

МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ
НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ

МОНОГРАФИЯ

Москва
2019

УДК 614.84
ББК 38.96
С 17

Рецензенты:

Доктор технических наук, профессор
Директор Института гражданской защиты
Удмуртского государственного университета
Владимир Михайлович Колодкин

Доктор технических наук, профессор
Профессор кафедры пожарной автоматики
Академии ГПС МЧС России
Андрей Владимирович Фёдоров

Гудин С.В., Хабибулин Р.Ш.

С17 Информационные технологии адаптивного управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов: монография / С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – 189 с.

В монографии рассмотрена и обоснована необходимость применения информационных систем поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов. В работе предложены модели и алгоритмы, специальное программное обеспечение для поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов.

Предложена структура системы поддержки управления пожарной безопасностью, определены ее основные элементы, разработано дерево целей такой системы.

УДК 614.84
ББК 38.96

© Гудин С.В., Хабибулин Р.Ш., 2019

© Академия ГПС МЧС России, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ.....	7
1.1 Анализ пожаров на производственных объектах нефтегазовой отрасли	7
1.2 Проблемы управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах	14
1.3 Анализ информационных систем, направленных на поддержку принятия управленческих решений в области пожарной безопасности .	20
1.4 Анализ научных работ по проблемам управления пожарной безопасностью	24
1.5 Выводы по первой главе	27
ГЛАВА 2. МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА ТЕРРИТОРИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА	29
2.1 Определение задач, направленных на увеличение эффективности управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов.....	29
2.2 Формирование структуры базы данных мероприятий по управлению пожарной безопасностью	30
2.3 Классификация мероприятий по управлению пожарной безопасностью на основе риск-ориентированного подхода	34
2.4 Математическая модель оптимизации поиска комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов	36
2.5 Выводы по второй главе	52
ГЛАВА 3. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ.....	54
3.1 Требования к адаптивной системе поддержки принятия решений на нефтегазовых объектах.....	54
3.2 Структура классов в объектно-ориентированной информационной системе “FireRisks”	57
3.3 Программная реализация информационной системы поддержки принятия решений для управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах.....	61
3.4 Компьютерное моделирование влияния разных комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью на величины пожарных рисков на типовом нефтегазовом объекте.....	66
3.5 Выводы по третьей главе	82

ГЛАВА 4. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ.....	83
4.1 Система поддержки управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов	83
4.2 Рекомендации по информационно-аналитическому обеспечению....	89
4.3 Выводы по четвертой главе	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	93
SUMMARY FOR FOREIGN RESEARCHERS.....	105

ВВЕДЕНИЕ

Статистические данные аварий и пожаров, происходящих на нефтегазовых объектах, показывают снижение их количества за последние 5 лет. Однако материальный ущерб в результате пожаров остается значительным и может составлять до 50% от суммарного ущерба от всех пожаров. В то же время анализ научных публикаций показал, что одна из основных проблем предупреждения и возникновения пожаров лежит в области управления пожарной безопасностью таких объектов.

В результате анализа проблем принятия решений при управлении пожарной безопасностью нефтегазовых объектов выявлено, что из-за большого количества возможных мероприятий, а также значительного числа параметров, влияющих на конечные значения пожарных рисков, сложно определить эффективные с технической и экономической точек зрения комбинации мероприятий, направленные на управление пожарной безопасностью без использования современных инструментов поддержки принятия решений. Сложность сравнения комбинаций мероприятий так же обусловлена необходимостью адаптивно изменять параметры систем обеспечения пожарной безопасности при динамически меняющихся значениях пожарных рисков, так как любое изменение объекта защиты при принятии управленческих решений требует пересчета расчетного массива пожарных рисков, что в свою очередь ведёт к снижению производительности труда.

Отсутствие моделей и алгоритмов в современных программных продуктах поддержки принятия решений на нефтегазовых объектах приводит к тому, что лицо принимающее решение (ЛПР) не может объективно оценить весь спектр опасностей и определить оптимальную комбинацию мероприятий по управлению пожарной безопасностью. В большинстве случаев, в настоящее время, при принятии управленческих решений полагаются на мнения экспертов.

Совокупность приведенных фактов свидетельствует о недостаточном исследовании в области адаптивного управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, в частности поддержки принятия управленческих решений. Таким образом, подтверждается актуальность разработки интеллектуальных методов и алгоритмов поддержки принятия решений и их интеграции в современные информационные системы управления пожарной безопасностью.

В основе монографии лежат результаты научной деятельности многих отечественных и зарубежных ученых, занимающихся вопросами исследования и разработки систем поддержки принятия решений, а также ученых занимающихся вопросами исследования методологии поддержки

принятия решений, оценки и управления пожарными рисками, таких как: Топольский Н.Г., Мешалкин Е.А., Прус Ю.В., Членов А.Н., Брушлинский Н.Н., Соколов С.В., Присяжнюк Н.Л., Шебеко Ю.Н., Гордиенко Д.М., Швырков С.А., Кончаренко С.Н, Дементьева Е.В, Быков А.А., Федоров А.В., Хабибулин Р.Ш., Aven T., Caputo A., Abrahamsen E., Merci V., Pelagagge P. и др.

По мнению авторов, монография может быть полезна как обучающимся, так и преподавателям, научным работникам, специалистам, занимающимся разработкой комплексных систем безопасности и оценкой пожарных рисков.

Авторы будут благодарны любым предложениям и замечаниям по теме монографии. Информацию можно направлять по электронной почте: sergey.gudin@firerisks.ru.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТАХ

1.1 Анализ пожаров на производственных объектах нефтегазовой отрасли

Производственные объекты, связанные с хранением и переработкой нефтегазовых продуктов, содержат на своей территории опасное технологическое оборудование, отказы которого могут приводить к серьёзным последствиям, в том числе к человеческим жертвам. К нефтегазовым объектам относятся производственные комплексы зданий, сооружений и наружных установок, расположенных на отдельной площадке предприятия и предназначенные для осуществления технологического процесса производства [1] связанного с переработкой или транспортировкой опасных веществ, таких как бензин, дизельное топливо, нефть, сжиженные углеводородные газы (СУГ) и др. Используя данные федеральной службы государственной статистики [2], было определено, что с каждым годом уменьшается среднегодовая численность работников в нефтегазовой промышленности (рисунок 1.1).

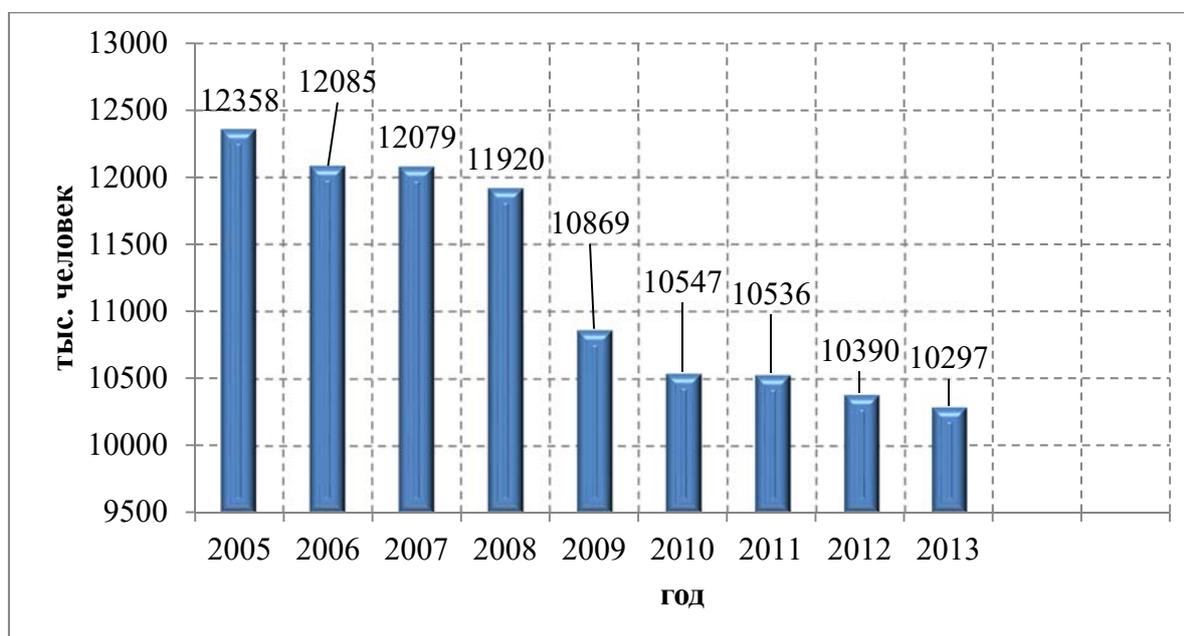


Рисунок 1.1 – Среднегодовая численность работников в нефтегазовой промышленности

Данный факт объясняется тем что производство становится более автоматизированным [3]. Вследствие чего увеличивается ответственность

лица принимающего решения и сложность принимаемых решений по обеспечению пожарной безопасности данных объектов.

Значительную сложность представляет осуществление тушения нефтегазовых объектов. Сосредоточение большого количества газо- и нефтепродуктов в непосредственной близости, создают опасность распространения опасных факторов пожара на соседние объекты. Поэтому на тушение объектов, связанных с газо- и нефтепереработкой, задействуется большее число сил и средств по сравнению с другими объектами [4].

Несомненно, увеличение и ужесточение требований к таким объектам, а также улучшение аппаратных и программных средств, направленных на профилактику и предупреждение пожаров, влияет на снижение количества пожаров с каждым годом. Несмотря на это, материальный ущерб от таких пожаров находится на очень высоком уровне и в большинстве случаев может формироваться за счет аварий лишь на нескольких объектах. Позднее обнаружение пожара или его очага, замедленное реагирование могут допустить распространение пожара на соседние технологические объекты, что может увеличить прямой материальный ущерб в несколько раз. На следующей таблице приведен список крупных пожаров на нефтегазовых объектах за последние 7 лет (таблица 1.1).

Таблица 1.1

Крупные пожары в Российской Федерации за 2009-2015 гг. на нефтегазовых объектах

Код региона	Дата возникновения пожара	Тип предприятия	Причина пожара	Прямой ущерб, тыс. руб.	Наименование объекта	Адрес
1	2	3	4	5	6	7
Новосибирская область	15.02.09	Складское предприятие, база, хранилище	Нарушение правил технической эксплуатации электрооборудования	9234	Склад	ул.С.-Гвардейцев 49/5
Кировская область	31.12.09	Складское предприятие, база, хранилище	Прочие причины, не относящиеся ни к одной из групп	2611	Склад	Луганская, 57 а
Ханты-Мансийский автономный округ — Югра	22.08.09	Прочие предприятия, организации, учреждения	Грозовые разряды	146187	Резервуарный парк ЛПДС "Конда"	п.г.т. Междуреченский ул. Промышленная № 1
Рязанская область	31.01.10	Складское предприятие, база, хранилище	Прочие причины, не относящиеся ни к одной из групп	12216	АЗС	Северная окр. дорога, стр. 20
Астраханская область	19.11.10	Складское предприятие, база, хранилище	Прочие причины, связанные с неосторожным обращением с огнем	3565	Складское помещение	ул. Ботвина, 6 "а"

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Московская область	18.05.10	Складское предприятие, база, хранилище	Недостаток конструкции и изготовления электрооборудования	23419	Склад ЛКП ООО "СДТЬ"	г. Климовск, ул. Школьная, д.50
Кемеровская область	22.03.11	Предприятие топливной промышленности	Прочие причины, связанные с неосторожным обращением с огнем	2664	Склад горючих жидкостей в резервуарах	г. Новокузнецк, ул. Производственная, 10/7
Воронежская область	06.09.11	Складское предприятие, база, хранилище	Недостаток конструкции и изготовления электрооборудования	5000	Складское здание	Советский р-н, Придонской, ул. Латненская, 3 а
Нижегородская область	26.10.11	Складское предприятие, база, хранилище	Нарушение технологического регламента процесса производства	1220	Склад GSM, а/м Фредлайнер, г.н. В060СМ/152 вл.Николаев Н.Н.	ст. Чаглово, ул.Станционная, уч.10 ООО "Гарантнефтепро дукт"
Липецкая область	04.03.11	Предприятие топливной промышленности	Недостаток конструкции, изготовления и монтажа производственного оборудования	1712	АЗК-92 топливораздаточная колонка	Липецкий р-н, с. Косыревка, ул. Новая, д. 1
Московская область	19.01.11	Складское предприятие, база, хранилище	Нарушение правил технической эксплуатации электрооборудования	11000	Металлический ангар ООО "КрасКом"	д. Сергеево

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Калининградская область	17.12.12	Складское предприятие, база, хранилище	Поджог	6451	Склад запчастей	Московский р-н, ул. Камская, 65 а
Мурманская область	02.05.12	Складское предприятие, база, хранилище	Недостаток конструкции и изготовления электрооборудования	14808	Склад легковоспламеняющихся, горючих жидкостей в таре	г. Мурманск, ул. Свердлова, д.32
Республика Татарстан	13.09.12	Складское предприятие, база, хранилище	Нарушение ПШБ при проведении электрогазосварочных работ	2505	Производственная база гр. Шурыгиной К.В.	г. Нижнекамск, БСИ
Омская область	05.09.12	Предприятие сельскохозяйственного назначения	Прочие причины, связанные с НПУиЭ электрооборудования	1649	Склад хранения ГСМ	с. Красный Октябрь Берёзовая 3 склад ГСМ ООО Мельникова
Челябинская область	13.06.13	Прочие предприятия, организации, учреждения	Прочие причины, связанные с НПУиЭ электрооборудования)	1700	Здание АЗС 20х30 1-этажное, кровля кирпичное, кровля мягкая	Троицкий тракт д.49/1

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Иркутская область	21.08.13	Предприятие химической и нефтехимической пром.	Взрывы	67180	Надземный резервуар ЗАО ПК "Дитэко"	Ангарский район а/д "Новосибирск-Иркутск" 1855 км. стр.5
Краснодарский край	26.08.13	Прочие предприятия, организации, учреждения	Поджог	2988	СТО	г. Краснодар, ул. Уральская, 212/2
Чувашская Республика — Чувашия	28.01.13	Складское предприятие, база, хранилище	Нарушение правил технической ации электрооборудования	4151	Склад, ООО "Стандарт плюс"	Ленинский, пр. Лапсарский, д.27
Свердловская область	27.11.14	Предприятие топливной промышленности	Разряд статического электричества	240	Склад легковоспламеняющихся	г. Нижний Тагил, Рудник им. 3 Интернационала
Республика Саха (Якутия)	20.06.14	Предприятие химической и нефтехимической пром.	Нарушение технологического регламента процесса производства	186	РВС №35	г. Томмот мкр. Алексеевск ул. Торговая, 1
Новосибирская область	04.11.15	Предприятие сельскохозяйственного назначения	Прочие причины, связанные с неиспр. произв. оборуд., НТП произв-ва	10	Склад ООО "Сапфир"	Болотнинский р-н с.Корнилово ул.Клубная 11а

Как видно из полученной таблицы материальный ущерб не имеет единой тенденции к повышению или понижению. При этом разброс значений может быть достаточно значительным. С другой стороны, наблюдается отсутствие зависимости количества пожаров и суммарного материального ущерба. В связи с чем можно утверждать, что для каждого объекта требуется индивидуальный подход в проведении комплексной оценки пожарных рисков, а также применении мероприятий, направленных на их снижение. Для подтверждения этого факта проведен более глубокий анализ статистической информации.

На следующей гистограмме показано сравнение материального ущерба от наиболее крупных пожаров к общему материальному ущербу от всех пожаров на нефтегазовых объектах (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Сравнение материального ущерба от крупных пожаров к общему материальному ущербу от всех пожаров на нефтегазовых объектах в период 2009–2015 гг.

Сопоставив все вышеперечисленные данные, можно сформировать таблицу, отражающую сравнение крупных пожаров на нефтегазовых объектах по годам с общим количеством пожаров на таком типе объектах (таблица **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Таблица 1.2

Сравнение материального ущерба от крупных пожаров к общему материальному ущербу от всех пожаров

Год	Материальный ущерб от наиболее крупных пожаров , тыс. руб	Общий материальный ущерб, тыс. руб.	Кол-во крупных пожаров	Общее кол-во пожаров	Отношение количества крупных пожаров к общему количеству , %	Отношение материального ущерба от крупных пожаров от общего количества
2009	158032	160440	3	77	3,90	98,50
2010	42207	45501	4	79	5,06	92,76
2011	21596	23201	5	72	6,94	93,08
2012	25413	26795	4	56	7,14	94,84
2013	76019	77059	4	44	9,09	98,65
2014	426	457	2	13	15,00	93,00
2015	10	10	1	17	10,00	100,00

Таким образом, основной материальный ущерб в среднем формируется за счет 3-15 % крупных пожаров, которые могут формировать 92-99 % общего материального ущерба от пожаров на нефтегазовых объектах. В связи с этим, можно утверждать, что необходимо учитывать индивидуальные особенности всех объектов, а также производить качественный анализ их пожарной опасности и принимать соответствующие оптимальные управленческие решения, направленные на снижение вероятности возникновения пожароопасных событий и предотвращение распространения опасных факторов пожара на соседние объекты производственных территорий.

1.2 Проблемы управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах

Как правило, после процедуры оценки рисков, полученные значения не всегда являются приемлемыми. Для достижения требуемых значений величин пожарных рисков требуется применение дополнительных мер по обеспечению пожарной безопасности персонала и людей, проживающих рядом (установка системы охранной сигнализации, системы пожаротушения, автоматической пожарной сигнализации, уменьшению хранимого материала и т.д.). В большинстве случаев, одного мероприятия

недостаточно. Огромное количество возможных комбинаций мероприятий по обеспечению пожарной безопасности является важной проблемой в процессе управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах. На рисунке 1.3 отражено возможное количество комбинаций мероприятий по управлению пожарной безопасностью при различном количестве возможных мероприятий и технологических аппаратов на территории нефтегазового объекта.

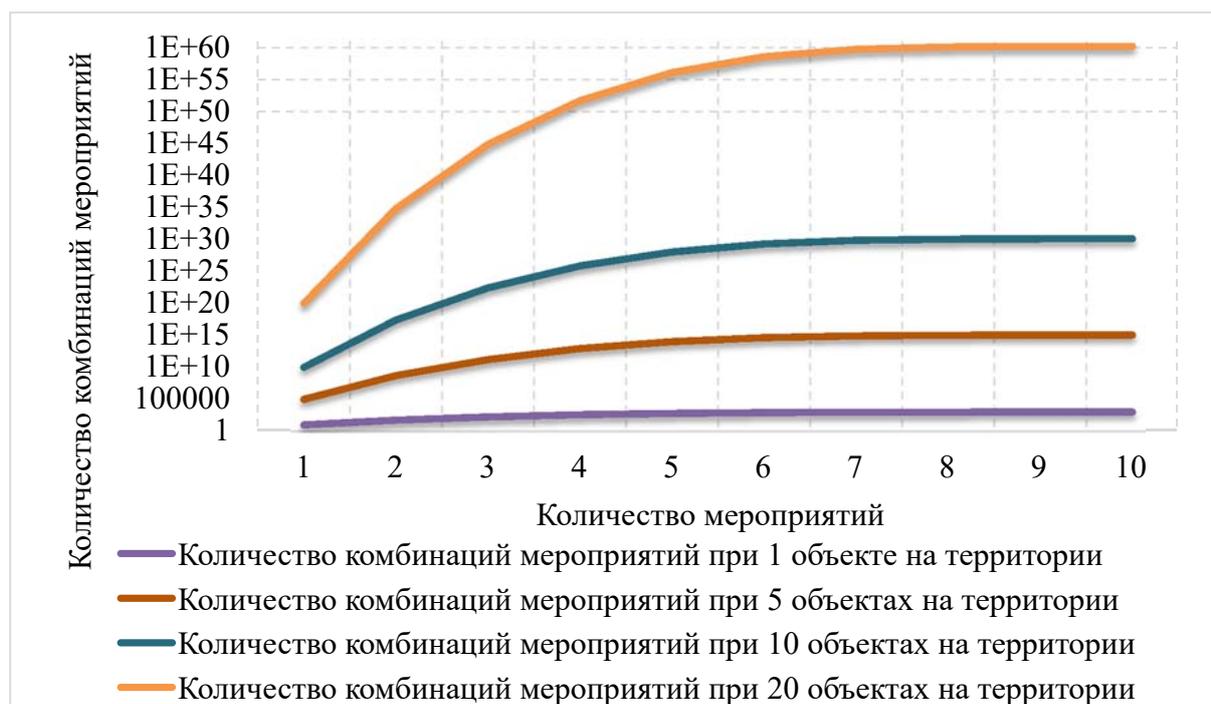


Рисунок 1.3 – Количество возможных комбинаций мероприятий

Для детального анализа проблем управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах была построена причинно-следственная диаграмма Ишикавы.

Диаграмма Ишикавы используется как аналитический инструмент для анализа возможных факторов и выделение наиболее важных причин, действие которых порождает конкретные следствия и поддается управлению [5].

Причинно-следственная диаграмма Ишикавы позволяет систематизировать все потенциальные причины проблем управления пожарной безопасностью и выявить наиболее уязвимые места в процессе поиска и принятия решений.

Вид диаграммы при рассмотрении поля исследуемой проблемы напоминает скелет рыбы. Проблема обозначается основной стрелкой. Факторы, которые усугубляют проблему, отражают стрелками, покосившимися к основной вправо, а те, которые нейтрализуют проблему -

с наклоном влево. При углублении уровня анализа к стрелкам факторов могут быть добавлены стрелки, влияющих на них факторов второго порядка и т. д. Далее углубляют разделение обнаруженных факторов по их возрастающей специфичности до тех пор, пока ветви проблемы подвергаются дополнительному разделу.

Исходя из разработанной диаграммы (рисунок 1.4) можно сделать вывод, что одной из проблем анализа принятия решений, является большой объем обрабатываемой информации. Проблема выбора правильной комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов так же обусловлена большим количеством параметров технологического оборудования влияющих на итоговые значения пожарных рисков, как:

- параметров находящихся на территории технологических аппаратов;
- характеристикой территории производственного объекта;
- характеристикой обращающихся веществ и материалов;
- климатическими условиями зоны размещения, а также сложным описанием технологических процессов.

В то же время, большинство нефтегазовых объектов содержат на своей территории множество наружных технологических аппаратов, обладающих своими уникальными свойствами и параметрами, что приводит к возрастающему количеству альтернативных путей обеспечения пожарной безопасности. .

Все вышеперечисленные параметры могут отразить лишь количественное значение опасных факторов пожара (ОФП), которых для анализа пожарной опасности территории недостаточно, необходимо знание вероятностей возникновения пожароопасных событий. Для этого требуется построить дерево развития пожароопасных ситуаций, что без соответствующих статистических данных сделать очень затруднительно и велика вероятность ошибки. Именно этот факт отражен на диаграмме. Характеристики, необходимые для расчета многих веществ, а также статистика отказов оборудования часто труднодоступны, ввиду отсутствия единой базы данных в системах на которых производится расчет пожарной опасности. Что в свою очередь влияет на эффективность расчета пожарных рисков и принимаемых решений. Определение пожарной опасности объекта сводится к расчету сразу нескольких значений пожарных рисков. К пожарным рискам относятся [6]:

1. Потенциальный риск – частота реализации опасных факторов пожара в рассматриваемой точке территории.

2. Социальный риск – частота возникновения событий, при реализации которых наступает гибель не менее 10 человек в результате воздействия опасных факторов пожара в течение года.

3. Индивидуальный риск – частота поражения определенного человека в результате воздействия опасных факторов пожара.

Эти риски рассчитываются отдельно, как для территории объекта, так и для селитебной зоны, находящейся непосредственно вблизи данного объекта.

Потенциальный риск не зависит от количества персонала объекта и его размещения по территории объекта, а определяется исключительно используемой технологией и надежностью применяемого технологического оборудования. Потенциальный риск используется как критерий допустимости пожарной опасности для населения, для которого величины потенциального и индивидуального рисков принимаются равными.

Индивидуальный риск используется как критерий допустимости пожарной опасности для тех или иных работников объекта. Индивидуальный риск учитывает время пребывания определенного человека из числа персонала в опасной зоне с высокими значениями потенциального риска.

Исходя из разработанной диаграммы (рисунок 1.4), можно выявить наиболее важные факторы, влияющие на принятие решений при управлении пожарными рисками:

1. разнообразие номенклатуры веществ и материалов, образующих технологические среды с различными пожаровзрывоопасными свойствами;

2. значительное количество возможных сценариев развития пожароопасных ситуаций;
3. большое количество различных видов и параметров технологических машин и аппаратов;
4. территориальное зонирование технологического оборудования на нефтегазовом объекте;
5. развитие селитебной территории вблизи нефтегазового объекта;
6. оценка эффективности принимаемых управленческих решений по управлению пожарными рисками.

Все рассмотренные факторы оказывают влияние на сложность управления пожарными рисками и величину неопределенности их итоговых значений.

Многие авторы затрагивают проблему неопределённости при определении пожарных рисков, и наглядно её демонстрируют [7, 8], выявляя основные её источники и предлагают различные способы максимального уменьшения этой величины. Одним из упомянутых факторов увеличения значения неопределённости является большое количество стационарного технологического оборудования, для которого может быть применена методология количественной оценки риска (некоторые авторы отмечают её эффективность, в том числе, и для магистральных трубопроводов [9, 10]), в следствии чего сложно составить правильное дерево развития пожароопасных событий, что в свою очередь, так же, будет иметь огромное влияние на значение неопределенности [11].

Кроме сложности расчета пожарных рисков на территории нефтегазовых объектов, существует еще проблема с выбором мероприятий, направленных на снижение требуемых значений риска, а именно с умением специалистов оперировать большим количеством информации. Из-за значительного количества возможных мероприятий, а также большого количества параметров, влияющих на конечные значения риска, очень сложно определить наиболее эффективные и в то же время экономически выгодные мероприятия.

Метод деревьев решений, используемый в современном отечественном подходе при оценке пожарных рисков, обычно используется при решении проблем, связанных с большой неопределенностью. Несомненно, входные данные при расчете пожарных рисков зачастую обладают очень высоким фактором неопределенности, более подробно об этом изложено в статье [7]. На основе проведенного анализа сформулированы основные проблемы в области управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах:

1. Процедура определения расчетных величин пожарного риска, затрагивает множество параметров, свойств технологического процесса и

характеристик зоны размещения предприятия, что в свою очередь имеет значительное влияние на значение неопределённости.

2. Одной из задач при определении расчетных величин пожарных рисков является построения дерева развития пожароопасных событий, что в условиях большого количества разных типов технологического оборудования является сложной задачей.

3. Из-за большого количества параметров используемых при расчете пожарных рисков, и альтернатив обеспечения противопожарной защиты, управление пожарной безопасностью, в том числе подбор оптимального набора мероприятий, является сложной комплексной задачей, решение которой требует создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

1.3 Анализ информационных систем, направленных на поддержку принятия управленческих решений в области пожарной безопасности

Среди российских систем, направленных на поддержку принятия решений при управлении пожарной безопасностью на производственных объектах, наиболее распространенными являются: РУСЬ, ТОКСИ+Risk, Фогард.

На основе проведённого анализа программных комплексов определены их основные функции [1, 6, 12]:

1. Проведение расчётов по определению расчётных величин пожарных рисков на производственных объектах.

2. Определение частоты реализации пожароопасных ситуаций.

3. Построение полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития.

4. Определение расчетных значений пожарных рисков на территории объекта и в близлежащей селитебной зоне.

В результате анализа программного комплекса ТОКСИ+Risk [13], определено, что визуальная оболочка может выступать также в качестве контейнера для сбора и хранения результатов, полученных вследствие проведенных расчетов, и может быть использована для визуализации результатов, например, зоны возможного поражения опасными веществами или же поля потенциального риска для людей. При этом в неё входят программные модули, которые отвечают не только за проведение комплексного решения задач по оценке рисков, но и за осуществление отдельных расчетов.

В результате анализа программного комплекса «РУСЬ», выявлено, что программа также служит для обработки полученных результатов расчетов с целью создания базы данных, которая поможет снизить угрозу

для жизни и здоровья людей, которые работают на подверженных риску объектах или же населения, находящегося в зоне возможного поражения.

Проведя анализ программного комплекс Фогард, а в частности программы Фогард-Пр, предназначенную для определения расчётных величин пожарного риска на производственных объектах учитывая методику, изложенную в [6], было выявлено основное её отличие от других программ в том, что она выполнена по модели Saas (Soft as a Service), благодаря чему расчеты выполняются на удаленном сервере по сети интернет.

Если рассматривать существующие отечественные и зарубежные программные продукты для расчета пожарных рисков, такие как РУСЬ, ТОКСИ+Risk [13], Фогард, RISKCURVES, MERIT, Safeti, Phast, с точки зрения использования современных инструментов поддержки принятия решений, направленных на снижение пожарных рисков, то становится очевидным, что такие важные функции, как база данных нормативных документов (42,9 %); база данных по статистическим данным (42,9 %); геоинформационные сервисы (28,6 %), используются менее чем в половине рассмотренных систем, а базы данных по принимаемым решениям и интеллектуальные модели поддержки принятия решений практически отсутствуют (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Распределение реализуемых функций в программных продуктах для расчета пожарных рисков

На уровне пользователя [14-19] системы поддержки принятия решений можно разделить на три типа (рисунок 1.6) — пассивные, активные и кооперативные. Пассивные системы поддержки принятия решения являются инструментом, который только помогает выбрать оптимальное решение, но не предлагают пользователю своих решений.



Рисунок 1.6 – Классификация систем поддержки принятия решений на уровне пользователя

Исходя из вышесказанного, сделан вывод, что все представленные выше программы являются пассивными системами поддержки принятия, так как, *и в отечественных, и в зарубежных программных комплексах отсутствуют алгоритмы для интеллектуальной поддержки принятия решений, направленных на повышение пожарной безопасности анализируемого объекта защиты.*

Активные системы, лишенные этого недостатка, имеют в своем составе элементы, которые выдают предложение, по выбору решения. Кооперативные системы отличаются от активных тем, что имеют в своем составе базу данных, которая может видоизменяться во времени. В зависимости от выбора пользователя система улучшает или видоизменяет выдаваемые решения, тем самым повышая качество процесса поддержки принятия решений.

Из-за большого количества возможных управленческих решений, а также огромного количества параметров, которые непосредственно влияют на итоговые значения рисков, очень сложно определить наиболее эффективные и в то же время экономически выгодные решения. Проблема оптимизации мероприятий неоднократно рассматривалась и решалась другими исследователями в различных управленческих сферах [20]. Для решения похожих задач использовались различные подходы, такие как:

– логико-вероятностные подходы с использованием критических путей успешного функционирования или минимальных сечений отказов и значений и вкладов иницирующих событий (мероприятий) в риск и эффективность системы [21];

– событийный подход [22];

– метод рандомизированных сводных показателей [23].

Методика оценки пожарных рисков [6] распространяется на большое количество объектов и производств, связанных с обращением пожароопасных веществ [24-27]. При этом отсутствие единой базы данных по принимаемым решениям в современных системах управления пожарной безопасностью на производственных объектах приводит к повторяющемуся поиску мероприятий в подобных ситуациях и повторению предыдущих ошибок выбора. При использовании методологии комплексной оценки пожарного риска для разного оборудования, огромное влияние будет иметь фактор неопределённости [11] из-за отсутствия единой базы данных со статистической информацией и возможным путям развития пожароопасных ситуаций для каждого типа оборудования, а также параметрам пожароопасных веществ. *В то же время использование единой базы данных может уменьшить фактор неопределенности до минимального значения, обеспечивая качественную оценку значений величин пожарных рисков, которые напрямую влияют на принимаемые управленческие решения, связанные с обеспечением пожарной безопасности* [28].

Использование интернет-технологий, может упростить задачу сбора данных для такой системы, за счет удалённой работы пользователей с единой базой данных и постоянного пополнения её введенными ими данными с дальнейшей верификацией этой информацией экспертами. Кроме того, использование интернет-технологий позволяет использовать интернет-картографические сервисы для просмотра рассматриваемого объекта и возможной обстановки на нем в интерактивном виде [29, 30].

Таким образом, подтверждена необходимость создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Принимая во внимание всю рассмотренную информацию и принципы создания информационных систем, изложенных в [31], определены требования которыми должны обладать системы поддержки принятия решений на нефтегазовых объектах [32]:

– содержать в своем составе постоянно накапливаемую базу данных со статистической информацией об отказах технологического оборудования, химическому составу типовых пожароопасных веществ, а также включать деревья развития пожароопасных ситуаций при отказе технологического оборудования и мероприятий, направленных на снижение пожарной опасности объекта, доступную также для пополнения

пользователями, с дальнейшей верификацией этой информацией экспертами;

– быть выполненной в web-ориентированном виде, с использованием облачных технологий, что позволит пользователям иметь удаленный доступ к программе и единой базе данных через информационно-коммуникационную сеть Интернет.

– использовать интеллектуальные методы и алгоритмы, направленные на анализ пожарной опасности нефтегазовых объектов и поддержку принятия управленческих решений для управления пожарной безопасностью на их территориях;

– иметь в своем составе современные интернет-картографические модули, позволяющий рассматривать производственную и селитебную зоны в интерактивном виде.

1.4 Анализ научных работ по проблемам управления пожарной безопасностью

Над анализом проблем управления пожарной безопасностью и пожарными рисками работают значительное количество ученых, научных коллективов в России и за рубежом.

Вопросы методологии оценки и управления пожарными рисками исследованы в работах Брушлинского Н.Н., Соколова С.В., Присяжнюка Н.Л., Кончаренко С.Н, Дементьевой Е.В, Быкова А. А., Дранишниковой Л.В., Завгороднего В.В., Немчинова Д.В., Проталинского О.М., Якуш С.Е., Aven T., Caputo A., Pelagagge, P. Abrahamsen E и др. [33-42].

В работах [43-49] Топольского Н.Г., Мешалкина Е.А, Пруса Ю.В., Членова А.Н., Бутузова С.Ю., Федорова А.В., Хабибулина Р.Ш. и других отражены вопросы применения современных информационных технологий в области обеспечения пожарной безопасности, создания автоматизированных систем пожаровзрывобезопасности объектов различного назначения.

В работе [39] автор сделал вывод, что концентрация опасных технологических объектов на единицу площади с каждым годом увеличивается. 60% аварий происходят по вине человеческого фактора, который обычно сводится к низкому уровню дисциплинированности, ответственности и подготовленности персонала. Но тщательный анализ аварийных событий свидетельствует, что основная проблема лежит в *области управления*. Таким образом, автор показал высокую степень опасности производственных объектов на современном этапе развития, а также что снижение этой опасности лежит в совершенствовании методов области управления.

Многие авторы затрагивают проблему неопределённости при определении рисков, и наглядно её демонстрируют [7], выявляя основные её источники и

предлагают различные способы максимального уменьшения этой величины. Одним из выводов является, что существует необходимость оценки неопределенности, которая обусловлена неполнотой или же неточностью исходных данных, а также выбором неправильного сценария аварийной ситуации, а чаще всего несовершенством методов расчетов и использующихся моделей. Например, в работе [8] приводятся методы шкалирования и оптимизации неопределенности. Сложность которых заключается в отсутствии критериальной шкалы, когда для каждого типа неопределенности (определенности) имеются количественные значения, позволяющие однозначным образом уточнить степень значимости. Некоторые авторы предлагают новые методики взамен существующих, такие как методы основанные на теории надежности [40] или методы, основанные на нечёткой логике [50].

В статье [51], для решения этой проблемы предлагается использование эвристических методик, которые в своей основе имеют субъективные вероятности. Только стоимость применения таких методик выше, чем при использовании количественного и вероятностного анализа, но все же оправдана для принятия действительно обоснованных решений для обеспечения эффективной пожарной безопасности. При этом затраты на осуществление экспертной оценки риска меньше, чем на реализацию методики.

В работе [41] выдвигается предложение применения метода экспертных оценок для уровня риска. Данный метод основан на учете факторов, оказывающих непосредственное влияние на формирование аварий, к которым можно отнести, например, события различной природы (неопределенность природы); априорную оценку временных факторов (процессы, которые не имеют строго определенного начала или окончания); технологические закономерности. Автор делает в своей работе вывод, что существующие на данный момент методы для оценивания вероятности возникновения аварийной ситуации, представленные диаграммами причинно-следственных связей («дерево», «сеть», «граф»), достаточно сложные и неудобные для использования. К тому же эти методы имеют существенный недостаток – отсутствие исходных данных или же их неопределенность.

В работе [52] отражены особенности построения систем принятия решений. Одним из выводов является, что эффективным способом анализа и обработки множества данных и знаний, в том числе при наличии неопределённости, является моделирование эволюционного развития природы, адаптация, иерархическая самоорганизация, использование генетического поиска, а также поиска на основе «муравьиных», «пчелиных» и методов интеллекта стаи.

В работах [42, 53, 54] был произведен сравнительный анализ существующих методик анализа пожарных рисков для различных сооружений. Авторы показали, что методика оценки риска, которая считается приемлемой в

отечественной нормативной документации, на самом деле не соответствует мировому уровню и не является достаточной.

В работе [38] проведен обзор некоторых научных исследований, направленных на анализ риска возникновения аварий на различных производственных и промышленных объектах, а также приводятся методы для оценивания риска возникновения таких ситуаций и определяются главные пути дальнейшей разработки мероприятий, которые будут способствовать уменьшению значения уровня риска аварий.

В работе [55] рассматривается анализ оценки рисков промышленных регионов России. Данный анализ производится посредством оценивания по таким характеристикам как показатель опасности, показатель угрозы, показатель уязвимости среды из-за аварии, а также учитываются вероятные последствия стихийных бедствий и расчет вероятных потерь среди населения. В научной работе автор определил характеристики территории, которая была подвергнута анализу, которые в свою очередь могут быть отражены на картографической основе. Автор статьи делает вывод, что карты риска помогут разрешить ряд важных проблем, связанных с управлением риском и планированием социального и экономического развития региона.

В работе [7] сделан вывод, что при формировании дерева развития пожароопасных ситуаций, частота их возникновения не всегда очевидна и выяснена до конца. Выявлено что не существует базы данных по всем имеющимся случаям аварий на конкретных объектах, что позволило бы более детально вести статистику отказов в зависимости от типа объекта, его возраста и характера процессов, происходящих в нем, что в свою очередь, позволило бы свести к минимуму неопределенность, которая возникает в результате этого факта.

В работе [56] автор выделил основные задачи систем поддержки принятия решения:

1. Анализ обстановки (ситуации).
2. Генерация возможных управленческих решений (сценариев действия).
3. Оценка сгенерированных сценариев (действий, решений) и выбор лучшего.
4. Обеспечение постоянного обмена информацией об обстановке принимаемых решений и согласовании групповых решений.
5. Компьютерный анализ возможных последствий принимаемых решений.
6. Сбор данных о результатах реализации принятых решений и оценка результатов.

В работе [57] отражено, что снижение риска и последствий техногенных чрезвычайных ситуаций в значительной мере зависит от адекватности принимаемых решений. Сделан вывод что рассуждение по аналогии (по прецедентам) позволяет выявить аналогичную ситуацию и

адаптировать принятое решение с учетом условий текущей ситуации. Разобран алгоритм поиска аналога, а также модель хранения его в базе данных.

В работе [58] сделан вывод, что в настоящее время разработаны разнообразные методы, реализующие прецедентный подход, созданы программные продукты, предназначенные для применения в различных отраслях. Однако вопрос разработки новых методов, повышающих эффективность повторного использования прецедентов, остается актуальным. Кроме того, следует расширить области применения прецедентного подхода в различных областях, в частности, в области надежности и безопасности сложных технологических систем.

Многие авторы затрагивают проблемы методологии управления пожарными рисками [26, 59, 60, 61]. В результате были выявлены следующие проблемы:

1. Принятие решений в области управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах является сложной задачей, в связи с большим количеством необходимых параметров и операций для осуществления расчета пожарного риска.

2. Современные системы оценки значений пожарных рисков не содержат специальные алгоритмы и методы оптимизации значений пожарных рисков.

3. В настоящее время не существует специального инструмента позволяющего производить эксперименты новых методов и алгоритмов по оптимизации пожарных рисков.

1.5 Выводы по первой главе

1. Россия является одним из крупнейших импортеров нефтепродуктов, имея их в своём запасе до 16 % от мировых запасов. Для обеспечения технологии их хранения и переработки эксплуатируется большое количество трубопроводов, нефтехранилищ и нефтеперерабатывающих объектов, представляющих большую пожарную опасность. Анализ статистики показал, что 92-99 % материального ущерба формируется за счет лишь 3-10 % пожаров, таким образом, необходимо учитывать индивидуальные особенности каждого объекта защиты, а также производить качественный анализ их пожарной безопасности и принимать эффективные управленческие решения, направленные на снижение вероятности возникновения пожароопасных событий и предотвращения распространения опасных факторов пожара.

2. Из-за большого количества параметров используемых при расчете пожарных рисков, и альтернатив обеспечения противопожарной защиты, управление пожарной безопасностью, в том числе подбор оптимального

набора мероприятий, является сложной комплексной задачей, решение которой требует создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

3. Современные информационные системы для расчета пожарных рисков на уровне пользователя являются пассивными системами поддержки принятия решений, так как в них отсутствуют алгоритмы определения оптимальной комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью. Поэтому в настоящее время с точки зрения пользователя не существует активных и кооперативных систем поддержки принятия решений в области пожарной безопасности нефтегазовых объектов, что позволило бы более эффективно выбирать мероприятия, направленные на управление пожарной безопасностью таких объектов.

4. В результате анализа современных информационных систем с точки зрения использования инструментов поддержки принятия решений, направленных на управление пожарной безопасностью, выявлено, что такие важные функции, как база данных по статистической информации (42,9 %); геоинформационные сервисы (28,6 %), используются менее чем в половине рассмотренных систем, а функции **поддержки принятия управленческих решений практически отсутствуют.**

5. В результате проведенного анализа научных публикаций выявлено: что на сегодняшний момент отсутствуют работы по управлению пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах с использованием интеллектуальных методов и алгоритмов. При этом определено, что основная проблема предупреждения пожаров лежит в области управления, в результате чего необходимо разрабатывать методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки принятия решений.

6. Обобщая результаты анализа проблем управления пожарной безопасностью можно сделать вывод о целесообразности разработки моделей и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений, в первую очередь в поиске комбинации мероприятий, направленных на управление пожарной безопасностью нефтегазовых объектов.

Монография

ГУДИН Сергей Витальевич
ХАБИБУЛИН Ренат Шамильевич

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ
НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ**

Монография

Подписано в печать 25.03.2019. Формат 60×90 1/16.
Печ. л. 12,0. Уч.-изд. л. 7,4. Бумага офсетная.
Тираж 500 экз. Заказ 212

Академия ГПС МЧС России
129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4