

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
 Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой СИИ
_____ Г. М. Цибульский
«____» ____ 2019.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
Разработка информационно-аналитической системы для оценки и анализа
рисков

09.04.02 Информационные системы и технологии

09.04.02.01 Информационно-управляющие системы

Руководитель	канд.тех.наук, доцент	О. А. Попова
Студент	КИ-17-02-1М /031624824	А. Ю. Ежелый
Рецензент	д-р.тех.наук, доцент	Л. А. Казаковцев
Нормоконтроллер	канд.тех.наук, доцент	О. А. Попова

Красноярск 2019

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа в форме магистерской диссертации по теме «Разработка информационно-аналитической системы для оценки и анализа рисков» содержит 70 страниц текстового документа, 18 иллюстраций, 6 таблиц, 45 использованных источников.

ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ПОДХОД, ФУНКЦИИ ПЛОТНОСТИ ВЕРОЯТНОСТИ, НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ, НЕОПРЕДЕЛЕННЫЕ ДАННЫЕ, ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК, ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ, ЧИСЛЕННЫЙ ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ, ГИСТОГРАММА.

Цель исследования: построение достоверной оценки риска в условиях неопределенности на основе численного вероятностного анализа.

Для достижения поставленной цели необходимом решить следующие задачи:

- анализ методов оценки риска на опасных объектах в соответствии с действующими нормативными документами;
- применение численного вероятностного анализа для оценки риска;
- разработка информационно-аналитической системы для оценки и анализа риска.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ Г. М. Цибульский
«____» _____ 2019 г.

**ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации**

Студенту Ежелому Анатолию Юрьевичу.

Группа КИ17-02-1М

Направление (специальность): 09.04.02, Информационные системы и технологии.

Тема выпускной квалификационной работы: Разработка информационно-аналитической системы для оценки и анализа рисков

Утверждена приказом по университету № _____ от _____.

Руководитель ВКР: О.А. Попова, кандидат технических наук, доцент кафедры «Системы искусственного интеллекта», Институт космических и информационных технологий Сибирского федерального университета.

Исходные данные ВКР: диссертационные исследования, материалы с преддипломной практики, книги, научные статьи зарубежных и отечественных авторов, монографии по теме исследования.

Перечень разделов ВКР: введение, анализ проблемы исследования, применение ЧВА для оценки техногенного риска, разработка информационно-аналитической системы для оценки техногенного риска, заключение, список использованных источников.

Перечень графического материала: презентационные слайды PowerPoint.

Руководитель ВКР

подпись

О. А. Попова

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

А. Ю. Ежелый

инициалы, фамилия

«____» _____ 2019 г.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

**КАДЕНДАРНЫЙ ПЛАН
НАПИСАНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

Студенту Ежелому Анатолию Юрьевичу.

Группа: КИ17-02-1М

Направление (специальность): 09.04.02, Информационные системы и технологии.

Тема выпускной квалификационной работы: Разработка информационно-аналитической системы для оценки и анализа рисков

График выполнения ВКР представлен в таблице 1.

Таблица 1 – График выполнения этапов ВКР

Наименование и содержание этапа	Срок исполнения	Примечание
Подбор и изучение литературы, составление списка литературы		
Составление плана ВКР с руководителем		
Разработка и представление руководителю первой главы		
Накопление, анализ и систематизация материала		
Разработка и представление руководителю второй главы		
Разработка и представление руководителю третьей главы		
Согласование с руководителем выводов и предложений		
Доработка ВКР в соответствии с замечаниями и представление ВКР на кафедре		
Разработка тезисов доклада для защиты		
Ознакомление с отзывом и рецензией		
Завершение подготовки к защите с учетом отзыва и рецензии		

Руководитель ВКР

подпись

О. А. Попова

инициалы, фамилия

Задание принял к исполнению

подпись

А. Ю. Ежелый

инициалы, фамилия

«___» ____ 201

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	9
1 Анализ проблемы исследования.....	11
1.1 Риск и неопределенность	11
1.1.1 Понятие риска. Анализ рисковых ситуаций	11
1.1.2 Классификация рисков.....	14
1.1.3 Информация. Виды информации.....	16
1.1.4 Информационно-аналитический подход для оценки рисков.	
Анализ публикаций и существующих систем	20
1.1.5 Техногенные риски.....	25
1.2 Аварии на опасных производственных объектах.....	27
1.2.1 Анализ аварий на ОПО	27
1.2.2 Определение возможных причин возникновения аварий.	
Составление сценариев аварий.	31
1.2.3 Социальный риск.....	34
1.2.4 Ущерб и допустимый риск.....	36
2 Применение ЧВА для оценки техногенных рисков	40
2.1 Модели оценки рисков	40
2.1.1 Концептуальные модели	40
2.1.2 Вероятностные модели.....	41
2.2 Методы оценки рисков	44
2.2.1 Интервальный анализ.....	45
2.2.2 Методы имитационного моделирования.....	47
2.3 Численный вероятностный анализ для оценки рисков	50
2.3.1 Основы ЧВА для оценки рисков	50
2.3.2 Оптимизационные модели со случайными переменными	51
2.3.3 Вероятности второго порядка.....	55
2.4 Оценка риска с использованием численного вероятностного анализа ...	58

3 Разработка информационно-аналитической модели для оценки техногенного риска	61
3.1 Описание примера оценки статистического риска.....	61
3.2 Информационно-аналитическая система для оценки рисков с использование численного вероятностного анализа.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	65
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	66

ВВЕДЕНИЕ

Тема магистерской диссертации связана с разработкой информационно-аналитической системы для оценки и анализа рисков.

Актуальность темы обоснована тем, что оценка рисков связана с неоднозначностью и неопределенностью протекающих процессов. Особенно данная тема актуальна на предприятиях, работа которых связана с повышенной опасностью – гидроэлектростанции, нефтедобывающие предприятия и т.д., где высока вероятность аварийной ситуации. Однако нормативная документация, на которую делают упор при оценке рисков на предприятиях, не требует точной оценки риска, ограничиваясь лишь средними значениями, что может привести к непредвиденным убыткам и жертвам. С целью решения данной проблемы в литературе предлагается множество методов, основанных на статистике, начиная от формул Бернулли и заканчивая методами наиболее актуальными методами численного моделирования, включающими методы предобработки, обработки и постобработки данных.

Целью магистерской диссертации является построение достоверной оценки риска в условиях неопределенности на основе численного вероятностного анализа. В рамках диссертации будут решены следующие задачи:

- анализ методов оценки риска на опасных объектах в соответствии с действующими нормативными документами;
- применение численного вероятностного анализа для оценки риска;
- разработка информационно-аналитической системы для оценки и анализа риска.

Объект исследования: риски.

Предмет исследования: информационно-аналитический подход для оценки риска в условиях неопределенности.

1 Анализ проблемы исследования

1.1 Риск и неопределенность

1.1.1 Понятие риска. Анализ рисковых ситуаций

Понятие «риск» достаточно многогранно и в литературе единого определения у него нет. В качестве примера приведем несколько определений, данных разными авторами:

– Риск – вероятность наступления ущерба жизни, здоровью, имуществу[41].

– Риск – это действие (деяние, поступок), выполняемое в условиях выбора (в ситуации выбора в надежде на счастливый исход), когда в случае неудачи существует возможность (степень опасности) оказаться в худшем положении, чем до выбора (чем в случае не совершения этого действия) [38].

– Риск – это деятельность, связанная с преодолением неопределенности в ситуации неизбежного выбора, в процессе которой имеется возможность количественно и качественно оценить вероятность достижения предполагаемого результата, неудачи и отклонения от цели [6].

Для любой рисковой ситуации должны выполняться следующие условия:

- наличие неопределенности;
- необходимость принятия какого-либо решения, включая отказ от выбора решения;
- возможность определить, с какой вероятностью могут произойти принимаемые решения;

Неопределенность – неполнота знаний о явлении или объекте. Она возникает по следующим причинам [12, 15]:

– Недостаток информации или знаний – наиболее частая причина возникновения неопределенности.

– Переизбыток информации или знаний – возникает по причине того, что человек не может одновременно обрабатывать множество источников информации.

– Противоречивость источников информации и знаний – возникает тогда, когда новая информация идет вразрез с предыдущей.

– Ошибки измерений.

– Субъективность мнений оценивающих – возникает из-за разных точек зрения на объект исследования у разных исследователей.

– Спонтанность природных процессов и явлений.

– Случайность – возникает по причине того, что, на первый взгляд, одинаковые события происходят совершенно по-разному.

Выделив причины возникновения неопределенности, можно узнать способы ее уменьшению. Например, чтобы уменьшить субъективность мнений об объекте, необходимо увеличить количество мнений от разных исследователей. Переизбыток можно ликвидировать, если сконцентрироваться лишь на самых главных источниках знаний.

Неопределенность можно разделить на два типа [19]:

– Элиторная неопределенность – тип неопределенности, обусловленный изменчивостью объекта исследования, и характеризуется случайностью, которая может быть представлена какими-либо функциями распределения. Этот тип неопределенности также называют «стохастической», и именно с ним работает теория вероятности и другой математический аппарат с целью ее уменьшения.

– Эпистимическая неопределенность – обуславливается неполнотой знаний о системе или объекте, характеризуется неопределенностью самих вероятностных оценок. Иными словами, невозможно выделить какие-либо

количественные элементы, и по этой причине эту неопределенность нельзя уменьшить.

По источнику возникновения неопределенность можно разделить следующие типы:

- Природная, возникающая в связи с отсутствием полной информации об объекте исследования, в связи с чем не все факторы, которые могут повлиять на результат, находятся под контролем и, следовательно, их следует рассматривать как случайные процессы.
- Метрологическая, обусловленная погрешностями определении значений влияющих факторов.
- Поведенческая. Возникает из-за наличия целенаправленного воздействия со стороны противоборствующей системы или объекта, которая также находится в состоянии неопределенности .
- Целевая. Возникает из-за неточного формулирования цели, приводящее к неоднозначной трактовке конечного результата.

Следует отметить, что рисковая ситуация не является неопределенной. Ситуация неопределенности характеризуется тем, что вероятность наступления результатов решений или событий в принципе не устанавливается. Иными словами, любой риск несет в себе неопределенность, но не каждая неопределенность несет в себе риск.

При исследовании риска для рассматриваемого объекта факторы отражаются в виде переменных:

- Определенные факторы – известные с заданной точностью переменные.
- Неопределенные факторы – неизвестные с заданной точностью переменные.

Таким образом, ситуацию риска можно охарактеризовать как разновидность неопределенной в том случае, если событие возможно сделать оценку вероятности его возникновения[15].

Таким образом, можно сказать, что предупреждение аварий и событий, а также оценка вероятного ущерба от них – перспективное и необходимое направление исследований. При грамотной оценке риска появится возможность свести ущерб до минимума, а также, вероятно, спасти множество жизней.

1.1.2 Классификация рисков

На сегодняшний день, как в случае и с формулировкой понятия «риск», не существует четкой классификации рисков. В определенных сферах деятельности можно найти объемные, но при этом совершенно разные классификации и определения одним, на первый взгляд, и тем же понятием. Наиболее важными факторами, которые стараются выделить специалисты, таковы [7, 15]:

- время возникновения: ретроспективные, текущие и перспективные;
- характер последствий: чистые (несут потери) и субъективные (несут как потери, так и прибыль);
- сфера возникновения: предпринимательские, страховые, экологические, гидрологические, технологические;
- масштаб последствий: глобальные, региональные, местные;
- степень опасности: допустимые, критические, катастрофические.

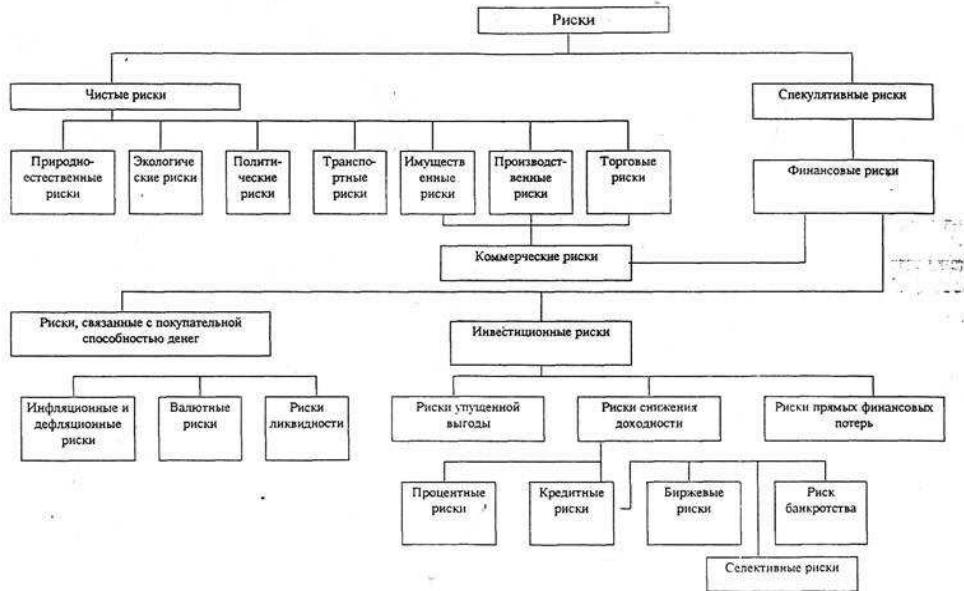


Рисунок 1—Пример классификации риска

Исходя из вышесказанного, становится понятно, что возникает желание дать количественную *оценку риска* и каким-то образом использовать ее для предотвращения рисковой ситуации. Оценка риска является процессом, объединяющим идентификацию, анализ риска и сравнительную оценку риска.

Идентификация риска — процесс определения элементов риска, составление их перечня и описания каждого их элементов риска.

Анализ риска — анализ и исследование информации о риске. Анализ риска обеспечивает входные данные процесса общей оценки риска, помогает в принятии решений относительно необходимости обработки риска, а также помогает выбрать соответствующие стратегии и методы обработки риска.

Сравнительная оценка риска — сопоставление уровня риска с критериями риска с целью определения типа риска и его значимости.

Для оценки риска существует множество методов, как качественных, так и количественных, таких как мозговой штурм, статистические методы и др.

Основной целью оценки риска является представление на основе объективных свидетельств информации, необходимой для принятия обоснованного решения относительно способов обработки риска[37].

Оценка риска обеспечивает:

- понимание потенциальных опасностей и воздействия их последствий на достижение установленных целей;
- получение информации, необходимой для принятия решений;
- понимание опасности и ее источников;
- идентификацию ключевых факторов, формирующих риск;
- возможность сравнения риска с риском альтернативных организаций, технологий, методов и процессов;
- обмен информацией о риске и неопределенностях;
- информацию, необходимую для ранжирования риска;
- предотвращение новых инцидентов на основе исследования последствий произошедших инцидентов;
- выбор способов обработки риска;
- получение информации, необходимой для обоснованного решения о принятии риска в соответствии с установленными критериями;
- оценку риска на всех стадиях жизненного цикла продукции.

1.1.3 Информация. Виды информации

Слово «информация», следуя из его определения, можно трактовать как «сырые данные». Информация – это то, что получено в результате наблюдения, эксперимента, опроса. Информацией, например, являются *характеристики* - количественные оценки, полученные в результате наблюдения (или иным способом) объектом [34].

К характеристикам можно отнести:

- давление;
- температуру;
- скорость течения нефти;
- и т.д.

Особенность некоторых видов информации в том, что она обладает высоким уровнем неопределенности.

В связи с тем, что при проведении измерений возможно допущение ошибок и неточностей, истинные значение элементов определить невозможно. Результат измерений, ввиду его неопределенного и вероятностного характера, следует рассматривать в виде интервала, в котором, с некоторой вероятностью, может находиться истинное значение величины[44].

В современной науке используется множество методов получения гидрологической информации. Основным способом ее получения являются методы *полевых исследований*.

Данные методы делятся на два основных типа [16]:

- Экспедиционный метод представляет собой комплексное обследование районов. Этот метод позволяет исследовать преимущественно те явления, которые, различаясь в пространстве, медленно меняются во времени. Чаще всего это проводится в виде инженерных изысканий.
- Метод стационарных наблюдений служит для изучения динамики элементов объектов во времени, начиная от нескольких часов и заканчивая столетиями.

Особенностью полевых методов является непосредственный контакт с природным объектом [13]. При экспедиционных методах исследователи выдвигаются к месту исследования и проводят необходимые замеры и *полевые эксперименты* – это еще один способ получения информации, при которых наблюдения проводятся на небольших участках природных

объектов, специально выбранных для детальных исследований[42]. Такие методы также называют инженерными изысканиями.

Существуют также *лабораторные методы*. Они похожи на полевые эксперименты, но условия, в которых проводится эксперимент, полностью контролируются исследователем [42].

На текущий день все чаще используются методы картографирования и ГИС-технологии [30], дистанционного зондирования[26, 36], гидроакустические методы [44].

Как было сказано выше, особенности информации таковы, что точные результаты получить невозможно, только с определенной погрешностью. При исследованиях стараются уменьшить данную погрешность разными способами. Например, в статье [20] использован метод усреднения данных, что, однако, все равно ведет к определенной потере данных.

Данные ценные тем, что они являются относительно дорогими и незаменимыми, а также потенциально имеют высокое значение после определенных событий. Чтобы понять и сохранить их значимость, должны существовать способы проверки точности, дающие определенные гарантии того, что ошибок почти нет. Для этого необходимо должным образом уделить внимание обработке данных. Обработка данных состоит из следующих этапов [44]:

- Кодирование информации. На данном этапе каждому объекту в соответствие ставится определенный код. Этот этап нужен для того, чтобы облегчить поиск объектов в будущем. Обычно используются стандартные международные коды.

- Сбор информации. На этом этапе вся информация, полученная в результате исследования (не важно, в каком виде – цифровом, аналоговом, записи в физических журналах и пр.) переносится на носитель, где они будут впоследствии обрабатываться, храниться и анализироваться.

– Первичная обработка. Здесь данные подготавливаются к хранению в архиве, в котором они будут доступны в средне- или долгосрочной перспективе. На этом этапе производится контроль качества данных, исправление ошибок, вычисление производных переменных.

– Вторичная обработка. На этом этапе заполняются пробелы в данных, преобразование единиц измерения, сжатие данных.

Для разного рода информации (информации об осадках, климате.) могут меняться методы первичной и вторичной обработки.

Информация может представляться разными способами: текстом, картами, гистограммами. На рисунке 1, например, представлена гистограмма прихода воды к Саяно-Шушенской ГЭС за 2015 год.

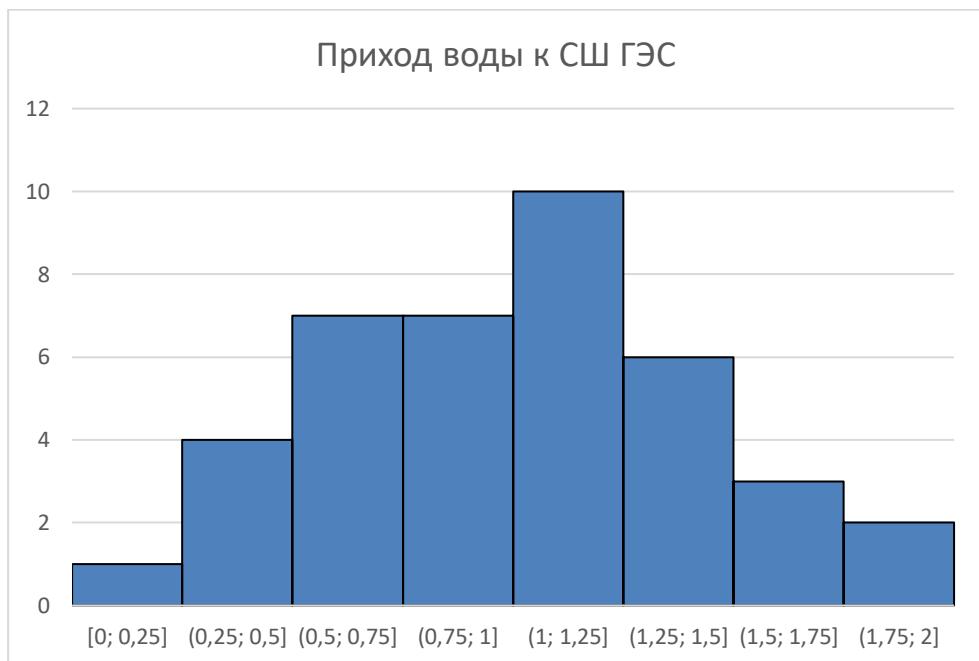


Рисунок 2 – Гистограмма прихода воды к СШ ГЭС

1.1.4 Информационно-аналитический подход для оценки рисков.

Анализ публикаций и существующих систем

Информационно-аналитический подход – это комплексный метод обработки информации, в котором можно выделить следующие этапы:

- ознакомление с предметом исследования;
- определение терминов и понятий;
- сбор и истолкование фактов;
- построение гипотезы;
- выводы из гипотезы;
- изложение выводов;

Оценка техногенного риска – особо актуальная в наше время тема, в связи с тем, что к объектам, на которых возможен техногенный риск, относятся объекты особой важности – гидроэлектростанции, нефтегазоперерабатывающие комплексы, ядерные станции и т.д. Иными словами, объекты, на которых возможны катастрофы государственного масштаба. В связи с вышеперечисленным, оценка техногенного риска является предметом анализа множества статей разных авторов.

Следует отметить, что оценка риска уже регулируется множеством нормативных документов Российской Федерации, отражающих как оценку риска в целом для ОПО, так и для различных ситуаций (например, пожаров) в частности. Основные документы, которыми руководствуются при анализе рисков при проектировании, указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Нормативные документы, использующиеся при оценке риска

Наименование используемых моделей и методов	Комментарии
1	2
РД 03-418-01 «Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов»	Проведение анализа риска опасных производственных объектов
ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ «Пожарная безопасность. Общие требования»	Определение вероятности возникновения аварий
ГОСТ Р 12.3.047-2012 "Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля".	Определение зон поражения при горении пролива. Оценки индивидуального и социального риска для наружных технологических установок.
Методика оценки последствий аварии на пожаро- и взрывоопасных и взрывоопасных объектах, ВНИИГОЧС, Москва, 1994 г.	Определение зон поражения и количества пострадавших.
Методические рекомендации по определению количества пострадавших при чрезвычайных ситуациях техногенного характера, утв. Приказом МЧС РФ от 01.09.2007 г. № 1-4-60-9-9	Оценка зон действия поражающих факторов аварий, расчет количества погибших и пострадавших при авариях.
РД 03-496-02 «Методические рекомендации по оценке ущерба от аварий на опасных производственных объектах»	Расчет материального ущерба при авариях
Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств», утв. Приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 11.03.2013 г № 96	Расчет количества опасных веществ, участвующих в аварии и создании поражающих факторов, расчет радиусов зон воздействия ударной волны при взрыве, проведения анализа риска опасных
Руководство по безопасности «Методика оценки риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазоперерабатывающей, нефте- и газохимической промышленности», утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 27.12.2013 г. № 646	Проведение анализа риска опасных производственных объектов

Дополнительно следует отметить, что у организаций, которые разрабатывают проектную продукцию, связанную с анализом риска, часто бывают свои локально-нормативные документы, которые дополняют вышеуказанную документацию.

Исходя из анализа проектной документации, которая разрабатывается при проектировании объектов, несущих в себе потенциальный техногенный риск, выявлено, что вероятностная составляющая риска при его оценке учитывается не в полной мере. Например, некоторые показатели берутся согласно ГОСТ, а не путем наблюдений, что не противоречит нормативным документам. Это сокращает разработку документации, но увеличивает потенциальную опасность на объекте.

Анализ статей, связанных с оценкой риска, показал, что многие авторы зачастую не учитывают вероятностную природу риска, а именно – высокий уровень неопределенности. Следует также отметить, что многие авторы не выходят за рамки нормативных документов и оценка риска ограничивается методами, описанными в ФЗ-116, чаще всего – дерево решений[8, 24, 28].

Есть и исключения. Проанализированные статьи предлагают интересные решения по оценке, как, например, построение полей риска [11] - в производственной практике часто используется схожий метод для оценки радиуса взрывов на производстве. Некоторые авторы предлагают использовать нечетких множеств и логико-вероятностный подход [35].

Обычно оценка риска сводится к следующему [19]:

- Качественный анализ всех возможных рисков, с которыми может столкнуться предприятие в ходе реализации проекта.
- Качественный анализ риска (построение дерева проблем);
- Анализ безубыточности проекта;

– Анализ чувствительности экономических результатов к изменению основных параметров проекта (цена реализации продукции, цена на сырье и материалы и т. д.) на момент выхода на полную мощность.

Также рассмотрим наиболее популярное программное обеспечение, предназначенное для оценки риска. Список программ представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Программное обеспечение, предназначенное для оценки риска

Программный продукт	Описание
1	2
Программный модуль «Токси»	Отечественная программа для определения количества и построения зон концентраций опасных веществ, поступивших в атмосферу, при различных сценариях аварий.
Программный модуль «Магистраль»	Отечественная программа для определения сценариев аварий, построения зон аварий, определения вероятностной оценки формы пламени при разных диаметрах и местоположении трубопровода
CRAMM	Зарубежный программный комплекс, в основе которого лежит экспертная оценка: качественные данные, полученные от экспертов, являются базой для количественной оценки риска.
Программный модуль «Риск-нефть-трубопровод»	Отечественный программный модуль, предназначенный для определения количества вылившейся при аварии нефти, оценки площади загрязнения и подсчета экологического риска и ущерба.
Toxi+Risk	Отечественный программный продукт, основная цель которого – автоматизация вычислений и подготовка разделов технической документации при анализе риска. Имеет широкий спектр возможностей при оценке риска и построения зон возможных аварий.
РискМенеджер	Отечественный программный продукт для управления рисками, аудита, контроля, мониторинга безопасности банковских и других критических систем, инфраструктур и бизнес-процессов. Автоматизирует построение моделей угроз, моделей событий рисков, оценки рискообразующих потенциалов угроз, объектов, организационных структур, бизнес-процессов.
Студия анализа риска 2011. "Ущерб ГТС"	Программный модуль разработан на основе «Методики определения размера вреда, который может быть причинен жизни, здоровью физических лиц, имуществу физических и юридических лиц в результате аварий гидротехнических сооружений предприятий топливно-энергетического комплекса», утвержденной совместным приказом МЧС России и Минэнерго

Окончание таблицы 2

1	2
	России от 29.12.2003 г. №776/508. Модуль предназначен для оценки ущерба при авариях на водоподпорных гидротехнических сооружениях. Позволяет определить как ущерб в целом, так и причиненный сельскому и лесному хозяйствам региона, основным и оборотным фондам, объектам жилого фонда и имуществу граждан, элементам транспорта и связи
Блок "Промышленная безопасность" ПК "Русь"	Отечественный программный модуль, предназначен для обеспечения единой информационно-технологической цепочки сбора, хранения, обработки информации в области промышленной безопасности, прогнозирования, расчета риска и ущерба при пожарах, аварийных ситуациях на опасных производственных объектах

Следует отметить, что все из вышеперечисленных программных продуктов берут за основу либо методы из нормативной документации, утвержденной в Российской Федерации, либо берут в основу качественные методы оценки, не дающие высокой точности. Методы, которые используются в данных программах, не учитывают как и свойства информации, так и уровень неопределенности объекта, в связи с чем результат зачастую оказывается недостоверным.

В результате анализа литературы и существующих программ можно сделать следующий вывод:

- Наиболее популярный метод оценки риска – дерево решений. Однако, данный метод не дает в полной мере оценить риск, но лишь идентифицировать опасности.
- Многие авторы не берут в расчет вероятностную природу риска, что также негативно влияет на результат.
- Существующие методы, используемые при оценке риска, основываются на нормативной документации, что не дает в полной мере считать результат достоверным.

В связи с этим, повышение достоверности оценки рисковых ситуаций – актуальная на сегодняшний день тема, которую необходимо исследовать.

1.1.5 Техногенные риски

Техногенная опасность - состояние, внутренне присущее технической системе, промышленному или транспортному объекту, реализуемое в виде поражающих воздействий источника техногенной чрезвычайной ситуации на человека и окружающую среду при его возникновении, либо в виде прямого или косвенного ущерба для человека и окружающей среды в процессе нормальной эксплуатации этих объектов [10]. Другими словами, техногенными являются опасности, возникшие в ходе работы технического или техногенного объекта. Чаще всего такие опасности можно встретить на ОПО.

Соответственно, *техногенный риск* – это вероятность возникновения чрезвычайной ситуации техногенного характера, а также величина ее последствий. С вероятностной точки зрения техногенный риск (1):

$$R_T = \frac{\Delta T(t)}{T(f)} \quad (1)$$

где R_T – техногенный риск; ΔT – число аварий в единицу времени t на идентичных технических системах[10] и объектах; T – число идентичных технических систем и объектов, подверженных общему фактору риска f [10].

Объекты, на которых возможна техногенная авария, относятся к опасным производственным объектам.

К опасным производственным объектам (далее – «ОПО»), в соответствии с Федеральным законом № 116-ФЗ от 21.07.1997 [43], предприятия или их цехи, участки, площадки, а также иные производственные объекты, на которых:

- получаются, используются, перерабатываются, образуются, хранятся, транспортируются, уничтожаются опасные вещества (газы, легковоспламеняющиеся жидкости, взрывчатые, токсичные вещества и т.д.);
- используется оборудование, работающее под избыточным давлением более 0,07 МПа;
- используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы (за исключением лифтов, подъемных платформ для инвалидов), эскалаторы в метрополитенах, канатные дороги, фуникулеры;
- получаются, транспортируются, используются расплавы черных и цветных металлов, сплавы на основе этих расплавов с применением оборудования, рассчитанного на максимальное количество расплава 500 килограммов и более;
- ведутся горные работы, работы по обогащению полезных ископаемых;
- осуществляется хранение или переработка растительного сырья, в процессе которых образуются взрывоопасные пылевоздушные смеси, способные самовозгораться, возгораться от источника зажигания и самостоятельно гореть после его удаления, а также осуществляется хранение зерна, продуктов его переработки и комбикормового сырья, склонных к самосогреванию и самовозгоранию.

Как видно выше, четкого определения понятия ОПО в Федеральном законе не приводится. Однако, данных Закон описывает следующие понятия:

- авария - разрушение сооружений и (или) технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, неконтролируемые взрыв и (или) выброс опасных веществ;
- инцидент (аварийная ситуация) - отказ или повреждение технических устройств, применяемых на опасном производственном объекте, отклонение от установленного режима технологического процесса.

Из этого можно сделать вывод, что ОПО – такой объект, на котором высока вероятность возникновения аварий или аварийных ситуаций на производстве, которые могут повлечь за собой большую опасность.

По данным критериям к ОПО можно отнести, например, следующие отрасли промышленности: угольная, газовая, нефтяная, гидротехническая и т.д. Данные отрасли объединяет то, что при их эксплуатации высока вероятность возникновения аварий и инцидентов.

1.2 Аварии на опасных производственных объектах

1.2.1 Анализ аварий на ОПО

С целью анализа причин возникновения аварий, рассмотрим список происшествий в период с 2010 по 2014 на примере магистральных нефтегазопроводов и кустовых площадок, представленный в таблице 3 [31].

Таблица 3 – Список аварий на ОПО

Объект	Описание аварии	Причина аварии
1	2	3
Межпромысловый трубопровод	При проведении ремонтных работ методом вырезки от применяемой электродрели произошло воспламенение паров нефти. Двое пострадавших получили ожоговые травмы тяжелой степени тяжести.	Нарушение технологии ремонтных работ. Неудовлетворительная организация производства работ, в том числе необеспечение соблюдения рабочими трудовой и производственной дисциплины, инструкций по охране труда, инструкций по безопасному проведению работ.
Нефтесборный коллектор	При плановом обходе нефтесборных коллекторов обнаружена радужная оболочка на поверхности в районе дюкерного перехода.	Открытая задвижка бездействующего трубопровода и язвенная коррозия герметизирующей заглушки диаметром 0,3 мм установленной между

Продолжение таблицы 3

1	2	3
		фланцевым соединением трубопровода
Межпромысловый нефтегазопровод	В результате разгерметизации межпромыслового нефтепровода произошла утечка около 3-х кубометров нефте содержащей жидкости.	Нарушение геометрических характеристик соединения при стыковке деталей, сквозное разрушение поперечного сварного шва, несоответствие строения поперечного сварного шва в зоне разрушения трубопроводов, нормам и правилам, применяемым при изготовлении изделий.
Межпромысловый нефтегазопровод	Бригада работников при укладке кабеля волоконно-оптической линии вместо метода наклонно-направленного бурения, в нарушение проекта прокладки проводили работы кабелеукладчиком. В результате механического повреждения трубопровода аварийный выход нефтепродуктов составил 697 м3. Проведены работы по локализации и ликвидации последствий аварий.	Механическое повреждение нефтепродуктопровода в результате проведения несанкционированных работ, без разрешения на строительство, без государственной экспертизы проектной документации.
Нефтесборный трубопровод	В 09:30 была обнаружена негерметичность нефтесборного трубопровода (Ду-325 мм) от кустовой площадки до комплексного сборного пункта. В 11:00 при производстве работ по локализации разлива нефти произошло возгорание нефтегазоводосодержащей жидкости.	Строительство трубопровода выполнено с отступлениями от проектных решений (изменена марка стали трубы, изменен способ и технология сварки трубопровода и способ защиты сварного стыка от внутренней коррозии). Не проводились гидравлические испытания на прочность. Эксплуатация трубопровода проводилась без продления срока безопасной эксплуатации.
Магистральный нефтепровод	При проведении земляных работ произошло механическое повреждение трубопровода с утечкой нефти на участке от 345 до 354 км.	Механическое повреждение ковшом экскаватора вследствие низкого уровня организации работ по вскрытию нефтепровода без оформления наряда-допуска на проведение газоопасных работ.

Продолжение таблицы 3

1	2	3
Система сбора нефти	При плановом обходе системы сбора нефти был обнаружен выход на поверхность нефтесодержащей жидкости в результате разгерметизации нефтесборного коллектора.	Неоснащение трубопровода приборами и устройствами контроля за коррозией.
Нефтесборный коллектор	Вследствие внутренней коррозии трубы нефтесборного коллектора диаметром 530 мм произошла его разгерметизация, повлекшая розлив нефтесодержащей жидкости.	Разрушение материала стенки трубы произошло на дефекте производственного происхождения
Межпромысловый нефтепровод	При обходе обнаружен выход нефтесодержащей жидкости в районе поймы ручья по причине разгерметизации межпромыслового нефтепровода.	Образование и развитие повреждений стенки трубы в виде крупной каверны и сквозного отверстия, которое произошло на скрытом дефекте производственного происхождения - закате крупного экзогенного неметаллического включения (прокатной окалины), образовавшемся в процессе производства трубы.
Трубопроводы	При плановом обходе системы трубопроводов Комплексного цеха добычи нефти и газа обнаружен выход на поверхность нефтесодержащей жидкости в результате разгерметизации трубопровода.	Образование и развитие повреждений стенки трубы в виде крупных каверн и сквозных отверстий округлой формы произошло на дефекте эксплуатационного происхождения - значительном механическом повреждении, образовавшемся в результате нарушения технологии сборки присоединения трубы со штуцером в процессе монтажа участка трубопровода.
Нефтесборный коллектор	На действующем нефтесборном коллекторе произошла разгерметизация фланцевого соединения заглушки пропарочного стояка, с последующим разливом нефтесодержащей жидкости на снежный покров	Разгерметизация фланцевого соединения заглушки пропарочного стояка нефтесборного коллектора произошла вследствие некачественной сборки фланцевого соединения

Окончание таблицы 3

1	2	3
Нефтепровод	В результате разгерметизации выкидного нефтепровода обнаружен выход нефтисодержащей жидкости в объеме 3,5 м ³ .	Развитие на внутренней поверхности трубопровода крупных коррозионных каверн с дефектом катастрофического характера в виде сквозных отверстий в результате коррозионного разрушения материала в условиях влажной эксплуатационной среды высокой степени коррозионной активности; образованию дефекта также способствовало механическое повреждение на наружной поверхности трубы, предположительно полученное при строительстве данного нефтепровода.

Анализ аварий и причин их возникновения помог сделать следующие выводы. Аварии возникают по причинам характера, которые можно сгруппировать следующим образом:

- технические причины (27% от всех причин);
- организационные причины (18% от всех причин);
- сочетание организационных и технических причин (55% от всех причин).

Среди технических причин преобладало нарушений технологии процесса:

- внешние воздействия;
- коррозионные повреждения;
- дефекты труб;
- неисправность или отсутствие сетей связи и пожарной сигнализации.

Среди причин организационного характера:

- нарушения требований технологического режима;

- отсутствие или недостаточный контроль за объектом;
- несоблюдение требований норм и правил пожарной и промышленной безопасности.

Обычно к аварии ведет множество причин. Недостаточная оценка опасности, незнание возможных сценариев развития аварий и неправильная организация действий персонала зачастую становятся причиной несчастных случаев.

Следует отметить, что в большинстве случаев аварии приводили к большому ущербу как в экономическом смысле, так и в плане ущерба здоровью работникам ОПО, вплоть до летального исхода.

Гистограмму основных причин аварий на ОПО можно найти на рисунке 3.

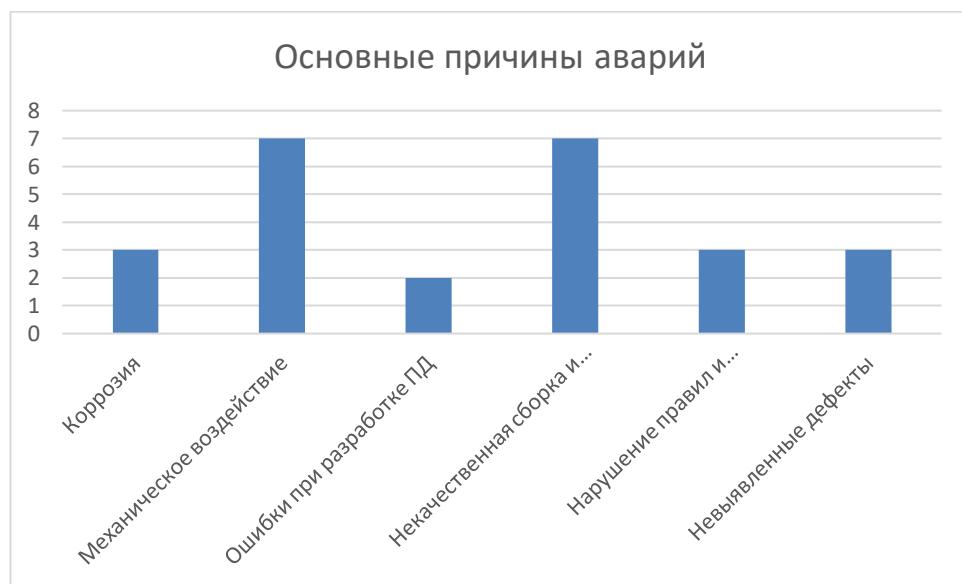


Рисунок 3—Основные причины аварий на ОПО

1.2.2 Определение возможных причин возникновения аварий. Составление сценариев аварий.

Процессы, протекающие на опасных производственных объектах, относятся к потенциально опасным. Например, на кустовых площадках

наибольшая вероятность возникновения у аварий, которые связаны с разгерметизацией и выбросом вредных веществ, что в дальнейшем может привести к пожарам, взрыву нефти и загрязнению объекта.

Возможными источниками возникновения аварий на ОПО могут быть любые технологические объекты и емкости, содержащие опасные вещества. Например, к наиболее частым источникам утечки нефтепродуктов можно отнести:

- нефтесборные трубопроводы;
- оборудование скважин;
- технологические трубопроводы;
- промысловые трубопроводы;
- запорные арматуры, фланцевые соединения.

Причины возникновения аварийных ситуаций условно можно объединить следующим образом: отказы оборудования, ошибочные действия персонала, внешние воздействия природного и техногенного характера.

Рассмотрим возможные причины, которые могут привести к возникновению аварии на ОПО, а также кратко проанализируем возможные последствия.

Таблица 4 - Опасности на ОПО

Тип	Опасности	Причина аварии	Последствия
1	2	3	4
Опасности, связанные с типовыми процессами	Высокая производительность оборудования, работа с высокими показателями температуры и давления.	Нарушение технологического режима или аварийная остановка оборудования, ошибки при	Нарушение гидравлического или теплового массообмена, утечка горючих жидкостей и газов,
	Наличие сложной конструкции, значительный объем веществ. Физический износ, коррозия,	проектировании, гидроудары, вызванные изменением режима работы.	разгерметизация газов, может привести к взрывам и пожарам

Окончание таблицы 4

1	2	3	4
	механические повреждения. Прекращение подачи энергоресурсов.		
Ошибочные действия персонала	Недостаточный уровень автоматизации, низкая квалификация персонала, халатность, отсутствие систем принятия решений, неадекватное восприятие информации, получаемой от приборов контроля.	При недостаточно высоком уровне автоматизации технологический процесс требует повышенной квалификации персонала и повышенного внимания. Также ошибки персонала ведут к механическим повреждениям оборудования.	В случае неправильных действий возможна разгерметизация системы, вывод оборудования из строя.
Внешнее воздействие	Сложно предугадать, нет возможности	Аварии на соседних объектах,	Возможна разгерметизация
природного и техногенного характера	и предотвратить.	механические повреждения оборудования вследствие внештатных ситуаций.	системы, вывод оборудования из строя.

Под сценарием возможной аварии подразумевается последовательность логически связанных отдельных событий, обусловленных конкретным инициирующим событием (например, разрушение оборудования). Пример блок-схемы возможных сценариев показан на рисунке 4.

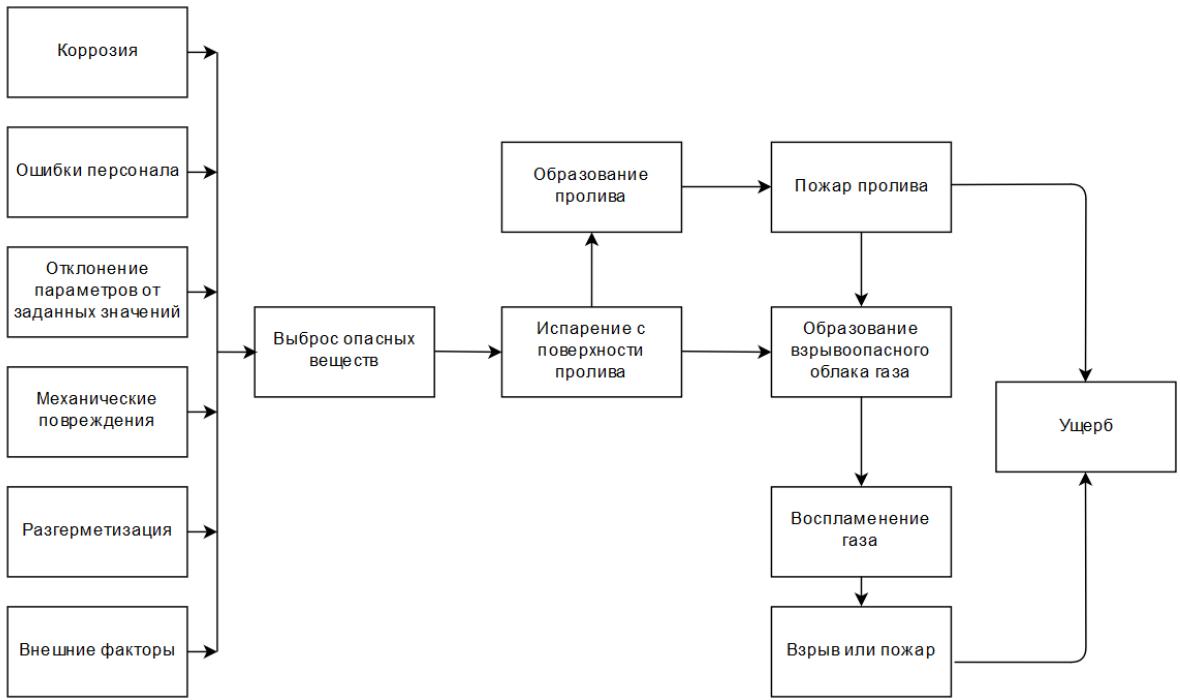


Рисунок 4 – Блок-схема возможных сценариев аварии

1.2.3 Социальный риск

Социальный риск описывает зависимость частоты реализации неблагоприятных событий F , в результате которых погибло не менее N этого количества человек[14]. Данный тип риска описывается функцией распределения потерь (ущерба), также известной как F/N -диаграмма.

Социальный риск рекомендуется представлять в виде графика ступенчатой функции $F(x)$, задаваемой уравнением

$$F(x) = \sum_{j=1}^{N(x)} Q_j^x \quad (2)$$

где Q_j^x – ожидаемые частоты реализаций аварийных ситуаций C_j , при которых гибнет не менее x человек; $N(x)$ – число сценариев C_j , при которых гибнет не менее x человек. Рекомендуется построение кривой социального риска в виде ступенчатой, непрерывной слева, функции $F(x)$ со ступеньками в целочисленных значениях аргументах $x = [N_j]$, когда

$$F([N_j]) = F(N_j) \frac{N_j}{[N_j]} \quad (3)$$

где $[N_j]$ – ближайшее большее целое число к значению ожидаемого числа погибших N_j при реализации j -го сценария; $F(N_j)$ – сумма частот сценариев с ожидаемым числом погибших не менее N_j . Частота аварии с гибелью не менее одного человека равна $R_1 = F(1)$.

Интегральная функция распределения людских потерь есть разрывная ступенчатая функция, скачки которой происходят в точках, соответствующих возможным значениям случайной величины N , и равны вероятностям этих значений. Рассмотрим пример построения F/N -диаграммы. Пусть даны вероятности сценариев аварий на ОПО Q и соответствующие им количества погибших N . Значения числа погибших и соответствующие частоты сценариев аварий представлены в таблице 4. Также даны суммы частот сценариев аварий F , при которых гибнет не менее N человек. Для удобства значения N расположены по возрастанию. Кривая социального риска для рассматриваемого примера представлена на рисунке 5.

Таблица 5 - Данные для построения F/N -диаграммы

Количество погибших N , чел.	Частота сценария аварии Q , 1/год	Сумма частот сценариев F с ожидаемым количеством погибших не менее N , 1/год
1	2	3
1	2,00E-06	1,68E-05
2	1,00E-06	1,48E-05
3	1,10E-07	1,38E-05
4	1,10E-06	1,36E-05
8	5,00E-06	1,25E-05
10	1,10E-07	7,54E-06
11	1,10E-07	7,43E-06
15	5,00E-07	2,43E-06
19	1,00E-06	2,32E-06
21	2,40E-08	1,32E-06

Окончание таблицы 5

1	2	3
100	4,90E-07	1,07E-06
27	2,30E-07	1,30E-06
100	4,90E-07	1,07E-06

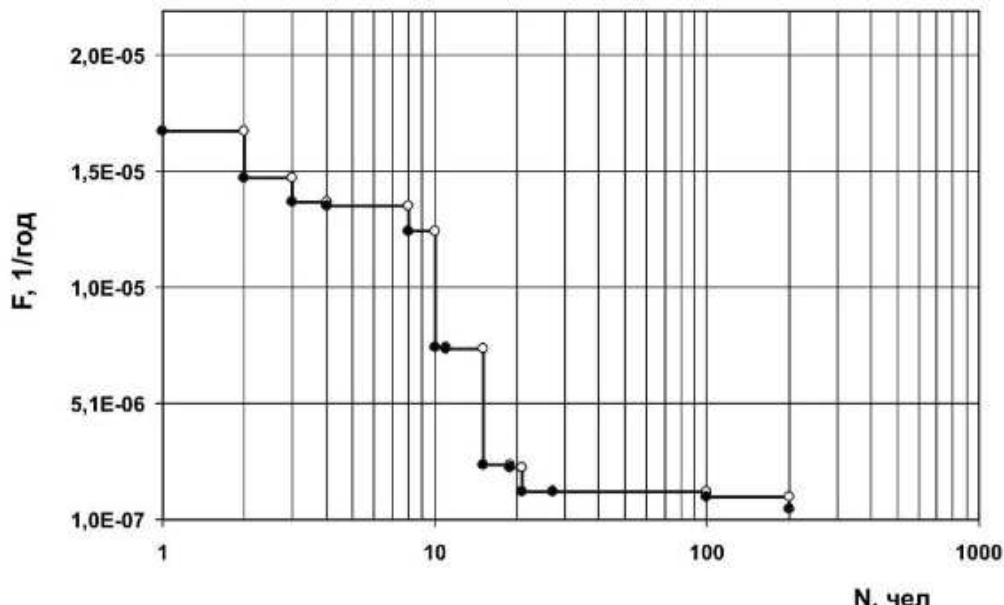


Рисунок 5 – Пример интегральной функции распределения числа погибших при аварии на ОПО

Следует отметить, что сумма частот сценариев F в данном примере усреднена в связи с вероятностной природой риска.

1.2.4 Ущерб и допустимый риск

Ущерб – это результат рискового события, выражающийся в нарушении целостности объекта, а также экономические (денежные средства на восстановление объекта) и другие потери (человеческие жизни и др.) Понятие ущерба - экономическая количественная величина, выраженная итоговой стоимостью. Иными словами, ущерб - это оцененные последствия.

Цель оценки ущерба - определение его величины в денежном или материальном эквиваленте.

В связи с тем, что создать абсолютную безопасность на объекте и избежать ущерба, ввиду высокой неопределенности риска, невозможно, была разработана концепция допустимого (приемлемого) риска[14].

Допустимый риск – риск, уровень которого допустим исходя из социально-экономических соображений. Риск эксплуатации объекта является приемлемым, если ради выгоды, получаемой от эксплуатации объекта, общество готово пойти на этот риск. Иными словами, социальный риск устанавливает границу, которую нельзя пересекать: все, что выйдет за границу, будет «недопустимо».

Основной рекомендацией к выбору или определению критерия приемлемого риска является его обоснованность и определенность. При этом критерии приемлемого риска могут задаваться как руководящими документами (ГОСТ, РД, ФЗ и т.д.), определяться на этапе планирования анализа риска и/или в процессе получения результатов анализа. Критерии допустимого риска необходимо определять исходя из совокупности условий, включающих определенные требования к безопасности объекта, а также опасности и их факторы, которые могут на нем возникнуть. Допустимость риска может иметь вид условий, выполнения требований безопасности, в том числе количественных критериев. Основой для определения критериев приемлемого риска являются:

- нормы и правила промышленной безопасности или иные документы по безопасности в анализируемой области;
- сведения о произошедших авариях, инцидентах и их последствиях;
- опыт практической деятельности;
- социально-экономическая выгода от эксплуатации опасного производственного объекта.

ВРФ Федеральным законом от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» определены следующие нормативные значения пожарных рисков:

– Величина индивидуального пожарного риска в зданиях, сооружениях, строениях и на территориях производственных объектов не должна превышать одну миллионную в год.

– Риск гибели людей в результате воздействия опасных факторов пожара должен определяться с учетом функционирования систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений.

– Для производственных объектов, на которых обеспечение величины индивидуального пожарного риска одной миллионной в год невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение индивидуального пожарного риска до одной десятитысячной в год. При этом должны быть предусмотрены меры по обучению персонала действиям при пожаре и по социальной защите работников, компенсирующие их работу в условиях повышенного риска.

– Величина индивидуального пожарного риска в результате воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, не должна превышать одну стомиллионную в год.

– Величина социального пожарного риска воздействия опасных факторов пожара на производственном объекте для людей, находящихся в селитебной зоне вблизи объекта, не должна превышать одну десятимиллионную в год.

Для объекта социальный пожарный риск принимается равным частоте возникновения событий, ведущих к гибели 10 и более человек. Согласно ГОСТ 12.1.010 –76 и ГОСТ 12.1.004 –91, вероятность воздействия опасных

факторов взрыва и пожара на людей в течение года не должна превышать 10^{-6} на человека.

Следует отметить, что единого для общественности показания социального риска на данный момент не установлено. Предлагаемые значения разнятся от 10^{-3} до 10^{-8} . Рекомендуемые значения допустимого риска для населения меняются в диапазоне от 10^{-5} до 10^{-7} . Однако, в особых случаях, допустимый риск может уменьшаться более чем на 10 порядков.

2 Применение ЧВА для оценки техногенных рисков

2.1 Модели оценки рисков

При оценке риска используется тот или иной математический аппарат. Наиболее распространенным, но не единственным, является подход на основе теории вероятности. Однако, в зависимости от выбранной модели и метода, это могут быть методы статистики, методы интервальной арифметики и т.д. Результатом применения модели является описание риска, чаще всего в виде отношения между величиной события (благоприятного или нет) и вероятностью его возникновения [21].

2.1.1 Концептуальные модели

Концептуальная модель – тип моделей, записанный на естественном языке с использованием логики и рассуждений, отражающий определённый аспект объекта [25].

Концептуальная модель состоит из трех ключевых составляющих – объектов, свойств объектов и взаимосвязей между ними. Обычно данного рода модели не являются окончательными и лишь служат для создания более глубоких математических моделей (как, например, в [27]). Наиболее близкой к такому определению будет служить модель «Сущность-связь».

Основная задача концептуальных моделей – это более глубокое понимание предметной области. Концептуальные модели позволяют отделить исследуемый материал от похожих тем, позволяя, при этом, открывать в исследуемом новые вещи. В качестве примера концептуальной модели риска можно привести статью [9].

Это же является и минусом концептуальных моделей – они лишь дают примерное представление, концепцию риска, но не могут дать на выходе вероятность его наступления [45].



Рисунок 6 – Пример концептуальной модели оценки риска.

2.1.2 Вероятностные модели

В вероятностной модели риска оценка сводится к вычислению вероятности. Иными словами, риск в данной модели – это безразмерная величина в границах от 0 до 1. Такие модели обычно относятся к типу «Черный ящик», когда известны только входные и выходные данные.

Как и в любой другой модели, оценка риска строится на двух базисах: возможности наступления нежелательного события и ущерба. В данном случае, предположим, что X – это случайная величина предполагаемого ущерба, причем $X > 0$. Данная величина описывается случайной функцией распределения:

$$F(x) = P(X < x) \quad (4)$$

где x – действительное число, $P(X < x)$ – вероятность случайного события $(X < x)$.

Вероятностные модели делятся на параметрические и непараметрические. В первом случае функция распределения является нормальным, экспоненциальным и др. распределением. Однако, в реальных исследованиях такое происходит редко, поэтому в большинстве случаев используют непараметрические модели – в них нет четкой принадлежности какому-либо семейству распределений.

Обычно при оценке риска стараются отойти от функции, описывающей бесконечно большое число параметров, к нескольким числовым параметрам, в лучшем случае – к одному. Для этого при оценке рассматривают такие характеристики функции, как математическое ожидание, медиану, дисперсию, среднее квадратическое отклонение и т.д. Тогда под оценкой ущерба можно подразумевать оценку какой-либо характеристики. Обычно для оценок используются эмпирические данные [29].

В качестве примера рассмотрим статью [22]. Функция распределения в данном случае имеет интегральный вид:

$$R = \int kD(x)dF(x) < R_a, \quad (5)$$

где D – уровень соответствующих опасных воздействий на человека, F – вероятность возникновения опасных ситуаций, k – коэффициент, связывающий D и F . R_a – нормативный показатель риска, который нельзя превышать.

В итоге были получены данные, с помощью которых впоследствии построили диаграмму зависимости социального риска аварии на АЭС (рисунок 7).

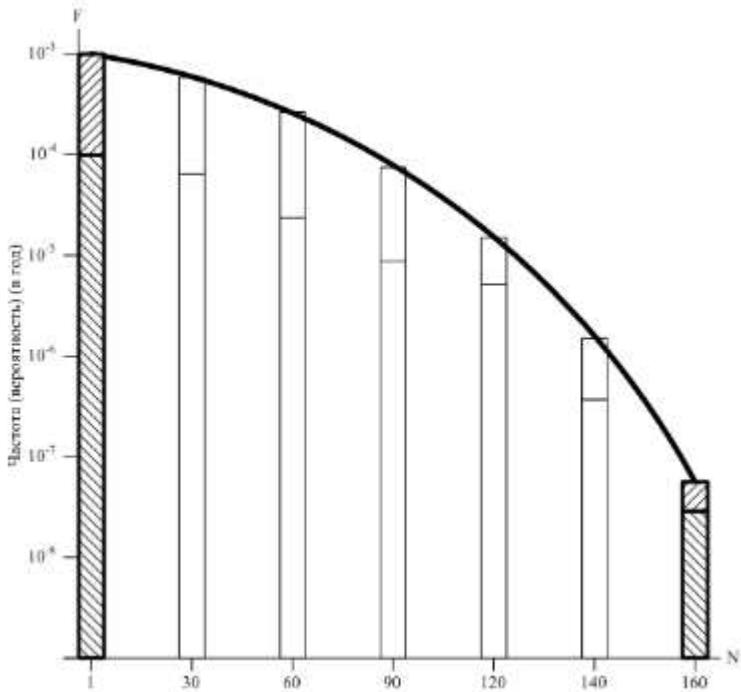


Рисунок 7 – Зависимость вероятности риска и количестве жертв при аварии

Можно выделить два типа вероятностных моделей:

- Параметрические, когда функция распределения входит в одно из семейств известных распределений – нормальных, экспоненциальных, треугольных и т.д.
- Непараметрические, когда функция распределения является непрерывной функцией числового аргумента.

Проблема статистических методов по отношению к эмпирическим данным возникает тогда, когда наблюдения считаются случайно-независимыми и выражаются переменными с определенным распределением, что, в действительности, редко встречается при наблюдениях. Эмпирические данные как таковые не являются полностью случайными и зависят от предшествующих событий, при этом считается, что некоторое отклонение от теории ошибок не является существенным. Обратим, однако, внимание, что статистический анализ не в состоянии заменить наблюдения за объектом (иными словами – заменить сбор эмпирической информации), особенно из-за

ложных и систематических ошибок, которые невозможно исключить с помощью статистики. Статистическими методами можно характеризовать только случайные ошибки.

2.2 Методы оценки рисков

Методы оценки риска можно разделить на два типа: качественные и количественные. Качественный анализ осуществляется с целью идентифицировать факторы риска, этапы и работы, при выполнении которых риск возникает, т.е. установить потенциальные области риска, после чего идентифицировать все возможные риски. Среди качественных методов следует выделить метод аналогий, суть которого заключается в анализе всех имеющихся данных по не менее рискованным аналогичным проектам, изучении последствий воздействия на них неблагоприятных факторов с целью определения потенциального риска при реализации нового проекта. Также стоит выделить методы экспертных оценок риска - это методы прогнозирования и анализа рисков, которые основаны на заключениях экспертов, имеющих опыт реализации. На практике чаще всего используется метод дерева проблем [23].

Качественный подход к анализу проектных рисков базируется на информации, полученной в ходе качественного анализа, и предполагает численное определение отдельных рисков и риска проекта в целом. На этом этапе определяются численные значения вероятностей наступления рисковых событий и их последствий, осуществляется количественная оценка степени риска, определяется допустимый в данной конкретной обстановке уровень риска. Данные методы используют аппарат математической статистики, теории вероятности и других областей математики [23].

2.2.1 Интервальный анализ

Оценивая конечный результат наблюдений, часто приходится сталкиваться с тем, что невозможно однозначно определить точное значение определенного элемента, а лишь определенные границы, в которых он находится. Необходимость обработки таких данных повлекла за собой появление интервальной математики.

Под интервальным числом a будем понимать отрезок вещественных чисел $[\underline{a}, \bar{a}]$, где $\underline{a} \leq \bar{a}$ [18]. Множество интервальных чисел будем обозначать через \mathbf{R} . При $\underline{a} = \bar{a} = a$ интервальное число будет отождествляться с вещественным числом a , следовательно, $R \subset \mathbf{R}$. В дальнейшем будем называть интервальные числа просто интервалами.

Интервальные числа достаточно часто используются для численных оценок различных проблем в условиях неопределенности, когда для входных параметров известны только интервальные границы функции распределения. В англоязычной литературе такой подход получил название P-box, которые также называют интервальными функциями распределения. Данный подход не нуждается в большом количестве информации: часто все основывается на минимуме, максимуме, среднем и дисперсии данных или сочетании этих данных.

Интервальный анализ нацелен на определение границ распределений и, соответственно, не говорит о распределении случайной величины внутри интервала. При этом интервальный анализ часто дает более широкие границы, в связи с чем неопределенность в интервальных функциях выражена с точки зрения интервалов.

Задается интервальная функция распределения граничными условиями:

$$\underline{F}(x) \leq \bar{F}(x), \quad (6)$$

где $\underline{F}(x), \bar{F}(x) \in [0,1]$ – некоторые функции распределения.

Рассмотрим интервальную функцию распределения для переменных U , V и W . Моделирование переменной U с этой интервальной функцией утверждает, что дополнительная функция распределения U независимо от того, какая она, находится в области ограниченной интервальными границами. Функция для переменной V вырожденная в том смысле, что границы совпадают и эквивалентны точной функции распределения. Функция для переменной W также вырождена, но носитель случайной величины, в данном случае, лежит полностью в интервале, но никакая другая информация о нем неизвестна [21] Фрагменты графиков можно увидеть на рисунке 8.

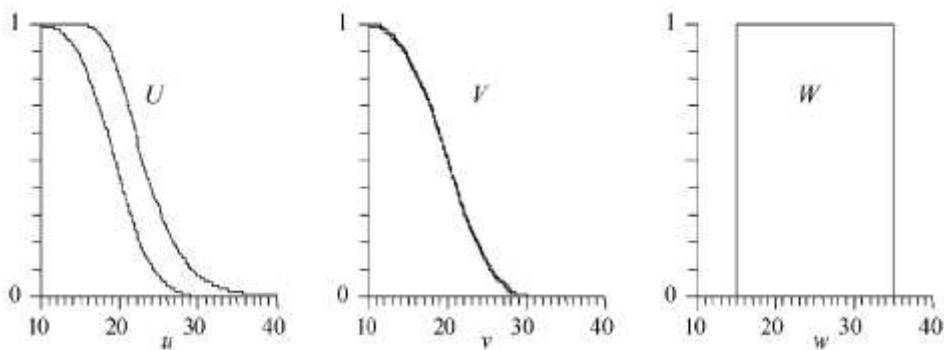


Рисунок 8 – Фрагменты интервальных функций распределения, выражающих различные степени неопределенности.

К сожалению, интервальный подход обладает некоторыми минусами. Интервальные функции распределения сохраняют мало информации о внутренней структуре распределения, что осложняет решение некоторых задач, когда границы близки к вертикальным. Также при использовании интервального подхода возможна потеря информации, особенно часто о наиболее вероятных значениях[39, 40].

Пример плотности вероятности, полученный методом интервального анализа, можно увидеть на рисунке 9. Эти данные можно впоследствии использовать при оценке рисков.

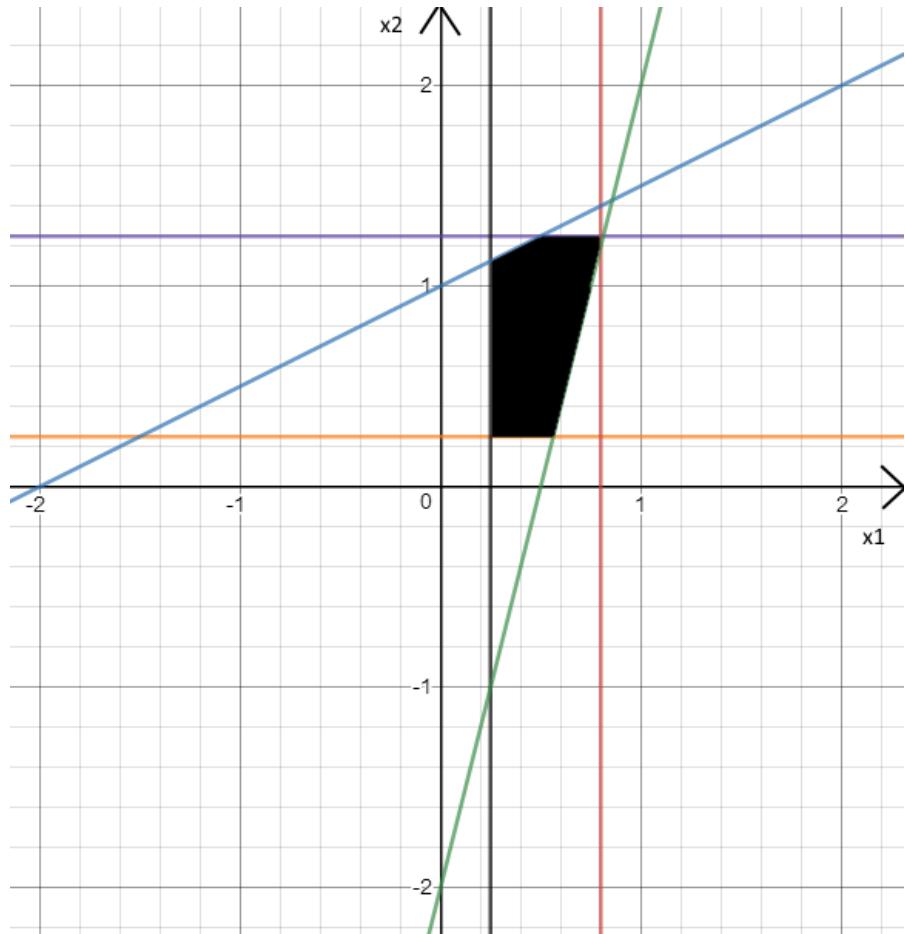


Рисунок 9 – Множество решений методом интервально анализа

2.2.2 Методы имитационного моделирования

Методы неопределенности характеризуются заменой существующей неопределенности данных некоторыми вероятностными распределениями, которые далее моделируются путем множества испытаний и далее вычисляются с помощью значений функции и т.д., по результатам которых и строятся исковые оценки функции и решения уравнений [40].

На сегодняшний день наиболее популярным и востребованным при оценке рисков является метод Монте-Карло. В данном методе генерируются множество возможных комбинаций параметров с учетом их распределения. Каждая комбинация дает свое, при этом, возможно, не уникальное, значение, и в итоге получается вероятностное распределение теоретических результатов. Метод Монте-Карло применим практически к любой стохастической системе. При этом описание поведения этой системы часто непосредственно даёт алгоритм моделирования.

Однако, данный метод не идеален. Можно выделить основные проблемы этого метода основные проблемы каждого метода [40]:

- Большинство задач, которые требуют оптимальных ответов, имеют высокую сложность, поэтому решение таких задач займет продолжительное время и потребует много ресурсов.
- Статистическое моделирование не обеспечивает гарантированности и доказательности ответов, что является главной проблемой метода.

Последнее утверждение можно доказать на примере трехмерной системы Ноймайера

$$\begin{pmatrix} 3,5 & [0, 2] & [0, 2] \\ [0, 2] & 3,5 & [0, 2] \\ [0, 2] & [0, 2] & 3,5 \end{pmatrix} x = \begin{pmatrix} [-1, 1] \\ [-1, 1] \\ [-1, 1] \end{pmatrix},$$

как сильно отличается статистическое множество решений

$$\begin{pmatrix} [-1,204; 1,241] \\ [-1,349; 1,260] \\ [-1,231; 1,288] \end{pmatrix}$$

от оптимального

$$\begin{pmatrix} [-1,765; 1,765] \\ [-1,765; 1,765] \\ [-1,765; 1,765] \end{pmatrix}.$$

Данная картина лишь усугубляется при увеличении размера задачи.

Однако, что ответ на задачу, вероятность правильности которого выше определенного порога (например, 99,99%), можно считать «практически достоверными». Чем больше число переменных в функции, тем лучше вероятностные распределения преобразуются в распределения, плотность вероятности которого пренебрежительно мала около границы области. Иными словами, «средние» значения возникают гораздо чаще, чем крайние. Это возникает по причине того, как дальше объясняется в статье, что средние значения возникают на большем количестве операндов, чем крайние значения результата.

Можно сравнить результаты статического моделирования линейной системы Барта-Нудинга, полученные путем статистического моделирования и оптимальные оценки(рисунок 10 и 11).

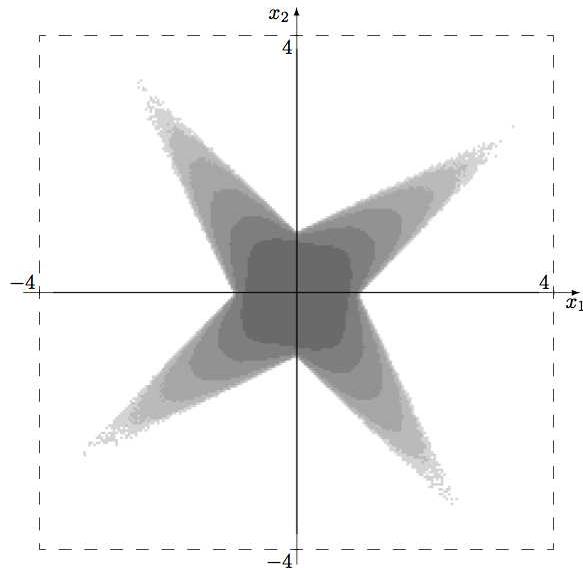


Рисунок 10 – Эмпирическая плотность вероятности системы Барта-Нудинга, полученная путем статистического моделирования

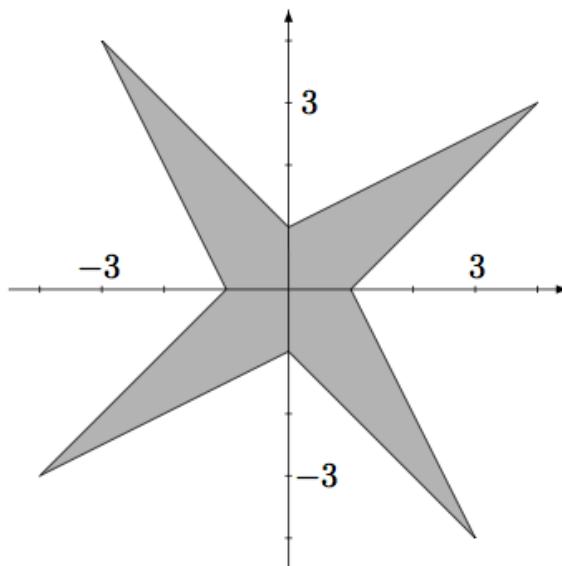


Рисунок 11 – Множество решений системы Барта-Нудинга

2.3 Численный вероятностный анализ для оценки рисков

2.3.1 Основы ЧВА для оценки рисков

Как уже было сказано, наиболее достоверным представлением неопределенности в данных является функция плотности вероятности. При этом применение к ним формул классической теории вероятностей в реальности затруднительно или даже невозможно.

Но поскольку на практике возникает необходимость осуществлять операции над плотностями вероятностями, в том числе возвведение в степень, нахождение экстремумов, то разработка эффективных численных методов на сегодняшний день является особо актуальной задачей[1, 3, 21].

Для решения данных задач предлагается использовать численный вероятностный анализ (ЧВА) – относительно новый раздел вычислительной математики, специализирующийся на решение задач в условиях неопределенности. В частности, в условиях элиторной и эпистемистической

неопределенности с использованием операций над плотностями вероятностей случайных величин, а также их функций распределения.

ЧВА успешно применяется для вероятностного описания систем в условиях неопределенной информации, том числе, когда параметры системы имеют стохастическую природу. Численный вероятностный анализ и его производные позволяют решать задачи, в том числе, оценивать риски в условиях стохастической неопределенности, в тысячу раз быстрее, чем метод Монте-Карло [18]. В работах[1, 4, 32] рассмотрен подход, позволяющий оценивать надежность сложных технических систем в условиях различных типов неопределенности. Новые подходы в ЧВА позволяют оценивать и поднимать точность моделирования сложных систем[2, 3, 32].

ЧВА особенно хорош при использовании в тех моделях, где функция плотности вероятности выражена формулой. Тогда становится возможным, используя гистограммное расширение, перейти к гистограммной арифметике. При этом оценка точности также повышается на несколько порядков по причине того, что анализ производится не с постоянными значениями.

2.3.2 Оптимационные модели со случайными переменными

Численный вероятностный анализ позволяет численно прогнозировать состояние сложных систем. В качестве примера предлагается рассмотреть метод оптимизации выработки электрической энергии на гидроэлектростанции в условиях элиторной неопределенности. Метод основан на использовании арифметики над плотностями случайных величин и решении систем линейных алгебраических уравнений со случайными коэффициентами[2, 33].

Представим мощность P выработки электроэнергии ГЭС в виде
$$P = Chu,$$

где C — некоторая константа; h — высота уровня воды в водохранилище, $h \in [h_{min}, h_{max}]$, $u \in [u_{min}, u_{max}]$ — количество воды, проходящей через турбины.

Высота уровня воды h зависит от объема воды в водохранилище

$$h = h(V).$$

Объем воды в водохранилище $V(t)$, в свою очередь зависит, от $u(t)$, притока воды в водохранилище $q(t)$ и холостого сброса $u_x(t)$

$$V(t) = V_0 + \int_0^t q(\xi) - u(\xi) - u_x(\xi) d\xi.$$

Пусть необходимо максимизировать выработку электроэнергии на временном отрезке $[0, T]$. Ставится задача оптимального управления

$$P(u) = \int_0^T C h \left(V_0 + \int_0^t q(t) - u(t) - u_x(t) dt \right) u(t) dt \rightarrow \max.$$

где u — управление, количество воды, проходящей через турбины в единицу времени, функцию $u \in [u_{min}, u_{max}]$ будем искать в пространстве кусочно-постоянных функций. При небольших изменениях h объем воды в водохранилище можно записать как функцию от h : $V_1(h) = V_1(h_0) + V'_1(\xi)(h - h_0)$. Полагая $S = V'_1(\xi)$.

$$V_1(h) = V_0 + S(h - h_0).$$

где V_0 и h_0 — объем и уровень воды в водохранилище в момент времени $t = 0$ соответственно, S можно интерпретировать как площадь поверхности водохранилища. Уровень воды h в водохранилище зависит от $q(t)$, $u(t)$ и $u_x(t)$. Получим:

$$h(V(t)) = h_0 + \frac{V(t) - V_0}{S} = h_0 + \left(\int_0^t q(\xi) - u(\xi) - u_x(\xi) d\xi \right) / S,$$

Таким образом

$$P(u) = \int_0^T C \left(h_0 + \left(\int_0^t q(t) - u(t) - u_x(t) dt \right) / S \right) u(t) dt \rightarrow \max,$$

где $q(t)$ — приток воды в водохранилище; $u_x(t)$ — холостой сброс; u — количество воды через турбины, $u \in [u_{min}, u_{max}]$.

Следует отметить, что данная модель оптимизации показывает непрерывное изменение мощности в зависимости от времени. В реальности на ГЭС большинство процессов носят дискретный характер, которые выражаются в виде кусочно-постоянных функций. Для решения данной проблемы рассмотрим дискретное приближение модели, с помощью чего будет возможно привести модель к системе линейных уравнений.

Построим на отрезке $[0, T]$ сетку: $\omega = \{t_0 < t_1 \dots < t_n\}$ приток воды в водохранилище за время $[t_{i-1}, t_i]$ приблизим гистограммой q_i , соответственно u_{xi} — гистограммы холостого сброса за время $[t_{i-1}, t_i]$, u_i — гистограммы количества воды через турбины за время $[t_{i-1}, t_i]$ и $U = \{u_i | i = 1, 2 \dots n\}$. Дискретная модель

$$P_d(u) = C \sum_{i=1}^n (h_0 + (\sum_{j=1}^i q_j - u_j - u_{xj})/S) \rightarrow \max$$

Перейдем системе уравнений, имеющей следующий вид:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = b_2 \end{cases}$$

где $a_{ij} \in [\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}]$, $b_i = [\underline{b}_i, \bar{b}_i]$ — интервальные числа.

Множеством решений данной матрицы $Ax = b$ назовем множество векторов χ , таких, что

$$\chi = \{x | Ax = b, A \in [\underline{a}_{ij}, \bar{a}_{ij}], b \in [\underline{b}_i, \bar{b}_i]\}.$$

Данную систему можно решить как с помощью методов интервальной математики, так и с помощью метода Монте-Карло. Важным отличием будет то, что при решении методами интервальной математики можно будет задать множество решений, в то время как методом Монте-Карло можно будет получить только множество точек.

Самый простой способ решить данную систему – метод Крамера.

Получим:

$$x_1 = \frac{\begin{vmatrix} b_1 & a_{12} \\ b_2 & a_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}}, x_2 = \frac{\begin{vmatrix} a_{11} & b_1 \\ a_{21} & b_2 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}}.$$

Однако данный ответ не будет точным, так будет содержать переменные более одного раза [4].

Уточним границы множества. Используем тот факт, что

$$[a, b] \cap [c, d] \neq \emptyset \Leftrightarrow d \geq a, b \geq c.$$

Чтобы выполнить умножение, нужно знать знаки x_1 и x_2 . Их можно уточнить с помощью, например, метода Крамера, приведенного выше.

Пусть $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$. Тогда получим два умножения:

$$\begin{cases} [\underline{b}_1 \underline{a}_{11} x_1 + \underline{b}_1 \underline{a}_{12} x_2, \bar{b}_1 \bar{a}_{11} x_1 + \bar{b}_1 \bar{a}_{12} x_2] \cap [\underline{b}_1, \bar{b}_1] \\ [\underline{b}_2 \underline{a}_{21} x_1 + \underline{b}_2 \underline{a}_{22} x_2, \bar{b}_2 \bar{a}_{21} x_1 + \bar{b}_2 \bar{a}_{22} x_2] \cap [\underline{b}_2, \bar{b}_2] \end{cases}$$

Исходя из (1), получим две системы неравенств:

$$\begin{cases} \underline{b}_1 \underline{a}_{11} x_1 + \underline{b}_1 \underline{a}_{12} x_2 \leq \bar{b}_1 \\ \bar{b}_1 \bar{a}_{11} x_1 + \bar{b}_1 \bar{a}_{12} x_2 \geq \underline{b}_1 \\ \underline{b}_2 \underline{a}_{21} x_1 + \underline{b}_2 \underline{a}_{22} x_2 \leq \bar{b}_2 \\ \bar{b}_2 \bar{a}_{21} x_1 + \bar{b}_2 \bar{a}_{22} x_2 \geq \underline{b}_2 \end{cases}$$

Решая данные неравенства путем приравнивая к нулю x_1 и x_2 , получим некоторые прямые, обозначающие границы множества решений.

Задачу решения дискретной модели в случае известного u_x можно свести к СЛАУ вида $AU = b$, где U – вектор решения, A_{ij}, b_i – матрица и вектор правой части. Приравняв градиент к нулю, получим следующее:

$$\begin{aligned} 2u_1 + u_2 + \dots + u_n &= Sh_0 + q_1 \\ 2u_1 + u_2 + \dots + u_n &= Sh_0 + q_1 \end{aligned}$$

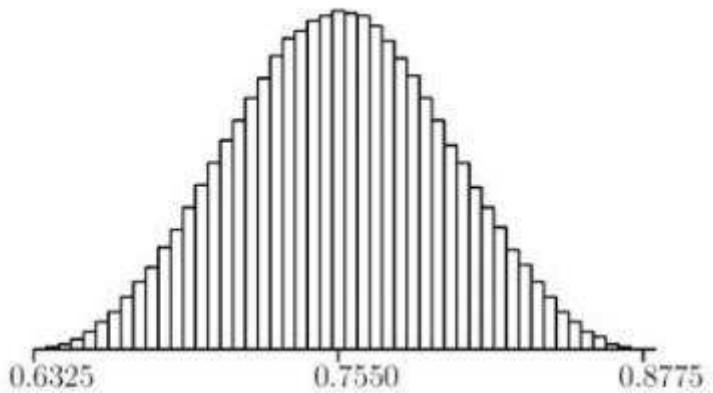


Рисунок 12—Гистограмма плотности вероятности выработки электроэнергии

2.3.3 Вероятности второго порядка

Численный вероятностный анализ представляет собой еще один способ распространения информационной неопределенности, в том числе для задач, когда вероятностные оценки входных параметров носят неопределенный характер. С целью снижения уровня информационной неопределенности и получения дополнительной информации о распределении параметров в условиях информационной недостаточности предлагается использовать гистограммный подход. Для решения таких задач можно также использовать интервальные гистограммы и гистограммы второго порядка. В тех случаях, когда нет возможности получить точную функцию распределения случайной величины, задают оценки плотности распределения сверху и снизу. Такие оценки удобно аппроксимировать интервальными гистограммами. Гистограмму будем называть *интервальной*, если значения гистограммы принимают интервальные значения.

Зачастую при исследованиях приходится решать задачи, в которых вероятностные оценки исходных данных имеют высокий уровень неопределенности. Численный вероятностный анализ предлагает для решения такого рода задач использовать гистограммы двух видов: интервальные и гистограммы второго порядка. Выбор гистограмм не случаен

– ими очень удобно аппроксимировать оценку плотности распределения в тех случаях, когда точная функция неизвестна.

– Интервальная гистограмма – значения гистограммы являются интервалами.

– Гистограмма второго порядка – значения гистограммы являются гистограммами. Другими словами, такие гистограммы показывают вероятности второго порядка – вероятность возникновения вероятности, что крайне важно при оценке риска.

Предположим, что случайная величину S_t , имеющая треугольное распределение P_t на отрезке $[0,1]$, высота $h=2$ и вершина в некоторой точке $(t,2)$, где t – случайная величина с треугольным распределением на отрезке $[0.25,0.75]$ с вершиной $(0.5,4)$. Данное распределение (иными словами – случайная величина S_t) показано на рисунке 13.

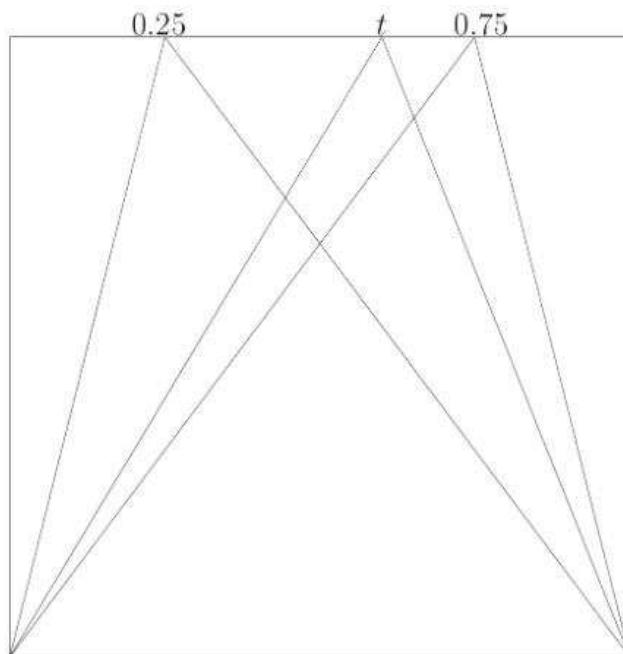


Рисунок 13–Множество треугольных распределений

На рисунке 14 приведена гистограмма второго порядка, на которой оттенками серого показано распределение вероятностей. Интервальное распределение (максимальное и минимальное P_t для всех t) изображено граничными линиями. Внутренняя линия определяет эффективную плотность вероятности гистограммы второго порядка - математическое ожидание плотностей вероятности P_t в точке x [21].

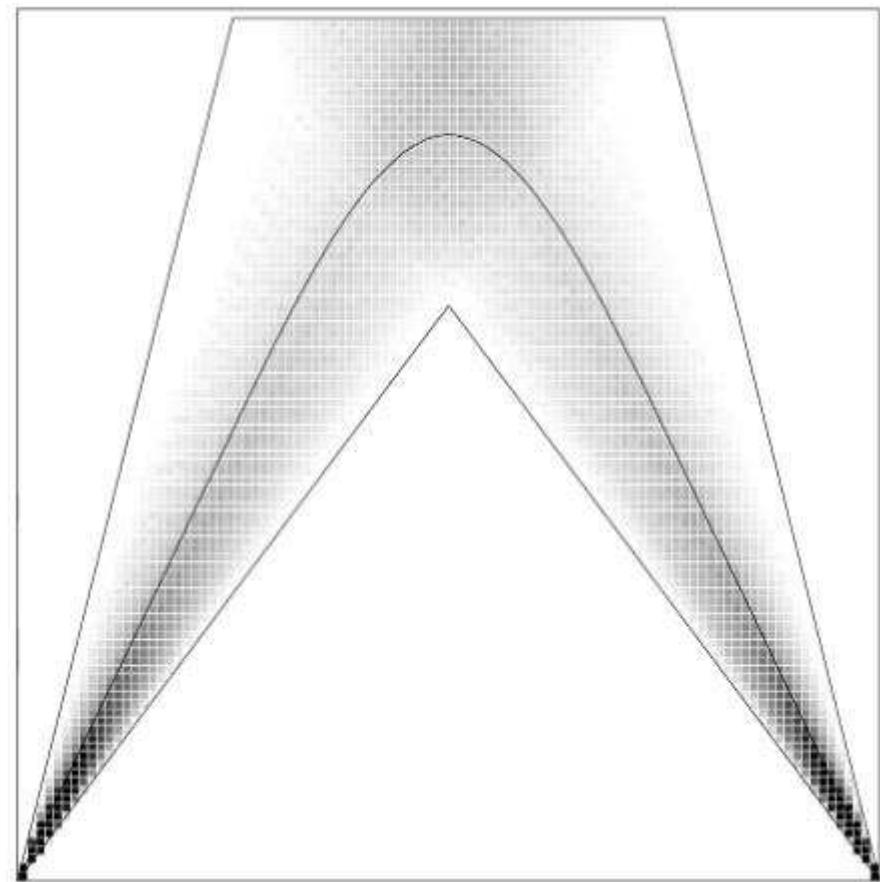


Рисунок 14— Гистограмма второго порядка для параметра S

2.4 Оценка риска с использованием численного вероятностного анализа

Детально рассмотрев предыдущие параграфы можно заметить, оценка риска, которая прописана в нормативных документах, содержит множество неопределенностей. Например, 100 человек находятся в зоне аварии, при этом ожидается, что погибнет 10 человек. Согласно нормативным документам, именно эти 10 человек и будут являться значением функции социального риска. Но очевиден вопрос: разве не может погибнуть не 10, а, например, 11 человек, или даже 12, с учетом того, что в зоне аварии их находится 100? Более того, согласно нормативной документации, частота аварии составляет 1 авария раз в 100 тысяч лет, На деле частота – также случайная величина, которую нужно учитывать [17].

Скорость сходимости эмпирической функции распределения в математической статистике определяется с помощью теоремы Колмогорова. Пусть $\Xi = x_1, x_2 \dots x_n$ - вещественные случайные величины с функцией распределения F , $F(n)$ есть эмпирическая функция распределения, построенная на Ξ . Тогда $\sqrt{n} SUP |F - F_n| \rightarrow K, n \rightarrow \infty, x \in R$, где K — случайная величина с распределением Колмогорова. На основе этой теоремы строится интервальная функция распределения (P-box), содержащая функцию распределения F с вероятностью γ для $n \rightarrow \infty$:

$$F(x) \in F_n(x) + [-\Delta, \Delta]$$

где $\Delta = \frac{k\gamma}{\sqrt{n}}$ и $k\gamma$ определяется как решение уравнения $K(k\gamma) = \gamma$.

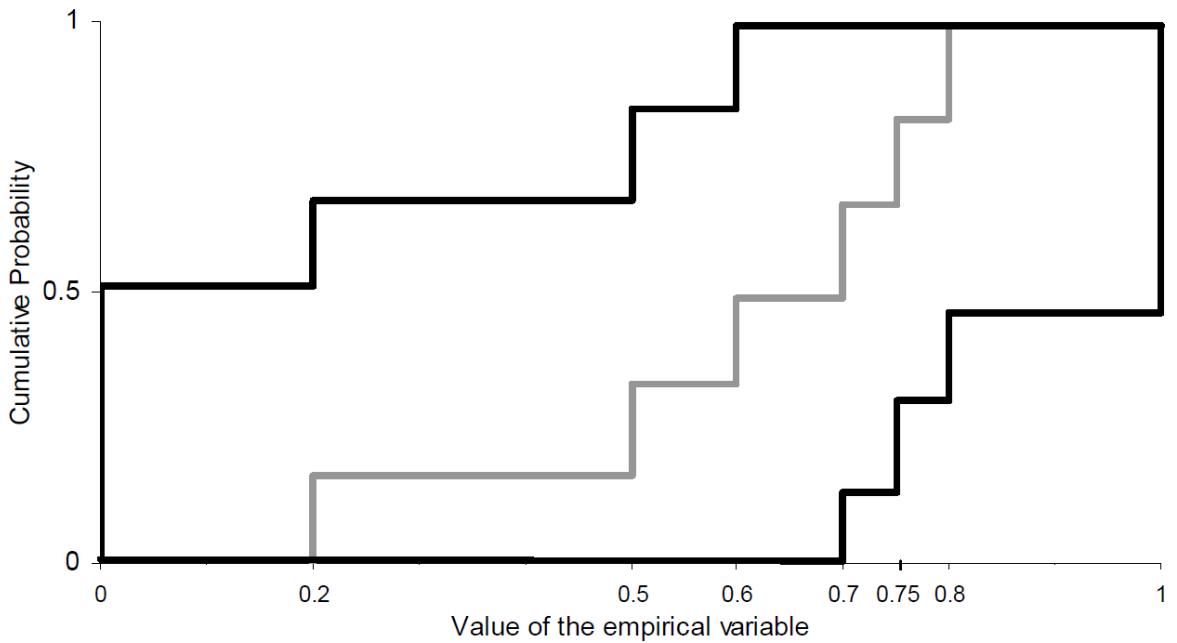


Рисунок 15 –Пример интервальнойной функции распределения (P-box)

Пусть $Z_i = F(x_i)$, $i = 1, \dots, n$.

В случае, если $Z_i = e^{-\lambda t_i}$, имеем, что:

$$\lambda = -\frac{\ln(Z_i)}{t_i}$$

Таким образом, частота аварий – не константа, а находится в определенном интервале. Иными словами, вероятность аварии сама по себе зависит от случайной величины.

При этом заметим, что $Z_i, i = 1..n$ есть равномерно распределенные величины на отрезке $[0,1]$. Если $Z_1 \leq Z_2 \leq Z_3 \leq \dots \leq Z_n$, то математическое ожидание Z_k есть:

$$M[Z_k] = \frac{k}{n+1}$$

Найдем λ . Пусть $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ – статистика частот, полученная опытным путем. Тогда:

$$-\ln(Z_i) = \int_0^{\xi_i} \lambda(\xi) d\xi \quad (6)$$

где $Z_i = P(\xi_i)$.

Для нахождения $\lambda(t)$ будем использовать метод наименьших квадратов.

Пусть $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_m$ – линейно независимые функции и $\lambda(t)$ будем искать в виде

$$\int_0^t \lambda(\xi) d\xi \approx \sum_{i=1}^m a_i \varphi_i(t).$$

Для нахождения $a_1 \dots a_m$ рассмотрим функционал

$$\Phi(a_1 \dots a_m) = \sum_{i=1}^n (-\ln(Z_i) - \sum_{j=1}^m a_j \varphi_j(\xi)) \rightarrow \min$$

Задача сводится к решению СЛАУ $A\vec{a} = b$, где $A = (a_{ij})$ – матрица Грама, $\vec{a} = (a_1, a_2 \dots a_m)$, $b = (b_i)$, $a_{ij} = (\varphi_i, \varphi_j)$, $b_i = (\vec{z}, \varphi_i)$, $(\vec{z}_i) = \ln(z_i)$, и $(x, y) = \sum_{i=1}^n x(\xi_i)y(\xi_i)$. Тогда, используя вместо $z_1, z_2 \dots z_n$ совместную функцию плотности вероятности $p(z_1, z_2 \dots z_n)$, можно построить вероятностное расширение $\lambda(t)$. На основании этого можно построить кусочно-линейную функцию, с помощью которой можно будет оценить λ .

Следует заметить, что $\lambda(t)$ – функция. В рамках данной работы, с целью сокращения расчетов при апробации метода, ограничимся тем, что λ – не константа, а интервальное число с верхней и нижней границей, так как порядковые статистики Z_i являются случайными. Тогда,

$$-\ln(Z_i) = \int_0^{\xi_i} \lambda(\xi) d\xi \Rightarrow \lambda = \frac{-\ln(Z_i)}{\xi_i} \quad (7)$$

3 Разработка информационно-аналитической модели для оценки техногенного риска

3.1 Описание примера оценки статистического риска

Поставим цель вычислить количественную оценку риска у ОПО. В качестве исходных данных возьмем статистику частот аварий на магистральных трубопроводах в 2011 – 2015 гг. [5]. Исходные данные представлены в таблице 6.

Таблица 6 - Частоты аварий на магистральных трубопроводах в 2011 – 2015 гг.

Годы	Количество аварий, ед.	Протяженность, км.
1	2	3
2011	2	51000
2012	5	54900
2013	2	55000
2014	0	54900
2015	1	54900
Итого за 5 лет	10	270700

Для оценки риска в соответствии с нормативными документами вычислим статистическую частоту аварий на магистральных трубопроводах $\lambda_{\text{ст}}$. На основе информации из таблицы 6 получим:

$$\lambda_{\text{ст}} = \frac{10}{270700} = 4 * 10^{-5} \quad (8)$$

С учетом того, что $\lambda_{\text{ст}} = \text{const}$, то справедливым считается экспоненциальный закон распределения:

$$R_{\text{ст}} = R_A(t) = 1 - e^{-\lambda_{\text{ст}} t}$$

где $R_{\text{ст}}$ - статистический риск возникновения аварии на магистральном трубопроводе, $R_A(t)$ – вероятность события А, равная $\lambda_{\text{ст}} t < 0,01$.

На практике анализа риска рассматривается период t , равный одному году. Поскольку $4 * 10^{-5} < 0,01$, то принимается $R_A(t) = 4 * 10^{-5}$. Тогда, в соответствии с (2), можем утверждать, что статистический риск возникновения аварии на магистральном трубопроводе равен:

$$R_{ct} = 4 * 10^{-5}.$$

3.2 Информационно-аналитическая система для оценки рисков с использование численного вероятностного анализа

В качестве основы для программного модуля был взят материал из параграфа 2.4 данной диссертации. В соответствии с таблицей 4, $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n) = (4 * 10^{-5}; 9 * 10^{-5}; 3 * 10^{-5}; 0; 2 * 10^{-5})$. Функциональная схема программного модуля показана на рисунке 16.

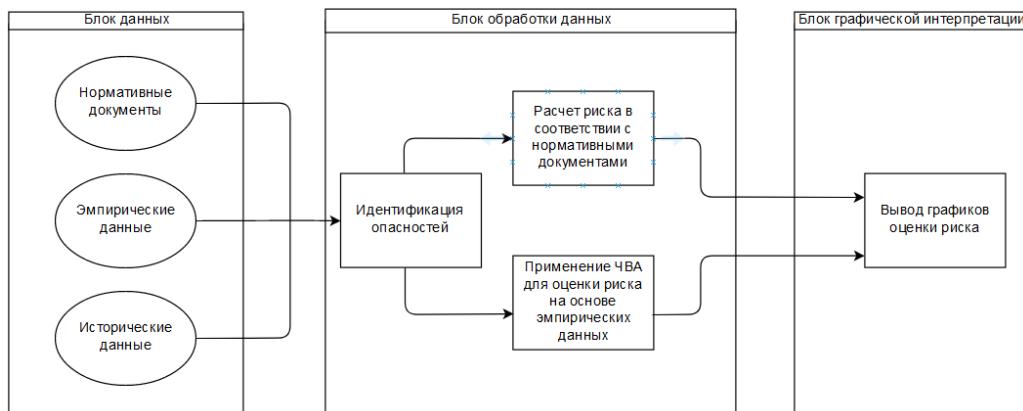


Рисунок 16 – Функциональная схема программного модуля

Рассмотренная ситуация – опасность вывода из строя нефтепровода в связи с чрезвычайной ситуацией природного характера. Цель программного модуля – построение достоверной оценки вывода из строя нефтепровода. Под достоверной оценкой следует понимать построение всех возможных рисковых ситуаций и всех возможных графиков функций риска.

Эмпирические данные были получены с помощью метода Монте-Карло. Для удобства подсчетов было сделано предположение, что λ имеет нормальное распределение. В итоге была получена выборка λ , распределение которой представлено на рисунке 17.

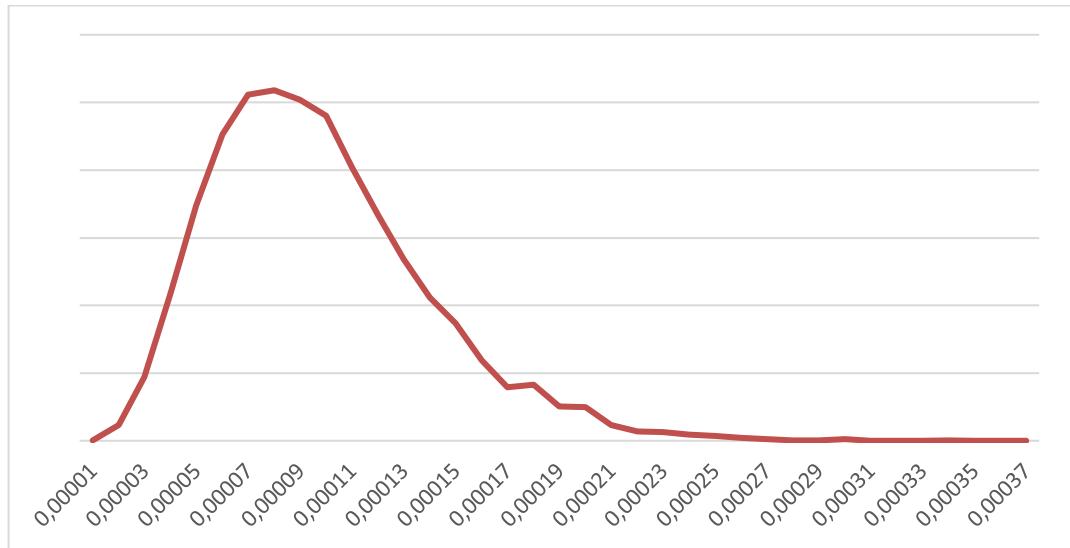


Рисунок 17 – Распределение параметра λ

В результате работ были получены графики функций $R(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, где t – время в годах. Скриншоты работы программного модуля представлены на рисунке 18.

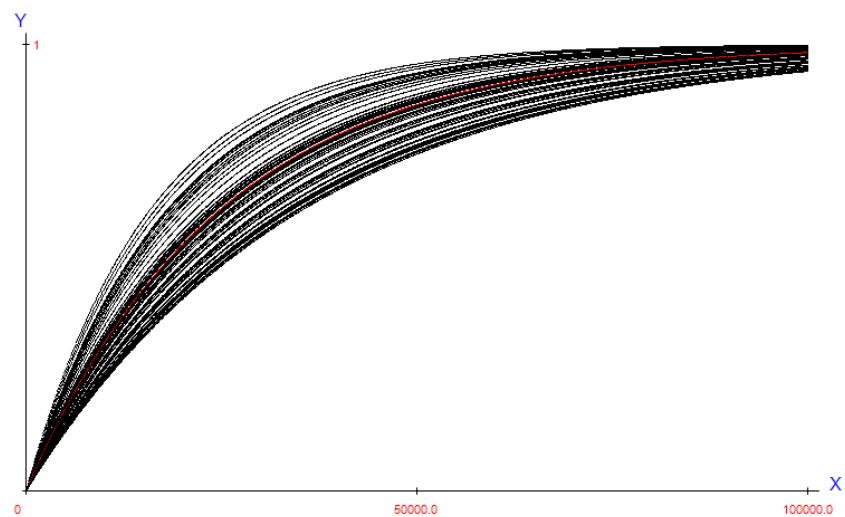


Рисунок 18 – Результат работы программного модуля, 10 тысяч итераций.

Исходя из данных графиков можно сделать вывод:

- частота аварии на трубопроводе не является постоянной величиной, а имеет определенные границы;
- наибольшая вероятность аварии находится на наиболее темных участках рисунках 18, куда попадает наибольшее количество экспонент;
- вероятность, полученная в результате расчета по нормативным документам, лежит в области с наибольшей вероятностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе был выполнен анализ статей, прямо связанной с темой оценки риска и сделан вывод, что существующие методы не учитывают свойства информации и неопределенную природу риска, в следствие чего результат оказывается недостаточно точным. Также было выявлено, что в нормативной документации, на основании которой на промышленных предприятиях делают оценку риска, также содержит методы и рекомендации, которые не учитывают особенности неопределенности.

С целью решения данной проблемы было предложено использовать методы численного вероятностного анализа - особого раздела вычислительной математики, предметом которого является решение задач со стохастическими неопределенностями в данных в условиях неопределенности. На основе ЧВА сделан вывод, что оценку риска можно существенно повысить, если учитывать свойства неопределенности информации, и в результате была построена информационно-аналитическая система, дающую точную оценку риска.

В рамках данной магистерской диссертации, для упрощения расчетов, было поставлено ограничение при вычислении частоты возникновения аварии – она заранее считалась интервальным числом. В дальнейшем планируется улучшить данную работу и считать частоту возникновения аварии не числом, а функцией.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Dobronets B., Popova O. Numerical probabilistic approach for data nonparametric analysis // Applied methods of statistical analysis. Nonparametric approach. Proceedings of the international workshop. 2015. C. 376–384.
2. Dobronets B., Popova O. Numerical probabilistic approach for optimization problems // Lecture Notes in Computer Science. 2016. (9553). C. 43–53.
3. Dobronets B.S., Popova O.A. Improving the accuracy of the probability density function estimation // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Математика и физика. 2017. № 1 (10). C. 16–21.
4. Popova O.A. Optimization problems with random data // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Математика и физика. 2013. № 4 (6). C. 506–515.
5. Александров А.А., Ларионов В.И. Методы анализа сейсмического риска с учетом вторичных техногенных аварий на объекта нефтегазового комплекса // Пожарная и промышленная безопасность. 2014. № 98 (4). C. 165–175.
6. Альгин А.П. Риск и его роль в общественной жизни / А.П. Альгин, М.: «Мысль», 1989. 188 с.
7. Батова И.Б. Классификация рисков и причины их возникновения // Международный студенческий научный вестник. 2015. № 1.
8. Берман А.Ф., Павлов Н.Ю., Николайчук О.А. Метод синтеза и анализа деревьев отказов на основе понятий механизма и кинетики событий // Проблемы анализа риска. 2015. № 3 (15). C. 62–77.
9. Боброва Н.М. Концептуальная модель риска инновационной деятельности // Дискуссия. Журнал научных публикаций. 2013. № 38 (8). C. 55–58.
10. Ветошкин А.Г., Таранцева К.Р. Техногенный риск и безопасность /

- А.Г. Ветошкин, К.Р. Таранцева, Изд-во Пен-е изд., Пенза:, 2002. 171 с.
11. Видгорович В.И. Техногенный риск. Проблемы и решения // Вестник ТГУ. 2004. № 4 (9). С. 405–419.
12. Виноградов Ю.Б., Виноградова Т.А. Математическое моделирование в гидрологии // 2010. 304 с.
13. Виноградова Т.А., Пряхина Г.В., Мосолова Г.И. Методические основы полевой гидрологии и организации комплексных экспедиционных работ на горных водосборах // Вестник СПбГУ. 2014. № 4 (7). С. 189–196.
14. Галеев А.Д., Поникаров С.И. Анализ риска аварий на опасных производственных объектах / А.Д. Галеев, С.И. Поникаров, Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. 152 с.
15. Гранатуров В.М. Экономический риск: сущность, методы измерения, пути снижения. Учебное пособие / В.М. Гранатуров, М.: «Дело и сервис», 2003. 155 с.
16. Давыдов Л.К., Дмитриева А.А., Конкина Н.Г. Общая гидрология / Л.К. Давыдов, А.А. Дмитриева, Н.Г. Конкина, Издание вт-е изд., Ленинград: Гидрометеоиздат, 1973. 464 с.
17. Дегтярев Д.В., Печеркин А.С. Проблемы методологии оценки социального риска. Применение формулы Бернулли // Безопасность Труда в Промышленности. 2012. № 11. С. 50–53.
18. Добронец Б.С., Попова О.А. Элементы численного вероятностного анализа // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета. № 2(42). С. 19–23.
19. Добронец Б.С., Попова О.А. Численный вероятностный анализ для исследования систем в условиях неопределенности // Вестник томского государственного университета. 2012. № 4 (21).
20. Добронец Б.С., Попова О.А. Гистограммный подход к представлению и обработке данных космического и наземного мониторинга // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. № 6 (155). С. 14–22.

21. Добронец Б.С., Попова О.А. Численный вероятностный анализ неопределенных данных / Б.С. Добронец, О.А. Попова, Красноярск: Сиб. федер. ун-т., 2014. 168 с.
22. Дядюра С.С., Мардашова Ю.А., Кальметьев Р.Ш. Оценка риска для атомных электростанций с реакторами типа РБМК и ВВЭР // Інформатика та математичні методи в моделюванні. 2014. № 3 (4). С. 146–153.
23. Ежелый А.Ю. Анализ современных методов оценки рисков сложных систем под ред. В.А. Углев, Железногорск: Работотехника и искусственный интеллект: материалы IX Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, 2017.
24. Захарова М.И. Оценка риска аварийного истечения газа из газопровода при аномальных метеоусловиях Севера // Проблемы анализа риска. 2018. № 2 (15). С. 78–85.
25. Калинин В.Н., Резников Б.А. Теория систем и управления: Структурно-математический подход. / В.Н. Калинин, Б.А. Резников, Л.: ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1987. 417 с.
26. Кашкин В.Б., Бураков Д.А., Клыков А.О. Космические технологии - для гидроэнергетик Саяно-Шушенский филиал Сибирского федерального университета, 2014. 142–148 с.
27. Кукало И.А., Гривцов С.Н. Оценка рисков физической безопасности линейной части магистрального нефтепровода // Известия Томского политехнического университета. 2014. № 5 (324). С. 30–42.
28. Никитенко Ю.В. Особенности применения метода построения деревьев отказов для оценки техногенного риска предприятий оборонно-промышленного комплекса // Современные проблемы науки и образования комплекса. 2015. № 2 (2). С. 1–5.
29. Орлов А.И., Пугач О.В., Баумана Н.Э. Подходы к общей теории риска // Системный анализ. Управление большими системами. 2012. № 40. С. 49–82.

30. Орлова В.Е. Применение ГИС-технологий для получения гидрологических характеристик водосбора вилюйского водохранилища // География и природные ресурсы. 2008. № 3. С. 134–139.
31. Поникаров С.И. [и др.]. Анализ причин возникновения аварий на магистральных нефтепроводах // Вестник Казанского технологического университета. 2014. № 1. С. 365–368.
32. Попова О.А. Информационная поддержка оценки показателей надёжности для оборудования ответственного назначения // Информатизация и связь. 2015. № 3. С. 41–46.
33. Попова О.А. Численный вероятностный анализ оптимизационных задач гидроэнергетики // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Математика. 2015. (12). С. 79- 92.
34. Рождественский А.В., Лобанова А.Г. Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным / А.В. Рождественский, А.Г. Лобанова, Спб: Нестор-История, 2009. 193 с.
35. Рыбаков А.В. [и др.]. Комплексная оценка риска возникновения аварии на опасных производственных объектах на основе аппарата нечетких множеств и логико- вероятностного подхода // Проблемы анализа риска. 2018. № 1 (15). С. 18–25.
36. Усачев В.Ф., Прокачева В.Г. О применении спутниковых данных для гидрологических целей М.: Метеоагентство Росгидромета, 2006. 184–188 с.
37. Хоминич И.П. [и др.]. Финансы организаций: управление финансовыми рисками / И.П. Хоминич, И.В. Пещанская, А.Е. Дворецкая, Е.А. Звонова, М.: Издательство Юрайт, 2018. 345 с.
38. Чалый-Прилуцкий В.А. Рынок и риск. Методические материалы по анализу, оценке и управлению риском: Пособие для бизнесменов / В.А. Чалый-Прилуцкий, М.: НИУР, Центр СИНТЕК, 1994. 259 с.

39. Шарая И.А., Шарый С.П. Допусковое множество решений для интервальных систем уравнений со связанными коэффициентами // Вычислительные технологии. 2009. № 3 (14). С. 104–123.
40. Шарый С.П. Интервальный анализ или метод Монте-Карло? // Вычислительные технологии. 2007. № 1 (12). С. 103–115.
41. Шахов В.В. Введение в страхование: Учеб. пособие. / В.В. Шахов, 2-е изд., -е изд., М.: Финансы и статистика, 1999. 286 с.
42. Гидрологические исследования [Электронный ресурс]. URL: <http://neobionika.ru/2011-11-16-17-19-14/65.html>.
43. Федеральный закон №116-ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» от 21.08.1997 года.
44. Руководство по гидрологической практике. Том I Гидрология: от измерений до гидрологической информации. Издание шестое. Всемирная Метеорологическая Организация, 2011. 314 с.
45. Руководство по гидрологической практике. Том II. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов Всемирная Метеорологическая Организация, 2012. 324 с.

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
"СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"
Институт космических и информационных технологий
Кафедра систем искусственного интеллекта

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

Г.М.Цибульский

« ____ » 20 ____ г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Разработка информационно-аналитической системы
для оценки и анализа рисков

09.04.02 Информационные системы и технологии

09.04.02.01 Информационно-управляющие системы

Руководитель

подпись

доц., канд.техн. наук

должность, ученая степень

О.А.Попова

дата

Выпускник

подпись

КИ17-02-1М

А.Ю.Ежелый

дата

Рецензент

подпись

проф., д-р техн. наук

должность, ученая степень

Л.А.Казаковцев

дата

Нормоконтролер

подпись

доц., канд. техн. наук

должность, ученая степень

О.А.Попова

дата

Красноярск 2019

Наименование поля данных	Информация
1 Автор (фамилия, имя, отчество студента)	Ежелый Анатолий Юрьевич
2 Руководитель (фамилия, имя, отчество), должность, ученая степень, ученое звание	Попова Ольга Аркадьевна, кандидат технических наук, доцент
3 Код Государственного рубрикатора научно-технической информации (ГРНТИ)	28.17.19
4 Заглавие (тема/название работы)	Разработка информационно-аналитической системы для оценки и анализа риска
5 Тип документа: выпускная квалификационная работа бакалавра, дипломная работа специалиста, магистерская диссертация	Магистерская диссертация
6 Код и наименование направления (специальности) /профиля/ программы	09.04.02 Информационные системы и технологии, 09.04.02.01 Информационные управляющие системы
7 Институт, кафедра	Институт Космических и Информационных технологий, кафедра систем искусственного интеллекта
8 Год издания/защиты (текущий)	2019 год
9 Место издания	Красноярск
10 Издатель	Сибирский федеральный университет
11 Поле для загрузки файла с текстом работы	
12 E-mail руководителя ВКР	olgaarc@yandex.ru
13 Пароль	
14 Заявление о соблюдении авторских прав	<i>Я подтверждаю, что выпускная работа написана в соответствии с правилами академической этики и не нарушает авторских прав иных лиц</i>
15 Наличие соавторов (да/нет)	Нет
16 Наличие конфиденциальной информации в тексте выпускной квалификационной работы	<i>Я подтверждаю, что текст ВКР не содержит сведений, составляющих государственную тайну, а также производственных, технических, экономических, организационных и других сведений, в том числе о результатах интеллектуальной деятельности в научно-технической сфере, о способах осуществления профессиональной деятельности, которые имеют действительную или потенциальную коммерческую ценность в силу неизвестности их третьим лицам, в соответствии с решением правообладателя (публикуется)</i>

Заявление о согласии выпускника на размещение выпускной квалификационной работы в электронно-библиотечной среде ФГАОУ ВО СФУ

1. Я, Семёнов Анатолий Юрьевич

фамилия, имя, отчество полностью

студент(ка) Института космических и информационных
технических
институт/группа группы КИ 17-02-1М

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский федеральный университет» (далее – ФГАОУ ВО СФУ), разрешаю ФГАОУ ВО СФУ безвозмездно воспроизводить и размещать (доводить до всеобщего сведения) в полном объеме написанную мною в рамках выполнения образовательной программы.

магистерскую диссертацию

указать выпускную квалификационную работу бакалавра, дипломную работу специалиста, дипломный проект специалиста, магистерскую диссертацию

на тему: разработка информационно-академической
системы для оценки риска

название работы

в открытом доступе в электронно-библиотечной среде (на веб-сайте СФУ), таким образом, чтобы любой пользователь данного портала мог получить доступ к выпускной квалификационной работе (далее – ВКР) из любого места и в любое время по собственному выбору, в течение всего срока действия исключительного права на выпускную работу.

2 Я подтверждаю, что выпускная работа написана мною лично, в соответствии с правилами академической этики и не нарушает авторских прав иных лиц.

«06» 07 2019г.


подпись