

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

**Академия Государственной противопожарной службы**



*На правах рукописи*

**Гудин Сергей Витальевич**

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ  
АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ  
БЕЗОПАСНОСТЬЮ НЕФТЕГАЗОВЫХ ОБЪЕКТОВ**

**Специальность 05.13.10 – Управление в социальных  
и экономических системах**

**ДИССЕРТАЦИЯ**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель:  
кандидат технических наук,  
доцент Хабибулин Р.Ш.**

**Москва – 2017**

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. Проблемы принятия управленческих решений при обеспечении пожарной безопасности на нефтегазовых объектах .....	9
1.1. Анализ пожаров на производственных объектах нефтегазовой отрасли ...	9
1.2. Проблемы управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах .....	16
1.3. Анализ информационных систем, направленных на поддержку принятия управленческих решений в области пожарной безопасности .....	23
1.4. Анализ научных работ по проблемам управления пожарной безопасностью .....	28
1.5. Выводы по первой главе .....	32
ГЛАВА 2. Разработка моделей и алгоритмов адаптивного управления пожарной безопасностью на территории нефтегазовых объектов на основе риск-ориентированного подхода .....	34
2.1. Формирование списка задач, необходимых для повышения эффективности управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов.....	34
2.2. Структура базы данных для хранения мероприятий по управлению пожарной безопасностью .....	35
2.3. Классификация мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков .....	40
2.4. Математическая модель оптимизации поиска комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов.....	42
2.5. Математическая модель поиска оптимального расположения нового технологического аппарата на территории нефтегазовых объектов.....	62
2.6. Выводы по второй главе .....	65
ГЛАВА 3. Компьютерное моделирование для решения задачи поддержки управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов .....	67
3.1. Определение требований к системе интеллектуальной поддержки принятия решений на нефтегазовых объектах .....	67
3.2. Структура классов в объектно-ориентированной информационной системе “FireRisks” .....	71

3.3. Программная реализация информационной системы поддержки принятия решений для управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах .....	75
3.4. Интеллектуальный блок оптимизации расчетных величин пожарного риска .....	81
3.5. Анализ алгоритма поиска комбинации мероприятий по снижению величин пожарных рисков на типовом нефтегазовом объекте.....	83
3.6. Анализ алгоритма поиска расположения новой технологической установки на примере типовой газораспределительной станции.....	100
3.7. Выводы по третьей главе .....	106
ГЛАВА 4. Разработка системы поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах .....	108
4.1. Структура и функции системы поддержки управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов.....	108
4.2. Определение вида и количества информации необходимой для лица, принимающего решение во время управления пожарной безопасностью....	114
4.3. Выводы по четвертой главе .....	115
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	116
Список литературы .....	118
Приложение А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Геоинформационная исследовательская web-система управления пожарными рисками на производственных объектах "Firerisks" .....	132
Приложение Б. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа оптимизации комбинации мероприятий для управления пожарными рисками на территории нефтегазовых объектов с использованием генетических алгоритмов.....	133
Приложение В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа оптимизации расположения нового технологического аппарата на территории нефтеперерабатывающих объектов с использованием генетических алгоритмов.....	134
Приложение Г. Листинг программного кода.....	135
Приложение Д. Акты внедрения.....	163

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность исследования.** 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.

**Степень разработанности.** В основе настоящей диссертационной работы 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., Relagagge P. и др.

**Объект исследования** – система управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах.

**Предмет исследования** – модели и алгоритмы поддержки принятия решений в управлении пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах на основе риск-ориентированного подхода.

**Цель исследования** – разработка модели и алгоритма информационно-аналитической поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах на основе риск-ориентированного подхода.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

– анализ проблем поддержки принятия решений при управлении пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах с использованием риск-ориентированного подхода;

– разработка модели и алгоритма, направленного на определение оптимальной комбинации мероприятий по адаптивному управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов;

– проведение компьютерного моделирования с целью оценки эффективности предложенных модели и алгоритма в управлении пожарной безопасностью нефтегазовых объектов;

– разработка структурной и функциональной схем, информационно-аналитического и специального программного обеспечения системы поддержки управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов.

**Научная новизна.** В процессе выполнения диссертационной работы впервые были получены новые научные данные:

– построена математическая модель определения оптимальной комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов на основе риск-ориентированного подхода, отличительной особенностью которой является применение трёхкритериальной целевой функции;

– разработан алгоритм и специальное программное обеспечение по адаптивному управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов на основе предложенной математической модели;

– определена структура, функции системы поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов и ее основные элементы, в том числе схема взаимодействия лица принимающего решения.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Результаты диссертационной работы могут быть использованы для поддержки принятия решений в рамках проведения экспертизы проектных решений и управления пожарными рисками, для формирования системы обеспечения пожарной безопасности, а также при разработке новых и модернизации существующих систем управления на нефтегазовых объектах.

**Методы исследования.** В ходе написания диссертационной работы были применены методы системного анализа, теории управления, методы оптимизации, математического и компьютерного моделирования.

**На защиту выносятся:**

– математическая модель и алгоритм определения оптимальной комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах с использованием риск-ориентированного подхода.

– результаты компьютерного моделирования для определения оптимальной комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью на основе разработанной математической модели и алгоритма;

– структура и функции системы поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, состав информационного обеспечения лица принимающего решения.

**Достоверность** полученных результатов обеспечивается применением апробированного математического аппарата, корректным использованием исходных данных, согласованностью полученных результатов с результатами работ других исследователей.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы были доложены на международных научно-технических конференциях «Системы безопасности» (Москва, 2014, 2015 гг.), Всероссийских конференциях молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (Томск, 2012 г., Тюмень, 2013 г.), 8-й Всероссийской мультikonференции по проблемам управления (с. Дивноморское, 2015), международных научно-практических конференциях молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (Москва, 2011, 2015 - 2017 гг.), научном семинаре в Юлихском исследовательском центре (Forschungszentrum Jülich, г. Юлих, Германия, 2015), научных семинарах кафедры пожарной безопасности Гентского университета (Бельгия, г. Гент, 2015-2016 гг.), 9-й международной научной конференции по агентному моделированию и искусственному интеллекту ISAART-2017 (Португалия, г. Порту, 2017 г.), научно-технических семинарах учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий Академии ГПС МЧС России (2014-2017 гг.)

**Публикации.** По теме диссертационной работы опубликовано 18 работ, из них 5 в изданиях, рекомендованных ВАК. 3 работы опубликованы в единоличном авторстве. Получено 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Личный вклад автора.** В совместных публикациях результаты, связанные с анализом текущей ситуации в исследуемой области, с разработкой математической модели, алгоритмов управления, разработки основных компонентов системы управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, результаты и анализ компьютерного моделирования выполнены автором самостоятельно.

**Внедрение результатов работы.** Результаты диссертационной работы нашли свое применение:

- в нефтегазовой компании ООО «Ойлсид» при разработке программы мероприятий по управлению пожарной безопасностью в ходе разработки паспорта безопасности опасного производственного объекта;

- научно-исследовательской работе по теме «Повышение эффективности управления пожарным риском на производственных объектах на основе интернет-картографических систем»;

- в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при изучении дисциплин «Информационные технологии управления», «Информационные технологии в сфере безопасности».

Реализация результатов исследования подтверждена соответствующими актами.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и 4 приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 165 страницы. Работа иллюстрирована 39 рисунками и содержит 14 таблиц и 5 приложений. Библиографический список включает в себя 103 наименования.



## 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).

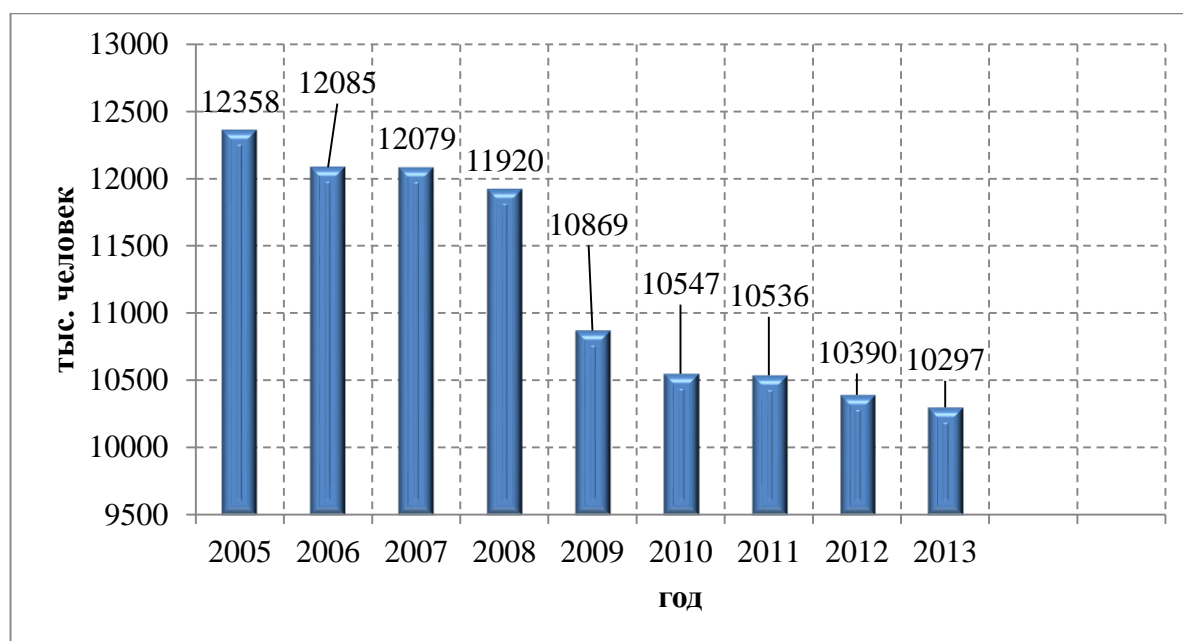


Рисунок 1.1 – Среднегодовая численность работников в нефтегазовой промышленности

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
Владимирская область	06.08.10	Предприятие топливной промышленности	Прочие причины, связанные с НПУиЭ транспортных средств	3007	АЗС, ООО Владростех ИП Захаров В.П.	г. Владимир, Суздальский пр-кт, д.41
Астраханская область	19.11.10	Складское предприятие, база, хранилище	Прочие причины, связанные с неосторожным обращением с огнем	3565	Складское помещение	ул. Ботвина, 6 "а"
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

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7
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 ГСМ, а/м Фредлайнер, г.н. В060СМ/152 вл.Николаев Н.Н.	ст.Чаглово, ул.Станционная, уч.10 ООО "Гарантнефтепродукт"
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
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

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7
Республика Татарстан	13.09.12	Складское предприятие, база, хранилище	Нарушение ППБ 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, кирпичное, кровля мягкая	Троицкий тракт д.49/1
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 эксплуатации 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, горючих жидкостей в резервуарах	г.Нижний Тагил,Рудник им. 3 Интернационала

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7
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 1.2).

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.

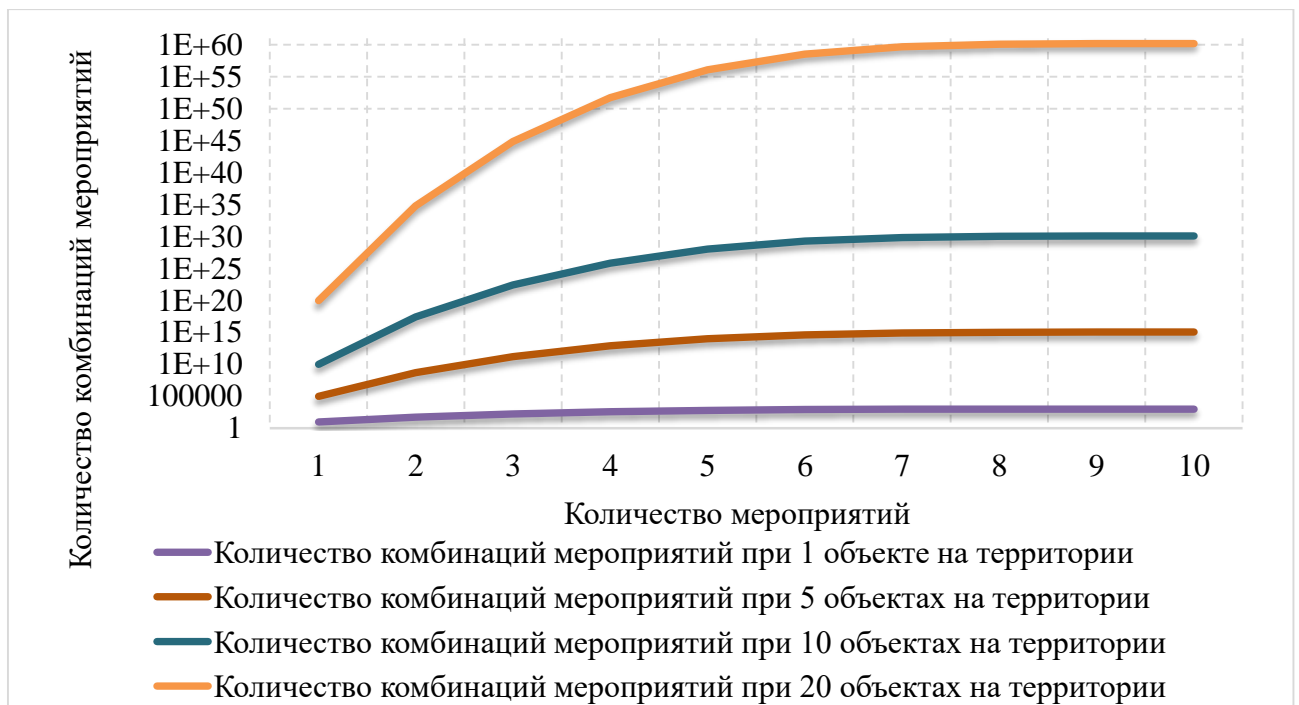


Рисунок 1.3 – Количество возможных комбинаций мероприятий

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.

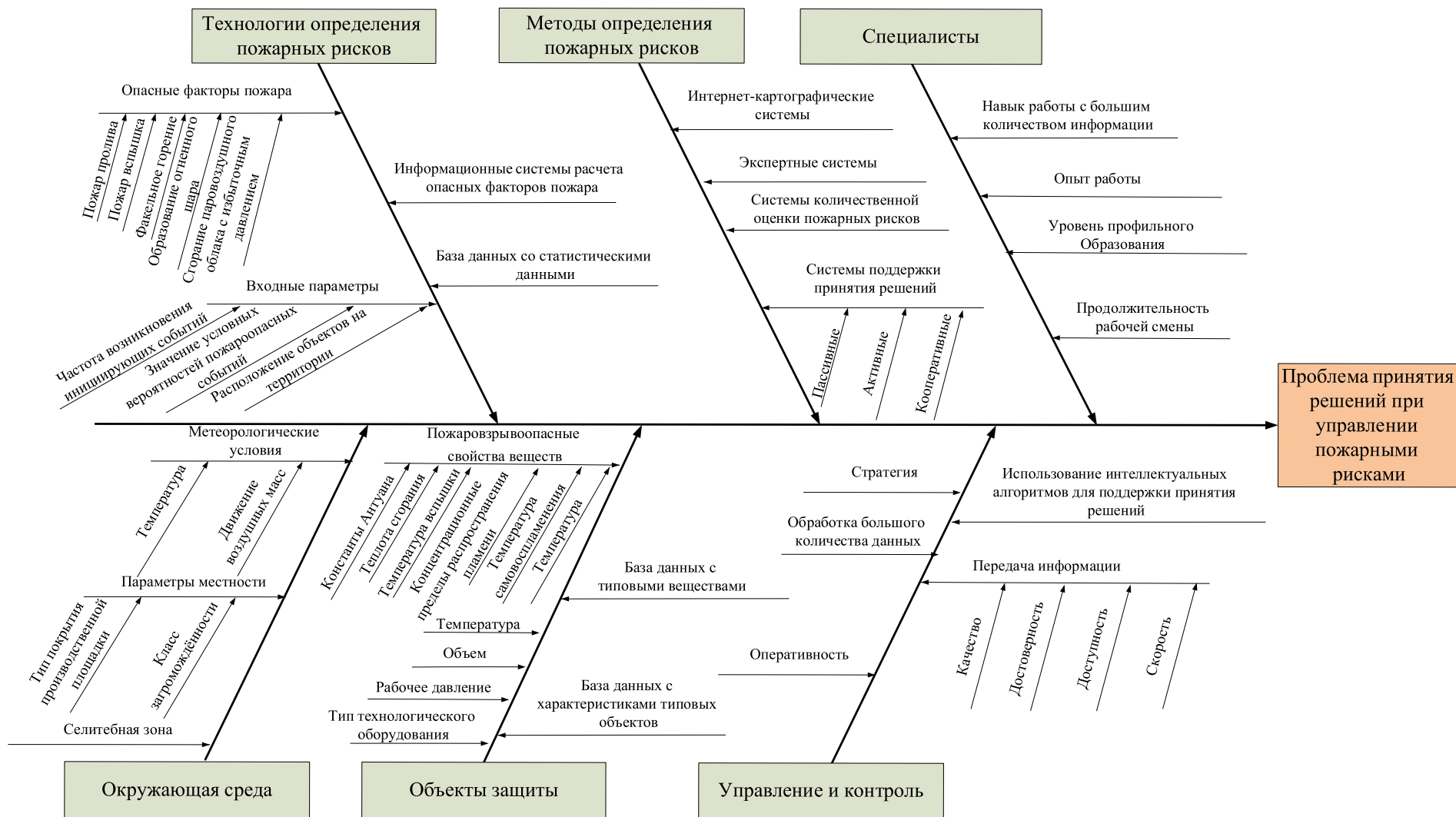


Рисунок 1.4 – Диаграмма Ишикавы

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 относится [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 комплекса 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).

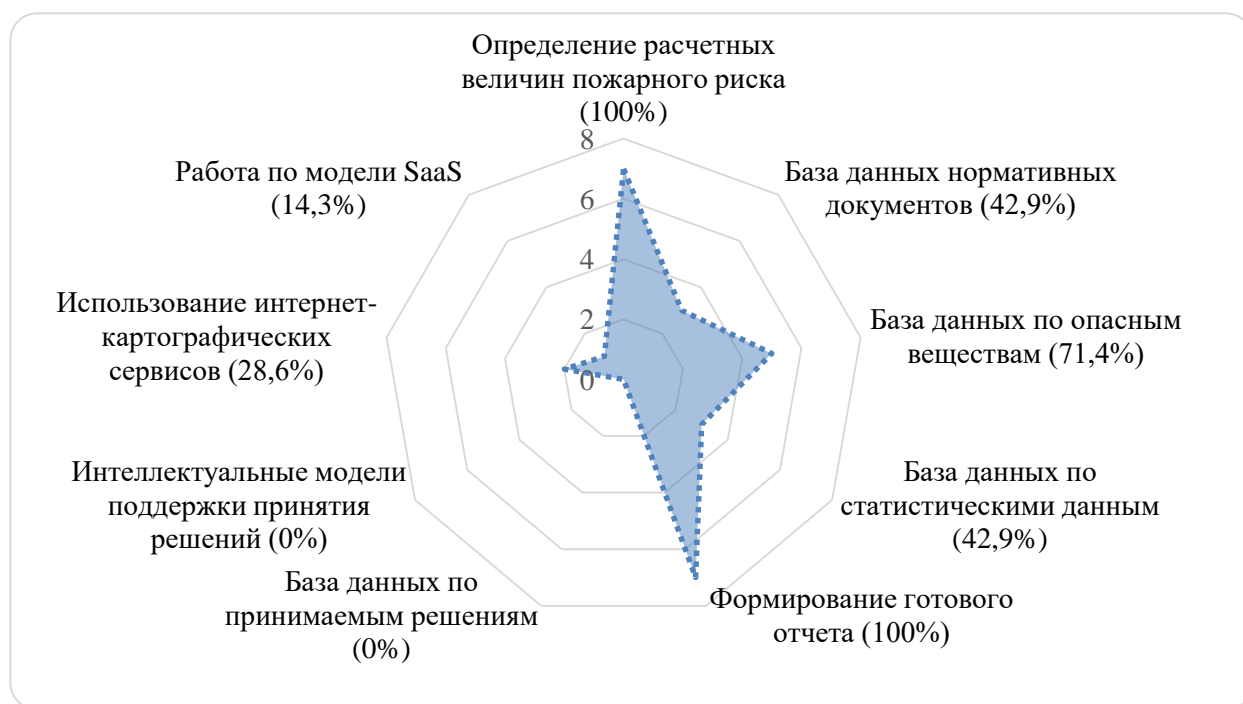


Рисунок 1.5 – Распределение реализуемых функций в программных продуктах для расчета пожарных рисков



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 неопределённости 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., Дранишникова Л.В., Завгородного 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 используемых 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.

## ГЛАВА 2. Разработка моделей и алгоритмов адаптивного управления пожарной безопасностью на территории нефтегазовых объектов на основе риск-ориентированного подхода

### 2.1. Формирование списка задач, необходимых для повышения эффективности управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов

При рассмотрении систем поддержки принятия решений на нефтегазовых объектах в предыдущей главе, был сделан вывод о том, что они обладают общим недостатком – отсутствие баз данных по принимаемым решениям, интеллектуальных методов и алгоритмов поддержки принятия решений по управлению пожарной безопасностью на их территории. С другой стороны, были предложены рекомендации к современным системам поддержки принятия решений по управлению пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах

Таким образом, исходя из разработанных рекомендаций важными задачами совершенствования методов управления пожарной безопасностью на территории нефтегазовых объектов являются:

1. Разработка информационных систем по оценке рисков с возможностью добавления новых модулей по управлению пожарной безопасностью с базой данных со статистической информацией, а также характеристиками веществ и возможными сценариями развития пожароопасных событий.

2. Создание базы данных с возможными мероприятиями, направленными на повышение пожарной безопасности объекта.

3. Создание интеллектуальных методов и алгоритмов управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов, позволяющих оценивать индивидуальные особенности каждого объекта и опираясь на это определять оптимальные решения.

Все перечисленные выше составляющие должны находиться *в пределах одной системы* [62], в результате чего появится возможность структурировать процесс определения значений величин пожарных рисков и выбор мероприятий, направленных на их снижение.

Мероприятия, направленные на снижение риска на территории нефтегазовых объектов, являются слабоструктурированными данными, не соответствующими строгой структуре таблиц и отношений в моделях реляционных баз данных, поэтому для работы с такими данными (слабоструктурированными) необходимо использовать систему тегов [63] (дескрипторов) и набор интеллектуальных алгоритмов для взаимодействия системы с содержимым базы данных.

Дескриптор – лексическая единица (слово, словосочетание) информационно-поискового языка, служащая для описания основного смыслового содержания документа или формулировки запроса при поиске документа (информации) в информационно-поисковой системе [64]. Дескриптор однозначно ставится в соответствие группе ключевых слов естественного языка, отобранных из текста, относящегося к определённой области знаний.

Таким образом, при применении тегов, система сможет определять к какой области знания относится то или иное решение в базе данных, и на основе этого проводить анализ эффективности его применения в конкретном случае.

## 2.2. Структура базы данных для хранения мероприятий по управлению пожарной безопасностью

Для использования системы тегов, спроектирована структура базы данных [65], позволяющая компьютерным алгоритмам взаимодействовать с её содержимым, проводить анализ и вносить изменения.

Первое поле, указывает к какому типу объекта относится рассматриваемое решение, например, к изменению свойств:

1. Отдельного технологического аппарата.
2. Здания с пребыванием людей.
3. Территории объекта.

Следующее поле служит фильтром, благодаря которому система определяет к какому объекту возможно применение конкретного решения. Вид

фильтра можно представить следующим набором тегов, в ассоциированном массиве:

1. Для технологической установки:

[Объект][Название параметра][Оператор<sup>1</sup>][Значения];

[Вещество][Название параметра][Оператор][Значения];

[Сценарий][Название поражающего фактора][Оператор][Значения];

[Обвалование][присутствие/отсутствие].

2. Для объекта с пребыванием людей:

[Объект][Название параметра][Оператор][Значения].

3. Для территории:

[Территория][Название параметра][Оператор][Значения].

Третье поле содержит теги, обозначающие действие, которое необходимо выполнить программе для реализации рассматриваемого решения, при этом в отличие от тегов первой группы, тег в каждом решении может быть только один, так как, выбор их синтеза выполняют интеллектуальные алгоритмы программы. Таким образом вид будет одинаковым для каждого типа объекта, за исключением лишь разных параметров, которые можно изменить:

[название параметра][оператор<sup>2</sup>][Значение].

Так же это поле допускает ввод диапазона изменяемого параметра для более гибкого анализа принимаемого решения и возможности сравнения списка решений между собой. Это применимо в случаях, когда нельзя точно количественно представить значения изменяемого параметра, таких как изменение площади обвалования, объема технологического аппарата и т.п.

В целях улучшения качества и скорости обработки информации следует содержаться столбцы, отражающие как часто решение являлось оптимальным и

---

<sup>1</sup> Оператор отражает способ обработки набора значений рассматриваемого параметра. Может принимать значения “Между”, “Больше”, “Меньше”, “Или”, “Точное значение”. То есть, если оператор принял значение “Больше”, программа будет искать объекты, у которых рассматриваемый параметр больше заданного значения.

<sup>2</sup> В данном случае оператор определяет, как связано значение с рассматриваемым параметром и может принимать следующие значения “Умножить”, “Разделить”, “Возвести в степень”, “Прибавить”, “Отнять”, “Точное значение”.

как часто его применяли. Структура таблицы, отвечающей за хранение возможных решений представлена в (таблице 2.1).

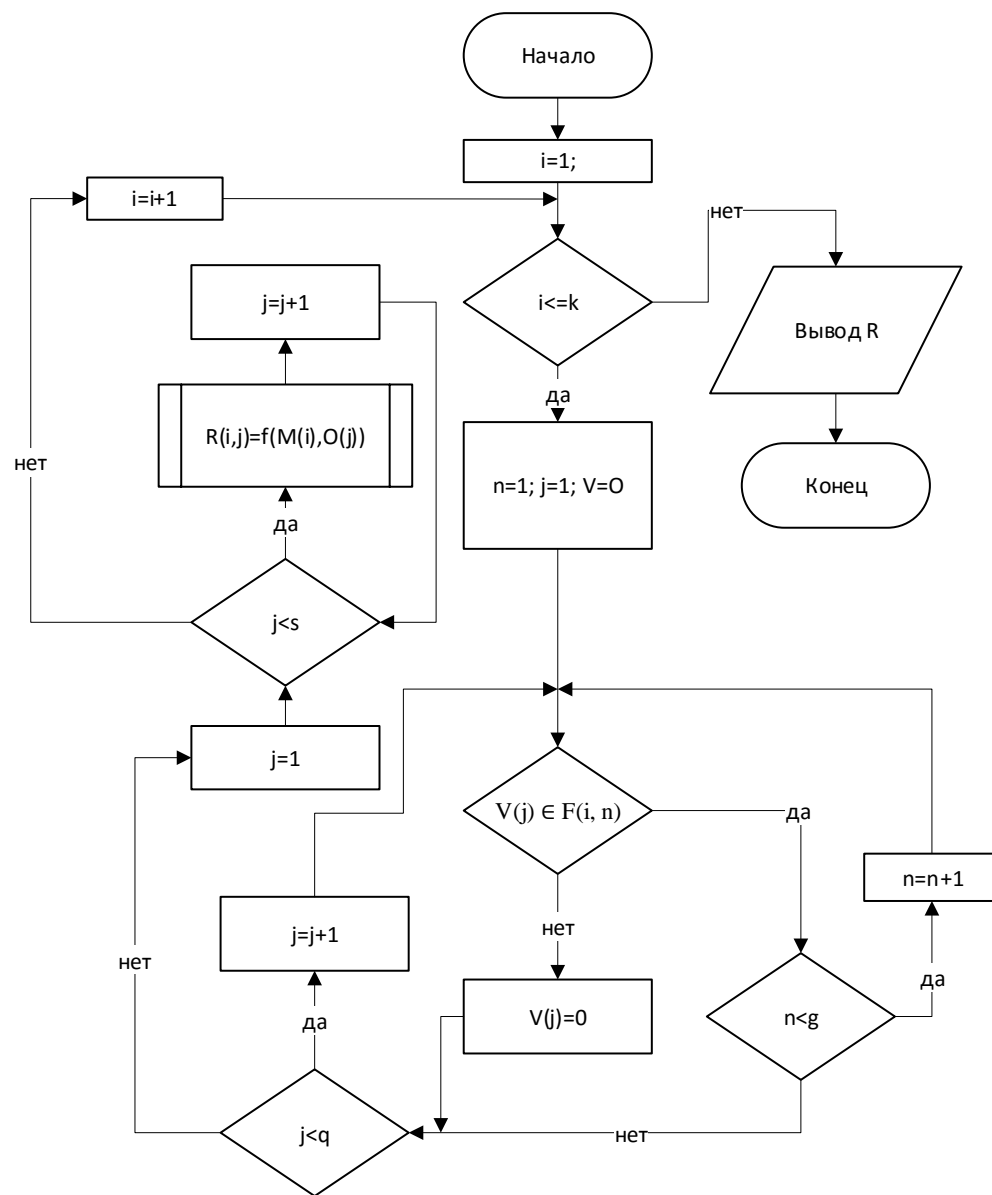
Таким образом, данный вид структуры хранения мероприятий по снижению пожарных рисков на нефтегазовых объектах, позволяет программе обрабатывать хранящиеся мероприятия по требуемым критериям и применять интеллектуальные методы анализа эффективности данных мероприятий.

Для более понятного представления порядка оценки эффективности мероприятий по снижению пожарных рисков, была разработана блок-схема процесса оценки мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов и выбора подходящих из них (рисунок 2.1). Логическую цепочку алгоритма можно представить следующим образом.

1. Выбор одного мероприятия из БД решений по управлению пожарной безопасностью.
2. Анализ объектов, к которым может быть применено это решение.
3. Оценка уровня пожарной безопасности с применённым решением для каждого объекта.
4. Сохранение набора мероприятий и полученной значения целевой функции в массив.
5. Если проведен анализ всех мероприятий, то переход к пункту 6, иначе переход к пункту 1.
6. Ранжирование и вывод всех возможных мероприятий в порядке убывания эффективности.

Таблица 2.1 – Структура таблицы по хранению возможных мероприятий для управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах

Идентификатор	Теги принадлежности	Теги фильтрации	Теги решения	Выводимое сообщение	Кол-во раз применения решения	Кол-во раз выхода в список лучших решений
[Идентификатор]	[Технологическая установка]	[Объект] [Название параметра] [Оператор] [Значения]	[Название изменяемого параметра] [Диапазон значения]	[Сообщение]	[Количество]	[Количество]
		[Вещество] [Название параметра] [Оператор] [Значения]				
		[Сценарий] [Название фактора] [Оператор] [Значения]				
		[Обвалование] [присутствие/отсутствие]				
	[Территория]	[Территория] [Название параметра] [Оператор] [Значения]				
[Объект с пребыванием людей]	[Объект] [Название параметра] [Оператор] [Значения]					



$M$  – массив с мероприятиями по снижению пожарных рисков;  
 $i$  – счетчик мероприятий по снижению пожарных рисков;  
 $k$  – количество мероприятий по снижению пожарных рисков;  
 $O$  – массив объектов на территории;  
 $j$  – счетчик объектов;  
 $q$  – количество объектов;  
 $F$  – двумерный массив с тегами фильтров;  
 $n$  – счетчик фильтров;  
 $g$  – Количество фильтров;  
 $V$  – Объекты подходящие к рассматриваемому решению;  
 $s$  – количество объектов подходящих к рассматриваемому решению;  
 $R$  – массив со значениями целевой функции.

Рисунок 2.1 – Блок-схема поиска подходящих мероприятий по снижению пожарных рисков и анализа их эффективности

### 2.3. Классификация мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков

В рамках создания интеллектуальной системы поддержки принятия решений, создана классификация мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков на нефтегазовых объектах. Целью создания данной классификации является необходимость разделения мероприятий на различные группы, что алгоритмически позволяет разделять мероприятия по способу снижения расчётных величин пожарных рисков и применять конкретные алгоритмы для каждого случая. Мероприятия разделены на следующие группы:

- 1) вероятностные – мероприятия влияющие на вероятностную составляющую значений величин пожарных рисков;
- 2) физические – мероприятия влияющие на снижение масштаба чрезвычайной ситуации при возникновении опасных факторов пожара.

В свою очередь каждая группа делится на подгруппы. К вероятностным мероприятиям можно отнести следующие типы мероприятий:

- превентивные – установка огнетушащего и сигнализирующего оборудования;
- социальные – уменьшение вероятности пребывания работников на определенной территории;
- территориальные – изменение противопожарных расстояний.

К физическим мероприятиям относится:

- технологические – изменение параметров технологического процесса или технологических аппаратов;
- территориальные – изменение параметров территории, на которой находится опасное технологическое оборудование, установка устройств ограничения пролива.

Для наглядного примера классификации мероприятий на представленные группы составлен список с некоторыми возможными мерами:

1. Уменьшение степени заполнения технологического аппарата.



2. Ограничение площади пролива, если данная мера не предусмотрена.
3. Снижение вероятности пребывания опасного технологического аппарата, если он является мобильным.
4. Смена типа грунта, окружающего технологический аппарат.
5. Уменьшение рабочего дня персонала, обслуживающего нефтегазовый объект.
6. Установка автоматической установки пожарной сигнализации.
7. Установка автоматической установки пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организации (вне зависимости от типа установки пожаротушения).
8. Установка автоматической установки водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией.
9. Установка остальных типов автоматических установок пожаротушения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией.
10. Предусмотреть средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на нефтегазовом объекте (В случае, когда обеспечение величины  $R(n) \leq 10^{-8}$ , год<sup>-1</sup> и (или) величины  $S(n) \leq 10^{-7}$ , год<sup>-1</sup> невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение  $R(n)$  до  $10^{-6}$ , год<sup>-1</sup> и (или)  $S(n)$  до  $10^{-5}$ , год<sup>-1</sup>).
11. Изменение противопожарных расстояний между наружными технологическими установками.
12. Изменение противопожарных расстояний от наружных технологических установок до объектов селитебной зоны.
13. Изменение противопожарных расстояний от наружных технологических установок до объектов с пребыванием людей на территории нефтегазового объекта.

14. Изменение количества людей в селитебной зоне.
15. Изменение количества работающего персонала на территории нефтегазового объекта.

На рисунке 2.2 показана предложенная классификация мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков на нефтегазовых объектах, с указанием номеров представленных мероприятий в каждой категории для примера.

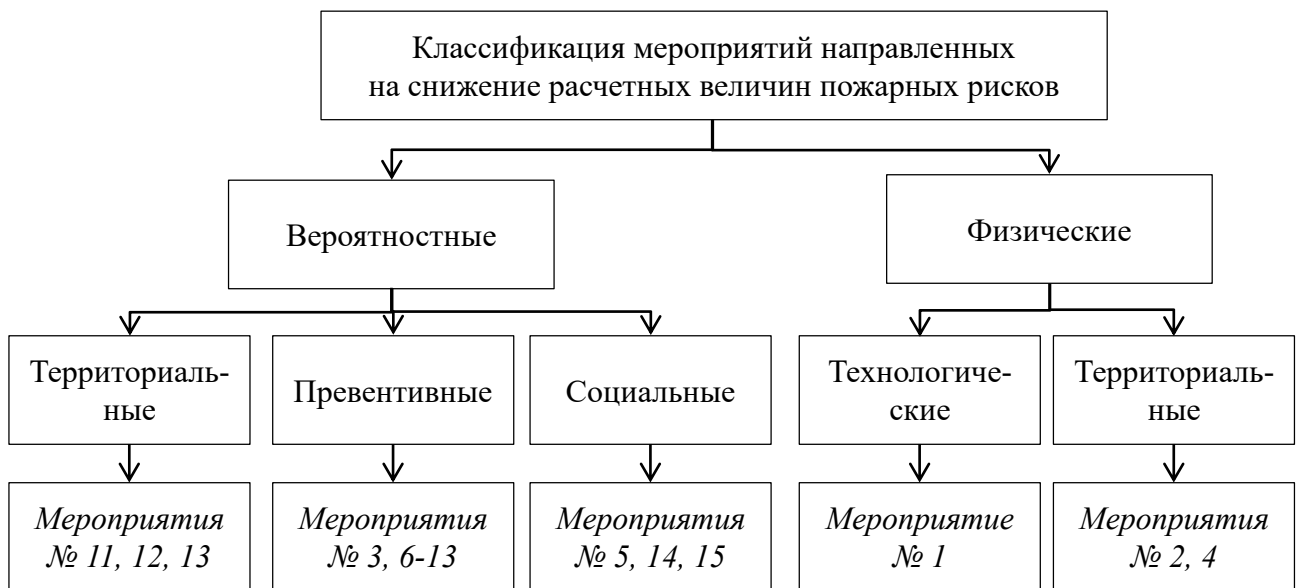


Рисунок 2.2 – Классификация мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков на нефтегазовых объектах.

#### 2.4. Математическая модель оптимизации поиска комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов

Для эффективного составления математической модели, необходимо сформировать список проблем, с которыми можно столкнуться при решении задачи оптимизации расположения нового объекта на производственной территории.

В связи с большим количеством возможных мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов (изменение противопожарных расстояний, установка систем оповещения и эвакуации, снижение количества обращающихся пожароопасных веществ и т.д.) и необходимости проведения

повторного расчета величин пожарных рисков для оценки каждой комбинации мероприятий можно сделать вывод, что процедура поиска оптимальной комбинации мероприятий, без использования оптимизационных методов, невыполнима. В настоящее время при выборе мероприятий во многом полагаются на мнения экспертов.

Задача определения пожарного риска является многокритериальной и в связи с неравномерным распределением риска по территории нефтегазовых объектов и разным параметрам технологических процессов у нее может присутствовать большое количество локальных оптимумов. Таким образом, целевая функция многоэкстремальна, поэтому не все оптимизационные методы могут справиться с задачей поиска комбинации мероприятий, когда нам не известна какая-либо априорная информация о целевой функции [66].

Для наглядности сложности процесса определения величины пожарного риска, была составлена схема определения значения потенциального риска в заданной точке (рисунок 2.3). Исходя из схемы, за счет учета большого количества параметров и проводимых операций, расчет большого количества пожарных рисков, при различных вариантах комбинаций мероприятий направленных на их снижение, будет требовать значительного количества вычислительных ресурсов и времени.

Поэтому целесообразным является создание интеллектуальных алгоритмов способных производить поиск оптимального или приближенного к нему варианта и выполняющего меньшее количество операций, чем при линейном переборе.

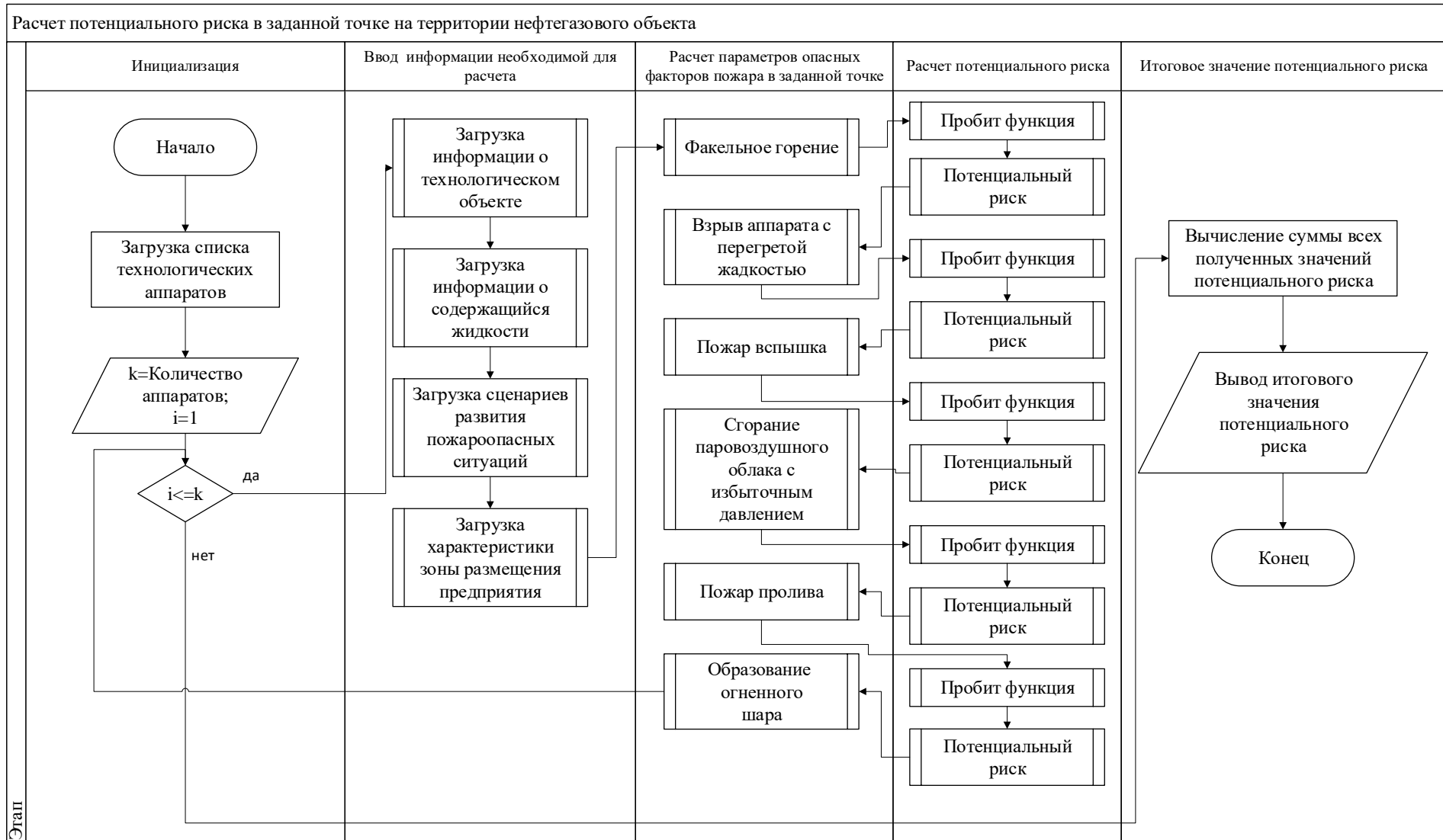


Рисунок 2.3 – Процедура расчета потенциального риска в заданной точке пространства

При использовании классических пошаговых методик глобальный оптимум может быть найден только в том случае, когда проблема обладает свойством выпуклости. В нашем случае локальных оптимумов может быть много, поэтому использование таких методик неэффективно. Итак, основным требованием к выбору оптимизационной методики является возможность поиска глобального оптимума среди множества локальных. Для решения этой задачи подходит концепция генетических алгоритмов [63, 67]. Этот метод быстрее классических методик и требует меньшего количества ресурсов. Его эффективность подчеркнута во многих исследованиях [68-70]. Генетические алгоритмы используются для решения задач с большим количеством информации. Многие авторы подчеркивают их эффективность при решении комплексных задач [71]. Один из методов использования генетических алгоритмов успешно применен в вопросе оптимизации уровня экономического риска основанного на оптимизации общих затрат [72, 73].

Генетический алгоритм осуществляет одновременный поиск по многим направлениям путем использования популяции возможных решений. Переход от одной популяции к другой позволяет избежать попадания в локальный оптимум. Популяция претерпевает нечто наподобие эволюции: в каждом поколении относительно хорошие решения репродуцируются, в то время как относительно плохие отмирают. Генетические алгоритмы используют вероятностные правила для определения репродуцируемой или уничтожаемой хромосомы, чтобы направить поиск к областям вероятного улучшения целевой функции [19].

Эффективность генетических алгоритмов в вопросе оптимизации изучалась многими исследователями [66, 74, 75], многие из них отмечают, что эффективность зависит от выбора правильных настроек для решаемой задачи и отмечают сложность их выбора на основе лишь теоретической информации без проведения соответствующих экспериментов.

Генетические алгоритмы применялись для решения многих научных и технических проблем. Они используются в робототехнике для обучения роботов,

а также в нейронных сетях для проектирования их структуры. Эффективность их применения в сфере управления неоднократно подтверждалась многими исследователями [76, 77]. Но, как и другие методы оптимизации, они обладают своими преимуществами и недостатками. Несмотря на то что некоторые преимущества генетических алгоритмов уже были описаны, далее составлен список основных преимуществ и недостатков (таблица 2.2) [78].

Таблица 2.2 – Преимущества и недостатки генетических алгоритмов

№	Преимущества	Недостатки
1	Поиск глобального оптимума функции.	Невозможность поиска локального оптимума функции в классическом виде генетического алгоритма.
2	Множество разных вариантов реализации.	В простых целевых функциях (гладкие, один экстремум и т.п.) генетические алгоритмы всегда проигрывают по скорости простым алгоритмам поиска.
3	Возможность эффективно распараллеливать процесс выполнения задачи.	Относительно невысокая эффективность на заключительных фазах моделирования эволюции.
4	Отсутствие ограничений на вид целевой функции, включая возможность работы с разрывными функциями.	Во многих задачах генетические алгоритмы имеют тенденцию сходиться к локальному оптимуму или даже к спорным точкам вместо глобального оптимума для данной задачи.
5	Пригодность для поиска в сложном пространстве решений большой размерности.	
6	Интегрируемость эволюционных вычислений с другими неклассическими парадигмами искусственного интеллекта, такими как искусственные нейросети и нечеткая логика.	
7	Генетические алгоритмы не содержат производных от целевой функции	

Для преодоления последнего недостатка возможно использование метода «инцеста», сохраняющим аналогии с генетикой [79], при использовании которого, вероятность мутации потомка тем выше, чем ближе между собой его родители. Использование этой модификации классического генетического алгоритма предотвращает остановку на локальном экстремуме, что особенно важно при многокритериальной оптимизации для сохранения разнообразия

решений. Для решения задачи невысокой эффективности на заключительных фазах поиска возможно использование неоднородной мутации, определенной З. Михалевичем [80]. В этом методе диапазон изменения мутируемого гена уменьшается с каждым поколением. Таким образом, на первоначальных шагах алгоритма в основном преобладают крупномасштабные изменения, обеспечивающие широкую область поиска, а на заключительном этапе происходит уточнение решения за счет уменьшения масштаба мутаций [81].

Таким образом, использование генетических алгоритмов для решения задачи поиска комбинаций мероприятий по управлению пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, существенно сократит количество рассматриваемых вариантов по сравнению с перебором всех вариантов.

Для решения этой задачи использовалась классическая модель генетических алгоритмов, предложенная в 1975 г. Джоном Холландом (John Holland) в Мичиганском университете [49], с дальнейшей её модификацией для повышения эффективности решения требуемой задачи.

Схема алгоритма Холланда (рисунок 2.4):

1. Сгенерировать исходную популяцию, состоящую из особей.
2. Оценить приспособленность хромосом в популяции на основе целевой функции.
3. Выполнить операцию селекции.
4. Применить генетические операторы (мутация, скрещивание).
5. Сформировать новую популяцию.
6. Если критерий остановки алгоритма не достигнут, перейти к шагу 2, иначе завершить работу.

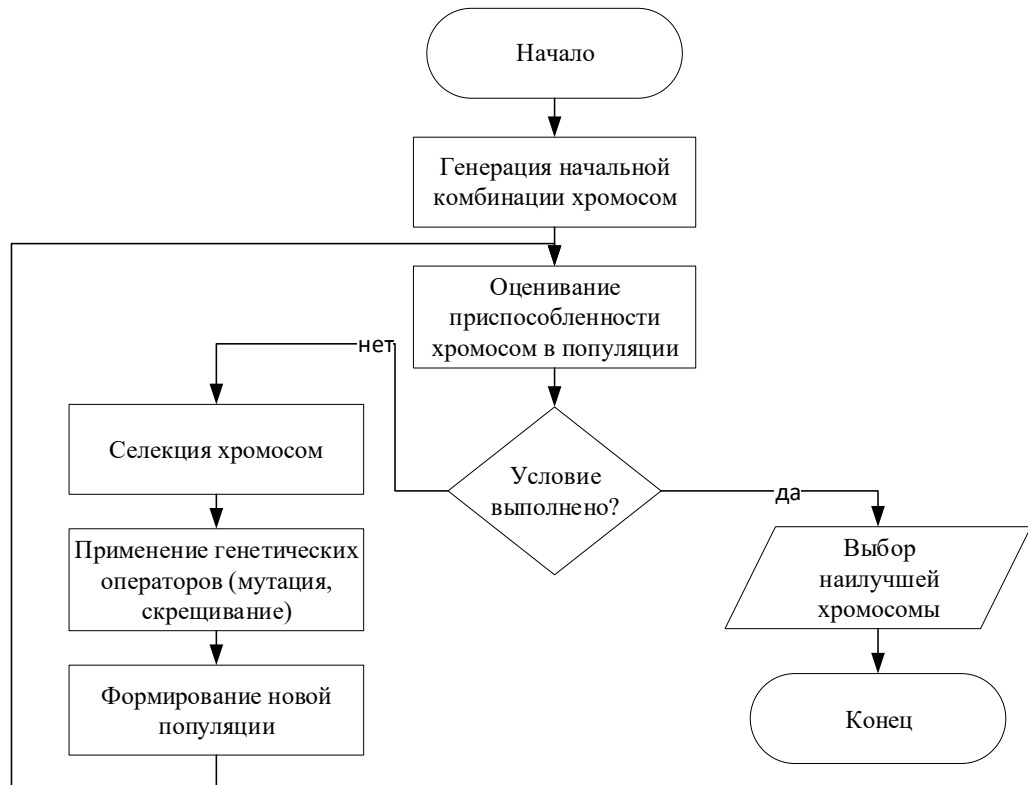


Рисунок 2.4 – Алгоритм Холланда

### Целевая функция

Одним из обязательных критериев использования генетических алгоритмов является целевая функция, которая отвечает за количественное представление эффективности найденных решений.

Для учета и анализа большинства мероприятий, хранящихся в базе данных, необходимо проводить комплексную оценку пожарных рисков при анализе каждого мероприятия, за исключением некоторых случаев, связанных, например, с временем пребывания людей в зданиях, когда значения индивидуального риска изменяются лишь за счет умножения на вероятность пребывания там людей. В таких случаях комплексный расчет рисков не требуется, и такие исключения должны быть учтены в модели отдельно.

С другой стороны, выбор, какое из значений пожарных рисков необходимо уменьшить, должен выбрать специалист, занимающийся обеспечением пожарной безопасности рассматриваемого объекта.



Таким образом, следующие виды риска, могут выступать в виде целевых функций:

- индивидуальный пожарный риск на территории объекта;
- социальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта;
- индивидуальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта;
- потенциальный пожарный риск на территории объекта и в селитебной зоне вблизи объекта.

Так как первостепенной задачей при оптимизации пожарных рисков на нефтегазовых объектах является безопасность людей, рассматривать только потенциальный риск на территории объекта, а также за его пределом не целесообразно, так как он уже входит в значения других рисков. Поэтому, необходимо рассматривать следующие виды рисков:

- индивидуальный пожарный риск на территории объекта;
- социальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта;
- индивидуальный пожарный риск в селитебной зоне вблизи объекта.

Так как все значения рисков являются важными с точки зрения безопасности персонала объекта и людей, проживающих вблизи, *целевой функцией может являться любой из этих рисков*, поэтому необходимо предоставить пользователю выбор рисков (целевой функции), которыми он может управлять. Поэтому список выбора целевой функции можно представить следующим образом:

1. Уменьшение индивидуального пожарного риска на определенном объекте с пребыванием людей на территории рассматриваемого объекта.
2. Уменьшение индивидуального пожарного риска конкретного работника на территории рассматриваемого объекта.
3. Уменьшение общей суммы индивидуальных пожарных рисков на территории рассматриваемого объекта.

4. Уменьшение общей суммы индивидуальных пожарных рисков на определенном объекте с пребыванием людей на территории рассматриваемого объекта.

5. Уменьшение социального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта.

6. Уменьшение индивидуального пожарного риска в селитебной зоне вблизи объекта.

В ситуациях, когда необходимо найти такое решение, которое способно снизить расчетные значения пожарных рисков на территории объекта возможно несколько вариантов целевой функции:

1. Суммы всех значений пожарных рисков на территории нефтегазового объекта:

$$f = \sum_{n=1}^N Risk_n, \quad (2.1)$$

где  $Risk_n$  итоговые значения пожарных рисков на территории нефтегазового объекта и близлежащей селитебной зоны,  $N$  – количество рассматриваемых значений пожарных рисков.

Эта функция не учитывает равномерное снижение значение пожарных рисков, что является большим недостатком. При использовании это функции возможен выбор варианта, когда некоторые значения пожарных рисков на территории неприемлемы, но общая сумма рисков очень низкая относительно других вариантов.

Минимальная сумма равномерно сниженных итоговых значений пожарных рисков:

$$f = \min_{k=1, M} \left\{ \sum_{n=1}^N Risk_{jn} + \frac{\sum_{n=2}^N |(Risk_{i1} - Risk_{j1}) - (Risk_{in} - Risk_{jn})|}{N-1} \right\}, \quad (2.2)$$

где  $Risk_{in}$  – начальные значения пожарных рисков на территории нефтегазового объекта и близлежащей селитебной зоны,  $Risk_{jn}$  – итоговые значения пожарных рисков на территории нефтегазового объекта и близлежащей селитебной зоны при применении мероприятий по их снижению,  $N$  – количество пожарных рисков на объекте,  $n$  – рассматриваемый пожарный риск,  $M$  – количество рассматриваемых мероприятий по снижению значений пожарных рисков,  $k$  – рассматриваемое мероприятие по снижению значений пожарного риска.

Данная формула отражает сумму векторов суммы итоговых значений рисков и среднего отклонения значений рисков между собой. Таким образом, оптимальным будет считаться мероприятие, при котором значения рисков на территории снижается наиболее равномерно и при этом сумма рисков является минимальной.

Для выбора оптимального варианта выбора мероприятий по снижению значений пожарных рисков объекта нефтепереработки, рассмотрен массив мероприятий и итоговых значений пожарных рисков, составленных случайным образом в диапазоне от 0.01 до 0.99, при их применении. На рисунке 2.5 представлена диаграмма с распределением решений по снижению пожарных рисков на территории нефтегазовых объектах по их эффективности.



Рисунок 2.5 – Распределение решений по снижению пожарных рисков на территории нефтегазовых объектах по их эффективности.

Исходя из диаграммы можно сделать вывод, что мероприятие, найденное по формуле (2.2), учитывающее равномерность распределения итоговых значений пожарных рисков является предпочтительней, так как при использовании формулы 2.1 возможен выбор мероприятия, при котором пожарные риски будут уменьшаться не на всей территории объекта, а в локальных зонах. Это формула не учитывает разные типы пожарных рисков, которые имеют свои допустимые значения. Поэтому, разработана целевая функция, состоящая из суммы 3-х параметров:

1. количество значений расчетных величин пожарных рисков на территории нефтегазового объекта, которые не превышают приемлемые значения;
2. приведенные затраты для осуществления мероприятий;
3. параметр среднего отклонения недопустимых расчетных величин пожарных рисков на территории нефтегазового объекта и прилегающей к нему селитебной зоне от приемлемых значений.

Согласно ст. 93 Федерального закона [6] установлены следующие нормативные значения пожарных рисков для производственных объектов:

1. Индивидуальный пожарный риск в здании производственного объекта не должен превышать одну миллионную в год (т.е.  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>).
2. Индивидуальный пожарный риск в сооружении производственного объекта не должен превышать одну миллионную в год (т.е.  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>).
3. Индивидуальный пожарный риск на территории производственного объекта не должен превышать одну миллионную в год (т.е.  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup>).
4. Индивидуальный пожарный риск для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должен превышать одну стомиллионную в год (т.е.  $10^{-8}$  год<sup>-1</sup>).
5. Социальный пожарный риск для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, не должен превышать одну десятиллионную в год (т.е.  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup>).

Для определения количества величин пожарных рисков на территории нефтегазового объекта, которые являются приемлемыми в рассматриваемом случае используется следующая формула:

$$Q = \sum_{j=1}^J (\alpha(R_j)) + \sum_{m=1}^M (\beta(I_m)) + \gamma(S), \quad (2.3)$$

где:

$$\alpha(R_j) = \begin{cases} 1, & x \leq R_a; \\ 0, & x > R_a \end{cases} \quad (2.4)$$

$$\beta(I_m) = \begin{cases} 1, & x \leq I_a; \\ 0, & x > I_a \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\gamma(S) = \begin{cases} 1, & x \leq S_a; \\ 0, & x > S_a \end{cases} \quad (2.6)$$

$R$  – итоговое значение индивидуального пожарного риска для работников предприятия;

$J$  – количество работников на предприятии;

$I$  – итоговое значение индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта;

$M$  – количество объектов с людьми в селитебной зоне, прилегающей к предприятию;

$S$  – итоговое значение величины социального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта;

$R_a$  – допустимое значение величины индивидуального пожарного риска для работников предприятия (равняется  $10^{-6}$  год<sup>-1</sup> по российскому законодательству);

$I_a$  – допустимое значение величины индивидуального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта (равняется  $10^{-8}$  год<sup>-1</sup> по российскому законодательству);

$S_a$  – допустимое значение величины социального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта (равняется  $10^{-7}$  год<sup>-1</sup> по российскому законодательству);

$\alpha$  – критерий приемлемости значения величины индивидуального пожарного риска для работников предприятия;

$\beta$  – критерий приемлемости значения величины индивидуального риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта

$\gamma$  – критерий приемлемости значения величины социального пожарного риска для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта;

$Q$  – количество величин пожарных рисков, являющихся приемлемыми в рассматриваемом случае.

Для оценки и сравнения экономических затрат на реализацию мероприятий используется формула приведенных затрат [82], учитывающая как капитальные затраты, так и эксплуатационные затраты.

Приведенные затраты для осуществления мероприятий рассчитываются по формуле:

$$P_i = K_i \cdot E_n + C_{ei}, \quad (2.7)$$

где  $P_i$  – приведенные затраты  $i$ -го мероприятия, руб\год;

$K_i$  – капитальные затраты для реализации  $i$ -го мероприятия;

$C_{ei}$  – эксплуатационные расходы  $i$ -го мероприятия.

Приведение заданных стоимостных показателей к текущему периоду времени производится путем умножения их на коэффициент сравнительной экономической эффективности дополнительных капитальных вложений ( $E_n$ ), который был условно принят равным 0,2.

Параметр ( $D$ ) учитывает среднее отклонение недопустимых расчетных величин пожарных рисков на объекте защиты и прилегающей к нему селитебной зоне от приемлемых значений. Данный параметр принимает значение от 0 до 1 и используется в случае, когда, не все значения пожарных рисков являются приемлемыми и служит для поиска точек территории нефтегазового объекта, где значения рисков будут наиболее сильно приближены к допустимым значениям:

$$D = \frac{A + B + C}{Z + Y + \gamma(S)}, \quad (2.8)$$

где:

$$A = \frac{\sum_{z=1}^Z R_a / R_z}{Z}; \quad (2.9)$$

$$B = \frac{\sum_{y=1}^Y I_a / I_y}{Y}; \quad (2.10)$$

$$C = \begin{cases} \frac{S_a}{S}, & S > S_a; \\ 0, & S \leq S_a \end{cases} \quad (2.11)$$

$A$  – безразмерный параметр среднего отклонения недопустимых величин индивидуальных рисков на территории предприятия (меньших  $R_a$ ) от допустимого значения ( $R_a$ );

$R_z$  – значения величин недопустимых индивидуальных рисков на территории предприятия;

$Z$  – количество недопустимых значений величин индивидуальных рисков на территории предприятия;

$B$  – безразмерный параметр среднего отклонения недопустимых величин индивидуальных рисков в селитебной зоне (меньших  $I_a$ ) от допустимого значения ( $I_a$ );

$I_y$  – значения недопустимых расчетных величин индивидуальных рисков в селитебной зоне;

$Y$  – количество недопустимых расчетных величин индивидуальных рисков в селитебной зоне;

$C$  – безразмерный параметр отклонения величины социального риска в селитебной зоне от допустимого значения.

Данные критерии были согласованы в единую целевую функцию. Наибольший приоритет имеет, отвечающий за безопасность, параметр  $Q$ . Следующим по важности является экономическая составляющая ( $P$ ). В спорных ситуациях, когда у нескольких комбинаций мероприятий параметры  $Q$  и  $P$  являются равными, а требуемые величины пожарных рисков являются недостижимыми, ключевым параметром является  $D$ , который обеспечивает равномерное распределение зон риска на территории. Таким образом, целевая функция в разрабатываемой модели выглядит следующим образом:

$$f = (\max(Q), \min(P), \max(D)) \quad (2.12)$$

Для более наглядного представления процесса определения целевой функции была разработана блок-схема, представленная на рисунке 2.6. (Переменная  $G$  является значением целевой функции).



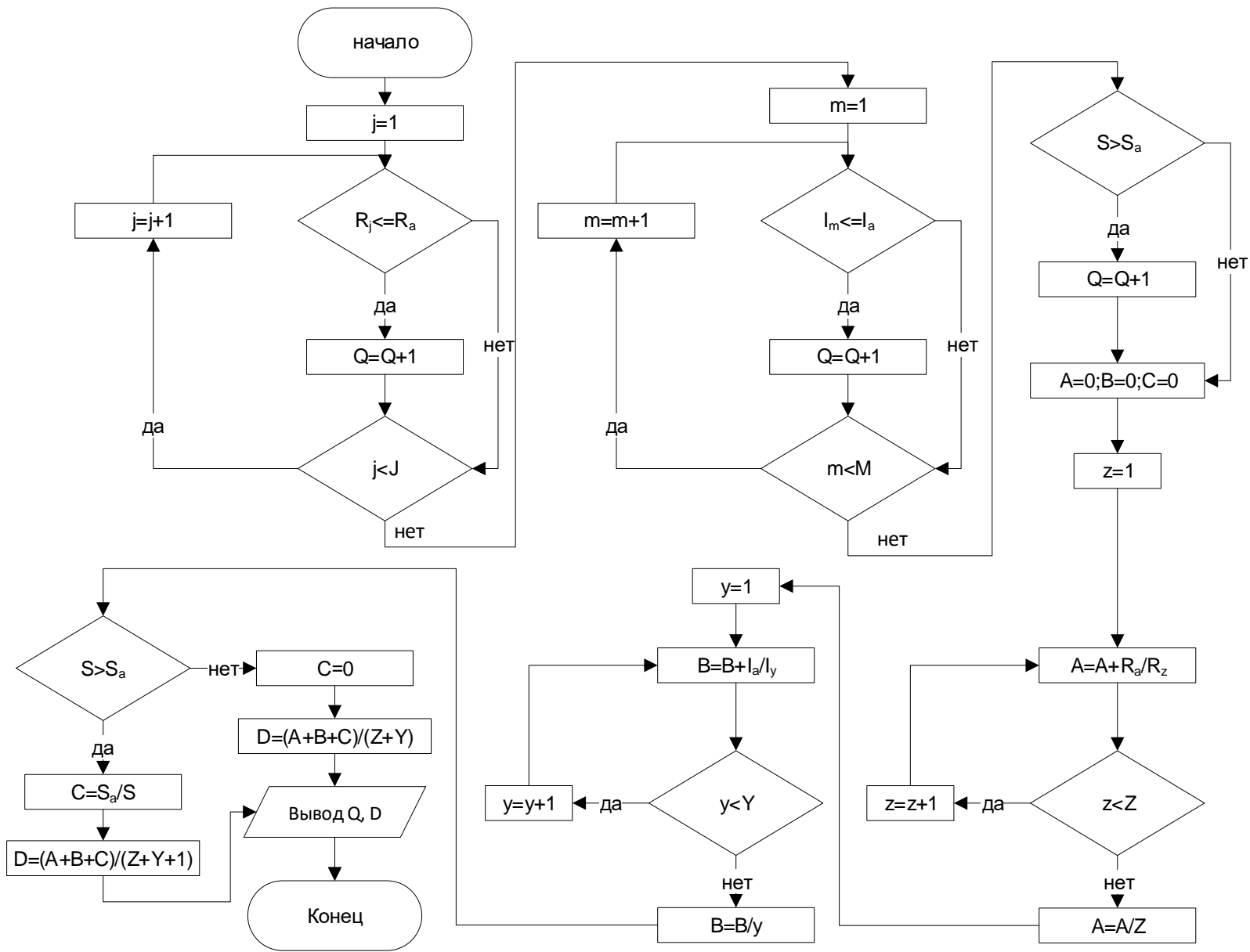


Рисунок 2.6 – Блок-схема определения параметров целевой функции

## Начальная популяция

В связи со значительным количеством возможных комбинаций мероприятий, генерация начальной популяции происходила по специальному алгоритму, учитывающему эффективность каждого мероприятия по отдельности.

В предлагаемом подходе генами хромосом являются мероприятия, поэтому хромосома содержит не двоичный набор данных, а массив с индикаторами каждого мероприятия содержащегося в ней:

$$v = ([M1], [M2], [M3], \dots [Mk]), \quad (2.13)$$

где  $M1, M2, M3, Mn$  – идентификаторы мероприятий.

Для генерации начальной популяции используется метод колеса рулетки, в котором функция соответствия ( $eval(M_k)$ ) определяется для каждого мероприятия по алгоритму, представленному на рисунке 2.1 по следующей схеме:

1. Выбор одного мероприятия из БД решений по снижению рисков.
2. Анализ объектов, к которым может быть применено это решение.
3. Поочередный расчет целевой функции с применённым решением для каждого объекта.
4. Сохранение результатов в массив.
5. Если проведен анализ всех мероприятий, то переход к пункту 6, иначе переход к пункту 1.
6. Ранжирование и вывод всех возможных мероприятий в порядке убывания эффективности.

Следующим этапом является определение общей функции соответствия всех мероприятий ( $F$ ):

$$F = \sum_{k=1}^{\text{count of measures}} \text{eval}(M_k) - \min\{\text{eval}(M)\}, \quad (2.14)$$

где *count\_of\_mesuares* – общее количество мероприятий.

Рассчитывается вероятность отбора ( $P_k$ ) для каждого мероприятия  $M_k$ :

$$P_k = \frac{\text{eval}(M_k) - \min\{\text{eval}(M)\}}{F}, \quad (2.15)$$

где  $k = 1, 2, \dots, \text{count\_of\_measures}$ .

Рассчитывается совокупная вероятность отбора  $q_k$  для каждого мероприятия ( $M_k$ ):

$$q_k = \sum_{k=1}^{\text{count of measures}} P_k \quad (2.16)$$

Процесс селекции (выборки) состоит во вращении колеса рулетки, количество раз равное количеству мероприятий в хромосоме. Каждый раз выбирается одно мероприятие, по следующему алгоритму:

1. Генерируется случайное число  $r$  в интервале  $[0,1]$ ;
2. Если  $r \leq q_1$ , то выбираем первое мероприятие  $M_1$ ; иначе  $k$ -ое ( $2 \leq k \leq \text{count\_of\_mesuares}$ ) подходящее к условию  $q_{k-1} \leq r \leq q_k$ ;
3. Если выбранное мероприятие уже содержится в хромосоме то возврат к пункту 1, иначе добавляем этот ген к хромосоме.

В итоге, генерируется одна хромосома, для генерации популяции нужно проделать эти операции количество раз равное количеству особей в популяции. Таким образом, одна хромосома является искомой комбинацией мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков.

## Функция соответствия

Функция соответствия играет роль среды и оценивает хромосомы по степени их приспособленности к выполнению критерия оптимизации.

Оценка функции соответствия хромосомы выполняется в три шага:

1. Преобразовать генотип хромосомы в фенотип. В данной задаче это означает поиск мероприятий в базе данных по идентификаторам в хромосоме  $n^k=(M^k)$ ,  $k=1,2,\dots, pop\_size$ , где  $pop\_size$  – число мероприятий в исходной популяции.

2. Вычислить целевую функцию.

3. Преобразовать целевую функцию в значение функции соответствия. Для решаемой задачи оптимизации функция соответствия эквивалентна целевой функции.

$$eval(v_k) = f(n^k), k = 1, 2, \dots, pop\_size. \quad (2.17)$$

## Отбор

Для отбора хромосом (комбинаций мероприятий), использовался уже описанный метод, называемый колесо рулетки. Процесс отбора можно описать следующим образом:

1. Вычисляем значение функции соответствия  $eval(v_k)$  для каждой хромосомы  $v_k$  по предыдущей формуле.

2. Вычисляем общую функцию соответствия популяции:

$$F = \sum_{k=1}^{pop\_size} eval(v_k) - j = \min_{j=1, pop\_size} \{eval(v_j)\}, k = 1, 2, \dots, pop\_size. \quad (2.18)$$

3. Вычисляем вероятность отбора  $P_k$  для каждой хромосомы  $v_k$ :

$$P_k = \frac{eval(v_k) - j = \min_{j=1, pop\_size} \{eval(v_j)\}}{F}, k = 1, 2, \dots, pop\_size. \quad (2.19)$$

4. Вычисляем совокупную вероятность  $q_k$  для каждой хромосомы  $v_k$ :

$$q_k = \sum_{j=1}^k P_j, k = 1, 2, \dots, pop\_size. \quad (2.20)$$

Процесс отбора начинается с вращения колеса  $pop\_size$  раз; при этом каждый раз выбирается одна хромосома по следующему алгоритму:

1. Генерируем случайное число  $r$  из интервала  $[0,1]$ ;
2. Если  $r \leq q_1$ , то выбираем первую хромосому  $v_1$ ; иначе выбираем  $k$ -ую хромосому ( $2 \leq k \leq pop\_size$ ) такую, что  $q_{k-1} \leq r \leq q_k$ .

### Скрещивание и мутация

Для скрещивания хромосом используется популярный, на практике, метод с одной точкой обмена [83-87]. В соответствии с этим методом, случайно выбирается одна точка обмена, относительно которой меняются местами части хромосом-родителей. Для этого генерируется целое число в промежутке  $[1, (m_x + m_y)]$ , которое будет точкой обмена генами.

Мутация состоит в изменении одного или большего числа генов с вероятностью равной коэффициенту мутации. В отличие от классической модели генетических алгоритмов, для создания комбинаций из разного количества мероприятий, добавлена вероятность случайного удаления одного гена из хромосомы.

Исходя из вышесказанного, для решения задачи формирования набора мероприятий по снижению пожарных рисков на нефтегазовых объектах в классическую модель генетических алгоритмов были внесены следующие изменения:

1. Вместо использования бинарной строки, используется хромосома, гены которой являются идентификаторами мероприятий.
2. Начальная популяция генерируется по специально разработанному алгоритму.

3. Добавляется операция, заключающаяся в удалении одного гена из хромосомы с определенной вероятностью.

## 2.5. Математическая модель поиска оптимального расположения нового технологического аппарата на территории нефтегазовых объектов

Одной из задач управления пожарными рисками на нефтегазовых объектах является задача оптимизации расположения новой технологической установки на территории нефтегазового объекта. Так как оценка пожарного риска является трудоемкой процедурой, охватывающей множество факторов, влияющих на её значение, перебор тысяч вариантов и расчет поля риска с разным расположением нового объекта, может занять значительное количество времени и ресурсов, даже при использовании современных вычислительных машин и алгоритмов. Другой подход заключающийся в выборе нескольких возможных вариантов “на глаз”, расчет и отбор из них наилучшего, очень сильно зависит от человеческого фактора, и не исключает выбора решения, не являющимся оптимальным. Кроме того, такие подходы вряд ли можно назвать рациональными.

Процедура оценки пожарных рисков состоит из множества этапов, что в свою очередь представляет единую функцию, определяющую итоговое значение риска. Программа, обладая характеристиками технологических аппаратов, содержащихся на нефтегазовом объекте, может выполнить расчет этого значения в любой заданной точке в пределах территории нефтегазового объекта.

Для практической реализации рассматриваемого подхода, планируется использовать интернет-картографические системы, которые позволяют загружать свои карты (схемы, подложки), устанавливать масштаб, наносить дополнительные слои моделирования зон распространения рисков.

Чтобы работать с этой системой необходимо сначала вычислить координаты краев подложки, затем принять нижний левый угол за точку отсчета  $(0,0)$  и преобразовать остальные координаты в метрическое измерение. Таким образом правый верхний угол будет содержать максимальные значения возможных координат  $(x_{\max}, y_{\max})$ .

Для реализации генетического алгоритма необходимо закодировать оптимизируемые параметры в двоичные строчки, таким образом, чтобы при декодировании число не могло получиться больше заданного максимума (размера территории объекта). Длина строчки зависит от размера максимума.

Например, пусть переменная  $x$  имеет интервал изменения  $[0, x_{\max}]$ . Требуемое число битов  $m_x$  находится по формуле:

$$X_{\max} \leq 2^{m_x}, \quad (2.21)$$

$$m_x = \lceil \log_2(x_{\max}) \rceil. \quad (2.22)$$

Обратное преобразование строки битов в действительное значение переменной выполняется по следующей формуле:

$$x_j = \lfloor l_j * X_{\max} / 2^{m_x} \rfloor, \quad (2.23)$$

где  $l_j$  представляет собой десятичное значение (ген) закодированной в бинарной системе координаты.

Координата “у” определяется по аналогии с координатой “х”.

Исходная популяция (популяции) генерируется случайно. И её генотип  $v$  имеет вид:

$$v = [(2^{m_x})_2 (2^{m_y})_2]. \quad (2.24)$$

**Функция соответствия.** Оценка функции соответствия хромосомы выполняется в три шага:

1. Преобразовать генотип хромосомы в фенотип. В данной задаче это означает преобразование двоичной строчки в соответствующее действительное число  $n^k = (x^k, y^k)$ ,  $k=1, 2, \dots, pop\_size$ , где  $pop\_size$  – число вариантов в исходной популяции.

2. Вычислить целевую функцию.

3. Преобразовать целевую функцию в значение функции соответствия. Для решаемой задачи оптимизации функция соответствия эквивалентна целевой функции.

$$eval(v_k) = f(n^k), k = 1, 2, \dots, pop\_size. \quad (2.25)$$

Функция соответствия играет роль среды и оценивает хромосомы по степени их приспособленности к выполнению критерия оптимизации.

**Отбор.** Для отбора использовался метод колеса рулетки. Согласно этому подходу отбор осуществляется на основе некоторой функции распределения, которая строится пропорционально вычисленным функциям соответствия сгенерированных вариантов-хромосом. Колесо рулетки может быть представлено следующим образом:

1. Вычисляем значение функции соответствия  $eval(v_k)$  для каждой хромосомы  $v_k$  по предыдущей формуле (2.25).
2. Вычисляем общую функцию соответствия популяции по формуле (2.18).
3. Вычисляем вероятность отбора  $P_k$  для каждой хромосомы  $v_k$  по формуле (2.19).
4. Вычисляем совокупную вероятность  $q_k$  для каждой хромосомы  $v_k$  по формуле (2.19).

Процесс отбора начинается с вращения колеса  $pop\_size$  раз; при этом каждый раз выбирается одна хромосома по следующему алгоритму:

1. Генерируем случайное число  $r$  из интервала  $[0,1]$ ;
2. если  $r \leq q_1$ , то выбираем первую хромосому  $v_1$ ; иначе выбираем  $k$ -ую хромосому ( $2 \leq k \leq pop\_size$ ) такую, что  $q_{k-1} \leq r \leq q_k$ .

**Скрещивание.** Для скрещивания хромосом используется метод с одной точкой обмена. Для этого генерируется целое число в промежутке  $[1, (m_x + m_y)]$ , которое будет точкой обмена генами.

**Мутация.** Мутация состоит в изменении одного или большего числа генов с вероятностью равной коэффициенту мутации. Так как мы имеем дело с



бинарными строками, то мутация заключается в инверсии соответствующего бита.

## 2.6. Выводы по второй главе

1. В результате проведенного анализа, было установлено, что при адаптивном изменении параметров проекта расчета пожарного риска, требуется полный перерасчет величин пожарного риска. В вопросах поиска оптимальной комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью и поиска расположения новой технологической установки на нефтегазовых объектах, имеет место множество альтернативных вариантов, анализ которых может занять значительное количество времени и ресурсов. Таким образом, адаптивное управление пожарной безопасностью без использования методов оптимизации является нерациональной задачей и для уменьшения количества рассматриваемых вариантов необходимо использовать оптимизационные методы.

2. В результате изучения концепции генетических алгоритмов и обзора ряда публикаций сделан вывод о возможности использования данного метода для решения поставленных задач. Поэтому была предложена модель поиска оптимальной комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов на основе генетических алгоритмов.

3. На основе классической концепции генетических алгоритмов, предложенной Джоном Холландом, с учетом модификаций, созданы математические модели поиска комбинаций возможных мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов. Сформирована целевая функции, количественно отражающая эффективность каждого решения.

4. Представлен алгоритм поиска комбинаций мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов на основе генетических алгоритмов, со следующими модификациями для решения поставленной задачи:

- Вместо использования бинарной строки, используется хромосома, гены которой являются идентификаторами мероприятий.

- Начальная популяция генерируется по специально разработанному алгоритму.
- Для создания наборов из различного количества мероприятий используется измененная операция мутации, заключающейся в случайном исключении одного из генов хромосомы.

5. Научная новизна полученной модели заключается в использовании генетических алгоритмов в вопросе управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, а именно интеллектуальный подбор мероприятий направленных на управление пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах и поиск оптимального расположения новых технологических аппаратов на территории, на основе разработанной 3-х критериальной целевой функции.

## ГЛАВА 3. Компьютерное моделирование для решения задачи поддержки управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов

### 3.1. Определение требований к системе интеллектуальной поддержки принятия решений на нефтегазовых объектах

Трудности, с которыми сталкиваются специалисты в области управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, а также результаты анализа существующих систем управления пожарными рисками определяют необходимость, во-первых, систематизировать цели и задачи системы управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, а во-вторых, разработать эффективную структуру системы управления пожарной безопасностью.

Согласно [6] определение расчетных величин пожарного риска на объекте осуществляется на основании:

1. Анализа пожарной опасности объекта.
2. Определения частоты реализации пожароопасных ситуаций.
3. Построения полей опасных факторов пожара для различных сценариев его развития.
4. Оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития.
5. Наличия систем обеспечения пожарной безопасности зданий, сооружений и строений.

В свою очередь анализ пожарной опасности объекта предусматривает:

1. Анализ пожарной опасности технологической среды и параметров технологических процессов на объекте.
2. Определение перечня пожароопасных аварийных ситуаций и параметров для каждого технологического процесса.
3. Определение для каждого технологического процесса перечня причин, возникновение которых позволяет характеризовать ситуацию как пожароопасную.

4. Построение сценариев возникновения и развития пожаров, влекущих за собой гибель людей.

Исходя из проблем, описанных в первой главе, сформированы дополнительные требования к разрабатываемой информационной системе:

1. Возможность пополнять систему новыми моделями расчета пожарного риска и опасных факторов пожара.

2. Хранение исходных данных, промежуточных значений и результатов в единой базе данных для возможности последующего анализа.

3. Общедоступность, возможность специалистам и экспертам выполнить свой экспериментальный расчет по различным моделям и предложить свои мероприятия по снижению пожарного риска на объекте, что позволит выявлять малоизвестные и возможно эффективные приемы повышения пожарной безопасности объектов защиты.

4. Возможность внедрения методов и алгоритмов по оптимизации значений пожарных рисков на территории объекта, а также проведения экспериментов по их эффективности.

5. Работа по модели SaaS<sup>3</sup> (Soft as Service), что позволит работать в сети Интернет и накапливать информацию о расчетах рисков, для проведения дальнейшего анализа принимаемых мер в каждом отдельном случае.

На основании вышеуказанных данных сформирован функционал, которым должна обладать система по управлению пожарной безопасностью (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Список функций системы по управлению пожарной безопасностью

№	Название	Функция
1	2	3
1	Блок ввода исходных данных	Выполняет функцию взаимодействия с пользователем на этапе сбора необходимой информации для расчета требуемых значений рисков. Он включает в себя такие элементы, как: ввод объектов, расположенных на территории, их характеристики, характеристики веществ, обращающихся на территории, метеоданные.

<sup>3</sup> Soft as Service – программное обеспечение как услуга. Такая модель позволяет использовать приложение удаленно, например, через определенный веб-сайт.

Продолжение таблицы 3.1

1	2	3
2	Блок “Конструктор сценариев”	Необходим для созданий логического дерева развития пожароопасных событий.
3	Геоинформационный блок	Отвечает за расстановку технологических объектов и зданий с пребыванием людей на подложку или интерактивную карту интернет-картографических сервисов.
4	Блок проверки введенных данных	Выполняет предпроверку введенных пользователем данных на наличие ошибок, защищает программу от возникновения ошибок, вызванных пользователем.
5	Расчетный блок	Используя данные введенные в первых трех блоках, выполняет операцию по расчету всех необходимых параметров.
6	Блок вывода отчета	Отображает отчет о выполненном расчете, отражает все оперируемые параметры и итоговые значения рассчитанных величин.
7	Блок геовизуализации	Отображает зоны распространения рисков по территории объекта и в селитебной зоне.
8	Блок оптимизации и управления	Содержит в своем составе специальные методы и алгоритмы по оптимизации значений пожарных рисков на территории.

Вполне логично, что структуру системы управления пожарной безопасностью необходимо выстраивать исходя из возлагаемых на нее задач. В таком случае, наиболее полноценной представляется структура, показанная на рисунке 3.1.

Эта схема отражает облачную модель элементов системы по расчету пожарных рисков. Блоки, обведенные пунктирной линией, содержат визуальный интерфейс, таким образом, эти блоки непосредственно взаимодействуют с пользователем.

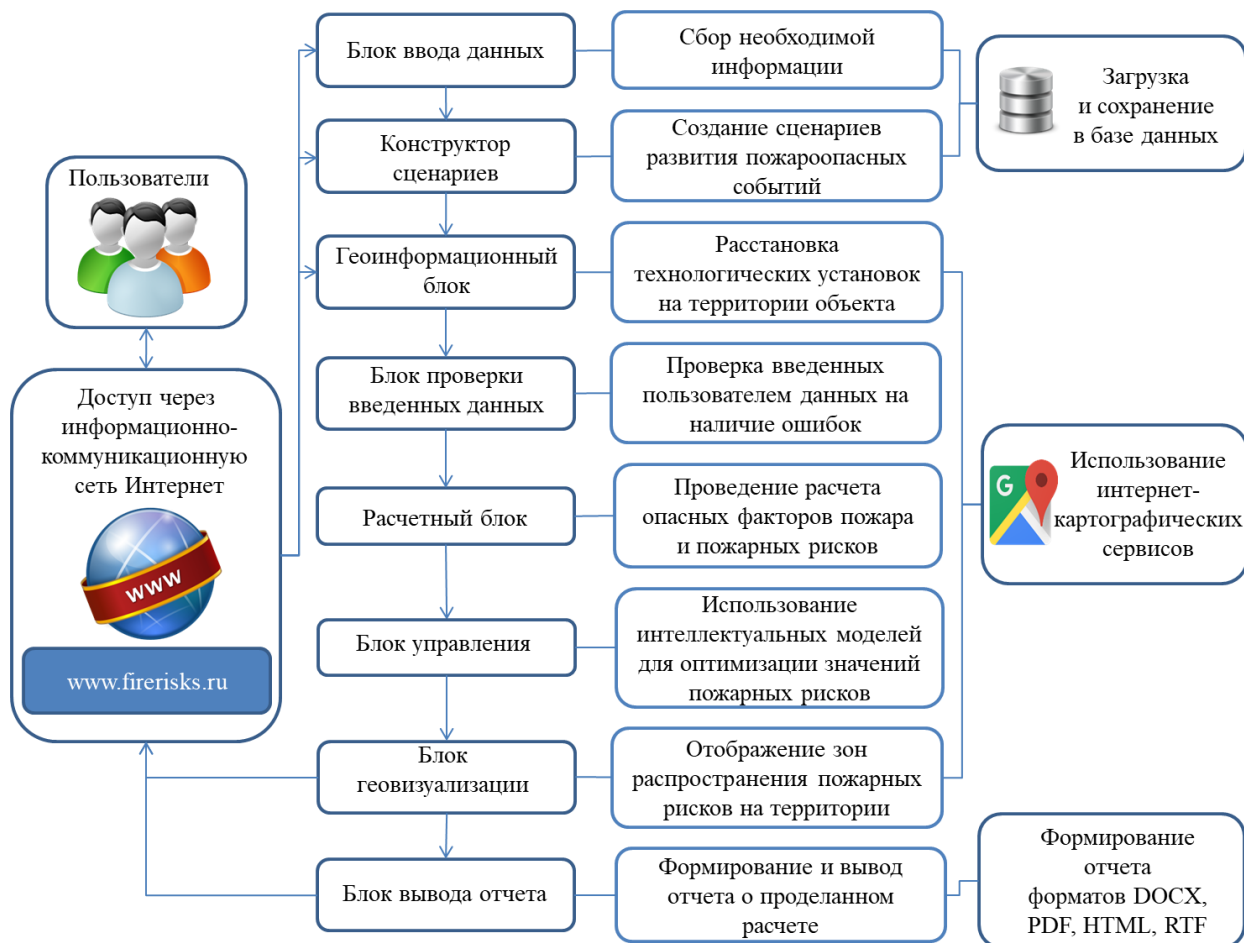


Рисунок 3.1 – Схема взаимодействия элементов системы управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах

Процедуру работы с информационной системой можно описать следующим образом [88]:

1. Пользователь при помощи персонального компьютера заходит на специальный веб-сайт содержащий программу.
2. Вводит информацию о технологических установках содержащихся на территории нефтегазового объекта в блок ввода данных.
3. Конструирует или загружает из базы сценарии развития возможных пожароопасных ситуаций для каждого объекта присутствующего на территории.
4. Устанавливает наружные технологические установки и здания с людьми на карте территории.
5. Введенная информация проверяется в блоке проверки введенных данных.
6. Если введенные данные не содержат ошибок расчет значений опасных факторов пожара, а также расчетных величин пожарных рисков на территории.

7. При необходимости рассчитанные данные обрабатываются в интеллектуальном модуле (управления), для оптимизации значений риска на территории.

8. Выводиться текстовый отчет о проведенном расчете в блоке вывода отчета.

9. Отображаются зоны распределения потенциального риска на территории объекта и прилегающей селитебной зоне в блоке геовизуализации.

### 3.2. Структура классов в объектно-ориентированной информационной системе “FireRisks”

В рамках разрабатываемой системы управления пожарной безопасностью на территории нефтегазовых объектов ИС “FireRisks” использовался объектно-ориентированный подход [89, 90]. При этом под объектом понимают информационную структуру (класс) в виде совокупности атрибутов (свойств, параметров, характеристик) и совокупности методов (действий, процедур, операций) [89-91].

Объектная модель описывается следующим образом:

$$M = \langle C, \{E\} \rangle, \quad (3.1)$$

где  $C$  – описание класса;  $E$  – множество экземпляров класса.

Порядок действий для применения объектно-ориентированного подхода:

**Определение объектов.** Выявляются объекты предметной области, которые можно описать.

**Определение состояния объектов.** Перечисление возможных свойств (атрибутов) объектов.

**Формализация поведения объектов.** Описание воздействия объектов на другие объекты, а также относительное изменение состояний этих объектов и передачу информации между ними (методы и события).

**Создание классов объектов.** Определение множества схожих по свойствам и поведению объектов.

**Определение иерархии классов.** Определение родительского класса (суперкласса) и производных от него классов, содержащих дополнительные свойства, характеризующие их уникальность.

Пример иерархии классов в соответствии с рассматриваемой предметной областью показан на рисунке 3.2.



Рисунок 3.2 – Пример иерархии классов

Представим частичное описание суперкласса «Резервуар» в табличном виде (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Частичное описание суперкласса «Резервуар»

Наименование суперкласса	Свойства (атрибуты) объекта	Методы	События
Резервуар	Объем технологической установки	Определение массы пролива жидкости	Разгерметизация с последующим истечением жидкости
	Диаметр отверстия истечения	Определение площади пролива жидкости	Квазигмоуновное разрушение с последующим истечением жидкости
	Объем горючей жидкости	Определение массы паров, выходящих через дыхательную арматуру	Разгерметизация с последующим истечением паров



В рамках ООП разработана обобщенная диаграмма основных классов информационной системы, определены их связи, атрибуты и методы (рисунок 3.3). Определены функции каждого класса, позволяющие учесть не только весь функционал расчета пожарных рисков, их графической визуализации, но и их управления (таблица 3.3) [92, 93].

Таблица 3.3 – Классы информационной системы

№	Имя класса	Назначение
1	Риск	Расчет значений пожарных рисков
2	Оптимизация рисков	Поиск и подбор мероприятий по снижению расчетных значений пожарных рисков
3	Мероприятия по снижению рисков	Ведение базы данных мероприятий по снижению значений пожарных рисков
4	Конструктор сценариев	Создание логических деревьев развития пожароопасных событий
5	Опасные факторы пожара	Расчет значений опасных факторов пожара
6	Георедактор	Расстановка наружных технологических установок, объектов с пребыванием людей, а также объектов селитебной зоны на территории (карте)
7	Пожароопасные вещества	Ведение базы данных пожароопасных веществ
8	Наружные технологические установки	Ведение базы данных наружных технологических установок
9	Персонал	Ведение базы данных о персонале (работниках) на территории нефтегазового объекта
10	Объекты с людьми	Ведение базы данных объектов с пребыванием людей на территории объекта
11	Объекты селитебной зоны	Ведение базы данных об объектах селитебной зоны

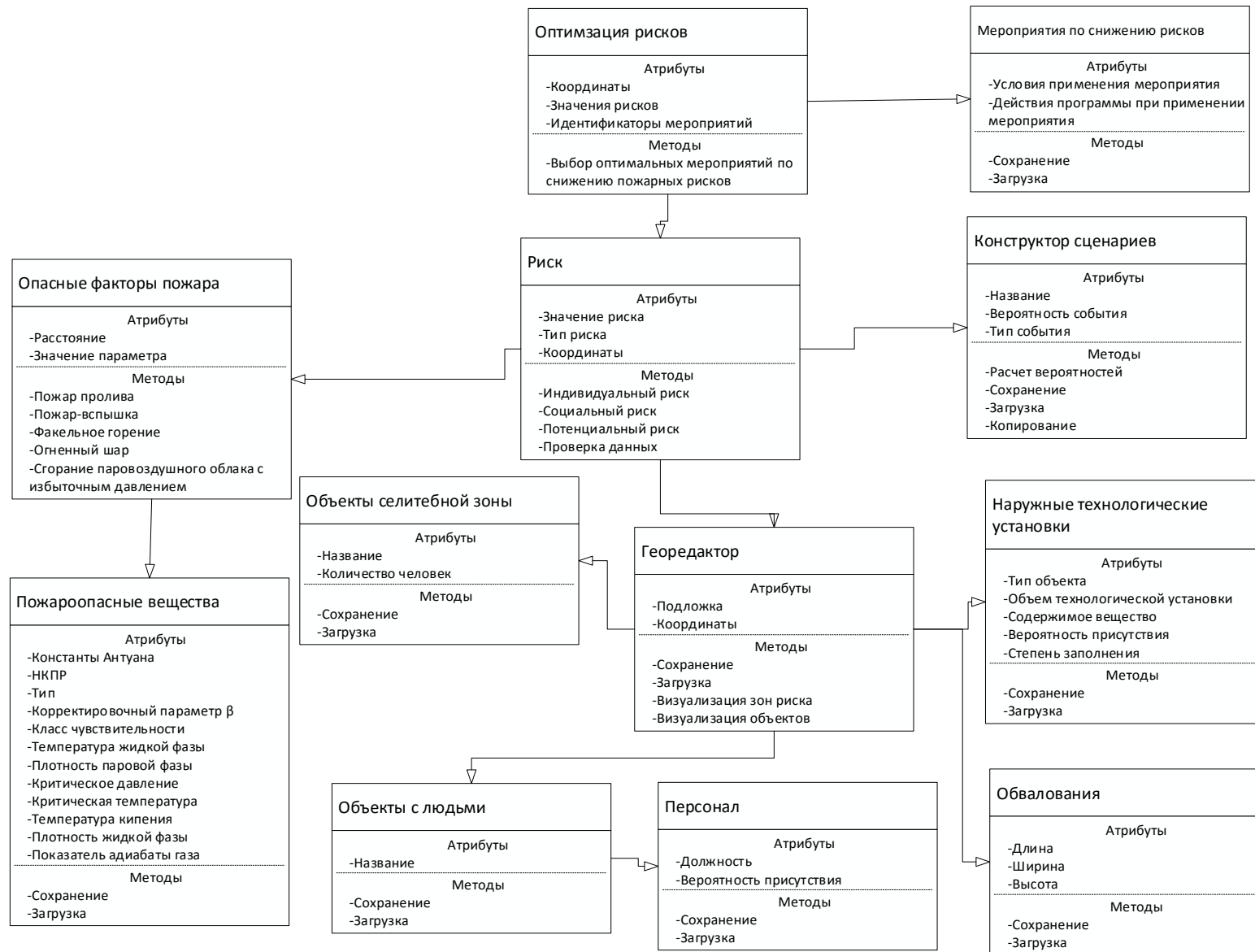


Рисунок 3.3 – Обобщенная диаграмма классов информационной системы «FireRisks»

Применение ООП позволяет более эффективно описывать сложную систему расчета пожарных рисков на территории производств с большим количеством разнообразных объектов. ООП позволяет создавать приложение меньшего объёма за счет использования общих механизмов к разным объектам, что обеспечивает общую экономию и выразительность средств. Использование ООП имеет важную роль в процессе оптимизации величин пожарных рисков, за счет возможности создания неограниченного количества копий рассматриваемого объекта для анализа эффективности рассматриваемых решений по снижению величин пожарных рисков.

### 3.3. Программная реализация информационной системы поддержки принятия решений для управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах

Для наиболее простого и удобного доступа к системе, использовался язык программирования РНР, одним из преимуществ которого является возможность предоставить дистанционный доступ к приложению для неограниченного круга пользователей, т. е. в облачном виде. Язык серверного web-программирования РНР, специально разработан для написания web-приложений [94]. Аббревиатура РНР означает “Hypertext Preprocessor (Препроцессор Гипертекста)”. РНР позволяет создавать качественные Web-приложения за очень короткие сроки, легко модифицируемые и поддерживаемые в будущем. Одним из значительных преимуществ РНР является поддержка широкого круга баз данных. РНР предоставляет программисту средства для быстрого и эффективного решения поставленных задач. РНР может быть встроен непосредственно в html-код страниц, которые, в свою очередь будут корректно обрабатываться РНР-интерпретатором [94, 95].

Стоит отметить, что для решения глобальных задач, таких как построение полей риска и ОФП, ведение баз данных и осуществление удобной взаимосвязи с пользователем, необходимо еще несколько вспомогательных языков программирования и система управления базами данных (СУБД).

Для ведения баз данных и управления ими была использована СУБД MySQL. К её плюсам можно отнести как кроссплатформенность, то есть способность работать на серверах под управлением разных операционных систем.

Для упрощения работы с языком PHP, был использован Yii framework 2.0. К основным возможностям которого можно отнести:

- высокая производительность;
- парадигма Модель-вид-контроллер;
- интерфейсы DAO и ActiveRecord для работы с базами данных;
- поддержка интернационализации;
- кэширование страниц и отдельных фрагментов;
- перехват и обработка ошибок;
- ввод и валидация форм;
- аутентификация и авторизация;
- использование AJAX и интеграция с jQuery;
- генерация базового PHP-кода для CRUD-операций;
- возможность подключения сторонних библиотек;
- автоматическое тестирование.

Для реализации работы с геопространственными данными был использован API Google Maps, который позволяет работать как с встроенными картами, так и с загруженной подложкой.

Для упрощения работы пользователя с системой была разработана интерактивная оболочка, в которой делался акцент на интуитивное понимание интерфейса и процесса расчета. Специальный алгоритм упрощает ввод данных, запрашивая только необходимые параметры веществ, окружающей среды, технологических установок для выполнения заданной задачи.

На рисунке 3.4 изображен блок ввода исходных данных, отвечающий за сбор необходимой информации об объектах, находящихся на территории нефтегазового объекта, а также на прилегающей селитебной зоне. Данный

интерфейс позволяет загружать подложку для дальнейшего расположения технологических установок на ней. Помимо ввода списка объектов на территории и их параметров, в данном блоке производится ввод пожароопасных веществ, обращающихся в технологических установках на территории. Созданная оболочка позволяет максимально сократить время поиска и ввода исходных данных, что в свою очередь напрямую влияет на скорость выполнения расчётов и принятия решений.

**Базовые настройки**

Характеристики зоны размещения предприятия

Название проекта: МНПЗ

Максимальная температура в зоне размещения: 38 °C

Плотность окружающего воздуха: 1 кг/м<sup>3</sup>

Коэффициент разлития: 150

Класс загроможденности окружающего пространства: 3

Подложка

Выбрать подложку

Сохранить

**Объекты с персоналом**

Название	Действия
Первый объект	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Добавить объект

**Селитебные объекты:**

Название	Количество людей	Действия
Жилое здание 1	1000	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Жилое здание 2	3000	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Добавить объект

**Технологические установки:**

Название	Тип	Действия
РГС 100	Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при едичном объеме менее 450 м <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
АЦ	Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при едичном объеме менее 450 м <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
ЖД цистерна	Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при едичном объеме менее 450 м <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Сепаратор	Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при едичном объеме менее 450 м <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
РГС 200	Резервуары для хранения ЛВЖ и ГЖ при давлении, близком к атмосферному (при едичном объеме менее 450 м <sup>3</sup> )	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>

Добавить технологическую установку

Рисунок 3.4 – Блок ввода исходных данных

Блок ввода исходных данных состоит из элементов:

- ввода-вывода данных;
- обмена информацией с базами данных;
- система управления базами данных;
- база данных сохраняемых значений;
- база данных справочных значений.

Вся информация сохраняется в базе данных. Пользователь может в любой момент вернуться исходным данным и отредактировать их. Также информация может использоваться для ведения статистики, которая сможет помочь дальнейшему развитию информационной системы.

Конструктор сценариев представляет собой инструмент, позволяющий создавать деревья развития пожароопасных ситуаций в интерактивном виде (рисунок 3.5). Помимо создания деревьев, этот инструмент позволяет копировать отдельные ветви в другие деревья или проекты. В базе данных содержатся некоторые типовые деревья развития пожароопасных ситуаций, которые могут быть загружены при необходимости. В каждой ячейке дерева содержится следующая информация:

- тип события;
- вероятность события;
- условная вероятность события;
- кнопки редактирования;
- поражающий фактор (при его наличии).

Помимо ячеек с событиями в конце каждого ответвления содержатся кнопки, отвечающие за добавление или вставку нового события.

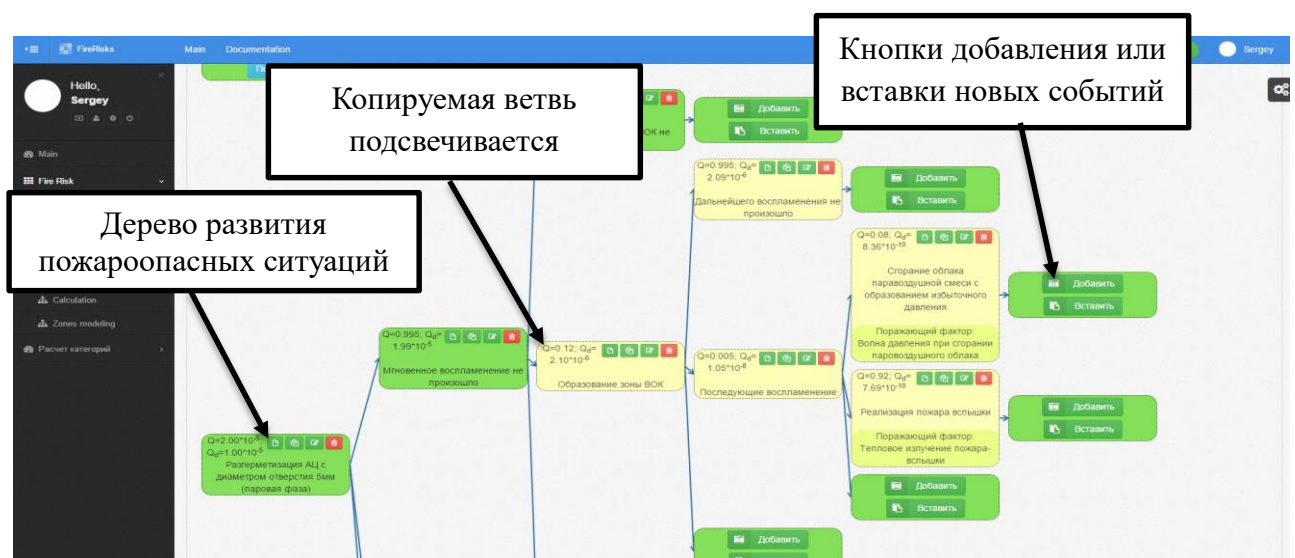


Рисунок 3.5 – Блок “Конструктор сценариев”

Для работы со схемой территории нефтегазового объекта, на базе Google Maps API v3 создан геоинформационный блок (рисунок 3.6), позволяющий установить технологические установки, объекты с людьми, выделить территорию объекта, селитебную зону непосредственно на загруженной подложке или карте Google Maps. Данный блок содержит следующие функции:

- добавление и удаление технологических объектов на территории;
- добавление и удаление здания с персоналом на территории объекта;
- добавление и удаление объектов селитебной зоны;
- выделение зоны нефтегазового объекта;
- установка сооружений, ограничивающих площадь пролива (обвалования, отбортовки);
- установка масштаба загруженной подложки;
- измерение расстояния между двумя заданными точками.

Благодаря наличию вышеуказанных функций, пользователь может формировать достаточно детализированную схему расположения объектов на территории, что в свою очередь будет влиять на точность расчетов при наличии нескольких объектов на территории. Использование карт *Google Maps* позволяет рассматривать селитебную и производственную зоны в интерактивном виде, что является преимуществом в процессе принятия решений.

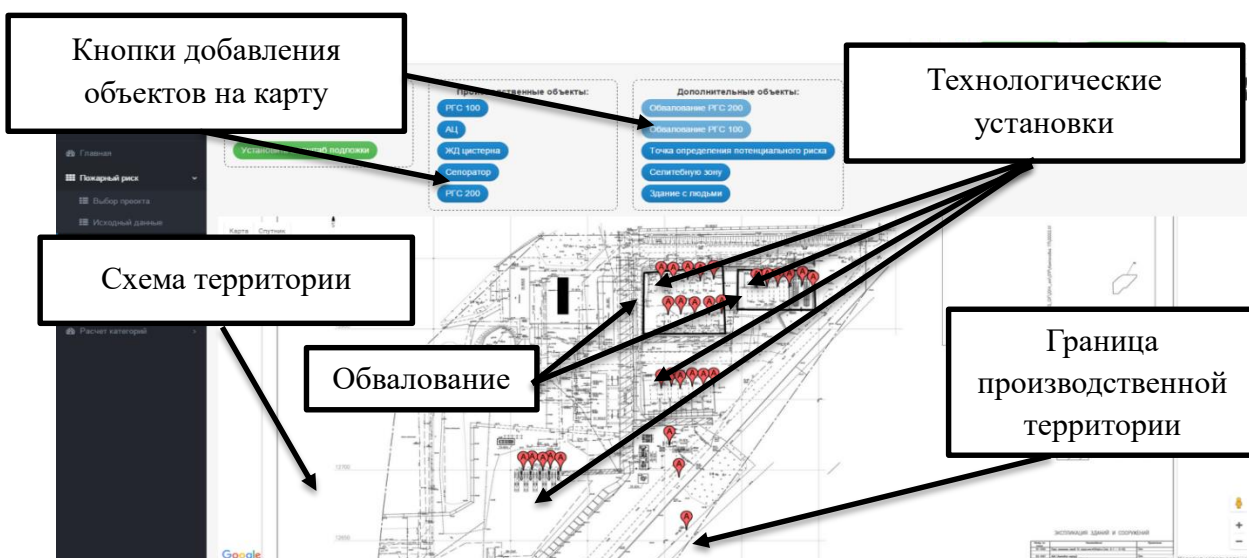


Рисунок 3.6 – Геоинформационный блок

Блок геовизуализации создан для отображения зон распределения пожарных рисков на территории нефтегазового объекта (рисунок 3.7). За счет сохранения в базе данных информации о каждой посчитанной величине, программа не производит повторных расчетов. Таким образом, происходит сильная экономия вычислительных ресурсов центрального процессора. Использование такого подхода позволяет системе строить зоны распределения потенциального риска в режиме реального времени.

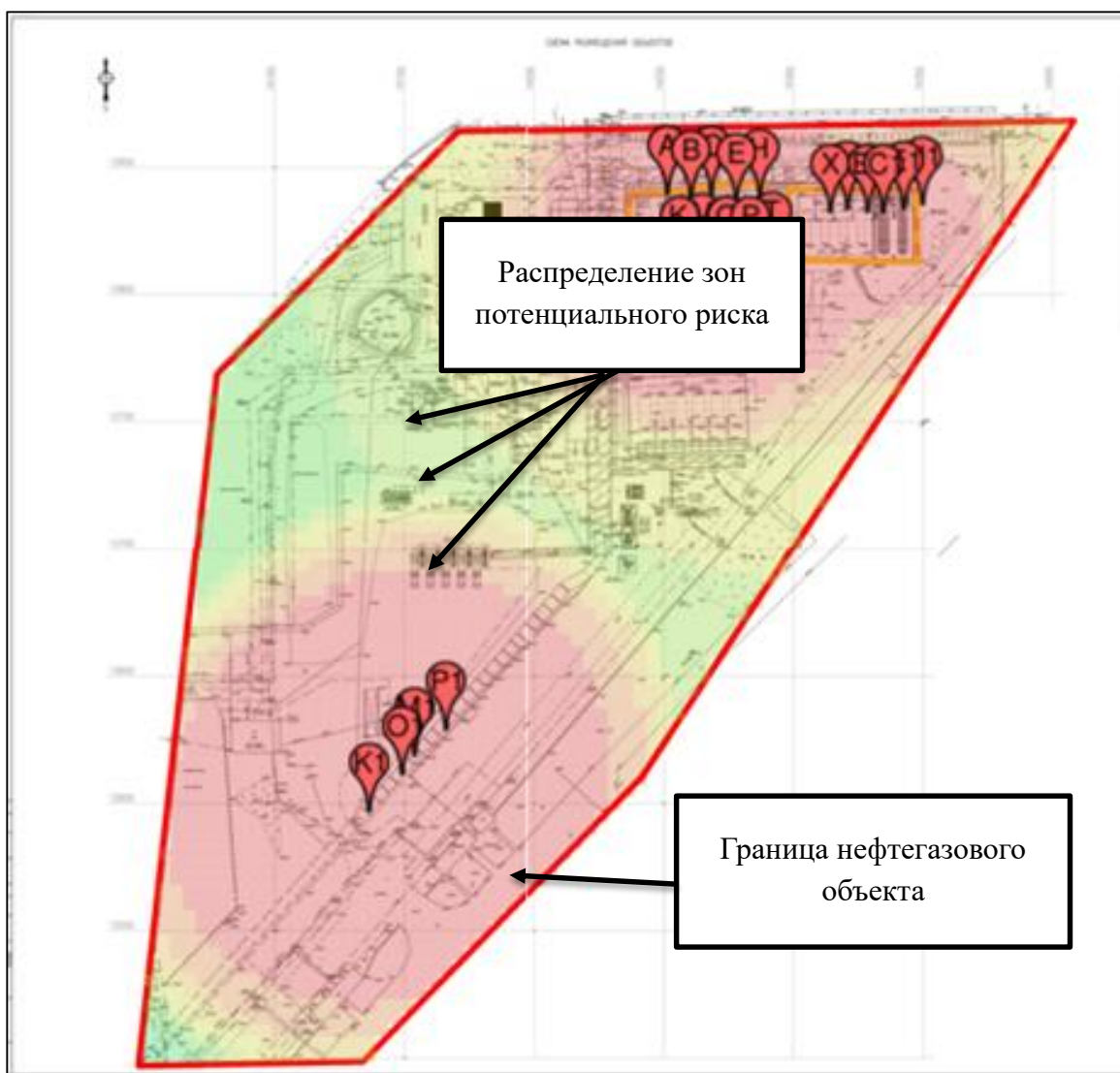


Рисунок 3.7 – Визуализация зон потенциального риска

Блок вывода отчета (рисунок 3.8) служит для отображения детальной информации о проделанных расчетах. Отчет состоит из текстовых и графических данных и содержит следующую информацию:

- анализ пожарной опасности объекта защиты;



- определение частоты реализации пожароопасных ситуаций;
- физико-химические свойства хранящегося вещества;
- характеристики рассматриваемых объектов;
- расчет значений основных параметров для сценариев, связанных с выходом жидкой фазы вещества (или жидкости);
- расчет значений основных параметров для сценариев, связанных с выходом паровой фазы вещества (или газа);
- расчет значений параметров опасных факторов пожара;
- оценки последствий воздействия опасных факторов пожара на людей для различных сценариев его развития;
- расчет значений пожарного риска на территории объекта и прилегающей селитебной зоне.

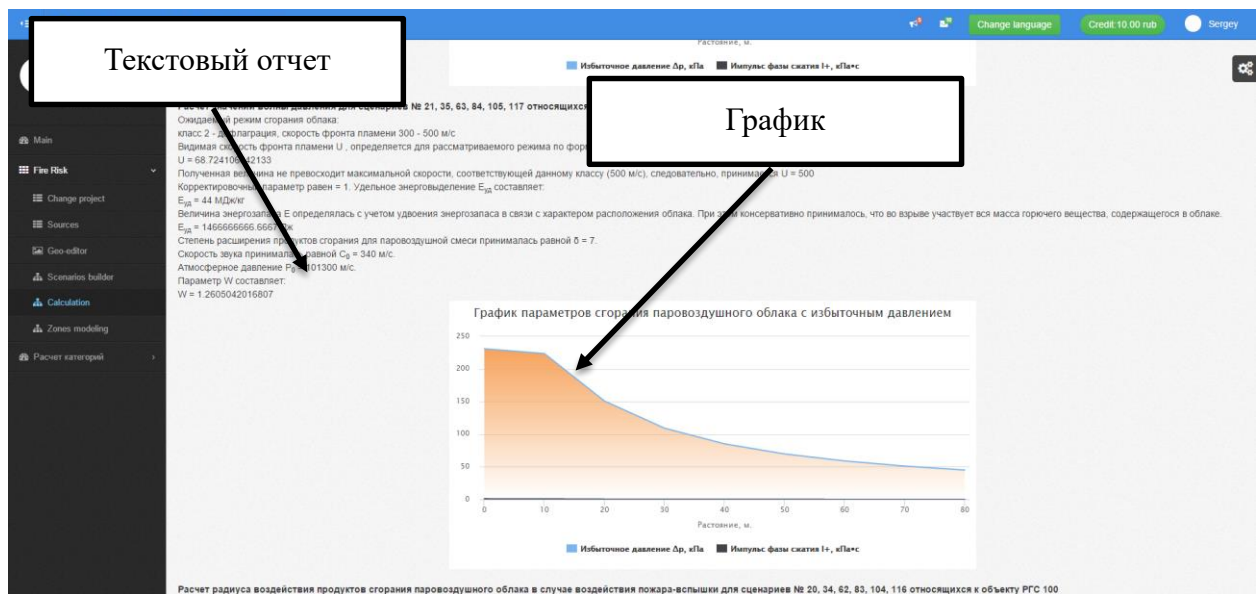


Рисунок 3.8 – Блок вывода отчета

### 3.4. Интеллектуальный блок оптимизации расчетных величин пожарного риска

Для применения генетических алгоритмов при выполнении разных задач оптимизации, создан блок оптимизации расчётных величин пожарного риска [96]. Данный блок выполнен в виде класса, содержащего следующие функции:

1. Генерация популяции (случайная генерация массива чисел обозначающих координаты объекта).

2. Мутация (инвертирование одного или нескольких случайных битов числа).
3. Скрещивание (обмен битами между двумя особями).
4. Колесо рулетки (отбирает особей для формирования новой популяции).
5. Целевая функция (определяет степень приспособленности особи в популяции).

Для создания удобной среды взаимодействия интеллектуального блока и геопространственной информации, необходимо построить координатную сетку на загруженной подложке, мерой которой являются метры, а не градусы как принято у современных геоинформационных сервисов (*Google Maps*), где подложка загружается непосредственно на карту игнорируя масштаб, который должен быть задан в дальнейшем.

Таким образом, создается функция, которая вычисляет координаты правого верхнего угла и кодирует их значения в метры, именно эти значения и будут метрическим отображением размера подложки (с условием что левый нижний угол подложки имеет координаты  $(0,0)$ ). В дальнейшем эти параметры используются для обозначения минимального и максимального размера гена, соответствующей координаты, в битах. Для полного взаимодействия с геопространственной информацией были реализованы следующие функции:

1. Функция определяющая максимальные значения координат (в метрическом измерении) на подложке.
2. Функция кодирования метрических координат в градусы с соблюдением масштаба.
3. Функция сохранения полученных точек (решений) в базу данных, для дальнейшей визуализации хода решения задачи.
4. Функция визуализации полученных точек (решений) на подложке.

В соответствии с решаемыми задачами, создан специальный интерфейс (рисунок 3.9), позволяющий производить анализ эффективности полученной модели. Данный интерфейс содержит следующие элементы:

1. Поиск оптимального расположения новой технологической установки (линейный алгоритм).
2. Поиск оптимального расположения новой технологической установки (генетический алгоритм).
3. Определение лучших мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков рассматриваемого объекта.
4. Определение комбинаций мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков рассматриваемого объекта.
5. Секундомер (для сравнения скорости работы каждого алгоритма).
6. Линейка (для измерения расстояния между двумя точками).

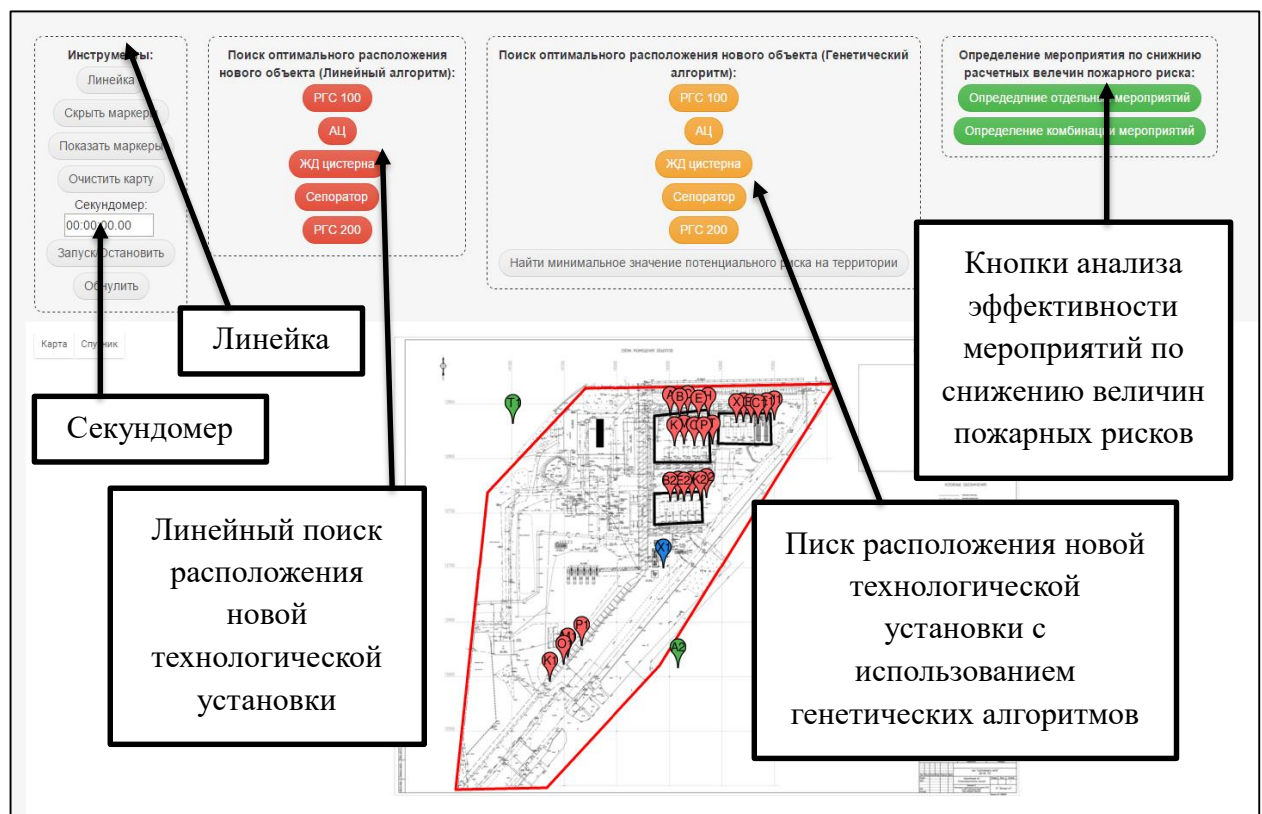


Рисунок 3.9 – Визуальный интерфейс блока для проведения вычислительных экспериментов

### 3.5. Анализ алгоритма поиска комбинации мероприятий по снижению величин пожарных рисков на типовом нефтегазовом объекте

В качестве нефтегазового объекта, на котором проводится пробное расчётное тестирование, является условная газораспределительная станции (ГРС).

Основными технологическими операциями, осуществляемыми на ГРС являются, приём, хранение, перекачивание и отгрузка сжиженных углеводородных газов (СУГ). В состав ГРС входят следующие основные наружные технологические установки, здания и сооружения:

- резервуарный парк СУГ, состоящий из резервуаров горизонтальных стальных (РГС) вместимостью от 50 до 100 мз;
- сепаратор;
- автомобильная и железнодорожная сливо-наливная эстакада СУГ;
- административно-бытовой комплекс (АБК) и операторные.

Состав и содержание расчётных обоснований величины пожарного риска основаны на положениях [6, 12, 24, 27, 97].

Для удобства определения пожарных рисков территория объекта разбивается на зоны и учитывает количество человек обслуживающих данную территорию или технологическую установку (рис. 3.10): синими маркерами отмечены здания с работниками предприятия, зелеными – селитебные зоны, красными – технологические установки.

***Объекты на территории:***

Зона А – зона работы операторов на железнодорожной эстакаде, 2 человека;

Зона Б – зона работы операторов у резервуарной группы (РГС 50), 2 человека;

Зона В – зона работы операторов у резервуарной группы (РГС 100), 2 человека;

Зона Г – зона работы операторов у резервуарной группы (РГС 100), 2 человека;

Зона Д – зона работы операторов у сепаратора, 1 человек;

Зона Е – зона работы операторов на автогазозаправочной станции (АГЗС), 2 человека;

Зона Ж – административно-бытовой комплекс (АБК), 8 человек;

**Прилегающие объекты:**

Зона З – торговый комплекс, 1000 человек;

Зона И – микрорайон “Нефтяник”, 300 человек;

На рисунке 3.10 представлены зоны распространения потенциального пожарного риска на территории ГРС и прилегающей селитебной территории.

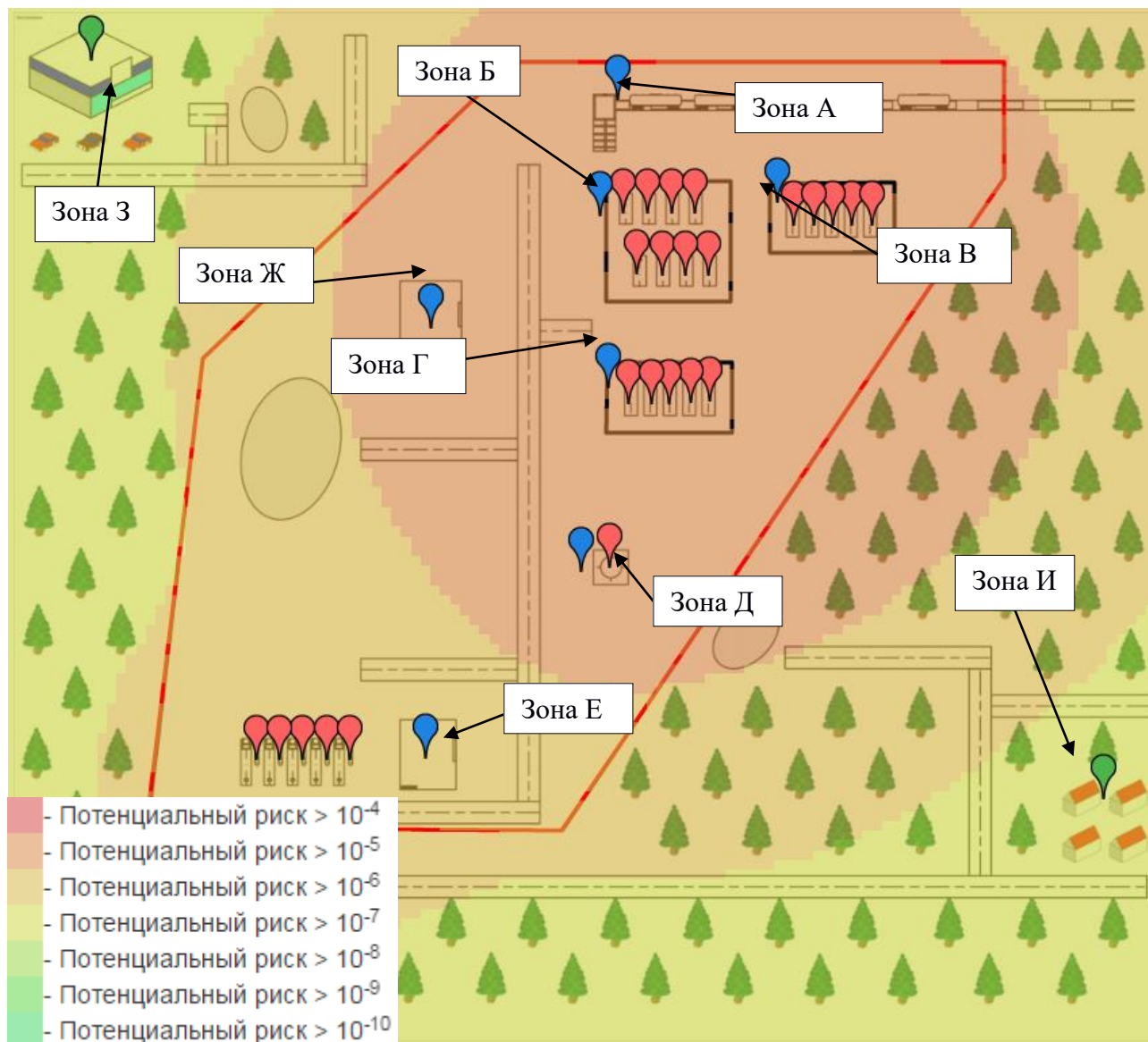


Рисунок 3.10 – Зоны распространения потенциального пожарного риска на территории ГРС и прилегающей селитебной территории

При построении логической схемы развития пожароопасных аварийных ситуаций руководствовались методом построения логических деревьев событий, указанном в [6].

При разработке сценариев возникновения и развития аварийных ситуаций с участием СУГ учитывались следующие особенности:

- при температуре окружающей среды содержимое технологического оборудования представляет собой однофазную (жидкую) среду с давлением превышающим атмосферное;
- воспламенение паровоздушного облака может привести к образованию ударной волны, способной разрушить окружающие объекты;
- рассматривается взрыв расширяющихся паров вскипающей жидкости (BLEVE) с образованием «огненного шара», так как при пожаре на ГРС в очаг пожара могут попасть технологические аппараты с СУГ;
- каждая рассматриваемая пожароопасная ситуация может в итоге реализовать: горение факела, пожар пролива, пожар-вспышка; сгорание паровоздушного облака с образованием избыточного давления взрыва, «огненный шар».

Сценарий, связанный с возникновением «огненного шара», реализуется при воздействии очага пожара на резервуар при отказе систем водяного орошения, а также при квазимгновенном разрушении резервуара (цистерны) при условии мгновенного воспламенения [98].

При расчёте пожарного риска учитываются все размеры утечек на технологическом оборудовании указанные в [6, 99]. С учетом этого для перечисленных ранее технологических аппаратов (РГС 50 м<sup>3</sup>, РГС 100 м<sup>3</sup>, АЦ, Ж/Д цистерна, сепаратор) в информационной системе формируются 55 сценариев развития аварий в виде логических деревьев событий.

При расчете величины пожарного риска учитываются все размеры утечек на технологическом оборудовании, указанные в [6]. С учетом этого для перечисленных ранее технологических аппаратов (РГС вместимостью 50 м<sup>3</sup> (РГС 50), 100 м<sup>3</sup> (РГС 100), АЦ, железнодорожная цистерна, сепаратор) в информационной системе формируются 94 сценария развития аварий в виде

логических деревьев событий. Таким образом, рассматривались следующие типы сценариев (рисунок 3.11).

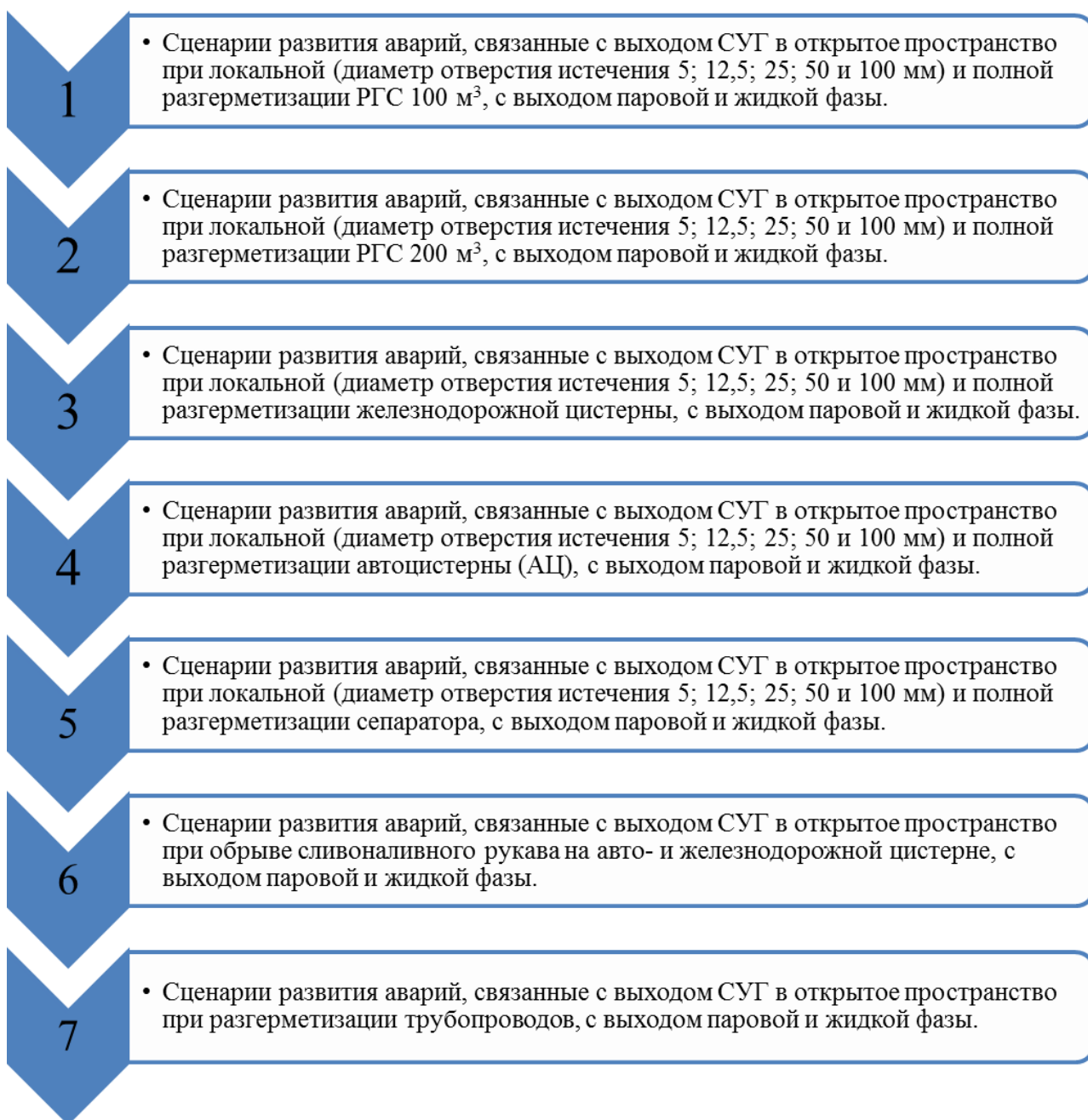


Рисунок 3.11 – Рассматриваемые типы сценариев

Для 94-х логических деревьев событий разрабатывается 322 сценария. Для каждого из них определяется своя условная вероятность.

Определение условной вероятности поражения людей в расчётном модуле, производится с помощью пробит-функции по установленным расчётным формулам, включая условную вероятность поражения человека при взрыве

паровоздушной смеси и при тепловом излучении пожара пролива и пожара-вспышки.

Следуя требованиям документа [6] определен потенциальный пожарный риск, являющийся промежуточной величиной при оценке индивидуального пожарного риска с дальнейшей его оценкой. На завершающем этапе проведена оценка социального и индивидуального пожарного риска на селитебной территории.

Далее представлены результаты расчетов и итоговые значения величин пожарных рисков для каждого рассмотренного иницирующего пожароопасную ситуацию события согласно данным приведённым выше.

Результаты расчетов пожарных рисков представлены в табл. 3.4 и обобщены на рис. 3.12.

Таблица 3.4 – Результаты расчётного определения значений величин индивидуального и социального пожарного риска

Зона территории	Вероятность присутствия людей	Индивидуальный пожарный риск		Социальный пожарный риск	
		нормативный	фактический	нормативный	фактический
А	0,5	$1 \cdot 10^{-6}$ или $10^{-4}$	$8,14 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$ или $1 \cdot 10^{-5}$	$6,41 \cdot 10^{-7}$
Б	0,5		$1,09 \cdot 10^{-5}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
В	0,5		$1,14 \cdot 10^{-5}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
Г	0,5		$1,02 \cdot 10^{-5}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
Д	0,5		$4,90 \cdot 10^{-6}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
Е	0,5		$7,80 \cdot 10^{-7}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
Ж	0,5		$5,04 \cdot 10^{-6}$		$6,41 \cdot 10^{-7}$
З	1,0	$1 \cdot 10^{-8}$ или $1 \cdot 10^{-6}$	$2,35 \cdot 10^{-7}$		$2,28 \cdot 10^{-7}$
И	1,0		$2,89 \cdot 10^{-7}$		$2,28 \cdot 10^{-7}$





Рисунок 3.12 – Результаты расчета величин пожарных рисков

Для производственных объектов, на которых для людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения вблизи объекта, обеспечение величины  $R_{(н)} \leq 10^{-8}$ , год<sup>-1</sup> и (или) величины  $S_{(н)} \leq 10^{-7}$ , год<sup>-1</sup> невозможно в связи со спецификой функционирования технологических процессов, допускается увеличение  $R_{(н)}$  до  $10^{-6}$ , год<sup>-1</sup> и (или)  $S_{(н)}$  до  $10^{-5}$ , год<sup>-1</sup>. При этом должны быть предусмотрены средства оповещения людей, находящихся в жилой зоне, общественно-деловой зоне или зоне рекреационного назначения, о пожаре на производственном объекте, а также дополнительные инженерно-технические и организационные мероприятия по обеспечению их пожарной безопасности и социальной защите [12].

Для создания модели поиска комбинаций мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков на нефтегазовых объектах, а также проведения её анализа был сформирован примерный список мероприятий по управлению пожарной безопасностью с условными капитальными, эксплуатационными и приведенными затратами от базовой величины  $X$  (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Мероприятия по управлению пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах

Номер	Мероприятие по снижению расчетных величин пожарных рисков	К, руб	С <sub>э</sub> , руб/год	П, руб/год
1	Уменьшить степень заполнения на 15 %	0	X	X
2	Уменьшить вероятность пребывания нестационарного аппарата на 20 %	0	0,3X	0,3X
3	Установить автоматическую установку пожарной сигнализации	0,3X	0,1X	0,16X
4	Установить автоматическую установку пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организации (вне зависимости от типа установки пожаротушения)	X	0,3X	0,5X
5	Установить автоматическую установку водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	0,6X	0,15X	0,27X
6	Установить остальные типы автоматических установок пожаротушения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	0,5X	0,1X	0,2X
7	Установить отбортовку 30 м <sup>2</sup>	0,15X	0,01X	0,04X

Для 5-ти типов объектов на территории формируется 30 вариантов возможных мероприятий (РГС 50 – 5 мероприятий, АЦ – 7 мероприятий, ЖД цистерна – 7 мероприятий, сепаратор – 6 мероприятий, РГС 100 – 5 мероприятий) (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Возможные мероприятия для каждой технологической установки на территории газораспределительной станции

Номер	Технологические установки	Мероприятие по снижению расчетных величин пожарных рисков
1	РГС 50, АЦ, ЖД цистерна, Сепаратор, РГС 100	Уменьшить степень заполнения на 15 %
2	АЦ, ЖД цистерна	Уменьшите вероятность пребывания объекта на 20%
3	РГС 50, АЦ, ЖД цистерна, Сепаратор, РГС 100	Установить автоматическую установку пожарной сигнализации
4	РГС 50, АЦ, ЖД цистерна, Сепаратор, РГС 100	Установить автоматическую установку пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организации (вне зависимости от типа установки пожаротушения)
5	РГС 50, АЦ, ЖД цистерна, Сепаратор, РГС 100	Установить автоматическую установку водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией
6	РГС 50, АЦ, ЖД цистерна, Сепаратор, РГС 100	Установить остальные типы автоматических установок пожаротушения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией
7	АЦ, ЖД цистерна, Сепаратор	Установить отбортовку 30 м <sup>2</sup>

Согласно формулам комбинаторики, количество возможных сочетаний  $C$  определяется по следующей формуле [100]:

$$C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!} \quad (3.2)$$

где  $n$  – количество возможных мероприятий,  $m$  – количество мероприятий в одном сочетании.

Таким образом, чтобы получить общее количество мероприятий для одной группы объектов необходимо, высчитать сумму сочетаний с различным количеством мероприятий в одном сочетании (от 1-го до количества уникальных

мероприятий), а затем полученный результат умножить на количество замещающих друг друга мероприятий.

$$K = \left( \sum_{m=1}^M \frac{n!}{m! (n-m)!} \right) * Y, \quad (3.3)$$

где  $K$  – количество возможных комбинаций мероприятий для одной группы технологических объектов,  $M$  – количество уникальных мероприятий,  $Y$  – количество замещающих друг друга мероприятий.

Чтобы получить общее количество мероприятий  $R$  необходимо получить произведение возможного количества мероприятий для каждой группы технологических аппаратов на территории.

$$R = \sum_{g=1}^G K_g, \quad (3.4)$$

Где  $R$  – общее количество возможных сочетаний мероприятий на рассматриваемом нефтегазовом объекте,  $G$  – количество групп технологических аппаратов на территории.

Для объектов РГС 50, РГС 100 возможно применение 5-ти видов различных мероприятий, 1 группа из 3-х мероприятий является взаимозамещающей (мероприятия № 4-6):

$$K_{1,2} = \left( \sum_{m=1}^3 \frac{3!}{m! (3-m)!} \right) * 3 = 21 \text{ сочетание.} \quad (3.5)$$

Для сепаратора возможно применение 6-ти видов различных мероприятий, 1 группа из 3-х мероприятий является взаимозамещающей (мероприятия № 4-6):

$$K_3 = \left( \sum_{m=1}^4 \frac{4!}{m! (4-m)!} \right) * 3 = 45 \text{ сочетаний.} \quad (3.6)$$

По аналогии рассчитано количество возможных комбинаций мероприятий для ЖД цистерны и АЦ:

$$K_{4,5} = \left( \sum_{m=1}^5 \frac{5!}{m! (5-m)!} \right) * 3 = 93 \text{ сочетаний.} \quad (3.7)$$

Для определения общего количества комбинаций мероприятий необходимо получить произведение полученных результатов с учетом количества групп каждого типа объекта на территории.

Результаты расчета сведены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Сводная таблица количества возможных комбинаций мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков на территории газораспределительной станции

№	Технологические установки	Номера возможных мероприятий	Количество мероприятий	Количество возможных комбинаций мероприятий	Количество групп объектов на территории	Общее количество возможных комбинаций мероприятий
1	РГС 50	1, 3-6	5	21	1	3 604 427 505
2	АЦ	1-7	7	93	1	
3	ЖД цистерна	1-7	7	93	1	
4	Сепаратор	1, 3-7	5	45	1	
5	РГС 100	1, 3-6	6	21	2	

Так как при рассмотрении мероприятий происходит перерасчет величин пожарных рисков, а разработанная информационная система по управлению пожарной безопасностью способна выполнять примерно один on-line расчет в секунду, то при заданных параметрах производительности ЭВМ, для выполнения 3 604 427 505 операций потребуется примерно 1142,9 лет, при следующих характеристиках сервера:

- материнская плата: ASUS X99-A (RTL) LGA2011-3;
- процессор CPU Intel Core i7-5820K 3.3 GHz / 6 core;

– оперативная память: DDR4 PC4-17000 (4x8 Gb).

Исходя из вышесказанного, сделан вывод о необходимости использования оптимизационной модели для уменьшения количества необходимых операций для определения оптимальной комбинации мероприятий по снижению расчетных величин пожарных рисков.

Анализ эффективности полученной модели проходил в несколько этапов, с использованием, представленной во второй главе целевой функции. На первом этапе были оценены параметры  $Q$  и  $D$  целевой функции при использовании каждого мероприятия по отдельности (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Список возможных мероприятий и параметров целевой функции  $Q$  и  $D$  при их применении

№	Мероприятие	Объект	Q	D
1	2	3	4	5
1	Уменьшить вероятность пребывания объекта на 20%	АЦ	16	0,781
2		ЖД цистерна	16	0,779
3	Уменьшить степень заполнения на 15%	АЦ	16	0,779
4		ЖД цистерна	16	0,779
5		Сепаратор	16	0,779
6		РГС 100	16	0,779
7		РГС 50	16	0,779
8		РГС 100 (группа 2)	16	0,779
9	Установить автоматическую установку водяного (пенного) пожаротушения или водяного орошения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	АЦ	16	0,779
10		ЖД цистерна	16	0,779
11		Сепаратор	16	0,779
12		РГС 100	16	0,779
13		РГС 50	16	0,779
14		РГС 100 (группа 2)	16	0,779
15	Установить автоматическую установку пожарной сигнализации	АЦ	16	0,788
16		ЖД цистерна	16	0,781
17		Сепаратор	16	0,790
18		РГС 100	17	0,871
19		РГС 50	17	0,953
20		РГС 100 (группа 2)	17	0,974

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4	5
21	Установить автоматическую установку пожаротушения или водяного орошения при наличии контроля за работоспособностью установки независимой организации (вне зависимости от типа установки пожаротушения)	АЦ	16	0,779
22		ЖД цистерна	16	0,779
23		Сепаратор	16	0,779
24		РГС 100	16	0,779
25		РГС 50	16	0,779
26		РГС 100 (группа 2)	16	0,779
27	Установить остальные типы автоматических установок пожаротушения при отсутствии контроля за работоспособностью установки независимой организацией	АЦ	16	0,779
28		ЖД цистерна	16	0,779
29		Сепаратор	16	0,779
30		РГС 100	16	0,779
31		РГС 50	16	0,779
32		РГС 100 (группа 2)	16	0,779
33	Установить отбортовку 30 м <sup>2</sup>	АЦ	16	0,779
34		ЖД цистерна	16	0,779
35		Сепаратор	16	0,779

На следующем этапе проводился поиск комбинаций мероприятий при помощи предложенной модели с целью её анализа и подбора наилучших параметров. Критерием остановки поиска являлась ситуация, когда предлагаемые мероприятия сходятся на 90 и более процентов. После ряда вычислительных экспериментов были определены следующие оптимальные настройки генетического алгоритма:

- вероятность скрещивания – 80%;
- вероятность мутации – 30%.

Для создания высокой вариативности комбинаций мероприятий был выбран высокий процент скрещивания (90%) и мутации (30%).

Мутация 30% особей была выбрана, так как при этом значении увеличивается вариативность предлагаемых комбинаций мероприятий, что ведет к увеличению качества результатов работы алгоритма. Использование показателя ниже 30% ведет к уменьшению вариативности рассматриваемых комбинаций и ухудшению качества результатов. При увеличении вариативности так же наблюдается снижение качества алгоритма (рисунок 3.13).

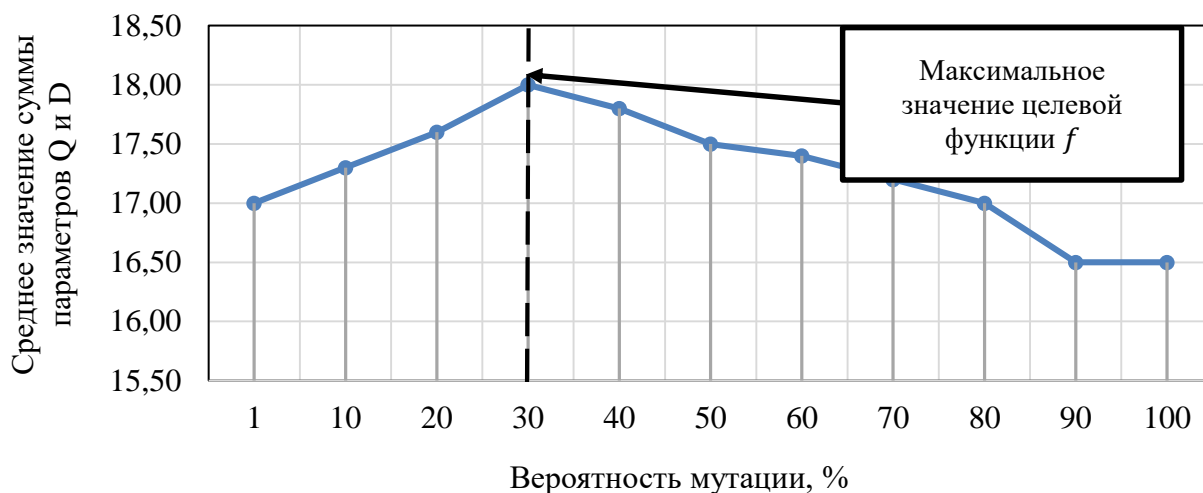


Рисунок 3.13 – Зависимость среднего значения суммы параметров целевой функции  $Q$  и  $D$  от вероятности мутации

Вероятность скрещивания выбиралась из промежутка 50-90%, и была определена как 80% так как при этом значении наблюдалась наиболее большая вариативность предлагаемых решений (рисунок 3.14).

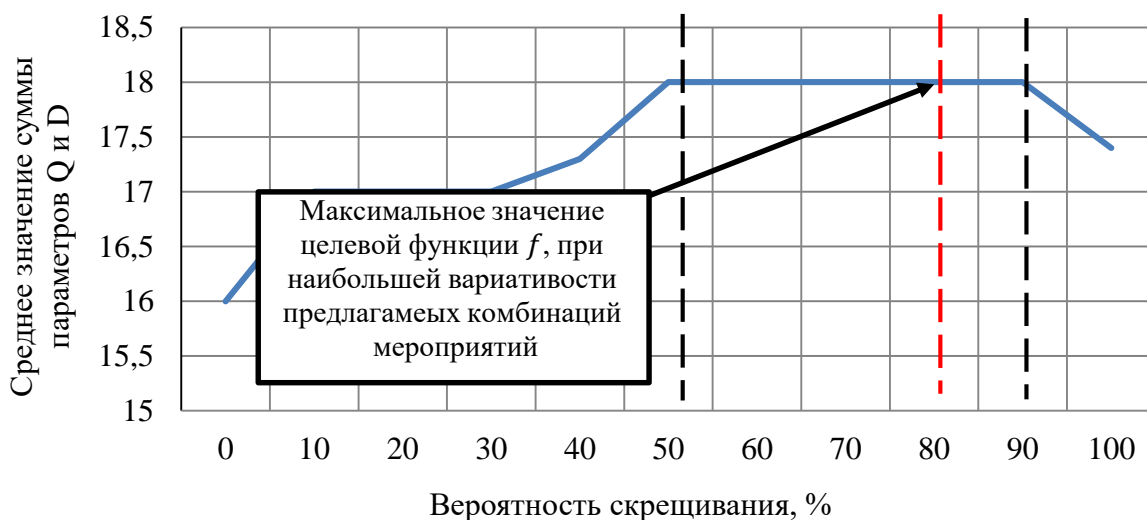


Рисунок 3.14 – Зависимость среднего значения суммы параметров целевой функции  $Q$  и  $D$  от вероятности мутации

После проведения поиска комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью с использованием предложенной модели, определен список возможных комбинаций. Из них была сформирована таблица со списками самых эффективных комбинаций при разном количестве мероприятий (таблица 3.9).



Таблица 3.9 – Ранжирование комбинаций мероприятий по снижению расчётных величин пожарных рисков при различном количестве решений в них

Количество мероприятий	Номера решений по табл. 3	Q	D	П
10	7, 8, 1, 2, 15, 18, 19, 26, 27, 33	18	0	2,42X
9	7, 8, 1, 2, 15, 18, 19, 26, 27	18	0	2,38X
8	5, 1, 15, 17, 18, 19, 22, 24	18	0	2,24X
7	7, 1, 2, 15, 18, 19, 26	18	0	1,88X
6	5, 1, 15, 18, 19, 22	18	0	1,58X
5	5, 16, 18, 20, 10	18	0	1,05X
4	1, 15, 16, 19	18	0	1,03X
3	5, 15, 16	18	0	0,62X
2	7, 15	17	0,980	0,46X

Время выполнения подбора мероприятий составило чуть более 210 мин. Предложенная модель всегда находила комбинации мероприятий с высоким значением целевой функции, хотя при подборе комбинаций возможны варианты с большим количеством мероприятий, но низким значением целевой функции. Например, при комбинации мероприятий № 3, 4, 5, 6, 1, 16, 21, 24, 10, 11, параметры целевой функции равняются:  $Q = 16$ ,  $D = 0,783$ ,  $P = 3,2X$ . Несмотря на то, что в таблице 3.9 при разном количестве мероприятий в комбинации представлен лишь один вариант набора мероприятий, программа может выводить множество альтернативных вариантов комбинаций с высоким значением целевой функции при требуемом количестве мероприятий в одной комбинации.

Так как в классическом представлении генетических алгоритмов отсутствует возможность определения оптимального набора мероприятий при разном их количестве в пределах одной серии моделирования, необходимо проводить повторные моделирования для разного количества мероприятий в наборе, что ведет к увеличению времени моделирования и усложнению процесса принятия решений.

Для увеличения скорости выполнения моделирования применен подход используемый в адаптивной модели генетических алгоритмов, заключающийся в случайном удалении одного мероприятия из набора в пределах одной серии

моделирования. Критерием остановки поиска была выбрана ситуация, когда в комбинации остается только одно мероприятие

После ряда экспериментов было выявлено, что вероятность удаления гена (мероприятия) из хромосомы (мероприятия из набора), при использовании адаптивной модели, значительно влияет на время моделирования, при этом качество подобранных комбинаций до определённого момента не меняется (рисунок 3.15). Поэтому вероятность удаления гена (мероприятия) из хромосомы (набора мероприятий) была принята равной 75 %.

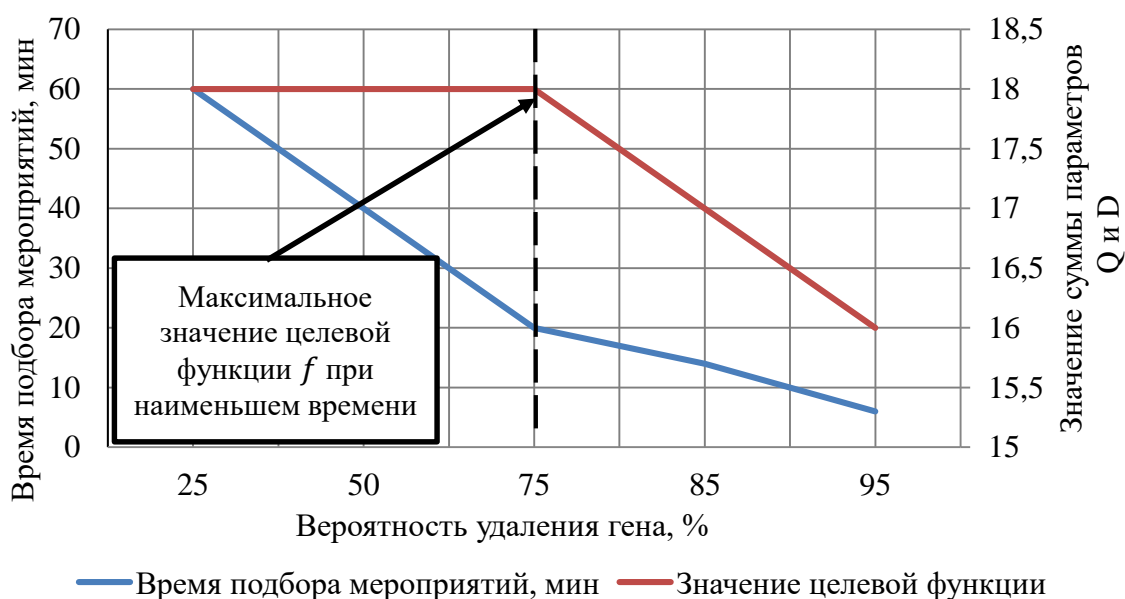


Рисунок 3.15 – Зависимость времени подбора комбинаций мероприятий и суммы параметров целевой функции Q и D от вероятности удаления гена (мероприятия) из хромосомы (мероприятия из набора).

На рисунке 3.16 отражены экспериментально полученные данные об отношении затрачиваемого времени на серию моделирований к количеству рассматриваемых мероприятий в наборе при использовании классической и адаптивной модели генетических алгоритмов

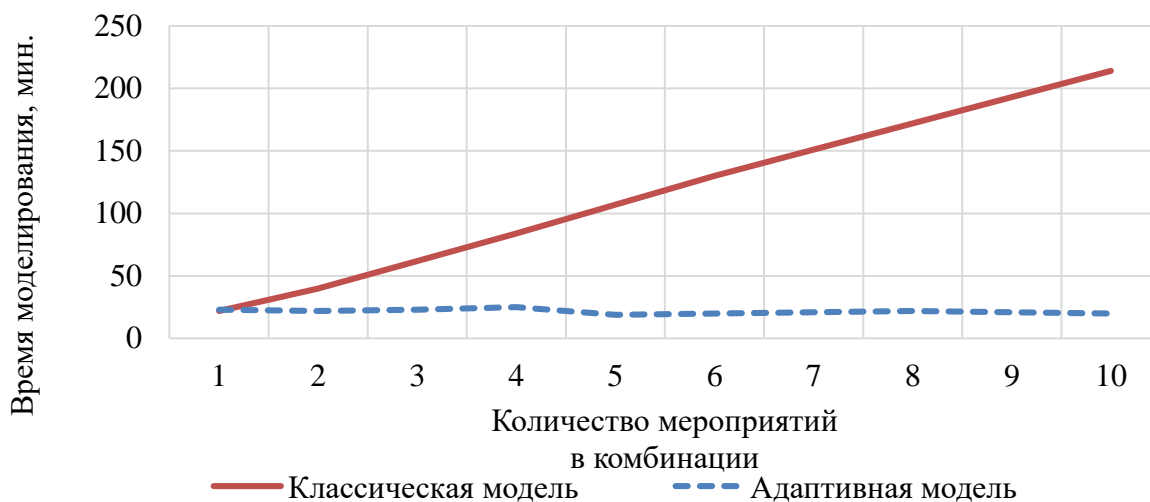


Рисунок 3.16 – Зависимость затрачиваемого времени на серию моделирований к количеству рассматриваемых мероприятий наборе

На следующем рисунке (рисунок 3.17) отражено затраченное время поиска оптимального набора мероприятий для рассматриваемого проекта.



Рисунок 3.17 – Затраченное время поиска оптимального набора мероприятий для рассматриваемого проекта

Таким образом, адаптивная модель показала значительное увеличение скорости подбора комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью нефтегазовых объектов.

### 3.6. Анализ алгоритма поиска расположения новой технологической установки на примере типовой газораспределительной станции

Для оценки эффективности использования разработанного алгоритма с использованием генетических алгоритмов, при решении задачи поиска оптимального расположения новой технологической установки на территории нефтегазового объекта с точки зрения безопасности, рассмотрена ситуация, заключающаяся в необходимости расположения одного дополнительного резервуара РГС 50 на территории предприятия.

Вычислительный эксперимент состоял из нескольких этапов. На первом этапе произведен поиск оптимального расположения новой технологической установки на территории нефтегазового объекта при помощи линейного алгоритма поиска (рассмотрение каждого метра территории как возможного оптимума) (рисунок 3.18). Красным цветом отмечены зоны содержащие оптимальные или близкие к оптимуму значения, глобальный оптимум помечен синим маркером “Optimum”. Не смотря на точность линейного поиска, этот алгоритм требует большого количества времени и вычислительных ресурсов.

Общее время выполнения моделирования составило 1 час 16 минут 36 секунд. Общее количество рассматриваемых точек на карте составило 71700. Необходимый объём оперативной памяти для выполнения эксперимента составил 28,735 Мегабайт. Исходя из этого, можно сделать вывод, что в настоящее время выполнение линейных расчетов по поиску оптимального расположения нового технологического объекта с точностью 1 м является сложной задачей в виду большого значительного вычислительных ресурсов и времени.

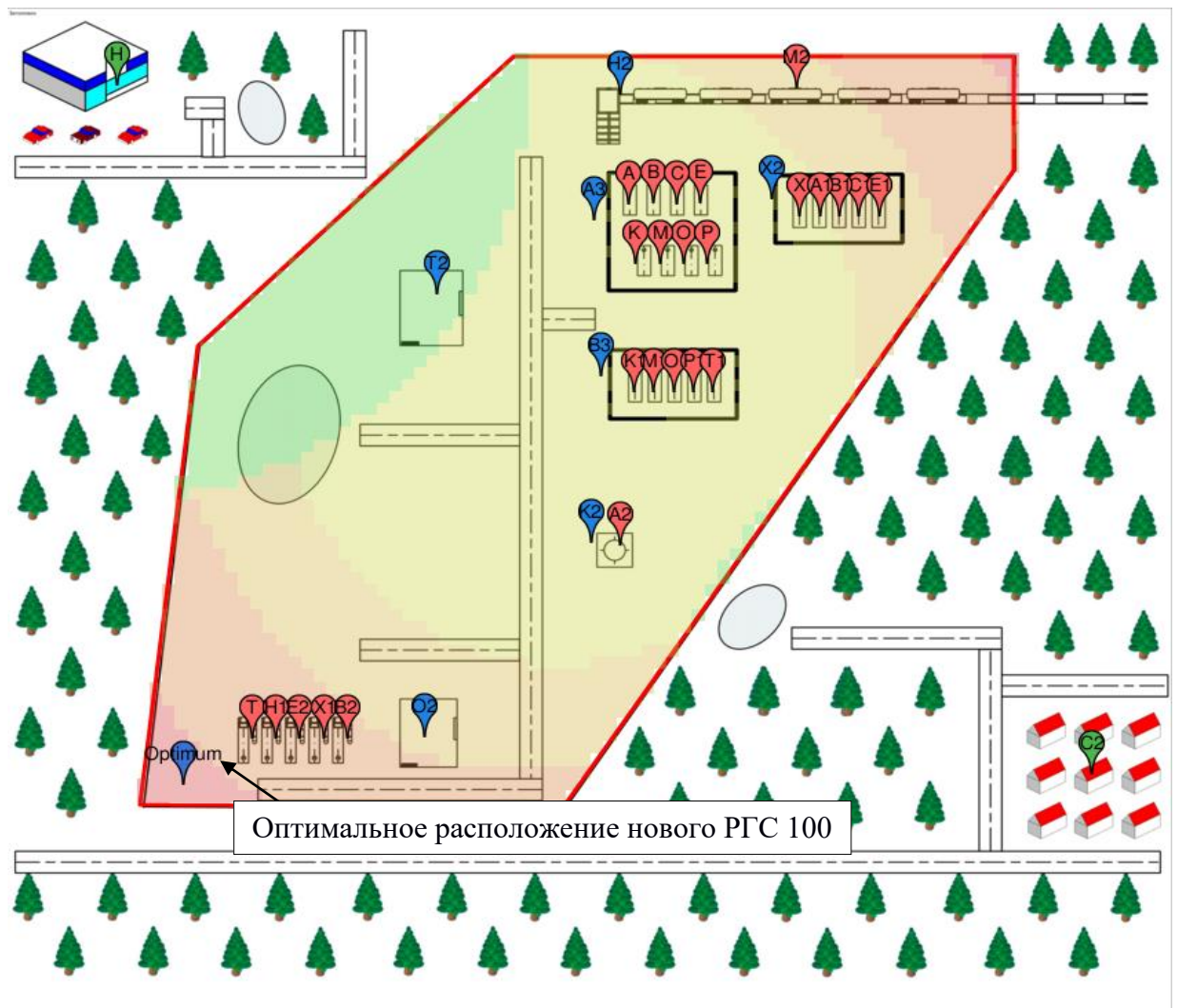


Рисунок 3.18 – Линейный поиск оптимального расположения нового РГС 50

Следующим этапом эксперимента являлся поиск оптимального расположения новой технологической установки при помощи разработанного алгоритма. Критерием остановки было определено ограниченное количество популяций. Так как количество рассматриваемых точек должно зависеть от размера территории, количеством популяций являлась сумма ширины и длины территории. Размер популяции определялся суммой битов зашифрованных строк, умноженных на 2.

### *Эксперимент № 1.*

Количество мутируемых особей – 20%, количество особей подвергаемых скрещиванию – 50%. После проведения 10-ти экспериментов, были выявлены случаи когда алгоритм “застревал” в локальных зонах и рассматривал ложные зоны как содержащие оптимум (рисунок 3.19). Причем, несмотря на большое

количество операций в локальных зонах, имели место случаи, когда оптимальное значение в них так и не было найдено. Красным помечены зоны, в которых алгоритм выполнял наибольшее количество операций.

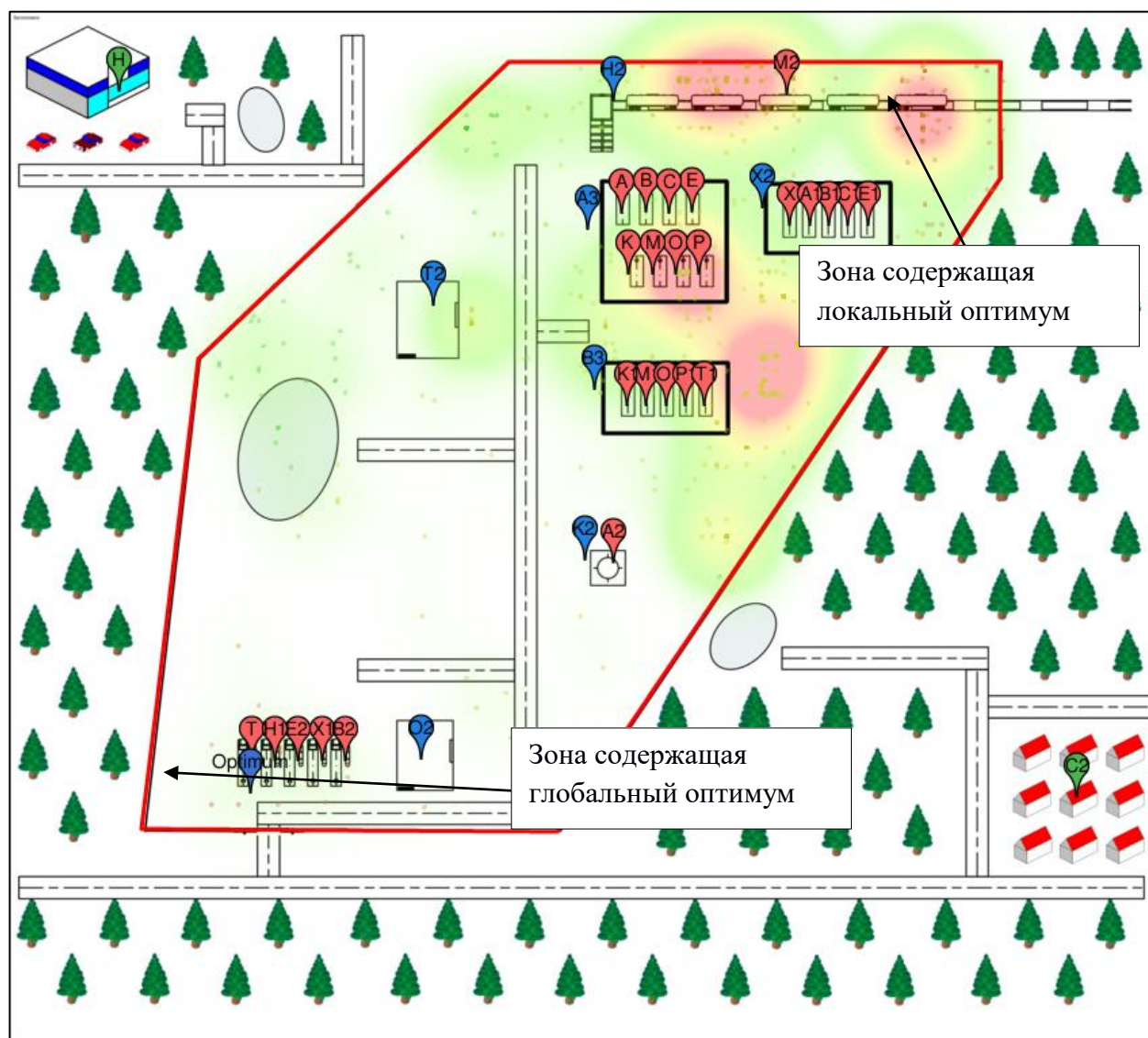


Рисунок 3.19 – Поиск глобального оптимума генетическим алгоритмом в зонах с локальными оптимумами

### *Эксперимент № 2.*

Для охвата большего количества зон территории процент мутирующих особей был увеличен до 50%, а количество скрещивающихся особей до 90%. В результате этого, в каждом из 10-ти экспериментов все зоны содержащие локальные оптимумы были рассмотрены. Недостатком являлось периодическое чрезмерное количество операций производимых в зонах локальных оптимумов

и малое количество операций в других (рисунок 3.20), что может в некоторых случаях привести к определению локального оптимума как глобального.

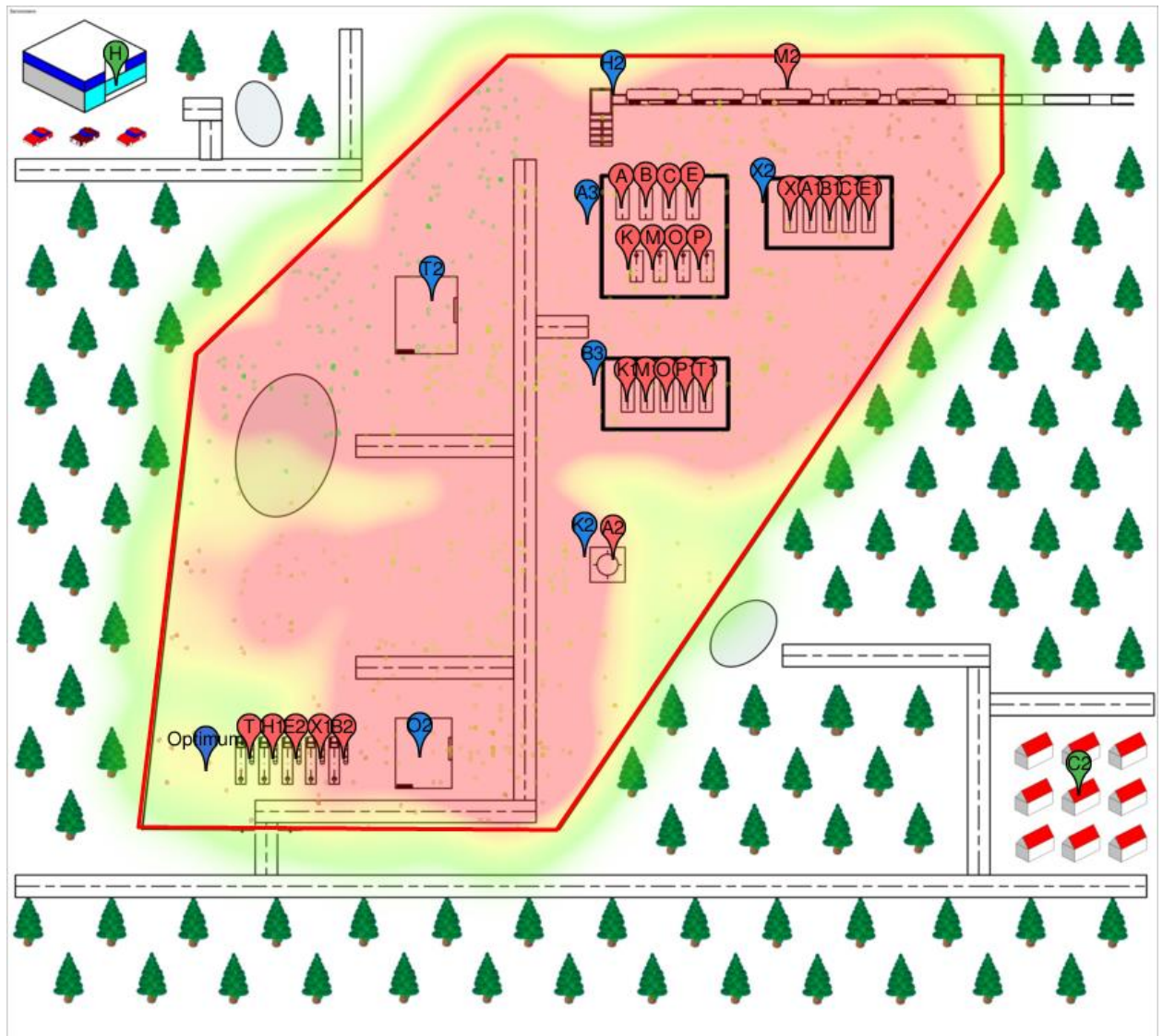


Рисунок 3.20 – Чрезмерное количество операций в зонах локальных оптимумов

### *Эксперимент № 3.*

Для решения этой проблемы был использован метод “инцеста” описанный во второй главе (рисунок 3.21). При использовании этого метода проблема неравномерного количества операций в зонах содержащих локальные оптимумы была решена.

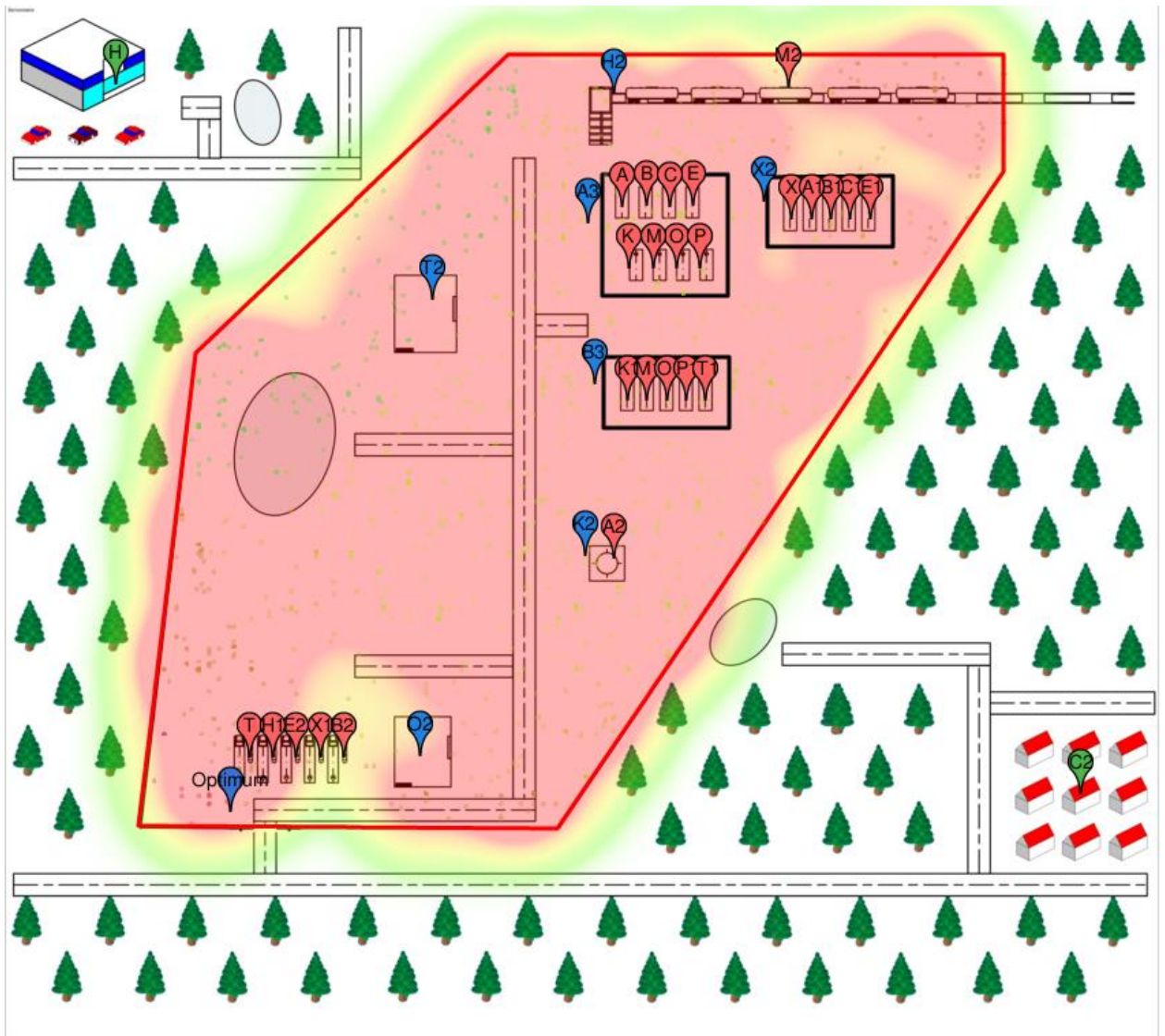


Рисунок 3.21 – Использование метода инцеста для поиска глобального оптимума

#### ***Эксперимент № 4.***

Так как при поиске локального оптимума при помощи линейного алгоритма погрешность составляла 1 м, а при использовании генетических алгоритмов эта погрешность составляет 5 м, то сравнивать скорость работы этих алгоритмов нельзя. Для возможности сравнения этих алгоритмов был проведен поиск оптимального расположения нового технологического объекта при помощи линейного алгоритма с погрешностью 5 м.

Результаты всех экспериментов представлены в таблице 3.10, а также визуально изображены на рисунках 3.22 и 3.23.



Таблица 3.10 – Результаты поиска оптимального расположения новой технологической установки на территории нефтегазового объекта с использованием различных методов

№	Количество мутируемых особей, %	Количество особей подвергаемых скрещиванию, %	Количество рассмотренных точек, ед.	Погрешность, м	Использование метода инцеста	Количество оперативной памяти, мб	Время, мин.
1	20	50	1083	19	нет	524	0:43
2	50	90	874	5	нет	456	0:41
3	50	90	852	5	да	437	0:38
4	-	-	2868	5	нет	1180	3:02

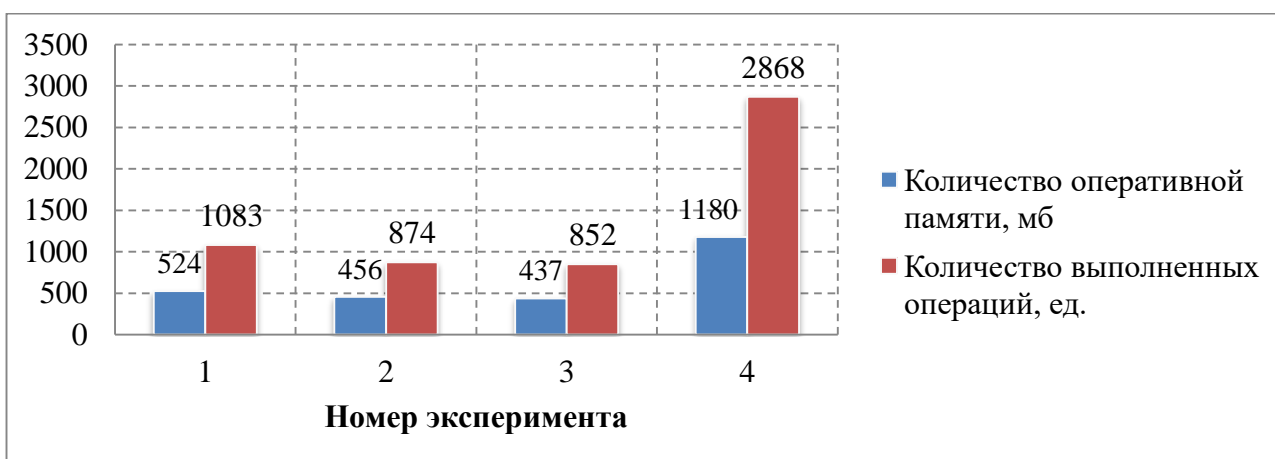


Рисунок 3.22 – Сравнение количества требуемой оперативной памяти и количества операций при использовании разных методов поиска оптимального расположения новой технологической установки

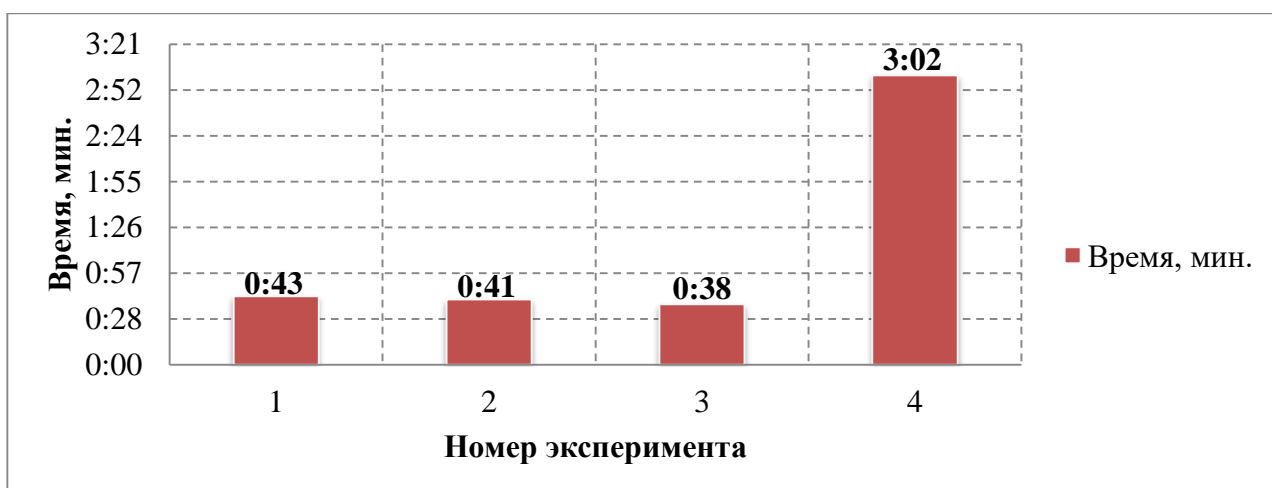


Рисунок 3.23 – Сравнение количества требуемого времени при использовании разных методов поиска оптимального расположения новой технологической установки

После сравнения полученных результатов были сделаны следующие выводы:

1. Во всех экспериментах предложенная модель на основе генетического алгоритма корректно определяла зону, содержащую глобальный оптимум.
2. Количество рассматриваемых вариантов расположения технологической установки уменьшилось с 2868 до 852 (в 3,35 раза).
3. Требуемое время сократилось с 3:02 минут до 0:38 минут (в 4,8 раза).
4. Требуемое количество оперативной памяти сократилось с 1180 до 437 мб (в 2,7 раза).

Таким образом, можно сделать вывод что линейный и генетический алгоритм эффективны при решении разных задач. В задаче, когда требуется найти зону (или массив зон), содержащую точку наилучшего расположения нового технологического аппарата, генетический алгоритм предпочтительней линейного за счет потребления меньшего количества времени и ресурсов.

В задаче, когда необходимо визуализировать градиентную карту эффективности возможных зон размещения новой технологической установки (от оптимальной точки к наихудшей) необходимо использовать линейный алгоритм, в виду необходимости анализа каждой точки территории. Увеличение скорости выполнения поиска оптимальных точек расположения новых технологических установок при использовании генетических алгоритмов происходит за счет выборочного анализа территории, поэтому для составления градиентных карт он не может быть использован.

### 3.7. Выводы по третьей главе

1. Сформирована структура классов информационной системы, классов модуля оптимизации значений пожарных рисков на территории нефтегазовых объектов. Разработаны основные элементы системы поддержки принятия решений по управлению пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, описаны их функции, представлен визуальный интерфейс. Разработан блок для проведения исследований эффективности использования

оптимизационных моделей на основе генетических алгоритмов в вопросе управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах.

2. Проведена апробация разработанной веб-ориентированной ИС «FireRisks» управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах. В результате сделан вывод, что одним из главных преимуществ использования разработанных моделей на основе генетических алгоритмов является уменьшение количества необходимых операций, что в свою очередь решает задачу трудоемкости подбора комбинаций мероприятий по снижению расчётных величин пожарных рисков и значительно уменьшает необходимое время для поиска оптимального расположения новой технологической установки на нефтегазовых объектах.

3. В вопросе поиска комбинаций мероприятий по уменьшению расчётных величин пожарных рисков на нефтегазовых объектах, представленная модель помимо значительного уменьшения необходимого времени, обладает достаточно высокой вариативностью предлагаемых вариантов.

4. В вопросе поиска оптимального расположения новой технологической установки на нефтегазовых объектах, можно сделать вывод что линейный и генетический алгоритм эффективны при решении разных задач. В задаче, когда требуется найти зону, содержащую глобальный оптимум, генетический алгоритм предпочтительней линейного за счет потребления меньшего количества времени и ресурсов. В задаче, когда необходимо визуализировать возможные зоны размещения новой технологической установки, необходимо использовать линейный алгоритм, так как генетический алгоритм в виду особенности выборочного анализа территории не обладает возможностью визуализации этих зон.

## ГЛАВА 4. Разработка системы поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах

### 4.1. Структура и функции системы поддержки управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов

Принимая во внимание проведенный анализ и принципы создания современных информационных систем, изложенных в [32], определены основные элементы системы поддержки управления пожарной безопасностью, разработано дерево целей (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Дерево целей системы поддержки управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах

Основными задачами системы поддержки управления пожарной безопасностью является подбор мероприятий, направленных на управление пожарной безопасностью, а также предоставление выбора итогового решения

с подробной информацией о состоянии пожарной безопасности с учетом определения пожарных рисков при каждом варианте предлагаемых решений лицу принимающего решение (ЛПР).

Структурная схема системы поддержки управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах определяется исходя из ее задач (рис. 4.2).

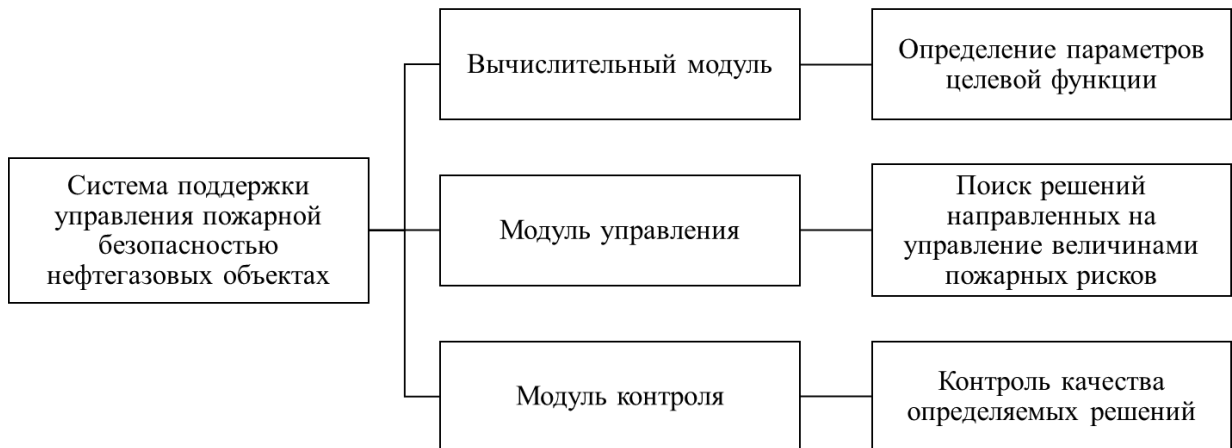


Рисунок 4.2 – Структурная схема системы поддержки управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах

Таким образом, в процессе поддержки управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, участвуют 3 блока.

**Вычислительный блок** служит инструментом, позволяющим оценивать эффективность предлагаемых мероприятий, с помощью сформулированных параметров целевой функции, к которым могут относиться показатели пожарной опасности объекта защиты, показатели экономической эффективности и т.д. Ввод исходных данных производится, основываясь на технической документации к инженерным сооружениям, находящимся на объекте, статистики отказов технологического оборудования, справочной информации о пожароопасных веществах, обращающихся на объекте защиты, других необходимых параметрах. Как правило, во время оценки показателей пожарной опасности учитываются все инженерные

системы, которые могут повлиять на вероятность и последствия воздействия опасных факторов пожара. К таким инженерным системам относятся:

- системы пожарной сигнализации;
- системы пожаротушения;
- системы оповещения и управления эвакуацией;
- средства ограничения пролива и др.

Во время анализа воздействия опасных факторов пожара на персонал объекта защиты и людей, проживающих в селитебной зоне, учитывается вероятность их нахождения в определенной точке территории, а также расположение этой точки относительно опасных технологических установок, последствия возможных ОФП, а также частоту их воздействия. Система поддержки управления пожарной безопасностью может учитывать инженерные системы, направленные на уменьшение вероятности возникновения ОФП или уменьшения возможного поражения при возникновении аварий, в зависимости от ситуации, которая складывается при моделировании возникновения пожара на различных участках рассматриваемой территории.

**Модуль управления.** Задачей модуля управления является поиск решений, направленных на управление пожарной безопасностью на основе риск-ориентированного подхода методом простого перебора возможных вариантов или с использованием интеллектуальных оптимизационных методов [101, 102]. Данный модуль включает в себя базу данных, в которой хранятся мероприятия по управлению пожарной безопасностью. В ходе своей работы модуль управления взаимодействует с пользователем и обладает полным доступом ко всем функциям системы, входным данным и результатам расчета рисков. В процессе работы возможно добавление систем противопожарной защиты, направленных на уменьшение вероятности возникновения ОФП или уменьшения вероятности возможного поражения при возникновении аварий. Возможно изменение параметров в зависимости от ситуации, которая складывается при моделировании возникновения пожара

на различных участках территории объекта защиты. Получив команду от пользователя о запуске процедуры поиска мероприятий, направленных на снижение расчетных величин пожарных рисков, модуль управления адаптивно вносит изменения в рассматриваемый проект, проводит необходимые расчеты, оценивает качество полученных результатов, с учетом значения целевой функции, и выводит отчет о своей работе ЛПР через модуль контроля для принятия окончательного решения.

Модуль управления при рассмотрении каждой ситуации (набора мероприятий) в автоматическом режиме записывает значения величин ОФП и риска для дальнейшего их анализа, а также в случаях, когда найден оптимальный набор мероприятий, сохраняет их в базе данных.

**Модуль контроля** имеет графический интерфейс и выводит пользователю информацию о предлагаемых решениях, направленных на снижение величин пожарных рисков. При помощи модуля контроля ЛПР может оценить пожароопасную ситуацию при каждом предлагаемом решении, а также оценить экономическую целесообразность каждого решения и выбрать итоговое решение.

Работа системы происходит до окончания процесса подбора мероприятий по управлению пожарной безопасностью, после чего информация о выбранных мероприятиях сохраняется в базе данных. Данная информация, в дальнейшем, может быть использована, как для оценки действий специалиста, выполняющего управление пожарной безопасностью, так и для дальнейшей обработки и выработки правил для формирования базы знаний.

В результате создания информационной системы поддержки управления разработана структурная схема взаимодействия СПУ с ЛПР (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Схема взаимодействия СПУ с ЛПР

На основе структурной схемы разработан алгоритм взаимодействия ЛПР с СПУ при управлении пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах (рис. 4.4), который определяет роль ЛПР в процессе принятия решений. Определены основные задачи, стоящие перед ЛПР во время процесса управления пожарной безопасностью.

СПУ в случае обнаружения недопустимых значений пожарных рисков передает ЛПР информацию о необходимости применения дополнительных мероприятий по управлению пожарной безопасностью. По команде ЛПР система запускает процедуру поиска оптимальной комбинации мероприятий. В ходе своей работы система учитывает, как показатели безопасности, так и экономической эффективности каждого варианта обеспечения пожарной безопасности. В завершении ЛПР предоставляется список с возможным набором мероприятий по обеспечению пожарной безопасности. ЛПР осуществляет выбор конечного решения, после чего, выполняется внесение изменений в систему обеспечения пожарной безопасности нефтегазового объекта.



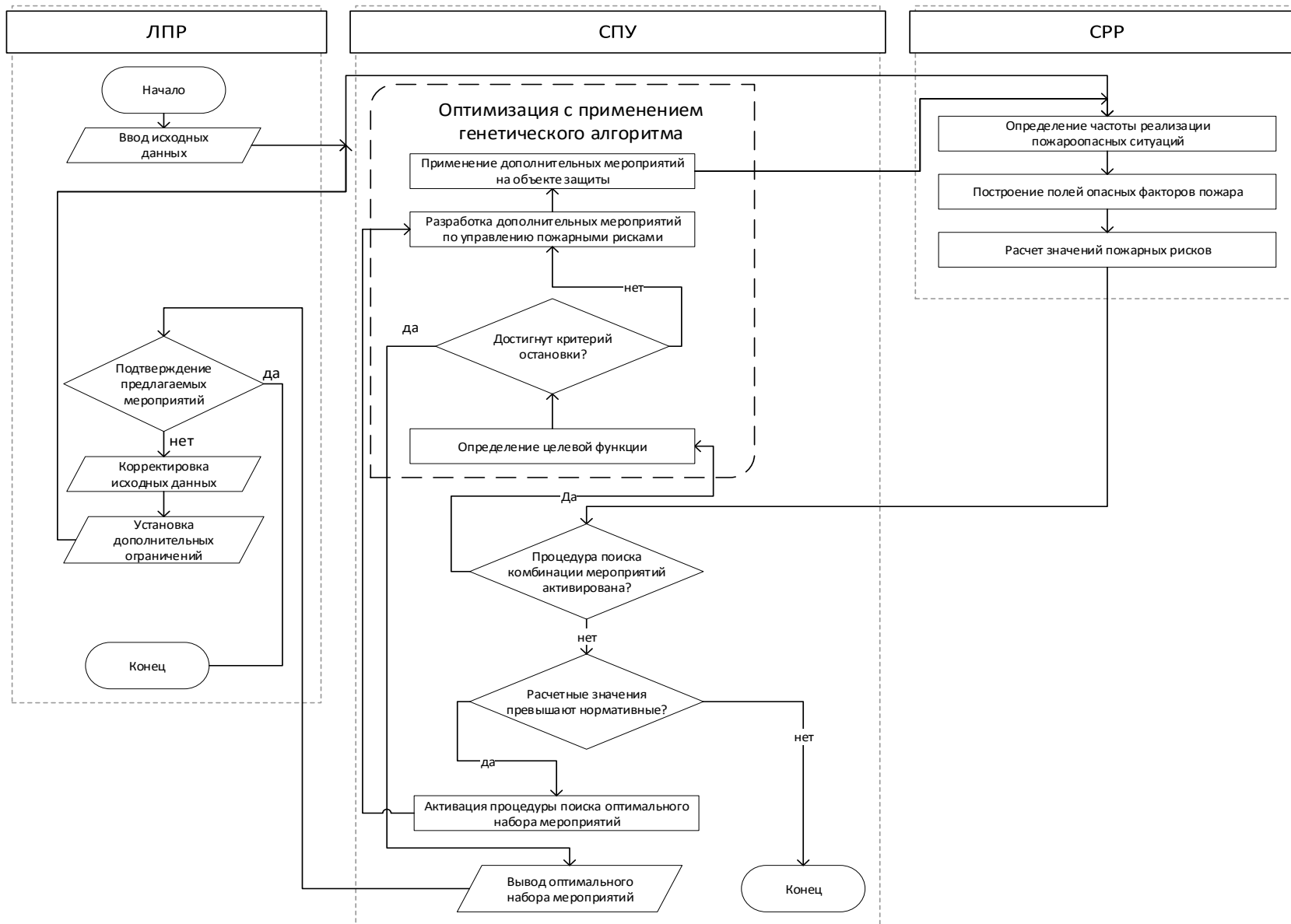


Рисунок 4.4 – Алгоритм взаимодействия ЛПР с СПУ при управлении пожарной безопасностью

#### 4.2. Определение вида и количества информации необходимой для лица, принимающего решение во время управления пожарной безопасностью

В результате анализа структуры информационной системы управления пожарной безопасностью сделан вывод о том, что система поддержки управления пожарной безопасностью взаимодействует с большим количеством информации о различных промежуточных данных, параметрах, частотах и т.д., следовательно, в целях предупреждения информационной перегрузки ЛПР необходимо определить необходимое количество информации и ее вид.

ЛПР производит работу с использованием информационной системы осуществляет выбор предлагаемых мероприятий и в случае невозможности или нецелесообразности предлагаемых мероприятий, выполняет корректировку исходных данных и\или установку дополнительных ограничений, заключающихся в исключении мероприятий выполнение которых невозможно (например, отсутствуют необходимые коммуникации на определённой территории объекта). В случае окончания процесса управления производит подтверждение или отклонение предлагаемых изменений в системе пожарной безопасности объекта защиты.

В связи с высоким информационным давлением на ЛПР повышается возможность ошибок, которые, в конечном счете, негативно скажутся на результатах расчета. Следовательно, существует необходимость разграничения входной информации в целях недопущения информационной перегрузки.

Таким образом перед ЛПР стоит две основные задачи:

1. Ввод исходных данных.
2. Контролирование и корректировка процесса выбора комбинации мероприятий по управлению пожарной безопасностью.

Ввод исходных данных производится, основываясь на технической документации к инженерным сооружениям, находящимся на объекте, статистики отказов технологического оборудования, справочной информации о

пожароопасных веществах, обращающихся на объекте защиты, других необходимых параметров.

Основываясь на том, что основными задачами ЛПР в течение процесса управления пожарной безопасностью является контроль данного процесса и выбор итоговых решений, целесообразно выделять перечень необходимой информации, относящийся только лишь к задаче контролирования:

1. Зоны распределения потенциального риска на территории объекта защиты.
2. Значения пожарных рисков на территории и прилегающей селитебной зоне.
3. Графики значений опасных факторов пожара от расстояния.
4. Доступность инженерных коммуникаций для выполнения предлагаемых мероприятий.
5. Экономическая целесообразность.

#### 4.3. Выводы по четвертой главе

1. Разработана система поддержки управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах, определено дерево целей, построен алгоритм взаимодействия ЛПР с СПУ. Описаны основные модули используемые в процессе поддержки управления пожарной безопасностью.

2. Определено место и задачи ЛПР в процессе управления пожарной безопасностью, такие как, ввод исходных данных, контролирование и корректировка процесса управления пожарной безопасностью, подчеркнута роль ЛПР этом процессе.

3. Выявлен необходимый вид и количество информации для лица, принимающего решения во время процесса управления пожарной безопасностью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе разработаны и формализованы модели и алгоритмы, позволяющие реализовать задачу, касающуюся управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов на основе современных информационных систем.

На основании выполненных исследований получены следующие научные и практические результаты:

1. Анализ современных информационных систем с точки зрения использования инструментов поддержки принятия решений, направленных на управление пожарными рисками, выявил, что такие важные функции, как база данных по статистическим данным (42,9 %); геоинформационные сервисы (28,6 %), используются менее чем в половине рассмотренных систем, а функции поддержки принятия управленческих решений отсутствуют.

2. Разработана математическая модель и алгоритм подбора комбинации оптимальных мероприятий по управлению пожарной безопасностью на территории нефтегазовых объектов. В математической модели использовался подход с использованием генетических алгоритмов, а также специально разработанная 3-х критериальная целевая функция на основе риск-ориентированного подхода, учитывающая значения пожарных рисков и экономической эффективности предлагаемых мероприятий.

3. На основе разработанных алгоритмов создана информационная система поддержки управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов на основе риск-ориентированного подхода для проведения компьютерного моделирования и анализа полученных моделей. Проведена настройка параметров генетического алгоритма для решения поставленной задачи. Применена концепция адаптивных генетических алгоритмов, сокращающая время выполнения моделирования прямо пропорционально требуемому количеству мероприятий (в рамках тестирования время моделирования

сократилось в 10 раз). На программу получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

4. По результатам компьютерного моделирования поиска комбинаций мероприятий по управлению пожарной безопасностью на типовом нефтегазовом объекте, сделан вывод, что предложенная модель значительно увеличивает количество возможных вариантов обеспечения пожарной безопасности объекта защиты (до 5 вариантов различных комбинаций мероприятий для требуемого количества мероприятий в наборе) и позволяет ЛПР более эффективно формулировать список мероприятий по управлению пожарной безопасностью.

5. Предложена структура и алгоритм работы системы поддержки управления пожарной безопасностью нефтегазовых объектов и ее основные элементы, определены цель и задачи такой системы. Выявлен необходимый вид и количество информации для ЛПР во время процесса управления пожарной безопасностью.

Реализация полученных в диссертационной работе результатов позволит обеспечить решение важной задачи – управление пожарной безопасностью нефтегазовых объектов с использованием риск-ориентированного подхода.

## Список литературы

1. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля [Текст]: ГОСТ 12.3.047-2012. – Взамен ГОСТ Р 12.3.047-98; введ. 2012-12-27. – М.: Стандартинформ, 2014.
2. Официальный сайт Федеральной службы государственной статистики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.gks.ru](http://www.gks.ru).
3. Ларюшкин, К.В. Нефтегазодобывающая промышленность в России: динамика основных экономических показателей [Текст] / К.В. Ларюшкин, И.Г. Севастьянова // Актуальные вопросы современной науки. – 2014. – № 1. – С. 51-57.
4. Хьонг, Н.М. О расчёте сил и средств пожарных подразделений на начальном этапе тушения пожаров на объектах нефтепереработки [Текст] / Н.М. Хьонг, А.Н. Денисов // Технологии техносферной безопасности. – 2010. – № 4. – С. 32.
5. Исикава, К. Японские методы управления качеством [Текст] / К. Исикава. – М: Экономика, 1988. – 214 с.
6. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах: приказ МЧС РФ от 10.07.2012 г. № 404.
7. Колесников, Е.Ю. Качественный анализ неопределенности пожарного риска. Сценарий аварии «Пожар пролива растворителя» [Текст] / Е.Ю. Колесников // Проблемы анализа риска. – 2014. – № 1 (11). – С. 74-91.
8. Кузьмин, Е.А. Шкалирование и оптимизация неопределенности в вопросах принятия управленческих решений [Текст] / Е.А. Кузьмин // Проблемы анализа риска. – 2014. – № 1 (11). – С. 50-62.
9. Vianello, C. Quantitative risk assessment of the Italian gas distribution network [Text] / C. Vianello, G. Maschio // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2014. – P. 5-17.

10. Dey, P.K. Decision support system for inspection and maintenance: a case study of oil pipelines [Text] / P.K. Dey // Engineering Management, IEEE Transactions on. – 2004. – № 1 (51). – P. 47-56.
11. Гудин, С.В. Оценка сценарной и модельной неопределенности при расчете потенциальных пожарных рисков на территории нефтебазы [Текст] / С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин // XIV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. – Томск, 2013. – С. 56-57.
12. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Текст]: федеральный закон от 22 июля 2008 года № 123-ФЗ: [принят Гос. Думой 4 июля 2008 г. : одобр. Советом Федерации 11 июля 2008 г.]. – М.: Проспект, 2014.
13. Агапов, А.А. Использование программного комплекса ТОКСИ+ Risk для оценки пожарного риска [Текст] / А.А. Агапов // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 1. – С. 46-52.
14. Попов, А.Л. Системы поддержки принятия решений [Текст]: учебное пособие / А.Л. Попов. – Екатеринбург, 2008. – 27-28 с.
15. Haettenschwiler, P. Neues anwenderfreundliches Konzept der Entscheidungsunterstützung. Gutes Entscheiden in Wirtschaft&Politik [Text] / P. Haettenschwiler. – Zurich, 1999. – 189-208 p.
16. Power, D.J. A Brief History of Decision Support Systems [Electronic resource] – Access: [www.DSSResources.COM/history/dsshhistory.html](http://www.DSSResources.COM/history/dsshhistory.html).
17. Marakas, G.M. Decision support systems in the twenty-first century. Upper Saddle River [Text] / G.M. Marakas. – Prentice Hall, 1999. – 22 p.
18. Ларичев, О.И. Системы поддержки принятия решений. Современное состояние и перспективы их развития [Текст] / О.И. Ларичев, А. Петровский // Итоги науки и техники. Серия «Техническая кибернетика». – М.: ВИНТИ, 1987. – С. 131-164.

19. Ротштейн, А.П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст] / А. П. Ротштейн. – Винница: УНИВЕРСУМ-Винница, 1999. – 320 с.
20. Семенов, С.Г. Анализ критериев оптимизации мероприятий по радиационной защите персонала при выводе из эксплуатации исследовательского реактора [Текст] / С.Г. Семенов, Л.А. Крамаренко, А.В. Чесноков // Проблемы анализа риска. – 2016. – № 2 (13). – С. 72-79.
21. Рябинин, И.А. Логико-вероятностный анализ и его история [Текст] / И.А. Рябинин // Проблемы анализа риска. – 2014. – № 3 (1). – С. 6-12.
22. Соложенцев, Е.Д. Логико-вероятностное управление риском невалидности доводочных испытаний машин, процессов и систем [Текст] / Е.Д. Соложенцев // Проблемы анализа риска. – 2010. – № 4 (7). – С. 72-85.
23. Хованов, Н.В. Анализ и синтез показателей при информационном дефиците [Текст] / Н.В. Хованов. – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 1996. – 196 с.
24. Швырков, С.А. Оценка пожарного риска для автомобильной газозаправочной станции от расположенных вблизи автомагистрали очистных сооружений [Текст] / С.А. Швырков, В.В. Воробьев, Р.К. Ибатулин // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 4 (62). – С. 1-10.
25. Швырков, С.А. Оценка пожарного риска для топливозаправочного комплекса в морском торговом порту [Текст] / С.А. Швырков, В.В. Воробьев, А.П. Петров, Д.С. Шаповалов // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 3 (61). – С. 1-11.
26. Skogdalen, J.E. Quantitative risk analysis of oil and gas drilling, using Deepwater Horizon as case study [Text] / J.E. Skogdalen, J.E. Vinnem // Reliability Engineering & System Safety. – 2012. – Vol. 100. – P. 58-66.



27. Cekirge, H.M. Quantitative Risk Assessment for Crude Oil Pipelines [Text] / H.M. Cekirge // International Journal of Environmental Monitoring and Analysis. – 2015. – № 3 (3). – P. 147-153
28. Aven, T. On the use of risk and decision analysis to support decision-making [Text] / T. Aven , J. Kørte // Reliability Engineering & System Safety. – 2003. – № 3 (79). – P. 289-299.
29. Borysiewicz, M. Proceedings of the international Conference on Emergency Managements TIEMS [Text] / M. Borysiewicz, S. Potempski, A. Galkowski // Computer network based decision support system for emergency response in case of chemical accidents. – 2001.
30. Хабибулин, Р.Ш. Разработка интернет-картографического веб-портала для повышения эффективности управления пожарным риском на объектах нефтегазовой отрасли [Текст] / Р.Ш. Хабибулин, В.О. Лепихов, С.В. Гудин // Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности – 2012» / Акад. гос. противопожар. служ-бы МЧС Рос-сии; [сост.: М.В. Алешков и др.]. – М.: Акад. ГПС МЧС Рос-сии, 2012. – 259 с.
31. Федоров, А.В. Основы создания автоматизированных систем управления противопожарной защитой потенциально опасных производств [Текст] / А.В. Федоров, А.А. Лукьянченко, Ч.Д. Хынг, А.М. Алешков // Технологии техносферной безопасности. – 2008. – № 2 (18). – С. 5.
32. Гудин, С.В. Проблемы управления пожарными рисками на территории объектов нефтепереработки с использованием современных программных продуктов [Текст] / С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин, Д.Н. Рубцов // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – № 12 (24). – С. 40-45.
33. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. Вып. 1. Пожарные риски. Основные понятия [Текст] / Н. Н. Брушлинский [и др.]. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004.

34. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. Вып. 2. Динамика пожарных рисков [Текст] / Н.Н. Брушлинский [и др.]; 2-е изд. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2005.
35. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. Вып. 3 Прогнозирование динамики пожарных рисков [Текст] / Н.Н. Брушлинский [и др.]; 3-е изд. – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2005.
36. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. Вып. 4. Управление пожарными рисками [Текст] / Н.Н. Брушлинский [и др.]; 4-е изд. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2006.
37. Брушлинский, Н.Н. О статике пожаров и о пожарных рисках [Текст] / Н.Н. Брушлинский, В.С. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – № 4 (20). – С. 40-48.
38. Гончаренко, С.Н. Анализ риска возникновения аварийных ситуаций на промышленных объектах горного предприятия в отечественных и зарубежных исследованиях [Текст] / С.Н. Гончаренко, Е.В. Дементьева // Проблемы анализа риска. – 2010. – № 7 (2). – С. 88-95.
39. Быков, А.А. О проблемах техногенного риска и безопасности техносферы [Текст] / А.А. Быков // Проблемы анализа риска. – 2011. – № 1 (1). – С. 73-89.
40. Дранишников, Л.В. Анализ и оценка возникновения техногенных аварий с целью управления их безопасностью на основе информационных технологий [Текст] / Л.В. Дранишников, В.В. Завгородний // Математическое моделирование. – 2008. – № 4. – С. 22-28.
41. Немчинов, Д.В. Оценка риска аварий с использованием экспертных систем [Текст] / Д.В. Немчинов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия «Управление, вычислительная техника и информатика». – 2007. – № 1 (36). – С. 40-45.

42. Немчинов, Д.В. Снижение риска аварийной ситуации на производственном объекте [Текст] / Д.В. Немчинов, О.М. Проталинский // Автоматизация в промышленности. – 2009. – № 1. – С. 111-116.
43. Топольский, Н.Г. Комплексная безопасность территорий [Текст] / Н.Г. Топольский, А.В. Фирсов // Материалы 25-й НТК «Системы безопасности» – СБ-2006. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2006. – С. 98-102.
44. Топольский, Н.Г. Моделирование автоматизированных интегрированных систем безопасности объектов [Текст] / Н.Г. Топольский, А.В. Фирсов, А.Т. Рвачев, А.В. Слабченко // Труды XV международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – 2007. – Т. 2. – С. 79-83.
45. Тетерин, И.М. Применение систем поддержки принятия решений руководителями оперативных подразделений при тушении пожаров в крупных городах [Текст] / И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, В.М. Климовцов, Ю.В. Прус // Технологии техносферной безопасности. – 2008. – № 4. – С. 20-26.
46. Белозеров, В.В. Термодинамический метод оценки объектов повышенной опасности и риска поражения ими ноосферы [Текст] / В.В. Белозеров, Н.Г. Топольский // Информатизация систем безопасности: Материалы II междунар. конф. «ИСБ-93». – 1993. – С. 45-51.
47. Разанов, М.Р. К вопросу анализа риска на объектах топливноэнергетического комплекса [Текст] / М.Р. Разанов, Н.Г. Топольский // Пожаровзрывобезопасность. – 2007. – № 2. – С. 29-33.
48. Топольский, Н.Г. Основы создания автоматизированных систем пожарной безопасности объектов [Текст]: учеб. пособие / Н. Г. Топольский. – М. : Акад. ГПС МЧС России, 2006. – 60 с.

49. Holland, J.N. Adaptation in Natural and Artificial Systems [Text]: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence. / J.N. Holland. – Univ. Michigan Press. – 1975.
50. Jamshidi, A. Developing a new fuzzy inference system for pipeline risk assessment [Text] / A. Jamshidi // Journal of loss prevention in the process industries. – 2013. – № 1 (26). – P. 198-208.
51. Попов, В.М. Проблемы оценки пожарного риска зданий [Текст] / В.М. Попов // Новосибирский государственный технический университет.
52. Курейчик, В.М. Особенности построения систем поддержки принятия решений [Текст] / В. М. Курейчик // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 7. – С. 92-98.
53. Якуш, С.Е. Анализ пожарных рисков. Часть II: Проблемы применения. [Текст] / С.Е. Якуш, Р.К. Эсманский // Проблемы анализа риска. – 2009. – № 6. – С. 26-46.
54. Кочетов, Н.М. О методиках оценки потенциальной опасности при проектировании технологических процессов [Текст] / Н.М. Кочетов // Проблемы анализа риска. – 2009. – № 2 (6). – С. 64-69.
55. Разанов, М.Р. Анализ и оценка риска промышленных регионов Российской Федерации [Электронный ресурс] / М.Р. Разанов, И.М. Тетерин, Ю.И. Артюшин // Технологии техносферной безопасности. – 2007. – № 2 (12). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2007-2/11-02-07.ttb.pdf>.
56. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений [Текст] / Э.А. Трахтенгерц // Проблемы управления. – 2003. – № 1. – С. 13-28.
57. Берман, А.Ф. Система поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации техногенных ЧС на основе прецедентного подхода [Электронный ресурс] / А.Ф. Берман // Технологии техносферной

- безопасности. – 2013. – № 5 (51). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2013-5/10-05-13.ttb.pdf>.
58. Николайчук, О.А. Case-based reasoning в промышленности [Электронный ресурс] / О.А. Николайчук, Г.С. Малтугуева, Ю.А. Юрин // Институт динамики систем и теории управления СО РАН. – Режим доступа: <http://www.safety-irk.ru/files/Papers/FTP-CBRinIndustry.pdf>.
59. Aven, T. A decision framework for risk management, with application to the offshore oil and gas industry [Text] / T. Aven, J.E. Vinnem, H.S. Wiencke // Reliability Engineering & System Safety. – 2007. – № 4 (92). – P. 433-448.
60. Dey, P.K. Project risk management using multiple criteria decision-making technique and decision tree analysis: a case study of Indian oil refinery [Text] / P.K. Dey // Production Planning & Control. – 2012. – № 12 (23). – P. 903-921.
61. Яковлев, В.В. Тенденции развития программных комплексов оценки пожарного риска [Текст] / В.В. Яковлев // Неделя науки СПбГПУ. Материалы научно-практической конференции с международным участием. Институт военно-технического образования. – СПб., 2014. – С. 60-62.
62. Хабибулин, Р.Ш. Разработка научно-исследовательских компьютерных информационных систем в области управления пожарной безопасностью [Текст] / Р.Ш. Хабибулин, Д.В. Шихалев, О.С. Малютин, С.В. Гудин // Труды XXII Международной научной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – М., 2014. – С. 344-347.
63. Бакаев, М.А. Индексирование и сопоставление сущностей предметной области в интеллектуальной системе на основе онтологического подхода [Текст] / М.А. Бакаев, Т.В. Авдеенко // X Всероссийская заочная конференция по теоретическим основам проектирования и разработки распределенных информационных систем (ПРИС-2012). – 2012. – С. 6-12.

64. Лексин, А.Ю. Программирование для Интернет и веб-дизайн [Текст] / А.Ю. Лексин, Д.В. Митрофанов. – ВлГУ, 2005. – 28 с.
65. Гудин, С.В. Правила формирования базы знаний по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепереработки [Электронный ресурс] / С.В. Гудин, Н.Ю. Зуев, Р.Ш. Хабибулин, А.А. Рыженко, Д.Н. Рубцов // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 4 (56). - Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-4/04-04-14.ttb.pdf>.
66. Панов, Н.В. Интервальный эволюционный алгоритм поиска глобального оптимума [Текст] / Н.В. Панов, С.П. Шарый // Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 1-2. – С. 108-113.
67. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы [Текст] / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия -Телеком, 2006. – 452 с.
68. Полковникова, Н. А. Многокритериальная оптимизация на основе эволюционных алгоритмов [Текст] / Н. А. Полковникова, В.М. Курейчик // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2015. – № 2. – С. 149-162.
69. Schaefer, I.A. Youth and Science: Proceedings of the VIII All Russian scientific and technical conference of students, graduate students and young scientists dedicated [Text] / I.A. Schaefer // Investigation of the efficiency of genetic algorithm constrained optimization. – 2012.
70. Котлярова, В. В. Применение генетических алгоритмов для поиска решений оптимизационных задач [текст] / В. В. Котлярова, А. М. Бабаев // современные технологии в мировом научном пространстве. – 2017. – с. 20-25.
71. Martorell, S. RAMS+ C informed decision-making with application to multi-objective optimization of technical specifications and maintenance using genetic algorithms [Text] / S. Martorell, J.F. Villanueva, S. Carlos, Y. Nebot, A. Sánchez

- [et al.] // Reliability Engineering & System Safety. – 2005. – № 1 (87). – P. 65-75.
72. Ramirez, A.J. Proceedings of the 6th international conference on Autonomic computing [Text] / A. J. Ramirez, D. B. Knoester, B.H. Cheng, P.K. McKinley // Applying genetic algorithms to decision making in autonomic computing systems. – 2009.
73. Caputo, A.C. Economic optimization of industrial safety measures using genetic algorithms [Text] / A.C. Caputo, P. M. Pelagagge, M. Palumbo // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2011. – № 5 (24). – P. 541-551.
74. Шефер, И.А. Исследование эффективности генетического алгоритма условной оптимизации [Электронный ресурс] / И.А. Шефер // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. – Режим доступа: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section21.html>.
75. Сергиенко, Р.Б. Исследование эффективности коэволюционного генетического алгоритма условной оптимизации [Текст] / Р.Б. Сергиенко // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2009. – № 3. – С. 31-36.
76. Шоробура, Н.Н. Решение задач многокритериальной оптимизации сложных объектов и систем [Электронный ресурс] / Н.Н. Шоробура // ДонНТУ. – Режим доступа: [http://masters.donntu.edu.ua/publ2004/kita/kita\\_shorobura.pdf](http://masters.donntu.edu.ua/publ2004/kita/kita_shorobura.pdf).
77. Карелин, В.П. Эволюционно-генетические и бионические методы моделирования коллективного интеллекта в системах управления и поддержки принятия решений [Текст] / В.П. Карелин, В.И. Протасов // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2012. – № 1. – С. 71-76.

78. Степанов, К.А. Причины модификаций генетических алгоритмов и хронология их появления [Текст] / К.А. Степанов // *Фундаментальные проблемы науки*. – 2015. – №2. – С.15-20.
79. Desideri, J.A. Application of genetic algorithm to space vehicle reentry trajectory optimization problem [Text] / J.A. Desideri, S. Peigin, S. Timchenko // *Inria*. – 1999. – № 3843.
80. Michalewicz, Z. Genetic algorithms + data structures = evolution programs [Text] / Z. Michalewicz. – Springer-Verlag, 1992.
81. Sefioui, M.G. Fast convergence thanks to diversity – Proc. of the 5th Annu. conf. on evolutionary programming [Text] / M. Sefioui, J. Periaux, J. Ganascia. – MIT Press, 1996.
82. Присяжнюк, Н.Л. Экономика пожарной безопасности [Текст]: учебн. пособие / Н.Л. Присяжнюк, Г.В. Александров, И.И. Кузьмичев [и др.]; под общ. ред. Н.Л. Присяжника. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2009. – 248 с.
83. Кормен, Т. Алгоритмы. Построение и анализ [Текст] / Т. Кормен, Ч. Лейзерсон, Р. Ривест, К. Штайн. – М.: Вильямс, 2005. – 1328 с.
84. Емельянов, В.В. Теория и практика эволюционного моделирования [Текст] / В. В. Емельянов, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 432 с.
85. Белевцев, А.М. Разработка и исследование адаптивного поискового алгоритма для решения многоэкстремальных задач оптимизации информационных процессов в информационных системах с распределённой обработкой данных [Текст] / А.М. Белевцев, М.А. Дружинин // *Известия Южного федерального университета. Технические науки*. – 2012. – № 5. – С. 162-166.



86. Цой, Ю.Р. Стратегии отбора и формирования нового поколения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.qai.narod.ru/GA/strategies.html](http://www.qai.narod.ru/GA/strategies.html).
87. Панченко, Т.В. Генетические алгоритмы [Текст]: учебно-методическое пособие / Т.В. Панченко. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 20 с.
88. Гудин, С.В. Алгоритм управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах с использованием информационной системы FireRisks [Текст] / С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин // XV Всероссийская конференция молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям. – Тюмень, 2014. – С. 81.
89. Гудин, С.В. Структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений на базе исследовательской платформы FireRisks [Текст] / С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин // Материалы школы-семинара молодых ученых «Фундаментальные проблемы системной безопасности». – Елец, 2014. – С. 206-208.
90. Gudin, S.V. Materialy Budowlane «Problemy bezpiecziństwa pożarewego» [Text] / S.V. Gudin, R.S. Khabibulin // A research web-based system in the field of the fire safety «FireRisks». – Warszawa, 2014. – P. 127.
91. Гудин, С.В. Объектно-ориентированный подход при определении пожарных рисков на территории производственных объектов [Текст] / С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин // Материалы XXIII международной научно-практической конференции «Системы безопасности-2014». – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – С. 20-22.
92. Хабибулин, Р.Ш. Разработка объектно-ориентированных информационных систем в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Текст] / Р.Ш. Хабибулин // Инновации в образовательном процессе. Т. 13. – Чебоксары, 2015. – С. 64-66.

93. Силич, В.А. Проектирование сложной системы на основе объектно-ориентированного подхода [Текст] / В.А. Силич, М.П. Силич // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – № 2 (306). – С. 99-103.
94. Конверс, Т. PHP и MySQL. Библия пользователя [Текст] / Т. Конверс, Д. Парк, К. Морган; [пер. с англ. и ред. К. А. Птицына]. – Москва [и др.]: Диалектика, 2009. – 1207 с.
95. Веллинг, Л. Разработка веб-приложений с помощью PHP и MySQL [Текст] / Л. Веллинг, Л. Томсон; [перевод с английского Ю. Н. Артеменко]. – 5-е изд. – Москва [и др.]: Диалектика, 2017. – 768 с.
96. Гудин, С.В. Интеллектуальный модуль для оптимизации решений по снижению пожарных рисков на территории производственных объектов [Текст] / С.В. Гудин // Материалы 4-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М., 2015. – С. 67-73.
97. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности [Текст]: СП 12.13130.2009. – М. : М-во РФ по делам гражд. обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2009. – 26 с.
98. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения [Текст]: ГОСТ 12.1.044-89. – Взамен ГОСТ 12.1.044-84; введ. 1976–01–01 / Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам. – Москва: Изд-во стандартов, 1990. – 143 с.
99. Об утверждении методики определения расчетных величин пожарного риска на производственных объектах (с изменениями и дополнениями) [Электронный ресурс]: Приказ МЧС РФ от 10 июля 2009 г. № 404. - Режим доступа: <http://base.garant.ru/196118/#ixzz4qxrBt61u>.
100. Стенли, Р. Перечислительная комбинаторика [Текст] / Р. Стенли. – М.: Мир, 1990. – 440 с.

101. Гудин, С.В. Материалы 4-й международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности-2015» [Текст] / С.В. Гудин, Р.Ш. Хабибулин // Интеллектуальный модуль для оптимизации решений по снижению пожарных рисков на территории производственных объектов. – М., 2015. – С. 64-66.
102. Гудин, С.В. Генетический алгоритм для задачи оптимизации расположения наружной технологической установки на объекте нефтепереработки с учетом минимизации пожарных рисков [Текст] / С.В. Гудин, Д.В. Шихалев, Р.Ш. Хабибулин // Информатика, управление и системный анализ. Труды IV Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. Тверской государственный технический университет. – 2016. – С. 110-121.
103. Топольский, Н.Г. Основы автоматизированной системы пожаровзрывобезопасности объектов [Текст] / Н.Г. Топольский. – М.: МИПБ МВД России, 1997. – 164 с.

Приложение А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Геоинформационная исследовательская web-система управления пожарными рисками на производственных объектах "Firerisks"

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2014616826

Геоинформационная исследовательская web-система  
управления пожарными рисками на производственных  
объектах "FireRisks"

Правообладатели: *Хабидулин Ренат Шамильевич (RU), Гудин Сергей  
Витальевич (RU)*

Авторы: *Гудин Сергей Витальевич (RU),  
Хабидулин Ренат Шамильевич (RU)*

Заявка № 2014614527

Дата поступления 16 мая 2014 г.

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 04 июля 2014 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



Приложение Б. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа оптимизации комбинации мероприятий для управления пожарными рисками на территории нефтегазовых объектов с использованием генетических алгоритмов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2016663639**

**«Программа оптимизации комбинации мероприятий для управления пожарными рисками на территории нефтегазовых объектов с использованием генетических алгоритмов»**

Правообладатели: *Гудин Сергей Витальевич (RU), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU)*

Авторы: *Гудин Сергей Витальевич (RU), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU)*

Заявка № **2016661248**

Дата поступления **18 октября 2016 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **13 декабря 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



Приложение В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа оптимизации расположения нового технологического аппарата на территории нефтеперерабатывающих объектов с использованием генетических алгоритмов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2016663315**

**«Программа оптимизации расположения нового технологического аппарата на территории нефтеперерабатывающих объектов с использованием генетических алгоритмов»**

Правообладатели: *Гудин Сергей Витальевич (RU), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU)*

Авторы: *Гудин Сергей Витальевич (RU), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU)*

Заявка № **2016661250**

Дата поступления **18 октября 2016 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **05 декабря 2016 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



## Приложение Г. Листинг программного кода

```

public function actionMeasuresanalysis()
{
    TempMeasures::deleteAll(['proj_id' => Yii::$app->session['project_id']]);
    $mesuares=Measures::find()->all();
    foreach($mesuares as $mesuare)
    {
        switch ($mesuare->type)
        {
            case "tank":
                $obj_massive=array();
                $i=0;
                $filters=unserialize($mesuare->filter);
                foreach($filters as $filter)
                {
                    switch ($filter['type'])
                    {
                        case "object":
                            $objects=Tanks::find()->andFilter-
Where(['proj_id'=>Yii::$app->session['project_id']]);
                            switch ($filter['operator'])
                            {
                                case 'or':
                                    foreach($filter['values'] as $value)
                                    {
                                        $objects->andFilterWhere(['or', $fil-
ter['parameter'], $value]);
                                    }
                                    break;
                                case "and":
                                    foreach($filter['values'] as $value)
                                    {
                                        $objects->andFilterWhere(['pa-
rameter'=>$value]);
                                    }
                                    break;
                                case "value":
                                    $objects->andFilterWhere(['pa-
rameter'=>$filter['values']]);
                                    break;
                                case "between":
                                    $objects->andFilterWhere(['between', $fil-
ter['parameter'], $filter['values'][0], $filter['values'][1]]);
                                    break;
                                case "less":

```

```

                $objects->andFilterWhere(['<', $filter['parameter'], $filter['values']]);
                break;
                case "more":
                    $objects->andFilterWhere(['>', $filter['parameter'], $filter['values']]);
                    break;
            }
            $objects=$objects->all();
            $new_massive=array();
            foreach($objects as $object)
            {
                $new_massive[]=$object->id;
            }
            break;

            case "scenario":
                $objects=Tanks::find()->andFilterWhere(['proj id'=>Yii::$app->session['project id']])->all();
                $new_massive=array();
                foreach($objects as $object)
                {
                    $scenarios= Tree::find()->where(['obj_id'=>$object->id]);

                    switch ($filter['operator'])
                    {
                        case 'or':
                            foreach($filter['values'] as $value)
                            {
                                $scenarios->andFilterWhere(['or', $filter['parameter'], $value]);
                            }
                            break;
                        case "and":
                            foreach($filter['values'] as $value)
                            {
                                $scenarios->andFilterWhere(['parameter'=>$value]);
                            }
                            break;
                        case "value":
                            $scenarios->andFilterWhere(['parameter'=>$filter['values']]);
                            break;
                        case "between":

```



```

                $scanarios->andFilterWhere(['between', $filter['parameter'], $filter['values'][0], $filter['values'][1]]);
                break;
                case "less":
                    $scanarios->andFilterWhere(['<',
$filter['parameter'], $filter['values']]);
                break;
                case "more":
                    $scanarios->andFilterWhere(['>',
$filter['parameter'], $filter['values']]);
                break;
            }
            if($scanarios->count()>0)
            {
                $new_massive[]=$object->id;
            }
        }
        break;
    }
    if($i!=0)
    {
        $obj_massive=array_intersect($obj_massive,$new_mas-
sive);
    }
    else
    {
        $obj_massive=$new_massive;
    }
    $i++;
    //В конце получаем массив с объектами подходящими под данное
решение
}

foreach($obj_massive as $object)
{
    $temp_mesuares= new TempMeasures();
    $temp_mesuares->proj_id=Yii::$app->session['pro-
ject_id'];

    $temp_mesuares->obj_id=$object;
    $temp_mesuares->obj_type='tank';
    $temp_mesuares->filter=$mesuares->filter;
    $temp_mesuares->solution=$mesuares->solution;
    $temp_mesuares->measure_id=$mesuares->id;
    $temp_mesuares->message=$mesuares->message;
    $temp_mesuares->save();
}

```

```

    }
    break;

public function First_population_measures () {
    $min=TempMeasures::find()->where(['proj_id'=>Yii::$app->session['project_id']])->min('goal');
    $F=0;
    $temp_mesuare=TempMeasures::find()->where(['proj_id'=>Yii::$app->session['project_id']])->all();
    //Общая функция соответствия
    foreach($temp_mesuare as $measure)
    {
        $result=$this->measureAssesment(Array($measure->id));
        $measure->goal=$result['goal'];
        $measure->save();
    }
    //Общая функция соответствия
    foreach($temp_mesuare as $measure)
    {
        $F=$F+$measure->goal-$min;
    }
    //Вероятность отбора
    foreach($temp_mesuare as $measure)
    {
        $P[$measure->id]=($measure->goal-$min)/$F;
    }
    //Совокупная вероятность отбора каждого гена
    $temp_P=0;
    foreach($temp_mesuare as $measure)
    {
        $q[$measure->id]=$P[$measure->id]+$temp_P;
        $temp_P=$q[$measure->id];
    }

    $limit_chromosomes=10;
    $limit_individuals=10;
    //Крутим рулетку

    $j=0;
    $new_popultion=Array();
    while($j<$limit_individuals)
    {
        $i=0;
        $new_chromosome=Array();
        while($i<$limit_chromosomes)
        {
            $key=0;

```

```

        $r=$this->random_float(0,1);
        foreach($q as $id=>$qk)
        {
            if($key==0 && $qk>=$r)
            {
                $new_gen=$id;
                break;
            }
            elseif($key!=0)
            {
                if($qk>=$r)
                {
                    $new_gen=$id;
                    break;
                }
            }
        }
        //Добавляем только уникальные мероприятия
        if(!in_array($new_gen, $new_chromosome))
        {
            $new_chromosome[]=$new_gen;
            $i++;
        }
    }
    $j++;
    $new_population[]=$new_chromosome;
}
//Оценка всех комбинаций
$i=1;
foreach($new_population as $chromosome)
{
    $combination=new MeasuresComb;
    $combination->proj_id=Yii::$app->session['project_id'];
    $combination->iteration=$i;
    $combination->ids=serialize($chromosome);
    $result=$this->measureAssesment($chromosome);
    $combination->goal=$result['goal'];
    $combination->save();
    // Сохранить в базу данных (проект, номер итерации, массив идентификато-
    ров, целевая функция);
}
    $i++;
}

function random_float ($min,$max) {
    return ($min+lcg_value()*(abs($max-$min)));
}

```

```

public function actionGeneticmeasures(){
    ini_set('memory_limit', '-1');
    ignore_user_abort(true);
    set_time_limit(0);
    $iterations=40;
    //Первая популяция
    MeasuresComb::deleteAll(['proj_id' => Yii::$app->session['project_id']]);
    $this->First_population_measures();
    $it=0;
    while($it!=1)
    {
        $last_iteration=MeasuresComb::find()->where(['proj_id'=>Yii::$app->session['project_id']])->max('iteration');
        $individuals=MeasuresComb::find()->where(['proj_id'=>Yii::$app->session['project_id'], 'iteration'=>$last_iteration])->asArray()->all();
        $individuals=$this->roulette_wheel($individuals);
        $individuals=$this->connection measures($individuals, 90);
        $individuals=$this->mutation measures($individuals, 30, 75);
        $individuals=$this->check population($individuals); // удаляем
        дублирующиеся и замещающее мероприятия
        foreach($individuals as $chromosome)
        {
            $combination=new MeasuresComb;
            $combination->proj_id=Yii::$app->session['project_id'];
            $combination->iteration=$last_iteration+1;
            $combination->ids=$chromosome['ids'];
            $result=$this->measureAssesment(unserialize($chromosome['ids']));
            $combination->goal=$result['goal'];
            $combination->save();
            if(count(unserialize($chromosome['ids']))===1)
            {
                $it=1;
            }
            // Сохранить в базу данных (проект, номер итерации, массив идентификаторов, целевая функция);
        }
    }
}

public function check_population($population)
{
    foreach($population as $individual)
    {

    }
    return $population;
}

```

```

public function actionTestgoal ()
{
    $project=Projects::find()->where(['id'=>Yii::$app->session['project_id']])-
>one();
    if(($substrate = Substrates::findOne(['proj_id' => Yii::$app->session['pro-
ject_id']]))!= null)
    {
        $K=$substrate->k;
    }
    else
    {
        $K=1;
    }
    $goal=$this->goal_function(Yii::$app->session['project_id'], $K, Array(), 0,
0);
    echo $goal['goal'];
}

public function actionTestgoal2 ()
{
    $temp_mesuare=TempMeasures::find()->where(['id'=>14])->one();

    $result=$this->measureAssesment(Array($temp_mesuare->id));
    echo $result['goal'];
    $temp_mesuare->save();
}

private function connection_measures($population, $percent)
{
    $new_population=Array();
    $connection_count=count($population)*$percent/100;
    for($i=0;$i<count($population);$i++)
    {
        if($i<$connection_count)
        {
            $parent1=$population[rand(0, count($population)-1)];
            $parent2=$population[rand(0, count($population)-1)];
            $parent1_crhom=unserialize($parent1['ids']);
            $parent2_crhom=unserialize($parent2['ids']);
            $exchange_point=rand(0,min(count($parent1_crhom),count($par-
ent2_crhom)));
            $new_population()['ids']=serialize(array_merge(array_slice($par-
ent1_crhom, 0, $exchange_point), array_slice($parent2_crhom, $exchange_point)));
        }
        else

```

```

        {
            $new_population[['ids']]=$population[$i]['ids'];
        }
    }
    return $new_population;
}

private function mutation_measures($population, $delete_chance, $change_chance)
{
    foreach($population as $key=>$individual)
    {
        //Случайно стираем ген
        $chance=rand(1,100);
        if($chance<=$delete_chance)
        {
            $population[$key]['ids']=unserialize($population[$key]['ids']);
            $population[$key]['ids']=array slice($population[$key]['ids'], 0,
count($population[$key]['ids'])-1);
            $population[$key]['ids']=serialize($population[$key]['ids']);
        }
        $chance=rand(1,100);
        if($chance<=$change_chance)
        {
            $population[$key]['ids']=unserialize($population[$key]['ids']);
            $measures=TempMeasures::find()->where(['proj_id'=>Yii::$app->ses-
sion['project_id']])->all();
            foreach($measures as $measure)
            {
                $gens[]=$measure->id;
            }
            shuffle($gens);
            $i=0;
            $new_gen=$gens[$i];//
            while(in_array($new_gen,$population[$key]['ids']))
            {
                $i++;
                $new_gen=$gens[$i];
            }
            $population[$key]['ids'][rand(0,count($population[$key]['ids'])-
1)]= $new_gen;
            $population[$key]['ids']=serialize($population[$key]['ids']);
        }
    }
    return $population;
}

public function measureAssesment($measures)

```

```

{
    foreach($measures as $measure_id)
    {
        $temp_mesuare=TempMeasures::find()->where(['proj_id'=>Yii::$app->session['project_id'], 'id'=>$measure_id])->one();
        $object=Tanks::find()->where(['id'=>$temp_mesuare->obj_id])->one();
        $project=Projects::find()->where(['id'=>Yii::$app->session['project_id']])->one();
        if(($substrate = Substrates::findOne(['proj_id' => Yii::$app->session['project_id']]))!= null)
        {
            $K=$substrate->k;
        }
        else
        {
            $K=1;
        }
        switch($temp_mesuare->obj_type)
        {
            case 'tank':
                $solution=unserialize($temp_mesuare->solution);
                switch($solution['type'])
                {
                    case "object":
                        if(!isset($backups[$object->id][$solution['parameter']]))
                        {
                            $backups[$object->id][$solution['parameter']]=$object->getAttribute($solution['parameter']);
                        }
                        $object->setAttribute($solution['parameter'], $this->change_parameter($solution['operator'],$object->getAttribute($solution['parameter']), $solution['value']));
                        break;

                    case "scenario":
                        $scenarios=Tree::find()->where(['proj_id'=>Yii::$app->session['project_id']]);
                        echo 'sc<br>';
                        //Ищем сценарии, подходящие под условия для данного объекта, меняем их свойства и пересчитываем
                        break;
                }

            break;
        }
        $object->save();
    }
}

```

```

}

$calc=new Calcword;
//делаем расчет всех параметров для затронутых объектов
foreach($backups as $obj_id=>$backup)
{
    $object=Tanks::find()->where(['id'=>$obj_id])->one();
    $calc->generateTableWord($project, $object, NULL, 0);
    $calc->calc_base($project, $object, 0, NULL);
}
$calc->setbase(false);
//расчет с измененными параметрами
$goal=$this->goal_function(Yii::$app->session['project_id'], $K, Array(), 0,
0);

//Откатываем объекты
foreach($backups as $tank id=>$backup)
{
    $object=Tanks::find()->where(['id'=>$tank id])->one();
    foreach($backup as $parameter=>$value)
    {
        $object->setAttribute($parameter, $value);
    }
    $object->save();
}
//Откатываем результаты расчета
foreach($backups as $obj_id=>$backup)
{
    $object=Tanks::find()->where(['id'=>$obj_id])->one();
    $calc->generateTableWord($project, $object, NULL, 0);
    $calc->calc_base($project, $object, 0, NULL);
}
return $goal;
}
public function change_parameter($operator, $val1, $val2)
{
    switch($operator)
    {
        case 'multiply':
            $val=$val1*$val2;
            break;
        case 'divide':
            $val=$val1/$val2;
            break;
        case 'pow':
            $val=pow($val1,$val2);
            break;
    }
}

```



```

        case 'plus':
            $val=$val1+$val2;
        break;
        case 'minus':
            $val=$val1-$val2;
        break;
        case 'value':
            $val=$val2;
        break;
    }
    return $val;
}

public function actionSearchlocation($obj_id)
{
    set time limit(5);
    require 'PHPThreads/RollingCurl.php';
    require 'PHPThreads/Request.php';
    $link="".$SERVER['HTTP_HOST']."/index.php?r=optimisation/standartmod-
elsearch&project_id=".Yii::$app->session['project_id']."&obj_id=$obj_id&se-
cret key=HDFNA";
    $rc = new \RollingCurl\RollingCurl();
    $rc->window_size = 1;
    $rc->get($link);
    $rc->addOptions(array(CURLOPT_TIMEOUT => 1,CURLOPT_CONNECTTIMEOUT => 1));
    $rc->execute();
    die();
}

public function convert_to_cord($min_lat, $min_lng, $x,$y,$K)
{
    $cord=array();
    $cord['lat']=($min_lat*60*60+$y*$K/30.86*sin(90 / 180.0 * M_PI))/3600;
    $cord['lng']=($min_lng*60*60+$x*$K/30.86*cos(0 / 180.0 * M_PI))/3600;
    return $cord;
}

public function show_distance_in_cords($min_cord, $distance,$K)
{
    $distance=($min_cord*60*60+$distance*$K/30.86*cos(0 / 180.0 *
M_PI))/3600;
    return $distance;
}

public function actionStandartmodelsearch($obj_id, $project_id)
{
    $project = Projects::findOne(['id' => $project_id]);
    if($project->status<2){

```

```

        die('Ошибка');
    }
    else
    {
        Yii::$app->session['project_id']=$project_id;
        Optimisation::deleteAll(['proj_id' => $project_id]);
    }
    ini_set('memory_limit', '-1');
    ignore_user_abort(true);
    set_time_limit(0);
    $min_lat=0;
    $min_lng=0;

    if(($substrate = Substrates::findOne(['proj_id' => $project_id]))!=
null)
    {
        $K=$substrate->k;
    }
    else
    {
        $K=1;
    }
    $max_lat=$substrate->width/3600;
    $max_lng=$substrate->height/3600;
    $max_x=Calc::calculateTheDistance($min_lng, 0, $max_lng, 0)/$K;
    $max_y=Calc::calculateTheDistance($min_lat, 0, $max_lat, 0)/$K;
    $step=5;
    $first=true;
    $y=0;
    $massive=Array();
    while($y<$max_y)
    {
        $x=0;
        while($x<$max_x)
        {
            $cords=$this->convert_to_cord($min_lat, $min_lng, $x,$y,$K);
            if($this->checkpointinobjterritory($cords['lat'],$cords['lng'],
$project_id)===true)
            {
                $model=new Optimisation;
                $model->proj_id=$project_id;
                $model->lat=$cords['lat'];
                $model->lng=$cords['lng'];
                $tank = Tanks::findOne(array('proj_id' => $project_id,
'id'=>$obj_id));
                if($tank!== null)
                {

```

```

        $object = new MapObjects;
        $object->lat = $cords['lat'];
        $object->lng = $cords['lng'];
        $object->proj_id = $project_id;
        $object->diking_id = 0;
        $object->type = 'tank';
        $object->obj_id = $obj_id;
        $object->count = 1;
        $object->icon_text = 'temp';
        $object->save();
        if($first==true)
        {
            $calc=new Calc; $calc->setbase(false);
        }
    }
    else
    {
        die('Работа с несуществующим объектом');
    }
    $risk=$this->goal function($project id, $K, $massive, $object-
>lat, $object->lng);
    //удаляем объект с карты
    MapObjects::findOne(['proj_id' => Yii::$app->session['pro-
ject_id'], 'id'=>$object->id])->delete();
    $massive=$risk['massive'];
    $model->Risk=$risk['goal'];
    $model->distance=$this->show_distance_in_cords($min_lng,
$step, $K);

    $first=false;
    $model->type='standart';
    $model->save();
}
$x=$x+$step;
}
$y=$y+$step;
}
    $maximum = Optimisation::find()->where(['proj_id' => $project_id])-
>where('risk=(SELECT max(risk) FROM optimisation WHERE proj_id='.$pro-
ject_id.')')->one();
    $optimum=new Optimisation;
    $optimum->proj_id=$maximum->proj_id;
    $optimum->lat=$maximum->lat;
    $optimum->lng=$maximum->lng;
    $optimum->Risk=$maximum->Risk;
    $optimum->type='optimum';
    $optimum->save();
    $this->set_status(2, $project_id);

```

```

    sleep(10);
    // Optimisation::deleteAll(['proj id' => $project id]);
    Yii::$app->session->destroy();
    ini_set('memory_limit', '1');
    return 'end';
}

public function actionLoadmarkers($id)
{
    Yii::$app->response->format = \yii\web\Response::FORMAT_RAW;
    $headers = Yii::$app->response->headers;
    $headers->add('Content-Type', 'text/xml');
    $stable = '<markers>';
    $markers = Optimisation::find()->where(['proj_id' => Yii::$app->session['project id']])->andWhere(['>', 'id', $id])->orderBy('id')->limit(1000)->all();
    foreach($markers as $marker){
        // ADD TO XML DOCUMENT NODE
        $stable .= '<marker ';
        $stable .= 'id="' . $marker->id . '" ';
        $stable .= 'lat="' . $marker->lat . '" ';
        $stable .= 'lng="' . $marker->lng . '" ';
        $stable .= 'Risk="' . $marker->Risk . '" ';
        $stable .= 'type="' . $marker->type . '" ';
        $stable .= 'distance="' . $marker->distance . '" ';
        $stable .= '>';
    }
    $stable .= '</markers>';
    return $stable;
}

public function actionGeneticsearch($obj_id)
{
    set_time_limit(5);
    require 'PHPThreads/RollingCurl.php';
    require 'PHPThreads/Request.php';
    $link = "" . $_SERVER['HTTP_HOST'] . "/index.php?r=optimisation/startgeneticsearch&project_id=" . Yii::$app->session['project_id'] . "&obj_id=$obj_id&secret_key=HDFNA";
    $src = new \RollingCurl\RollingCurl();
    $src->window_size = 1;
    $src->get($link);
    $src->addOptions(array(CURLOPT_TIMEOUT => 1, CURLOPT_CONNECTTIMEOUT => 1));
    $src->execute(); // Çàïóñêââï
    die();
}

```

```

}

//Мутация
private function mutation($individuals, $ind_per, $gens_percent, $params) {
    //Определяем будущих мутантов
    $mutants_count=ceil(count($individuals)*$ind_per/100);
    for($i=0;$i<count($individuals);$i++){ $mutants[]=$i; }
    shuffle($mutants);
    //Метод инцеста(чем ближе родство тем больше мутация
    if($params['incest']==true)
    {
        $gens_per=$individuals[0]['similarity']*100;

    }
    else
    {
        $gens_per=$gens_percent;
    }
    if($gens_per>100){$gens_per=100;}
    if($gens_per<$gens_percent){$gens_per=$gens_percent;}
    //Метод неоднородной мутации
    $count_x_bits=strlen($individuals[0]['x']);
    $count_y_bits=strlen($individuals[0]['y']);
    if($params['heterogeneous']==true && $params['population_number']!=1)
    {
        $start_x_point=round(1+($params['population_number']-
1)/($params['op_count']+1-1)*($count_x_bits-1));
        $start_y_point=round(1+($params['population_number']-
1)/($params['op_count']+1-1)*($count_y_bits-1));
    }
    else
    {
        $start_x_point=1;
        $start_y_point=1;
    }
    //Определяем общее количество мутирующих генов а так же в хи в у хромо-
сомах по-отдельности
    $x_mutation_times=ceil(($count_x_bits-$start_x_point+1)*$gens_per/100);
    $y_mutation_times=ceil(($count_y_bits-$start_y_point+1)*$gens_per/100);
    $mutton_bits_count=$x_mutation_times+$y_mutation_times;
    for($i=0;$i<$mutants_count;$i++){
        for($l=$start_x_point;$l<=$count_x_bits;$l++){ $X_bits[]=$l; }
    shuffle($X_bits);
        for($l=$start_y_point;$l<=$count_y_bits;$l++){ $Y_bits[]=$l; }
    shuffle($Y_bits);
        for($j=0;$j<$mutton_bits_count;$j++)
        {

```

```

        if($j<$x_mutation_times)
        {
            $part='x';
            $bits=$X_bits;
            $bit_num=$j;
        }
        else
        {
            $part='y';
            $bits=$Y_bits;
            $bit_num=$j-$x_mutation_times;
        }
        $bit=$bits[$bit_num];
        $arr[0] = mb_substr($individuals[$mutants[$i]][$part], 0,
$bit-1);
        if(mb_substr($individuals[$mutants[$i]][$part], $bit-1,
1)==1)
        {
            $arr[1] = substr($individuals[$mu-
tants[$i]][$part], $bit-1, 0).'0';
        }
        else
        {
            $arr[1] = substr($individuals[$mu-
tants[$i]][$part], $bit-1, 0).'1';
        }
        # берек конец слова (после символа с ударением)
        $arr[2] = substr($individuals[$mutants[$i]][$part],
$bit);
        $individuals[$mutants[$i]][$part]=implode($arr);
    }
}
# соединяем это все по порядку и возвращаем
return $individuals;
}

//ФУНКЦИЯ КОНВЕРТАЦИИ В ЛЮБОЙ ТИП ДАННЫХ
private function convBase($numberInput, $fromBaseInput, $toBaseInput)
{
    if ($fromBaseInput==$toBaseInput) return $numberInput;
    $fromBase = str_split($fromBaseInput,1);
    $toBase = str_split($toBaseInput,1);
    $number = str_split($numberInput,1);
    $fromLen=strlen($fromBaseInput);
    $toLen=strlen($toBaseInput);
    $numberLen=strlen($numberInput);

```

```

$retval='';
if ($toBaseInput == '0123456789')
{
    $retval=0;
    for ($i = 1;$i <= $numberLen; $i++)
        $retval = bcadd($retval, bcmul(array_search($number[$i-1], $from-
Base),bcpow($fromLen,$numberLen-$i)));
    return $retval;
}
if ($fromBaseInput != '0123456789')
    $base10=$this->convBase($numberInput, $fromBaseInput, '0123456789');
else
    $base10 = $numberInput;
if ($base10<strlen($toBaseInput))
    return $toBase[$base10];
while($base10 != '0')
{
    $retval = $toBase[bcmod($base10,$toLen)].$retval;
    $base10 = bcdiv($base10,$toLen,0);
}
return $retval;
}
private function population_gen($maxX, $maxY, $count)
{
    $i=0;

    while($i<$count)
    {
        $individual[$i]['x']=$this->convBase(rand(1,$maxX), '0123456789',
'01');
        $individual[$i]['y']=$this->convBase(rand(1,$maxY), '0123456789',
'01');
        $i++;
    }
    return $individual;
}
private function full_bin_number($number, $bits)
{
    if(strlen($number)<$bits)
    {
        $zeros_count=$bits-strlen($number);
        $i=0;
        while($i<$zeros_count)
        {
            $number='0'.$number;
            $i++;
        }
    }
}

```

```

    }
    return $number;
}
private function to_real_string($gen_string,$params, $axis){
    if($axis=='x')
    {

        $real_string=ceil($gen_string*$params['w']/pow(2,$params['countXbits']))
;

    }
    if($axis=='y')
    {
        $real_string=ceil($gen_string*$params['h']/pow(2,$params['countYbits']));
    }
    return $real_string;
}
private function roulette_wheel($individuals)
{
    //Находим наименьший элемент
    $min=$individuals[0]['goal'];
    foreach($individuals as $individual)
    {
        if($min>$individual['goal'])
        {
            $min=$individual['goal'];
        }
    }
    //Функция соответствия
    $F=0;
    foreach($individuals as $key=>$individual)
    {
        $F=$F+$individual['goal']-$min;
    }
    if($F!=0){
        //Вероятность отбора<br>;
        foreach($individuals as $key=>$individual)
        {
            $individuals[$key]['Pk']=( $individual['goal']-$min)/$F;
        }
        //Совокупная вероятность<br>;
        foreach($individuals as $key=>$individual)
        {
            $i=0;
            $individuals[$key]['qk']=0;
            while($i<=$key)

```



```

        {
            $individuals[$key]['qk']=$individuals[$key]['qk']+$indi-
viduals[$i]['Pk'];

            $i++;
        }
    }
    //Крутим рулетку
    $i=0;
    $new_population=Array();
    while(count($new_population)<count($individuals))
    {
        $r=$this->random_float(0,1);
        foreach($individuals as $key=>$individual)
        {
            if($key==0 && $individual['qk']>=$r)
            {
                $new_population[]=$individual;
                break;
            }
            elseif($key!=0)
            {
                if($individual['qk']>=$r)
                {
                    $new_population[]=$individual;
                    break;
                }
            }
        }
        $i++;
    }
}
else
//Рулетка когда шансы равны
{
    foreach($individuals as $individual)
    {
        $new_population[]=$individuals[rand(0,count($individuals)-1)];
    }
}
return $new_population;
}

private function connection($population, $percent)
{

```

```

$new_population=Array();

$connection_count=count($population)*$percent/100;
for($i=0;$i<count($population);$i++)
{
    if($connection_count>$i)
    {
        $parent1=rand(0, count($population)-1);
        $parent2=rand(0, count($population)-1);

        if($parent1==$parent2){while($parent1==$parent2) $parent2=rand(0, count($population)-1); }
        $r=rand(0,1);
        if($r==0)
        {
            $connection_point=rand(0,strlen($population[$parent1]['x']));
            $new_population[$i]['x']=substr($population[$parent1]['x'],0,$connection_point).''.substr($population[$parent2]['x'],$connection_point);
            $new_population[$i]['y']=$population[$parent2]['y'];
            similar_text($new_population[$i]['x'], $new_population[$i]['y'], $similarity);
            $new_population[$i]['similarity']=$similarity;
        }
        else
        {
            $new_population[$i]['x']=$population[$parent1]['x'];
            $connection_point=rand(0,strlen($population[$parent1]['y']));
            $new_population[$i]['y']=substr($population[$parent1]['y'],0,$connection_point).''.substr($population[$parent2]['y'],$connection_point);
            similar_text($new_population[$i]['x'], $new_population[$i]['y'], $similarity);
            $new_population[$i]['similarity']=$similarity;
        }
    }
    else
    {
        $new_population[$i]['x']=$population[$parent1]['x'];
        $new_population[$i]['y']=$population[$parent1]['y'];
        similar_text($new_population[$i]['x'], $new_population[$i]['y'], $similarity);
        $new_population[$i]['similarity']=$similarity;
    }
}

```

```

        }
    }
    return $new_population;
}

public function actionStartgeneticsearch($obj_id, $project_id)
{
    $project = Projects::findOne(['id' => $project_id]);
    if($project->status<2){
        die();
    }
    else
    {
        Yii::$app->session['project_id']=$project_id;
        // $this->set status(1, $project id);
        Optimisation::deleteAll(['proj_id' => $project_id]);
    }
    ini set('memory limit', '-1');
    ignore_user_abort(true);
    set time limit(0);
    // $min lat=0;
    // $min lng=0;
    $min_lat = FacilityZones::find()->select('min(lat)')->scalar();
    $min_lng = FacilityZones::find()->select('min(lng)')->scalar();
    if(($substrate = Substrates::findOne(['proj_id' => $project_id]))!=
null)
    {
        $K=$substrate->k;
    }
    else
    {
        $K=1;
    }
    // $max_lat=$substrate->width/3600;
    // $max_lng=$substrate->height/3600;
    $max_lat = FacilityZones::find()->select('max(lat)')->scalar();
    $max_lng = FacilityZones::find()->select('max(lng)')->scalar();
    $max_x=Calc::calculateTheDistance($min_lng, 0, $max_lng, 0)/$K;
    $max_y=Calc::calculateTheDistance($min_lat, 0, $max_lat, 0)/$K;
    $params['w']=$max_x;
    $params['h']=$max_y;
    $params['ind_count']=round(sqrt($max_x+$max_y)*1.5);
    $params['countXbits']=ceil(log($params['w'], 2));
    $params['countYbits']=ceil(log($params['h'], 2));
    $params['op_count']=( $params['countXbits']+$params['countYbits'])*2;
    $params['per_con']=90; //Сколько процентов будут спариваться
    $params['maxX']=pow(2, $params['countXbits']);

```

```

$params['maxY']=pow(2,$params['countYbits']);
$params['incest']=true; //метод инцеста
$params['population_number']=1;
$params['heterogeneous']=false; //неоднородная мутация
$goal=0;
$first=true;
$massive=Array();
$obj_scenarios=Array();
$all_individuals=Array();
//Генерация првоначальной популяции
$i=0;
while($i<$params['ind_count'])
{
    $individuals[$i]['x']=$this->full_bin_number($this->convBase(rand(1,$params['maxX']), '0123456789', '01'),$params['countXbits']);
    $individuals[$i]['y']=$this->full bin number($this->convBase(rand(1,$params['maxY']), '0123456789', '01'),$params['countYbits']);
    $i++;
}
$i=0;
while($i<$params['op count'])
{
    //Вычисление целевой функции
    foreach($individuals as $key=>$individual)
    {
        $meters_x=$this->convBase($individual['x'], '01',
'0123456789');
        $meters_y=$this->convBase($individual['y'], '01',
'0123456789');
        $cords=$this->convert_to_cord($min_lat, $min_lng, $this->to_real_string($meters_x,$params,'x'),$this->to_real_string($meters_y,$params,'y'),$K);
        if(isset($calculated_points[$individual['x']][$individual['y']]))
        {
            $individuals[$key]['goal']=$calculated_points[$individual['x']][$individual['y']];
        }
        else
        {
            if($this->checkpointinobjterri-
rory($cords['lat'],$cords['lng'], $project_id)===true)
            {
                $model=new Optimisation;
                $model->proj_id=$project_id;
                $model->lat=$cords['lat'];
            }
        }
    }
}

```

```

        $model->lng=$cords['lng'];
        $tank = Tanks::findOne(array('proj_id' => $project_id, 'id'=>$obj_id));
        if($tank!=null)
        {
            $object = new MapObjects;
            $object->lat = $cords['lat'];
            $object->lng = $cords['lng'];
            $object->proj_id = $project_id;
            $object->diking_id = 0;
            $object->type = 'tank';
            $object->obj_id = $obj_id;
            $object->count = 1;
            $object->icon_text = 'temp';
            $object->save();
            if($first==true)
            {
                $scalc=new Calc; $scalc->setbase(false);
            }
        }
        else
        {
            die('Работа с несуществующим объектом');
        }
        $risk=$this->goal_function($project_id, $K, $massive, $object->lat, $object->lng);
        $calculated_points[$individual['x']][$individual['y']]=$risk['goal'];
        //удаляем объект с карты
        MapObjects::findOne(['proj_id' => Yii::$app->session['project_id'], 'id'=>$object->id])->delete();
        $massive=$risk['massive'];
        $model->Risk=$risk['goal'];
        $individuals[$key]['goal']=$model->Risk;
        $first=false;
        $model->type='genetic';
        $model->save();
    }
    else
    {
        $individuals[$key]['goal']=0;
    }
}
}
    $all_individuals=array_merge ($all_individuals, $individuals );
//Крутим колесо
    $individuals=$this->roulette_wheel($individuals);

```

```

        $individuals=$this->connection($individuals, $params['per_con']);
        $individuals=$this->mutation($individuals,50,20, $params);
        $params['population_number']++;
        $i++;
    }
    $maximum = Optimisation::find()->where(['proj_id' => $project_id])-
>where('risk=(SELECT max(risk) FROM optimisation WHERE proj_id='.$pro-
ject_id.')')->one();
    $optimum=new Optimisation;
    $optimum->proj_id=$maximum->proj_id;
    $optimum->lat=$maximum->lat;
    $optimum->lng=$maximum->lng;
    $optimum->Risk=$maximum->Risk;
    $optimum->type='optimum';
    $optimum->save();
    $this->set_status(2, $project_id);
    sleep(10);
    Optimisation::deleteAll(['proj id' => $project id]);
    Yii::$app->session->destroy();
    ini set('memory limit', '1');
    return 'end';
}

public function goal_function($project_id, $K, $massive=Array(), $object_lat,
$object_lng)
{
    //Устанавливаем объект на карту
    //summ - summ of risks values
    //G - count of acceptable risks values
    $G=0;
    $Q=0;
    $A=0;
    $B=0;
    $C=0;
    $D=0;
    $acceptableSocial=0.000001;
    $acceptableResidentialInd=0.00000001;
    $acceptableResidential=0.0000001;
    $social_risks=false;
    $residential_risks=false;
    $people_count=0;
    $socials = SocialObjects::find()->where(['proj_id' => $project_id,
'on_map'=>1])->all();
    $residential_objects=ResidentialObjects::find()->where(['proj_id' => $pro-
ject_id, 'on_map'=>1])->all();
    foreach($socials as $social)// row

```

```

    {
        $D=$D+CalcWord::calculateTheDistance($object_lat, $object_lng, $social-
>lat, $social->lng)/$K;
        $people= PeopleInSocial::find()->where(['social_id' => $social->id])-
>all();
        foreach($people as $key=>$person)// row
        {
            $result=Risk::set_potencial_risk($social->lat, $social->lng, $K,
$massive);
            $massive=$result['massive'];
            $Ind_rs=$result['risk']*$person->probability;
            $Q=$Q+$Ind_rs;
            if($Ind_rs<=$acceptableSocial)
            {
                $G++;
            }
            $people count++;
        }
    }

    foreach($socials as $social)// row
    {
        $people=PeopleInSocial::find()->where(['social_id' => $social->id])-
>all();
        foreach($people as $key=>$person)// row
        {
            $social_risks=true;
            if($key==0)
            {
                $first_val=($acceptableSocial-$Ind_rs)/$acceptableSocial;
            }
            else
            {
                $A=$A+ABS($first_val-($acceptableSocial-$Ind_rs)/$acceptableSo-
cial);
            }
        }
    }
    foreach($residential_objects as $key=>$residential)// row
    {
        $D=$D+CalcWord::calculateTheDistance($object_lat, $object_lng, $residen-
tial->lat, $residential->lng)/$K;
        $residential_risks=true;
        $result=Risk::set_potencial_risk($residential->lat, $residential->lng,
$K, $massive);
        $massive=$result['massive'];
    }
}

```

```

    $Ind_rs=$result['risk'];
    $Q=$Q+$Ind_rs;
    if($Ind_rs<=$acceptableResidentialInd){
        $G++;
    }
    if($social_risks==true)
    {
        $B=$B+ABS($first_val-($acceptableResidentialInd-$Ind_rs)/$acceptableResidentialInd);
    }
    else
    {
        if($key==0)
        {
            $first_val=($acceptableResidentialInd-$Ind_rs)/$acceptableResidentialInd;
        }
        else
        {
            $B=$B+ABS($first_val-($acceptableResidentialInd-$Ind_rs)/$acceptableResidentialInd);
        }
    }
    }
    $social_risk=Risk::set_residential_risk($K);
    $Q=$Q+$social_risk;
    if($social_risk<=$acceptableResidential){
        $G++;
    }
    if(isset($first_val) && ($people_count>1 or count($residential_objects)>0))
    {
        $C=$C+ABS($first_val-($acceptableResidential-$social_risk)/$acceptableResidential);
        $F=($A+$B+$C)/($people_count+count($residential_objects));
    }
    else
    {
        $F=0;
    }

    $goal=$G-1/$D-$Q-$Q*$F;

    //отдаем результат
    $result['massive']=$massive;
    $result['goal']=$goal;
    return $result;
}

```



```

private function checkpointinobjterritory($lat,$lng, $project_id)
{
    $zones_on_map = FacilityZones::find()->where(['proj_id' => $project_id])->groupBy('zone_id');
    if($zones_on_map->count()>0)
    {
        $zones_on_map = FacilityZones::find()->where(['proj_id' => $project_id])->groupBy('zone_id')->all();
        foreach ($zones_on_map as $map_zone)
        {
            $i=0;
            $zone_cords = FacilityZones::find()->where(['proj_id' => $project_id, 'zone_id' => $map_zone->zone_id])->orderBy('num')->all();
            foreach ($zone_cords as $zone_cord)
            {
                $x[$i]=$zone_cord->lat;
                $y[$i]=$zone_cord->lng;
                $i++;
            }
            $x[$i]=$x[0];
            $y[$i]=$y[0];
            $k=$i;
            $i=0;
            $count_intersection=0;
            while($i<$k)
            {
                $x3=min($x[$i], $x[$i+1]);
                if($x3==$x[$i]) { $y3=$y[$i+1]; } else { $y3=$y[$i]; }
                $a = ($x[$i] - $lat) * ($y[$i+1] - $y[$i]) - ($x[$i+1] - $x[$i]) * ($y[$i] - $lng);
                $b = ($x[$i+1] - $lat) * ($y3 - $y[$i+1]) - ($x3 - $x[$i+1]) * ($y[$i+1] - $lng);
                $c = ($x3 - $lat) * ($y[$i] - $y3) - ($x[$i] - $x3) * ($y3 - $lng);
                if(($lng>min($y[$i], $y[$i+1])) && ($lng<max($y[$i], $y[$i+1])) && ($lat<=$x3 || ($a >= 0 && $b >= 0 && $c >= 0) || ($a <= 0 && $b <= 0 && $c <= 0))) {
                    $count_intersection++;
                }
                $i++;
            }
            //до этого момента идет расчет кол-ва пересечений
            if ($count_intersection & 1)
            {
                return true;
            }
        }
    }
}

```

```
        return false;  
    }  
    else  
    {  
        return false;  
    }  
}
```

## Приложение Д. Акты внедрения

Утверждаю  
Заместитель начальника Академии  
ГПС МЧС России по учебной работе,  
к.в.н., доцент

  
\_\_\_\_\_ М.В. Бедило  
« 5 » \_\_\_\_\_ 2017 г.

## АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Гудина Сергея Витальевича «Модели и алгоритмы поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах», представленной к защите по специальности 05.13.10 – управление в социальных и экономических системах (технические науки)


Комиссия в составе председателя – зам. начальника кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н., доцента Сатина Алексея Петровича, и членов комиссии – профессора кафедры информационных технологий УНК АСИТ д.т.н., доцента Бутузова Станислава Юрьевича, старшего преподавателя кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н. Мокшанцева Александра Владимировича подтверждает, что результаты диссертационной работы Гудина С.В., внедрены в учебный процесс кафедры информационных технологий Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, а именно: результаты компьютерного моделирования, основанные на математической модели определения оптимальной комбинации мероприятий по управлению пожарными рисками на нефтегазовых объектах.

Результаты внедрены в дисциплину «Информационные технологии управления», «Информационные технологии в сфере безопасности» на факультете руководящих кадров Академии, курсах повышения квалификации факультета подготовки научно-педагогических кадров, а также в Институте развития (на лекциях, практических занятиях, при подготовке магистерских диссертаций).


Председатель комиссии  
Зам. начальника кафедры ИТ УНК АСИТ  
к.т.н., доцент

 А.П. Сатин

Члены комиссии  
Профессор кафедры ИТ УНК АСИТ  
д.т.н., доцент

 С.Ю. Бутузов

Старший преподаватель кафедры ИТ УНК АСИТ  
к.т.н.

 А.В. Мокшанцев

Утверждаю  
 Генеральный директор  
 ООО «Ойлсид»  
 \_\_\_\_\_ О.М. Нафикова  
 «25» \_\_\_\_\_ 2016 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Гудина Сергея Витальевича «Модели и алгоритмы поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах», представленной к защите по специальности 05.13.10 – управление в социальных и экономических системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя – генерального директора ООО «Ойлсид» Нафиковой Оксаны Михайловны, и членов комиссии – ведущего специалиста ООО «Ойлсид» Сидорова Михаила Геннадьевича, инженера ООО «Ойлсид» Нафикова Данила Олеговича, подтверждает, что результаты диссертационной работы Гудина С.В., внедрены в рабочий процесс ООО «Ойлсид», а именно: осуществлен поиск комбинации мероприятий по снижению величин пожарного риска в ходе разработки паспорта безопасности опасного производственного объекта (Автозаправочная станция, расположенная по адресу: г. Химки, мкр. Сходня, ул. Некрасова, д. 2).

Результаты внедрены в повседневную деятельность специалистов ООО «Ойлсид» и используются для проведения экспертизы проектных решений и управления пожарными рисками, при формировании системы обеспечения пожарной безопасности, а также при разработке новых и модернизации существующих производственных систем и процессов на нефтегазовых объектах.

Председатель комиссии  
 Генеральный директор ООО «Ойлсид» \_\_\_\_\_ О.М. Нафикова

Члены комиссии  
 Ведущий специалист ООО «Ойлсид» \_\_\_\_\_ М.Г. Сидоров

Инженер ООО «Ойлсид» \_\_\_\_\_ Д.О. Нафиков

Утверждаю  
Заместитель начальника Академии  
ГПС МЧС России по научной работе,  
д.т.н., профессор

М.В. Алешков  
«1 марта» 2017 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Гудина Сергея Витальевича «Модели и алгоритмы поддержки адаптивного управления пожарной безопасностью на нефтегазовых объектах», представленной к защите по специальности 05.13.10 – управление в социальных и экономических системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя – начальника НИО АСИТ к.т.н. Лукьянченко Александра Андреевича, и членов комиссии – профессора кафедры информационных технологий УНК АСИТ д.т.н., профессора Топольского Николая Григорьевича, научного сотрудника УНК АСИТ к.т.н. Шихалева Дениса Владимировича подтверждает, что результаты диссертационной работы Гудина С.В., использованы в ходе научно-исследовательской работы на тему: «Разработка распределённой информационной системы поддержки управления пожарной безопасностью объектов нефтегазового комплекса на уровне региона (области)» в рамках реализации плана проведения научно-исследовательских работ на 2014-2015 гг в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, а именно: математическая модель определения оптимальной комбинации мероприятий по управлению пожарными рисками нефтегазовых объектов.

Председатель комиссии  
Начальник НИО АСИТ  
к.т.н.



А.А. Лукьянченко

Члены комиссии  
Профессор кафедры ИТ УНК АСИТ  
д.т.н., профессор



Н.Г. Топольский

научный сотрудник УНК АСИТ  
к.т.н.



Д.В. Шихалев