

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)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2018

Работа выполнена в Обществе с ограниченной ответственностью
«Научно-исследовательский институт природных газов и газовых
технологий – Газпром ВНИИГАЗ» (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор
Шевченко Андрей Владимирович

Официальные оппоненты - **Елохин Андрей Николаевич,**
доктор технических наук, начальник отдела
страхования ПАО «Нефтяная компания
Лукойл»

Рыбаков Анатолий Валерьевич,
доктор технических наук, доцент, начальник
лаборатории информационного обеспечения
населения и технологий информационной
поддержки НИЦ ФГБВОУ ВО «Академия
гражданской защиты МЧС России»

Ведущая организация - ООО «НИИГазэкономика»

Защита состоится «19» декабря 2018 г. в 12 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 511.001.03, созданного на базе ООО «Газпром ВНИИГАЗ» по адресу: 142717, Московская обл., Ленинский р-н, сельское поселение Развилковское, поселок Развилка, Проектируемый проезд № 5537, владение 15, строение 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ООО «Газпром ВНИИГАЗ» и на сайте <http://www.vniigaz.gazprom.ru>

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук



Курганова Ирина Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

При добыче газа и газового конденсата, их транспортировке и переработке возможно возникновение крупномасштабных чрезвычайных ситуаций (ЧС) и вследствие этого значительных убытков как для имущественного сектора, включая возникновение ответственности перед третьими лицами за вред, причиненный их имуществу и здоровью, так и в аспекте вреда, наносимого окружающей среде (ОС).

Одним из наиболее эффективных и часто используемых методов управления рисками ЧС, в том числе экологическими, которые обусловлены авариями на потенциально опасных объектах (ОПО) газовой отрасли, является страхование. Под экологическими рисками (аварийными экологическими рисками) в работе понимаются риски ЧС, связанные с внезапным загрязнением окружающей природной среды в результате аварии на линейной части магистрального газопровода (ЛЧМГ).

В настоящий момент в России экологическое страхование осуществляется на добровольной основе. Начиная с 2014 года, между ПАО «Газпром» и АО «СОГАЗ» заключаются договора экологического страхования. Заключение страхового договора на добровольной основе подразумевает соблюдение интересов как страхователя, так и страховщика. Для достижения цели заключения страхового договора на оптимальных для себя условиях страхователю важно иметь обоснованную позицию при выходе на страховой рынок. Это возможно только при адекватной оценке размера таких ключевых страховых параметров как страховая премия, лимиты ответственности, страховая сумма и франшиза. Для решения этой задачи необходимо применение 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.

Степень разработанности темы исследования

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 Н.А. Махутов, В.А. Акимов, А.Н. Елохин, В.С. Сафонов, А.А. Быков, А.В. Шевченко, В.Н. Башкин, В.В. Лесных, Г.А. Моткин, А.С. Тулупов, и др.

Анализ методического обеспечения страхования экологических рисков в газовой отрасли показал наличие противоречия, связанного с тем, что аварии с причинением ущербов окружающей среде характеризуются малой статистикой и ограниченностью данных, особенно это 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 на практике

преимущественное использование детерминированного подхода для оценки аварийных экологических рисков. Однако при этом получаемые с его помощью результаты крайне ограничены в использовании при расчете размера страховой премии ввиду смешанного детерминированно-стохастического характера процесса страхования.

Поэтому *целью работы* является повышение обоснованности определения оптимальных с позиции страхователя ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС, обусловленных авариями на ЛЧМГ.

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 аварийных экологических рисков и параметров экологического страхования.

Границами исследования являются экологические риски техногенных ЧС, 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.

Научная задача исследования – 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:

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 для конкретного газопровода/участкам газопровода с учетом его технологических особенностей, а также особенностей окружающей среды;

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 в условиях ограниченности статистической информации с использованием 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.

Теоретические основы и методы диссертационного исследования

При проведении диссертационного исследования применялись методы и положения асимптотической теории вероятностей экстремальных величин, математической статистики и регрессионного анализа, актуарной математики.

Защищаемые положения

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 магистрального газопровода (МГ) «Якутия-Хабаровск».

Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность первого научного результата обусловлена его непротиворечивостью в сравнении 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.

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 МГ «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 научные положения диссертации докладывались на III научно-практической конференции «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» (г. Москва, 2011 г.), IV научно-практической конференции «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» (г. Москва, 2012 г.); III Международной конференции «Экологическая безопасность в газовой промышленности» ESGI – 2013 (г. Москва, 2013 г.); IV Международной конференции «Экологическая безопасность в газовой промышленности» ESGI – 2015 (г. Москва, 2015 г.); VI Международной научно-технической конференции «Газотранспортные системы: настоящее и будущее» GTS– 2015 (г. Москва, 2015 г.); VI Международной научно-практической конференции «Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность» (г. Москва, 2015 г.).

Публикации

По теме диссертационной работы опубликованы одиннадцать работ, в том числе пять в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований.

Объем и структура работы

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

В первой главе дается анализ отечественного и международного опыта по применению механизма экологического страхования в газовой промышленности, методик оценки экологического риска при ЧС, обусловленных авариями на ЛЧМГ, и подходов к разработке тарифов экологического страхования. Выявлено противоречие 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 методик по их определению, с другой стороны. На основе выявленного противоречия сформулирована научная задача исследования и предложен замысел ее решения.

Во второй главе приводится обоснование положений методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС в условиях ограниченности статистической информации применительно к авариям на ЛЧМГ, которая основана на комбинации детерминированных, вероятностно-статистических и экспертных методов оценки риска, актуарной математики и методов математической статистики.

В третьей главе на примере МГ «Якутия-Хабаровск» даются рекомендации по применению методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС, а также обоснованы законы распределения размеров последствий воздействия поражающих факторов аварии на окружающую среду и размеров экологического ущерба.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Основные результаты исследований отражены по защищаемым положениям.

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. Методика определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС в условиях ограниченности статистической информации применительно к авариям на ЛЧМГ.

Проведенный анализ методического обеспечения страхования экологических рисков в газовой отрасли показал преимущественное использование детерминированного подхода для оценки аварийных экологических рисков. Примером детерминированного подхода могут служить применяемые в настоящий момент в ПАО «Газпром» методические указания по проведению анализа риска для ОПО газотранспортных предприятий. Результаты, получаемые при использовании данного методического аппарата, можно использовать при оценке максимально возможных ущербов и, в соответствии с ЕМЛ методологией, для оценки лимитов ответственности и страховых сумм. Однако они крайне ограничены в использовании при расчете размера страховой премии и тарифа, так как при проведении актуарных расчетов необходимо знать математическое ожидание и дисперсию возможного ущерба.

Разрешение выявленного противоречия предложено на основе:

– применения комбинации детерминированного и вероятностного подходов для анализа и оценки риска техногенных ЧС. Использование вероятностного подхода к оценке экологического риска позволяет учесть имеющуюся ограниченную базу статистических данных по причиненным ущербам ОС 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 объектов страхования;

– использования в условиях ограниченности статистических данных теории построения функций распределения редких событий – асимптотической теории вероятности экстремальных величин для анализа существующих данных по авариям с причинением ущербов ОС.

Изложенное выше позволило осуществить постановку научной задачи и определить замысел ее решения, который представлен в виде общей схемы методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков ЧС на рис.1, состоящей из двух последовательных этапов:

первый этап – оценка экологического риска техногенных ЧС, обусловленных авариями на ЛЧМГ;

второй этап – определение параметров страхования на основе актуарных расчетов для определения параметров страхового покрытия, требований по виду и размеру франшизы, значений страховой премии и страхового тарифа.

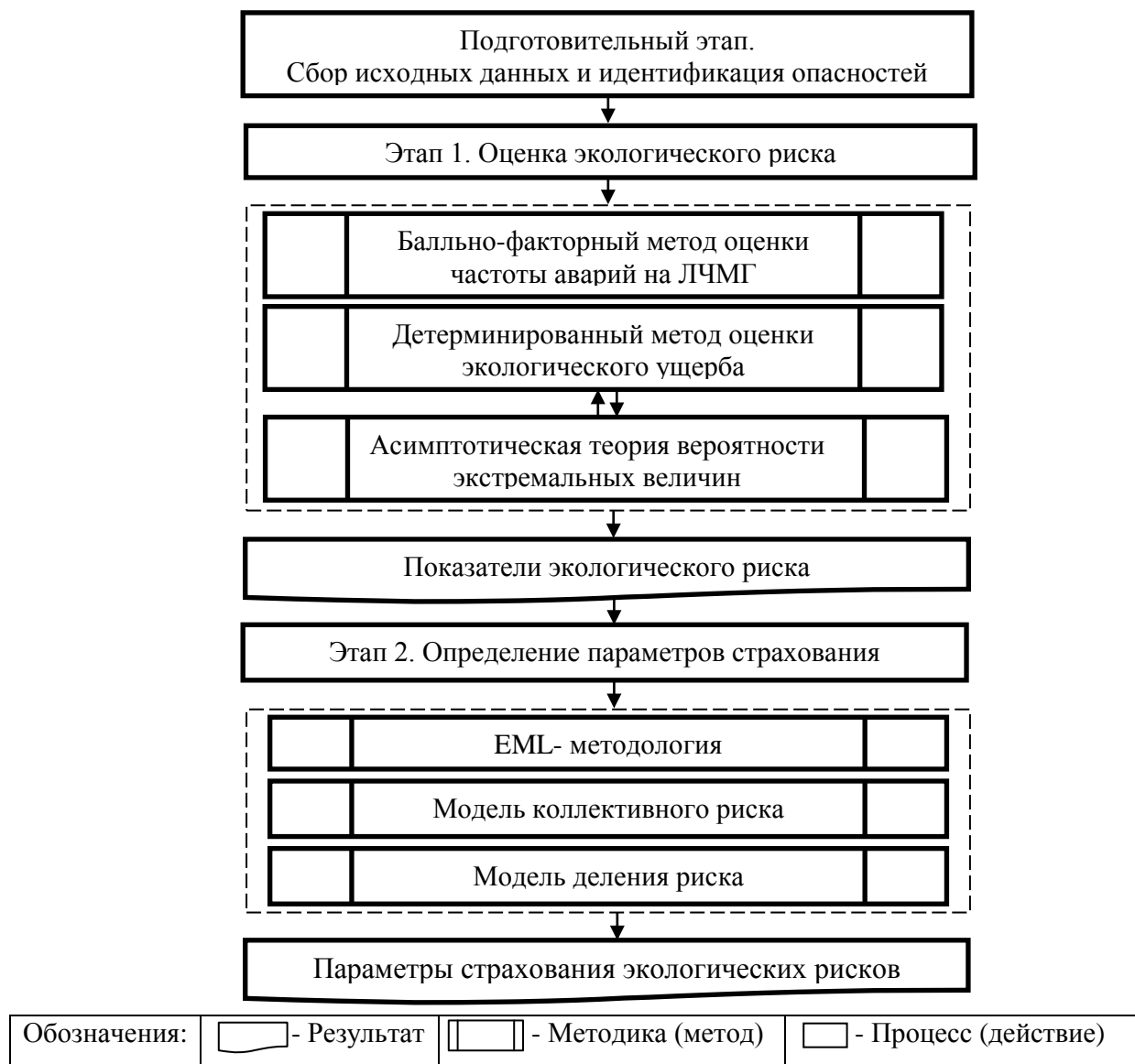
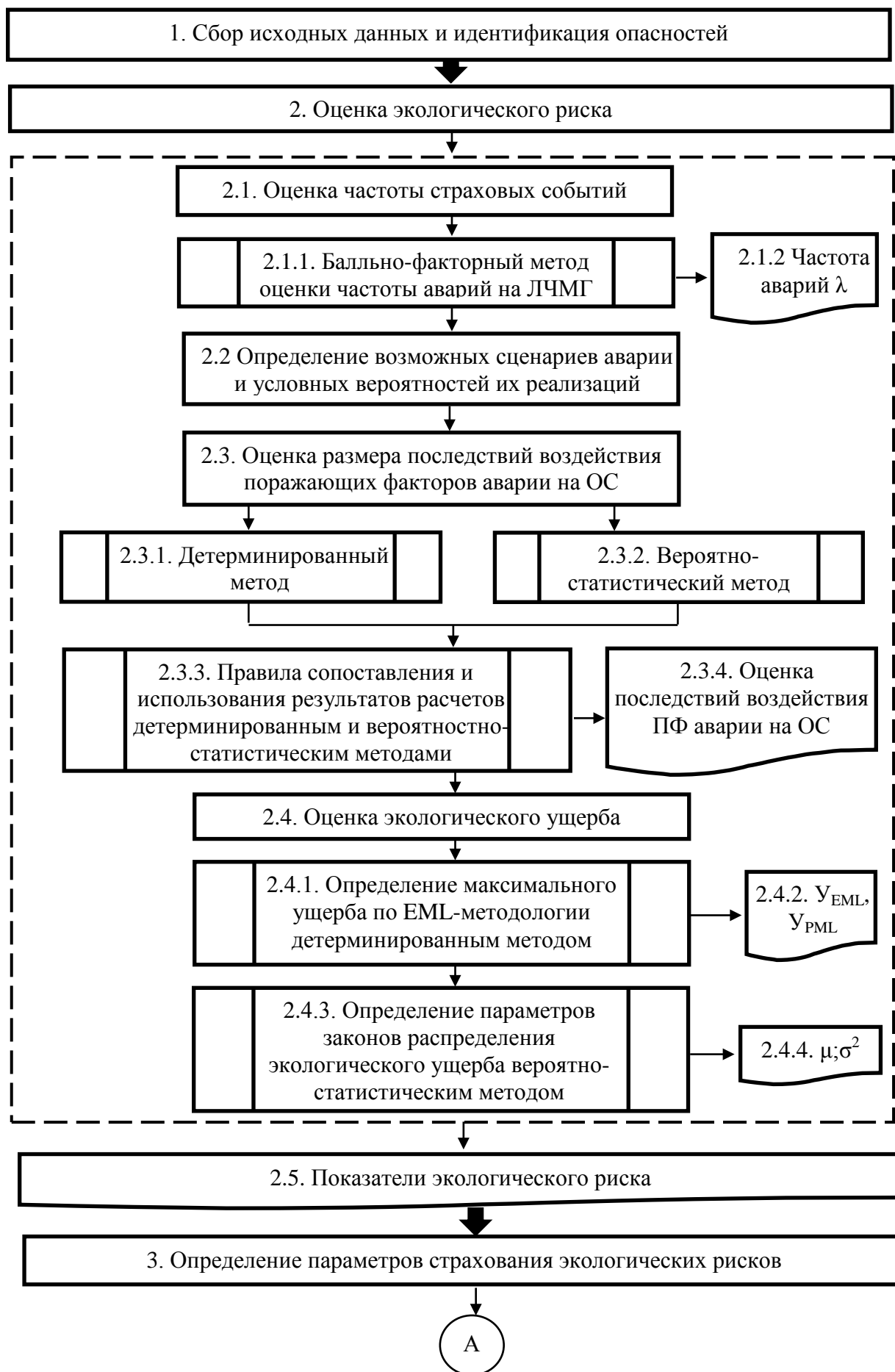


Рисунок 1. Общая схема методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков ЧС

В развитие замысла решения обоснована структура и основные положения методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС в условиях недостаточности статистической информации применительно к авариям на ЛЧМГ (рис. 2, обозначения фигур даны аналогично рисунку 1).



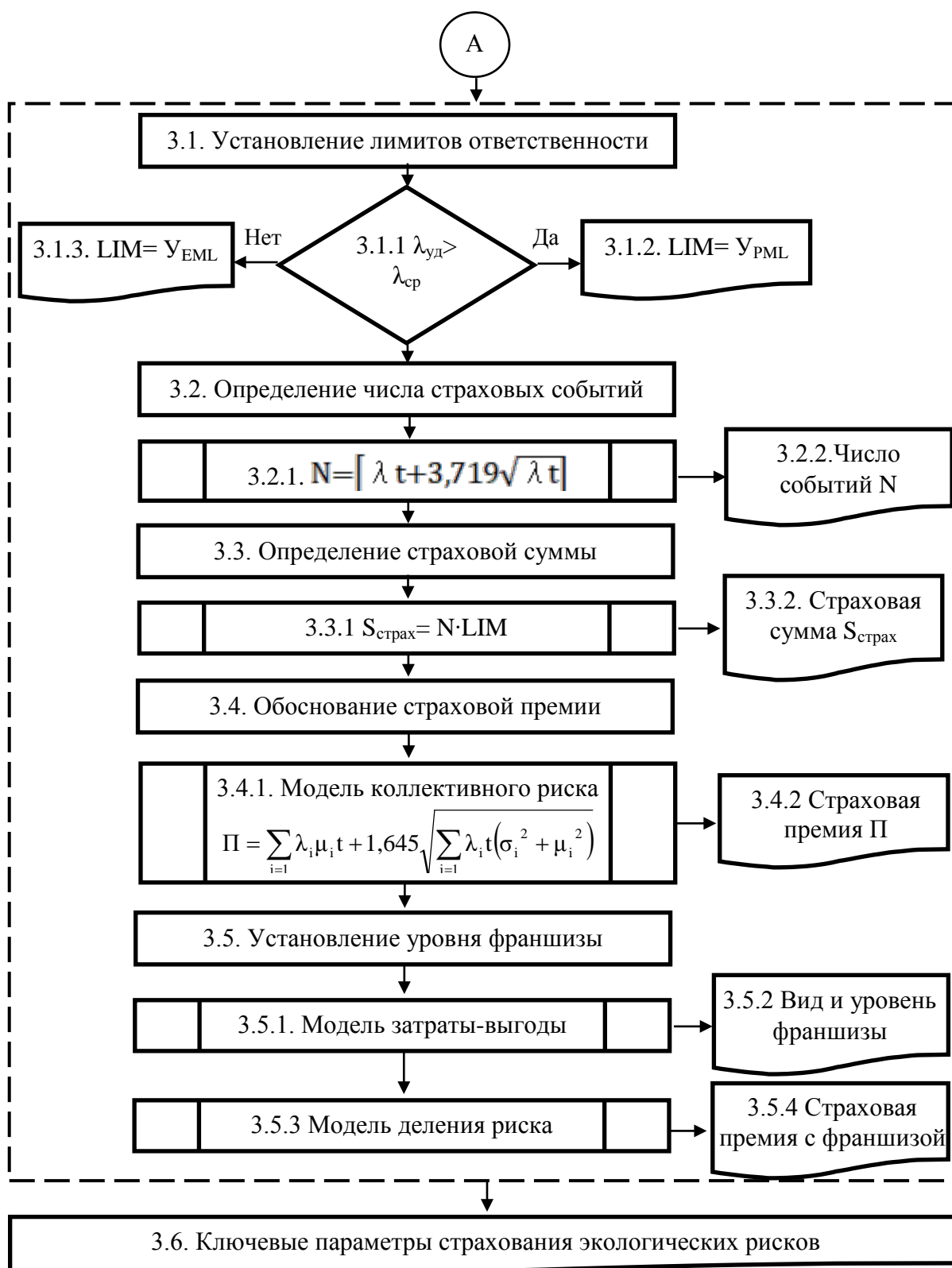


Рисунок 2. Структура методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков ЧС, обусловленных авариями на ЛЧМГ

Для оценки экологического риска автором впервые предложено использование сочетания применяемого в настоящий момент в ПАО «Газпром» детерминированного методического аппарата анализа риска – методики СТО

Газпром¹ – с вероятностно-статистическим методом оценки рисков, а именно техникой графического статистического анализа – квантиль-квантиль графиков или диаграмм – базирующийся на теории вероятности экстремальных величин и законах распределения экстремального типа.

При проведении актуарных расчетов предложено использование комбинации модели коллективного риска с непрерывным временем, модели деления риска и методологии EML.

Определение частоты страховых событий (рис.2, процесс 2.1) основывается на утвержденных в ПАО «Газпром» Рекомендациях¹, предназначенных для прогнозирования аварийности на произвольном участке газопровода конечной длины, характеризующемся конкретным набором факторов и условий эксплуатации (природно-климатических, антропогенных, технико-технологических), с учетом их влияния на вероятность нарушения целостности газопровода (рис.2, метод 2.1.1).

При определении возможных сценариев аварии (рис.2, процесс 2.2) с точки зрения причинения вреда ОС для целей страхования можно ограничиться рассмотрением двух вариантов в качестве основных:

– аварии с возгоранием природного газа - «пожар в котловане». Основными поражающими факторами (ПФ) являются тепловое излучение и токсичные продукты сгорания, а вред окружающей среде (ущерб) 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.

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 реализации сценариев аварии сводится к определению вероятности загорания/незагорания газа в зависимости от диаметра трубы, типа грунта и количества каменистых включений в нем, способных при соударении в потоке газа воспламенить газ.

Для оценки размеров негативных последствий от ПФ аварии (рис.2, процесс 2.3) 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.

Для повышения обоснованности прогноза размеров последствий от аварии в условиях ограниченности статистических данных автором предложено

¹ СТО Газпром 2-2.3-351-2009 «Методические указания по проведению анализа риска для опасных производственных объектов газотранспортных предприятий ОАО «Газпром»; 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», Рекомендации по учету влияния технико-технологических, природно-климатических и других факторов при прогнозировании аварийности на магистральных газопроводах ОАО «Газпром».

применение комбинации детерминированного и вероятностного подходов следующим образом:

1) произвести расчет размеров последствий от аварии детерминированным методом по методикам СТО Газпром, задавая значения из массива фиксированных исходных данных, описывающих рассматриваемый МГ (рис.2, метод 2.3.1);

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 (рис.2, метод 2.3.2);

3) сопоставить полученные результаты (рис.2, метод 2.3.3).

При определении законов распределения случайных величин предложено использовать технику графического статистического анализа. Использование квантиль-квантиль графиков или диаграмм основано на том факте, что для основных классов распределений оценочные квантили линейно связаны с соответствующими стандартными квантилями из этого класса распределений. В качестве тестовых законов распределений выступают нормальный и логнормальный законы распределения (в соответствие центральной предельной теоремы), а также законы распределения экстремального типа – Вейбулла, Гумбеля, Парето и экспоненциальное распределение – в соответствии с результатами классической асимптотической теории вероятности экстремальных величин.

Выбор закона распределения осуществляется посредством построения уравнения регрессии вида $y=a+bx$ методом наименьших квадратов 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. После производится расчет параметров выбранной функции распределения и затем определяется математическое ожидание $E(X)$ и значения квантилей (X_p) случайной величины.

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

В том случае, если значение выбранного квантиля отличается не более чем на 15 % (установлено экспертно исходя из точности применяемых методик расчета ПФ) от результата детерминированного расчета, то можно считать, что расчеты достаточно 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 максимального возможного ущерба от аварии (EML), а математическое ожидание – при оценке вероятного максимального ущерба от аварии (PML).

Если результат детерминированного расчета превышает значение выбранного квантиля более чем на 15 %, то 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

$$y=K_i \cdot a + K_i \cdot bx. \quad (1)$$

Далее соответственно корректируются значения параметров функции распределения и ее математическое ожидание.

Если значение выбранного квантиля больше, чем результат детерминированного расчета на 15 %, то в дальнейших расчетах применяются 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.

Рекомендуемые значения вероятности для определения квантилей соответствующих EML составляют: 0,999 – рекомендовано Базельским комитетом по банковскому надзору для финансовых организаций; 0,95 – применяется в большинстве статистических исследований для нефинансовых организаций.

Под ущербом от аварии на МГ (рис.2, процесс 2.4) понимается вред, нанесенный компонентам природной среды в результате аварии, который исчисляется в денежном эквиваленте в форме компенсационных выплат эксплуатирующей организацией за причинение указанного вреда (т.е. 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 и территориального расположение места аварии (регион, лесотаксовый район), т.е. размеры экологического ущерба (в целом и по компонентам окружающей среды) являются случайными величинами. Таким образом, для повышения надежности прогнозирования экологического ущерба необходимо также использовать комбинацию детерминированного метода расчета ущерба и вероятностно-статистических методов для определения законов (функций) распределения случайных величин «ущерб лесному фонду», «ущерб почве», «ущерб атмосферному воздуху» и их параметров.

Оценка вероятного максимального и максимального возможного ущербов (рис.2, метод 2.4.1) определяется детерминированным методом как плата за вред компонентам природной среды. Исчисление размера вреда от уничтожения компонентов природной среды производится согласно соответствующим таксам, утвержденным постановлениями Правительства Российской Федерации. Использование при расчетах ущерба определенные выше значения размеров последствий воздействия ПФ аварии позволяет получить значения вероятного максимального (PML) и максимального возможного ущерба (EML).

Нахождение законов распределения случайных величин «ущерб лесному фонду», «ущерб почве», «ущерб атмосферному воздуху» (рис.2, метод 2.4.3) проводится с использованием техники графического статистического анализа, получая, соответственно, их функции распределения, а затем определяются математические ожидания и дисперсии ущерба по реципиентам воздействия.

Для решения задачи нахождения параметров функции распределения ущерба в привязке к конкретному газопроводу/участкам газопровода (при отсутствие соответствующей статистики) с учетом его технологических особенностей, а также особенностей окружающей среды, предложено ввести поправочный коэффициент K_{y_i} , определяемый функцией отношения вероятного 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

$$y = K_{y_i} \cdot a + K_{y_i} \cdot bx. \quad (2)$$

Потом рассчитываются значения параметров функций распределения и затем уже 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, представим функцию распределения ущерба в виде композиции распределений и выразим математическое ожидание μ и дисперсию σ^2 экологического ущерба через сумму независимых случайных величин:

$$\mu = P_1 \cdot (\mu_{y_{AB}} + \mu_{y_{л}} + \mu_{y_{п}}) + P_2 \cdot \bar{\mu}_{y_{AB}}, \quad (3)$$

$$\sigma^2 = P_1 \cdot (\sigma_{y_{AB}}^2 + \sigma_{y_{л}}^2 + \sigma_{y_{п}}^2) + P_2 \cdot \bar{\sigma}_{y_{AB}}^2 - 2 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot (\mu_{y_{AB}} + \mu_{y_{л}} + \mu_{y_{п}}) \cdot \bar{\mu}_{y_{AB}}, \quad (4)$$

где: P_1 – вероятность аварии с возгоранием газа; P_2 – вероятность аварии без возгорания газа; $\mu_{y_{AB}}$, $\sigma_{y_{AB}}^2$ – математическое ожидание и дисперсия ущерба атмосферному воздуху при аварии с возгоранием газа; $\bar{\mu}_{y_{AB}}$, $\bar{\sigma}_{y_{AB}}^2$ – математическое ожидание и дисперсия ущерба атмосферному воздуху при аварии без возгорания газа; $\mu_{y_{л}}$, $\sigma_{y_{л}}^2$ – математическое ожидание и дисперсия ущерба лесному фонду; $\mu_{y_{п}}$, $\sigma_{y_{п}}^2$ – математическое ожидание и дисперсия ущерба почве.

Таким образом, результатами первого этапа методики являются следующие показатели экологического риска:

1) значения частоты аварии (λ), полученной с помощью подхода, рекомендованного для использования в ПАО «Газпром»;

2) значения математического ожидания (μ), дисперсии (σ^2), вероятного максимального (Y_{PML}) и максимального возможного (Y_{EML}) экологического ущерба, полученных при использовании предложенной автором комбинации детерминированного и вероятностно-статистического методов, необходимые для дальнейших актуарных расчетов.

На втором этапе методики для определения страховой суммы $S_{\text{страх}}$ сначала необходимо установить лимиты ответственности (рис.2, процесс 3.1) и определить число страховых событий (рис.2, процесс 3.2).

Для установления лимитов ответственности LIM по одному страховому случаю предложены следующие правила:

– если удельная частота аварии на газопроводе $\lambda_{\text{уд}}$ больше среднестатистической частоты аварий на МГ ПАО «Газпром» $\lambda_{\text{ср}}$, то лимит ответственности устанавливается исходя из значения вероятного максимального ущерба Y_{PML} (рис.2, результат 3.1.2);

– если удельная частота аварии на газопроводе $\lambda_{\text{уд}}$ меньше среднестатистической частоты аварий на МГ ПАО «Газпром» $\lambda_{\text{ср}}$, то лимит ответственности устанавливается исходя из значения максимального возможного ущерба Y_{EML} (рис.2, результат 3.1.3).

Определение числа страховых случаев N (рис.2, процесс 3.2) осуществляется с использованием выражения (рис.2, метод 3.2.1)

$$N = \lceil \lambda t + 3,719 \sqrt{\lambda t} \rceil, \quad (5)$$

где: 3,719 – значение 99,9 % квантиля стандартного нормального распределения; t – срок действия договора страхования, год; $\lceil \rceil$ – оператор округления к большему целому.

Страховая сумма (рис.2, метод 3.3.1) определяется исходя из значений лимита ответственности и возможного количества страховых случаев

$$S_{\text{страх}} = N \cdot LIM. \quad (6)$$

В рамках модели коллективного риска формула для расчета нетто-премии (Π) имеет вид (рис.2, метод 3.4.1)

$$\Pi = \lambda \mu t + 1,645 \sqrt{\lambda t (\sigma^2 + \mu^2)}. \quad (7)$$

При определении оптимального уровня франшизы должны приниматься в расчет 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. В случае если риск-аппетит в организации не установлен возможно определение франшизы исходя из результатов проведения анализа «затраты-выгоды».

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 (метод 3.5.1).

Для расчета нетто-премий при условной (${}^{усл} \Pi_{\Phi}$) и безусловной (${}^{без} \Pi_{\Phi}$) франшизе при использовании модели деления риска (рис.2, метод 3.5.2) применяются следующие формулы:

$${}^{усл} \Pi_{\Phi} = \lambda t \mu [1 - F_1(f)] + x_{\alpha} \sqrt{\lambda t \mu' [1 - F_2(f)]} \quad , \quad (8)$$

$${}^{без} \Pi_{\Phi} = \lambda t \{ \mu [1 - F_1(f)] - f [1 - F(f)] \} + x_{\alpha} \sqrt{\lambda t \{ \mu' [1 - F_2(f)] - 2f \mu [1 - F_1(f)] + f^2 [1 - F(f)] \}} \quad , \quad (9)$$

где: x_{α} – квантиль уровня α стандартного нормального распределения; f – уровень франшизы; $F_1(f)$, $F_2(f)$ – неполные функции моментов (первого и второго) распределения экологического ущерба; μ' – математическое ожидание квадрата значений экологического ущерба, руб.

Таким образом, использование методики 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 правил и предложенных поправочных коэффициентов K_i и K_{y_i} применительно к конкретным участкам газопровода, учитывающих их технологические особенности и особенности окружающей среды.

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ. 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».

Рекомендации по использованию методики определения ключевых параметров страхования экологических рисков техногенных ЧС в условиях ограниченности статистической информации применительно к авариям на ЛЧМГ представлены на примере строящегося в настоящее время МГ «Якутия-Хабаровск». Для учета особенностей пролегания трассы МГ, влияющих на возможность возникновения аварии, а также характеристик окружающей среды газопровод был разделен на 8 участков.

Таблица 1. Характеристика участков МГ «Якутия-Хабаровск»

№ участка	Длина, км	Диаметр МГ, мм	Природные зоны	Порода леса	Лесотаксовый район	Почвы	Тип грунта
1	555	1420	Средняя тайга	Сосна	III Восточно - Сибирский	Мерзлотно - таежные	Мерзлые грунты
2	472	1420	Средняя тайга	Лиственница	III Восточно - Сибирский	Мерзлотно - таежные	Мерзлые грунты
3	253	1420	Средняя тайга	Лиственница	VI Восточно - Сибирский	Тундровые-глинястые	Глина
4	267	1420	Средняя тайга	Лиственница	Амурский	Тундровые-глинястые	Глина
5	517	1420	Смешанные широколиственные леса	Береза	Амурский	Пойменные	Глина
6	255	1220	Смешанные широколиственные леса	Отсутствует	Амурский	Пойменные	Глина
7	334	1220	Южная тайга	Ель	Хабаровский	Бурые лесные	Суглинок
8	217	1220	Смешанные широколиственные леса	Отсутствует	Хабаровский	Пойменные	Глина

Результаты расчетов частоты аварий λ (рис.2, процесс 2.1), вероятности реализации сценариев с возгоранием газа P_1 и без возгорания P_2 (рис.2, процесс 2.2), а также размера последствий (рис.2, метод 2.3.1) детерминированным методом на участках МГ «Якутия-Хабаровск» представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты детерминированного расчета по участкам МГ «Якутия-Хабаровск»

№	λ , ед./год	P_1	P_2	Масса выброшенного газа M , т	Площадь повреждения леса $S_{л}$, га	Площадь деградации почвы $S_{п}$, га
1	0,02	0,5	0,5	62 889	65	6,5
2	0,01	0,5	0,5	53 622	65	6,5
3	0,02	0,86	0,14	28 752	65	6,5
4	0,02	0,86	0,14	30 153	65	6,5
5	0,01	0,86	0,14	58 735	65	6,5
6	0,008	0,89	0,11	21 158	47	5,5
7	0,01	0,74	0,26	27 712	47	5,5
8	0,007	0,89	0,11	18 005	47	5,5

Для определения законов распределения случайных величин «площадь повреждения леса» и «масса выброшенного газа» (рис.2, метод 2.3.2) собраны и проанализированы имеющиеся 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.

В качестве распределения, описывающего соответствующую случайную величину, было выбрано то, у которого коэффициент детерминации (R^2) уравнения регрессии наибольший (рис. 3), а именно: экспоненциальное распределение для случайной величины «масса выброшенного газа» с коэффициентом детерминации 0,983 и логнормальное для случайной величины «площадь повреждения леса» с коэффициентом детерминации 0,93.

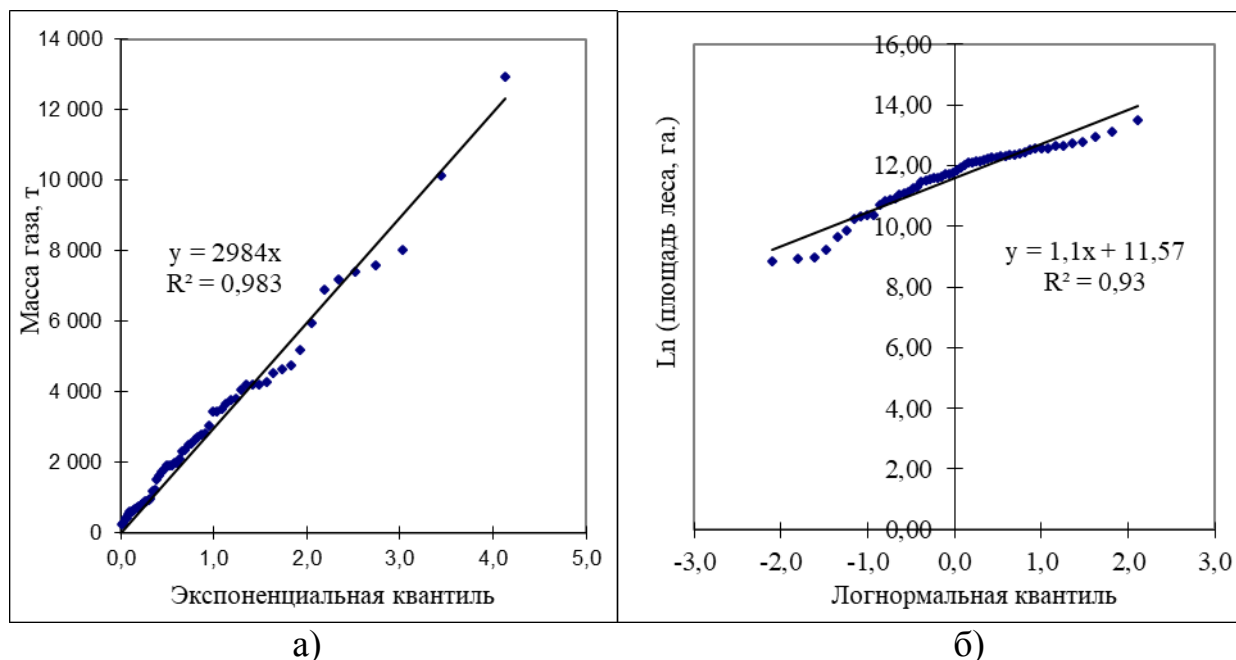


Рисунок 3. Квантиль-квантиль графики функций распределения случайных величин: а) «масса выброшенного газа»; б) «площадь повреждения леса»

Полученные корреляционные связи в математических моделях законов распределения могут быть охарактеризованы в соответствии со шкалой Чеддока как «очень сильные», что позволяет считать синтезированные математические модели достоверными и пригодными для практического использования.

Для определения закона распределения случайной величины «площадь деградации почвы» соответствующие статистические данные отсутствуют. В этом случае сделано 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 установить с учетом поправочного коэффициента K_{Π} , который определяется функцией отношения максимального значения площади деградации почвы, полученного детерминированным методом, к максимальному значению в исходной выборке данных по зонам поражения леса. Тогда линейное уравнение регрессии функции распределения приобретает вид (рис. 3, б).

$$y = K_{\Pi} \cdot a + K_{\Pi} \cdot bx = K_{\Pi} \cdot 11,57 + K_{\Pi} \cdot 1,1. \quad (10)$$

Далее определяются параметры полученных функций распределения случайных величин, а именно математическое ожидание $E(X)$ и значение 0,95 квантиля $X_{0,95}$ (табл. 3).

Таблица 3. Значения математических ожиданий и 0,95 квантилей

Случайная величина	$E(X)$	$X_{0,95}$
Масса выброшенного газа (M), т	2 984	8 940
Площадь повреждения леса ($S_{л}$), га	19	65
Площадь деградации почвы ($S_{п}$), га	2	6

Сопоставление (метод 2.3.3) результатов расчетов показывает:

– для площадей повреждения леса и деградации почвы – значения 0,95 квантилей (табл. 3) и величин негативных последствий воздействий поражающих факторов аварии, полученных детерминированным методом (табл. 2), совпадают или отличаются не больше чем на 15 %. Это свидетельствует о возможности использования значений 0,95 квантилей $S_{л0,95}$ и $S_{п0,95}$ при оценке максимально возможных ущербов (EML) лесу и почве соответственно, а математические ожидания $E(S_{л})$ и $E(S_{п})$ при оценке вероятных максимальных ущербов лесу и почве (PML);

– для массы выброшенного газа – значение 0,95 квантиля (табл. 3) меньше и отличается больше чем на 15 % от величины негативных последствий воздействий ПФ аварии, полученных детерминированным методом (табл. 2). В таком случае корректней принять результаты, полученные детерминированным методом при оценке максимального возможного ущерба атмосфере, а полученное значение математического ожидания $E(M)$ скорректировать с учетом поправочного коэффициента K_M , определяемого аналогичным K_p образом.

Использование при расчетах ущерба определённые ранее значения размеров последствий воздействия ПФ аварии позволяют получить детерминированным методом (рис.2, метод 2.4.1) значения PML и EML для сценариев аварии с возгоранием и без возгорания газа (табл. 4).

Таблица 4. Результаты расчетов вероятного максимального и максимального возможного ущербов окружающей среде по участкам МГ «Якутия-Хабаровск»

№	Авария с возгоранием газа								Авария без возгорания газа	
	PML				EML				PML	EML
	$U_{ав}$, млн руб.	$U_{л}$, млн руб.	$U_{п}$, млн руб.	$U_{э}$, млн руб.	$U_{ав}$, млн руб.	$U_{л}$, млн руб.	$U_{п}$, млн руб.	$U_{э}$, млн руб.	$\bar{U}_{ав}$, млн руб.	$\bar{U}_{ав}$, 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

где: $U_{ав}$ – ущерб атмосферному воздуху при аварии с возгоранием газа; $U_{л}$ – ущерб лесному фонду; $U_{п}$ – ущерб почве; $\bar{U}_{ав}$ – ущерб атмосферному воздуху при аварии без возгорания газа; $U_{э}$ – экологический ущерб.

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

Для проведения актуарных страховых расчетов на втором этапе методики (формулы (3) и (4)) необходимо сначала определить законы распределения ущербов, исчисляемых в рублях, атмосферному воздуху, лесу и почве при авариях с возгоранием газа, а также атмосферному воздуху при авариях без возгорания газа (рис.2, метод 2.4.3).

С этой целью автором были собраны и проанализированы имеющиеся статистические данные об авариях с экологическим ущербом на ЛЧМГ ПАО «Газпром» за последние 10 лет, а также величины страховых выплат по экологической составляющей, что позволило для **аварий с возгоранием газа** сформировать вариационный ряд чисел, характеризующий ущерб окружающей среде только лишь 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 (менее 0,5 %, табл. 4) введено допущение, что полученным числовым рядом можно описать случайную величину «ущерб лесу», а случайной величиной «ущерб атмосферному воздуху» можно пренебречь.

В качестве распределения, описывающего случайную величину «ущерб лесу», получен логарифмически-нормальный закон (рис. 4) с коэффициентом детерминации уравнения регрессии 0,985, что в соответствии со шкалой Чеддока характеризует корреляционную связь как «очень сильную». Это позволяет считать синтезированную математическую модель достоверной и пригодной для практического использования.

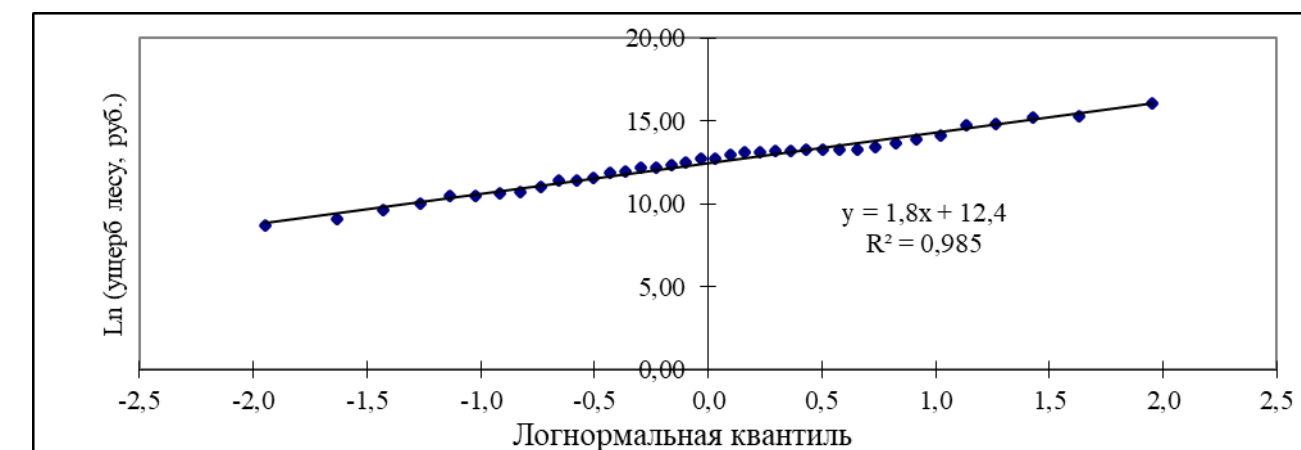


Рисунок 4. Квантиль- квантиль график функции распределения случайной величины «ущерб лесу»

Однако полученная статистика иллюстрирует общую картину по всей стране и не отражает конкретные особенности пролегания, виды преобладающей породы леса для участков газопровода «Якутия – Хабаровск» (табл. 1). С целью прогнозирования возможного ущерба лесному фонду по каждому участку газопровода предложено ущерб лесу описывать логарифмически-нормальным

законом распределения с учетом поправочного коэффициента $K_{ул}$, представляющего собой функцию отношения вероятного максимального ущерба лесу, полученного с использованием детерминированного метода для конкретного участка газопровода (табл. 4) к максимальному значению ущерба в использованных статистических данных.

Для определения закона распределения случайной величины «ущерб почве», исчисляемого в рублях, при авариях с возгоранием газа соответствующие статистические данные отсутствуют. В этом случае, как и ранее, 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 $K_{уп}$ аналогичным образом.

Для определения закона распределения случайной величины «ущерб атмосфере» при аварии без возгорания газа соответствующие статистические данные также отсутствуют. В этом случае можно сделать допущение, что рассчитанное ранее детерминированным методом (табл. 4) значение вероятного ущерба является математическим ожиданием данной случайной величины, так как при определении массы газа использовалась статистика по выбросам газа. Полученные значения параметров экологического ущерба в целом и по реципиентам воздействия представлены в таблице 5.

Таблица 5. Математическое ожидание и дисперсия экологического ущерба в целом и по реципиентам воздействия по участкам МГ «Якутия-Хабаровск»

№	$\mu_{ул} \cdot 10^{-6}$, руб.	$\sigma_{ул}^2 \cdot 10^{-13}$, руб ² .	$\mu_{уп} \cdot 10^{-6}$, руб.	$\sigma_{уп}^2 \cdot 10^{-13}$, руб ² .	$\bar{\mu}_{УАВ} \cdot 10^{-6}$, руб.	$\bar{\sigma}_{УАВ}^2 \cdot 10^{-13}$, руб ² .	$\mu \cdot 10^{-6}$, руб.	$\sigma^2 \cdot 10^{-13}$, руб ² .
1	1,89	10,55	0,6	0,63	6,3	4	4,3	67
2	1,5	6,14	0,6	0,63	5,3	2,8	3,7	42
3	1,37	4,82	0,6	0,63	2,9	0,8	2	46
4	2,69	25	0,6	0,63	3,0	0,9	3,2	220
5	1,7	8,25	0,6	0,63	5,8	3,3	2,8	78
6	–	–	0,6	0,63	2,1	0,4	0,7	6
7	4,5	88,2	0,6	0,63	2,8	0,8	4,4	654
8	–	–	0,6	0,63	1,8	0,3	1,2	6

Значения рассчитанных параметров страхования экологических рисков, возникающих при аварии на ЛЧМГ «Якутия-Хабаровск» в соответствии с фигурами 3.1 – 3.5, показаны в таблице 6.

Таблица 6. Параметры страхования

Параметр	Значение
Лимит ответственности L, млн руб.	248,5
Страховая сумма S, млн руб.	497
Франшиза условная f, млн руб.	0,6
Нетто-премия П, млн руб.	6,3
Страховая брутто-премия $P_б$, млн руб.	9
Страховой тариф T, %	1,8

Сопоставление полученного значения страхового тарифа T со значениями тарифов экологического страхования, применяемых в настоящий момент на страховом рынке, показывает, что, размер тарифной ставки зависит от конкретных факторов, влияющих на оценку степени риска, продолжительности периода страхования и принимается, как правило, в размере от 1 до 2% от страховой суммы, а полученное в ходе расчетов значение страхового тарифа T составляет 1,8%. Таким образом, рассчитанные значения параметров страхования не противоречат страховому рынку, что свидетельствует в пользу достоверности полученных научных результатов.

Представленная 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, утвержденной ПАО «Газпром» 9 сентября 2014 г., с целью выполнения оценок экологических рисков при авариях на магистральных газопроводах и параметров их страхования в разрезе Центров газодобычи (Иркутский, Красноярский, Якутский, Сахалинский, Камчатский).

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. 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 вероятностно-статистических, детерминированных и экспертных методов оценки риска, актуарной математики и методов математической статистики.

2. 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 повышает обоснованность прогнозирования размера экологического риска в условиях неопределенности;

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

Разработанная методика позволяет повысить обоснованность определения оптимальных с позиции страхователя ключевых параметров страхования экологических рисков, возникающих при авариях на ЛЧМГ.

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 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.

Список публикаций по теме диссертации

1. 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.

2. 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.

3. Ямников С.А. 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.

4. Ямников С.А. 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.

5. 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, 2013 г. –65 с.

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. Ямников С.А. Правовые основы внедрения наилучших доступных технологий при развитии газовых мощностей в регионах Восточной Сибири и Дальнего Востока / Шевченко А.В., Ямников С.А. // Газовая промышленность. - 2015. - № 5. - С. 96-101.

10. 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, С. 24-35.

11. Ямников С.А. К вопросу о возможных функциях распределения экологического ущерба применительно к авариям на линейной части магистральных газопроводов / Ямников С.А., Шевченко А.В. // Вести газовой науки: Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности. - М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2018. * П 2 (34). - С.252-257.

Подписано к печати «__» ____ 2018 г.

Заказ № ____

Тираж 100 экз.

1 уч. – изд.л, ф-т 60x84/16

Отпечатано в ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

По адресу: 142717, Московская область,

Ленинский район,

сельское поселение Развилковское, пос. Развилка,

Проектируемый проезд № 5537, владение 15, строение 1,

ООО «Газпром ВНИИГАЗ».