурации	0,10
		F ₆₄	Превентивные мероприятия	0,20
		F ₆₅	Аварии и отказы, имевшие место по причине природных воздействий	0,10
FG ₇ : Уровень технической эксплуатации	0,05	F ₇₁	Эксплуатационная документация	0,09
		F ₇₂	Техническая оснащенность ЛЭС	0,15
		F ₇₃	Укомплектованность ЛЭС	0,15
		F ₇₄	Периодичность ТО и ППР	0,18
		F ₇₅	Квалификация персонала	0,18
		F ₇₆	Системы телемеханики и автоматики	0,15
		F ₇₇	Аварии и отказы, имевшие место по причине нарушений ПТЭ	0,10

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Распределение лесов Российской Федерации по лесотаксовым районам, лесничествам и лесопаркам (основные породы лесных насаждений)

Лесотаксовый район	Лесничества и лесопарки, муниципальные образования, субъекты РФ
Калининградский	все лесничества и лесопарки Калининградской области
Архангельско-Вологодский	все лесничества и лесопарки Архангельской области, Вологодской области, Ненецкого автономного округа
Мурманский	все лесничества и лесопарки Мурманской области
Карельский	все лесничества и лесопарки Республики Карелия
Железнодорожный (Республика Коми)	лесничества и лесопарки, расположенные на землях городского округа "Сыктывкар", а также на землях муниципальных районов, "Койгородский", "Прилузский", "Сыктывдинский", "Сысольский", "Удорский", "Усть-Вымский" Республики Коми
Северный (Республика Коми)	лесничества и лесопарки, расположенные на землях городских округов "Воркута", "Инта", "Усинск", а также на землях муниципальных районов "Печора", "Ижемский", "Усть-Цилемский" Республики Коми
Средне-Печорский (Республика Коми)	лесничества и лесопарки, расположенные на землях городского округа "Ухта", а также на землях муниципальных районов "Вуктыл", "Сосногорск", "Троицко-Печорский", "Княжпогостский" Республики Коми
Верхне-Вычегодский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях муниципального района "Усть-Куломский" Республики Коми, а также на землях Гайнского, Косинского, Кочевского, Кудымкарского, Юрлинского, Юсьвинского районов Пермского края
Ленинградский	все лесничества и лесопарки Ленинградской области
Новгородский	все лесничества и лесопарки Новгородской области, Псковской области, Тверской области
Владимирский	все лесничества и лесопарки Владимирской области, Ивановской области, Ярославской области
Костромской	все лесничества и лесопарки Кировской области, Костромской области
Московский	все лесничества и лесопарки Московской области
Смоленский	все лесничества и лесопарки Брянской области, Калужской области, Смоленской области

Орловско-Тульский	все лесничества и лесопарки Орловской области, Тульской области
Рязанский	все лесничества и лесопарки Рязанской области
Марийско-Татарский	все лесничества и лесопарки Республики Марий Эл, Республики Татарстан
Мордовский	все лесничества и лесопарки Республики Мордовия
Нижегородский	все лесничества и лесопарки Чувашской Республики, Нижегородской области
Белгородско-Курский	все лесничества и лесопарки Белгородской области, Курской области
Воронежско-Липецкий	все лесничества и лесопарки Воронежской области, Липецкой области
Пензенский	все лесничества и лесопарки Пензенской области, Самарской области, Тамбовской области, Ульяновской области
Ростовско-Волгоградский	все лесничества и лесопарки Республики Калмыкия, Астраханской области, Волгоградской области, Ростовской области, Саратовской области
Северо-Кавказский степной	все лесничества и лесопарки Ставропольского края
Северо-Кавказский горный	все лесничества и лесопарки Республики Адыгея, Республики Дагестан, Республики Ингушетия, Кабардино-Балкарской Республики, Карачаево-Черкесской Республики, Республики Северная Осетия - Алания, Чеченской Республики, Краснодарского края
Башкирско-Удмуртский	все лесничества и лесопарки Республики Башкортостан, Удмуртской Республики
Северо-Уральский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Красновишерского, Соликамского, Чердынского районов Пермского края
Центрально-Уральский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Александровского, Бардымского, Березовского, Больше-Сосновского, Верещагинского, Горнозаводского, Гремячинского, Губахинского, Добрянского, Еловского, Ильинского, Карагайского, Кизеловского, Кишертского, Краснокамского, Куединского, Кунгурского, Лысьвенского, Нытвенского, Октябрьского, Ординского, Осинского, Оханского, Очерского, Пермского, Сивинского, Суксунского, Уинского, Усольского, Чайковского, Частинского, Чернушинского, Чусовского районов Пермского края, а также все лесничества и лесопарки Свердловской области

Южно-Уральский	все лесничества и лесопарки Курганской области, Челябинской области
Оренбургский	все лесничества и лесопарки Оренбургской области
Тюменский	все лесничества и лесопарки Тюменской области, Ханты-Мансийского автономного округа - Югры, Ямало-Ненецкого автономного округа
Омский	все лесничества и лесопарки Омской области
Томский	все лесничества и лесопарки Томской области
Новосибирский	все лесничества и лесопарки Новосибирской области
Кемеровско-Алтайский	все лесничества и лесопарки Республики Алтай, Алтайского края, Кемеровской области
Первый Восточно-Сибирский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Балахтинского, Ермаковского, Идринского, Краснотуранского, Каратузского, Курагинского, Минусинского, Новоселовского, Ужурского, Шушенского районов Красноярского края, а также на землях БалеЙского, Борзинского, Карымского, Красночйкойского, Могочинского, Нерчинского, Оловяннинского, Петровск-Забайкальского, Сретенского, Улетовского, Хилокского, Чернышевского, Читинского, Шилкинского районов Забайкальского края
Второй Восточно-Сибирский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Абанского, Богучанского, Дзержинского, Иланского, Ирбейского, Канского, Нижнеингашского, Рыбинского, Сухобузимского, Тасеевского районов Красноярского края, на землях Акшинского, Александрово-Заводского, Газимуро-Заводского, Забайкальского, Калганского, Кыринского, Нерчинско-Заводского, Ононского, Приаргунского, Шелопугинского районов Забайкальского края, на землях Ангарского, Жигаловского, Заларинского (горная часть), Зиминского (горная часть), Иркутского (горная часть), Казачинско-Ленского, Качугского, Киренского (горная часть), Нижнеилимского, Нижнеудинского (горная часть), Ольхонского, Слюдянского, Тайшетского (горная часть), Тулунского (горная часть), Усольского (горная часть), Усть-Кутского, Усть-Удинского, Черемховского (горная часть) районов Иркутской области, а также на землях Окинского (кроме водоохранной зоны озера Байкал), Тункинского (кроме водоохранной зоны озера Байкал) Республики Бурятия
Третий Восточно-	лесничества и лесопарки, расположенные на землях

Сибирский	Баунтовского, Еравнинского, Муйского районов Республики Бурятия, на землях Алданского, Верхнеколымского (горная часть), Верхоянского, Кобяйского (горная часть), Момского, Нерюнгринского, Нижнеколымского (горная часть), Оймяконского, Олекминского (горная часть), Среднеколымского (горная часть), Томпонского, Усть-Майского (горная часть), Усть-Янского, Эвено-Бытантайского районов, Республика Саха (Якутия), на землях Каларского, Тунгиро-Олекминского, Тунгокоченского районов Забайкальского края, а также на землях Бодайбинского, Мамско-Чуйского районов Иркутской области
Четвертый Восточно-Сибирский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Баргузинского, Бичурского, Джидинского, Заиграевского, Закаменского, Иволгинского, Кабанского, Кижингинского, Курумканского, Кяхтинского, Мухоршибирского, Окинского (водоохранная зона озера Байкал), Октябрьского, Прибайкальского, Северо-Байкальского, Селенгинского, Советского, Тункинского (водоохранная зона озера Байкал), Хоринского, Железнодорожного районов Республики Бурятия, на землях Агинского, Дульдургинского, Могойтуйского районов Забайкальского края, на землях Ачинского, Березовского, Бирилюсского, Боготольского, Большемуртинского, Большеулуйского, Емельяновского, Казачинского, Козульского, Манского, Назаровского, Партизанского, Пировского, Саянского, Тюхтетского, Уярского районов Красноярского края, на землях Заларинского (лесостепная часть), Зиминского (лесостепная часть), Куйтунского (лесостепная часть), Иркутского (равнинная и лесостепная части), Черемховского районов (лесостепная часть), на землях Аларского, Баяндаевского, Нукутского, Эхирит-Булагатского районов Иркутской области
Пятый Восточно-Сибирский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Кежемского, Мотыгинского районов Красноярского края, на землях Балаганского, Братского, Заларинского (равнинная часть), Зиминского (равнинная часть), Киренского (равнинная часть), Куйтунского (равнинная часть), Нижнеудинского (равнинная часть),

	Тайшетского (равнинная часть), Тулунского (равнинная часть), Усть-Илимского, Усольского (равнинная часть), Черемховского (равнинная часть), Чунского, Шелеховского, Боханского, Осинского районов Иркутской области
Шестой Восточно-Сибирский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Абыйского, Аллаиховского, Амгинского, Анабарского, Булунского, Верхневилуйского, Верхнеколымского (равнинная часть), Вилюйского, Горного, Жиганского, Кобяйского (равнинная часть), Ленского, Мегино-Кангаласского, Мирнинского, Намского, Нижнеколымского (равнинная часть), Нюрбинского, Олекминского (равнинная часть), Оленекского, Среднеколымского (равнинная часть), Сунтарского, Таттинского, Усть-Алданского, Усть-Майского (равнинная часть), Хангаласского, Чурапчинского, Якутского районов Республики Саха (Якутия), на землях Енисейского, Туруханского, Северо-Енисейского районов Красноярского края, а также на землях Катангского района Иркутской области
Хакаский	все лесничества и лесопарки Республики Хакасия
Первый Тувинский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Бай-Тайгинского, Барун-Хемчикского, Дзун-Хемчикского, Монгун-Тайгинского, Овюрского, Сут-Хольского, Улуг-Хемского, Эрзинского, Чаа-Хольского районов Республики Тыва
Второй Тувинский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Дзун-Хемского, Каа-Хемского, Кызылского, Конгуртукского, Пий-Хемского, Тандинского, Тес-Хемского, Тоджинского, Чеди-Хольского районов Республики Тыва
Первый Эвенкийский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Илимпейского района Красноярского края
Второй Эвенкийский	лесничества и лесопарки, расположенные на землях Тунгусо-Чунского, Байкитского, Таймырского районов Красноярского края
Амурский	все лесничества и лесопарки Амурской области
Чукотский	все лесничества и лесопарки Чукотского АО округа
Магаданский	все лесничества и лесопарки Магаданской области
Хабаровский	все лесничества и лесопарки Хабаровского края, ЕАО
Приморский	все лесничества и лесопарки Приморского края
Камчатский	все лесничества и лесопарки Камчатского края
Сахалинский	все лесничества и лесопарки Сахалинской области

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Ставки платы за 1 плотный куб.м древесины лесных насаждений, руб.

Лесотаксовый район	Породы древесины лесных насаждений							
	Сосна	Кедр	Лиственница	Ель, пихта	Береза	Осина, ольха белая, тополь	Дуб, клен	Ясень
Третий Восточно-Сибирский	46,26	55,44	36,9	41,58	23,04	4,68		
Шестой Восточно-Сибирский	41,58	49,86	33,3	37,26	20,88	4,32		
Амурский	82,98	99,36	66,42	74,7	41,58		561,96	841,86
Хабаровский	88,02	105,66	98,64	111,24	44,1	8,64	594,18	891,36