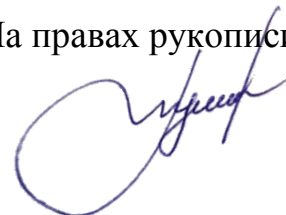


МИНИСТЕРСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ПО ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ  
И ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ

**Академия Государственной противопожарной службы**

На правах рукописи



МУСАЙБЕКОВ АСХАТ ГАЙНУЛЛАУЛЫ

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ  
ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ  
НА ПОЖАРЫ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

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 Ренат Шамильевич

Москва – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	4
ГЛАВА 1. Анализ проблем поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары...	11
1.1. Анализ пожаров на объектах нефтепереработки Республики Казахстан .....	11
1.2. Современные подходы к управлению пожарной безопасностью на объектах нефтепереработки Республики Казахстан .....	18
1.3. Проблемы управления пожарной безопасностью на объектах нефтепереработки при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений.....	24
1.4. Анализ научных работ по проблемам поддержки принятия решений в области обеспечения пожарной безопасности.....	32
1.5. Выводы по первой главе.....	41
ГЛАВА 2. Формирование базы знаний, моделей и алгоритмов системы поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки .....	43
2.1. Функциональная модель организации взаимодействия в системе управления пожарной безопасностью объектов нефтепереработки на основе метода прецедентов.....	43
2.2. Фреймовая модель представления знаний в системе пожарной безопасности объекта нефтепереработки на основе метода прецедентов .....	51
2.3. Методики поиска прецедентов .....	60
2.4. Алгоритмы поддержки принятия решений с интеграцией ретроспективных данны по методу прецедентов .....	70
2.5. Обоснование необходимости разработки специального программного обеспечения.....	77
2.6. Программная реализация системы поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при	

реагировании на пожары объектов нефтепереработки на основе разработанных моделей и алгоритмов.....	79
2.7. Определение ранга пожара на основе дискриминантного анализа .....	82
2.8. Анализ результатов тестирования разработанного специального программного обеспечения .....	90
2.9. Выводы по второй главе.....	94
ГЛАВА 3. Разработка и внедрение системы поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки .....	96
3.1. Определение требований к системе поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки .....	96
3.2. Практические рекомендации по применению специального программного обеспечения для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений .....	100
3.3. Проведение оценки эффективности прецедентного подхода при поддержке принятия решений с использованием специального программного обеспечения.....	103
3.4. Выводы по третьей главе.....	105
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	106
Список условных сокращений.....	108
Список литературы .....	110
Приложение А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа АРМ системы поддержки принятия решений для специалиста пожарной безопасности НПЗ .....	124
Приложение Б. Листинг программного кода .....	125
Приложение В. Акты внедрения.....	144

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** На территории Республики Казахстан (РК) действует более 100 предприятий, чья деятельность связана с добычей, хранением, переработкой и транспортировкой легковоспламеняющихся углеводородов, а в зонах их размещения проживает почти половина населения республики. Опасность функционирования объектов нефтеперерабатывающей отрасли связана с вероятностью возникновения пожароопасных ситуаций, охватывающих большие площади, и трудностью локализации чрезвычайной ситуации из-за особой специфики предприятий. Пожары на объектах нефтепереработки (ОН) характеризуются высокой степенью опасности, вызванной негативными последствиями социального, экологического и экономического характера. Управление пожарной безопасностью (ПБ) объектов нефтеперерабатывающей отрасли является одной из важнейших функций государства, которая осуществляется системой управления, объединяющей различные структуры для предотвращения и ликвидации пожаров.

На объектах нефтепереработки РК активно начинают использоваться современные системы универсальной защиты, обеспечивающие: тушение пожаров; предотвращение взрывов; локализацию токсичных утечек. Подобные системы позволяют ликвидировать пожар или чрезвычайную ситуацию на объекте защиты в десятки раз быстрее и эффективнее. Однако, в настоящее время, не созданы алгоритмы на основе моделей поддержки принятия решений при определении ресурсов (сил и средств) пожарно-спасательных подразделений для тушения пожаров на ОН, которые позволили бы снизить время принятия решений лицу, принимающему решение (ЛПР) в условиях большого количества исходной информации, поступающей от субъектов как внешней, так и внутренней среды взаимодействия. Также недостаточно исследованы вопросы применения интеллектуальных технологий, использующих накопленные знания,

прецедентный подход в области принятия решений при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары ОН.

Несмотря на то, что исследование процессов в сложных системах управления ПБ с целью обоснования и принятия решений активно продолжается в течение последних десятилетий, возникает множество вопросов по решению общесистемных противоречий при разработке информационных технологий обработки данных о состоянии отдельных сложных объектов. Именно поэтому создание моделей и алгоритмов для применения прецедентного подхода в принятии решений при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки с использованием ретроспективных данных является актуальной научной задачей, на решение которой направлено диссертационное исследование.

Необходимость исследования также подтверждается основными приоритетами, определенными законом РК «О гражданской защите», принятым 11 апреля 2014 года в целях совершенствования законодательства в области гражданской обороны, промышленной и пожарной безопасности, а также формирования государственного материального резерва, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Таким образом, актуальность выбранного направления обусловлена необходимостью разработки моделей и алгоритмов, специального программного обеспечения (СПО) поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары ОН РК, позволяющих снизить время принятия решений в условиях большого количества исходной информации за счёт применения интеллектуальных технологий.

**Степень разработанности темы.** Проблемы повышения эффективности управления пожарной безопасностью с применением информационных технологий и систем поддержки принятия решений (СППР) в рассматриваемой предметной области исследовались многими учёными:

1) вопросы автоматизации и СППР: Н.Г. Топольский, Н.Н. Брушлинский, Е.А. Мешалкин, С.В. Соколов, В.А. Минаев, В.А. Семиков, В.Н. Бурков,

Ю.В. Прус, А.Н. Членов, В.Б. Коробко, А.А. Таранцев, С.Ю. Бутузов, В.А. Седнев, А.Н. Денисов, Р.Ш. Хабибулин, Д.В. Тараканов, Е.Б. Алексеик, А.П. Сатин, А.В. Мокшанцев, К.С. Власов, В.М. Климовцов, А.В. Федоров, В.Н. Демехин, Т.С. Станкевич, Т.А. Буцынская и др.

2) вопросы прецедентного подхода: Е.А. Мешалкин, Е.Н. Чемезов, П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев, Л.Е. Карпов, А.Ф. Берман, В.Н. Юдин, Е.С. Макарова, О.А. Николайчук, M.R. Michael, O.W. Rosina, C.K. Riesbeck, R. Schank и др.

Таким образом, опираясь на опыт исследований названных авторов, в представленной работе была рассмотрена проблема применения ретроспективных данных по пожарам для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

**Цель исследования** – совершенствование управления пожарной безопасностью объектов нефтепереработки с использованием моделей и алгоритмов прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары рассматриваемых объектов защиты.

**Основные задачи исследования:**

1) анализ проблем поддержки принятия решений при управлении пожарной безопасностью, в том числе при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки с использованием информационных технологий;

2) разработка моделей и алгоритмов интеллектуальной поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки на основе ретроспективных данных;

3) создание специального программного обеспечения поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки с помощью разработанных моделей и алгоритмов;

4) апробация, оценка эффективности специального программного обеспечения поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов

пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

**Объект исследования** – процесс принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

**Предмет исследования** – модели и алгоритмы поддержки принятия решений в процессе прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

**Научная новизна** заключается в следующем:

1) создана информационная модель структурирования ретроспективных данных о пожарах в виде взаимосвязанных фреймов для решения управленческой задачи прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки из разработанной базы знаний;

2) построены математическая модель и алгоритм прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки на основе прецедентного подхода, отличающиеся возможностью учета ранга пожара путем решения задачи классификации на основе дискриминантного анализа;

3) определена структура, функции системы поддержки принятия управленческих решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки, включая специальное программное обеспечение на основе разработанных моделей и алгоритмов.

**Теоретическая значимость** заключается в том, что использование предлагаемых моделей, алгоритмов, системы поддержки управления позволит снизить время принятия решений при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки на основе ретроспективных данных при значительном количестве исходной информации.

**Практическая значимость** заключается в разработке специального программного обеспечения системы поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки. Программное обеспечение зарегистрировано в Федеральной службе по интеллектуальной собственности.

**Методология и методы исследования.** В диссертации для решения задач исследования использованы методы системного анализа и инженерии знаний, метод прецедентов, дискриминантный анализ.

**Положения, выносимые на защиту:**

1) информационная модель структурирования ретроспективных данных в виде взаимосвязанных фреймов прецедентной базы знаний для принятия решений по прогнозированию ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки;

2) математическая модель и алгоритм прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки;

3) система поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки на основе разработанных моделей и алгоритмов.

**Достоверность** обусловлена корректным применением указанных методов исследования и подтверждается результатами компьютерного моделирования, положительной апробацией результатов.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертационной работы представлены в комплексных и индивидуальных докладах в рамках научных конференций, в числе которых:

– VII и VIII международные научно-практические конференции молодых учёных и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2018, 2019 гг.);

– XIX международная конференция «Информатика: проблемы, методология, технологии (IPMT)» (г. Воронеж, Воронежский государственный



университет, 2019 г.);

– X международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (г. Кокшетау, КТИ КЧС МВД РК, 2019 г.);

– XXVIII международная научно-техническая конференция «Системы безопасности – 2019» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2019 г.);

– Международная научно-практическая конференция «Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения» (г. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020 г.);

– Международный семинар «Пожарная безопасность объектов хозяйствования» (г. Кокшетау, КТИ КЧС МВД РК, 2020 г.).

**Публикации.** По теме исследования опубликовано 13 работ, из них 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК России. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Личный вклад автора.** В совместных публикациях результаты разработки моделей и алгоритмов принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки; специальное программное обеспечение и процедуры оценки его эффективности получено автором лично.

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

1) при создании зарегистрированного Роспатентом программного средства «АРМ системы поддержки принятия решений для специалиста пожарной безопасности НПЗ» №2020612655 от 28.02.2020;

2) в учебном процессе Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при изучении дисциплин «Информационные технологии управления в РСЧС», «Системы поддержки принятия решений»;

3) в учебном процессе Кокшетауского технического института КЧС МВД РК при изучении дисциплин «Информационные технологии в ЧС», «Оценка

риска в области чрезвычайных ситуаций» и «Пожарная безопасность технологических процессов»;

4) в работе Республиканского государственного учреждения (РГУ) «Управление по чрезвычайным ситуациям города Кокшетау» при планировании мероприятий по проведению командно-штабных учений (тренировок) по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций на нефтеперерабатывающих предприятиях РК.

Реализация результатов исследования подтверждена соответствующими актами внедрения.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 146 страниц. Работа иллюстрирована 28 рисунками, содержит 19 таблиц и 3 приложения. Список литературы включает в себя 109 наименований.

## ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ПОЖАРЫ

### 1.1. Анализ пожаров на объектах нефтепереработки Республики Казахстан

В условиях современных трансформационных процессов экономики нефтеперерабатывающая отрасль занимает одно из ведущих мест за счёт обеспечения потребностей различных сфер экономической жизни, как отдельных регионов, так и государств. Так, для Республики Казахстан, входящей в десятку мировых экспортёров нефти [1], а также в первую десятку глобального рейтинга по запасам углеводородного сырья, и являющейся одним из крупнейших поставщиков сырой нефти в центральноазиатском регионе [2], значение отрасли показывает её процентная доля в ВВП страны [3] (рисунок 1.1).

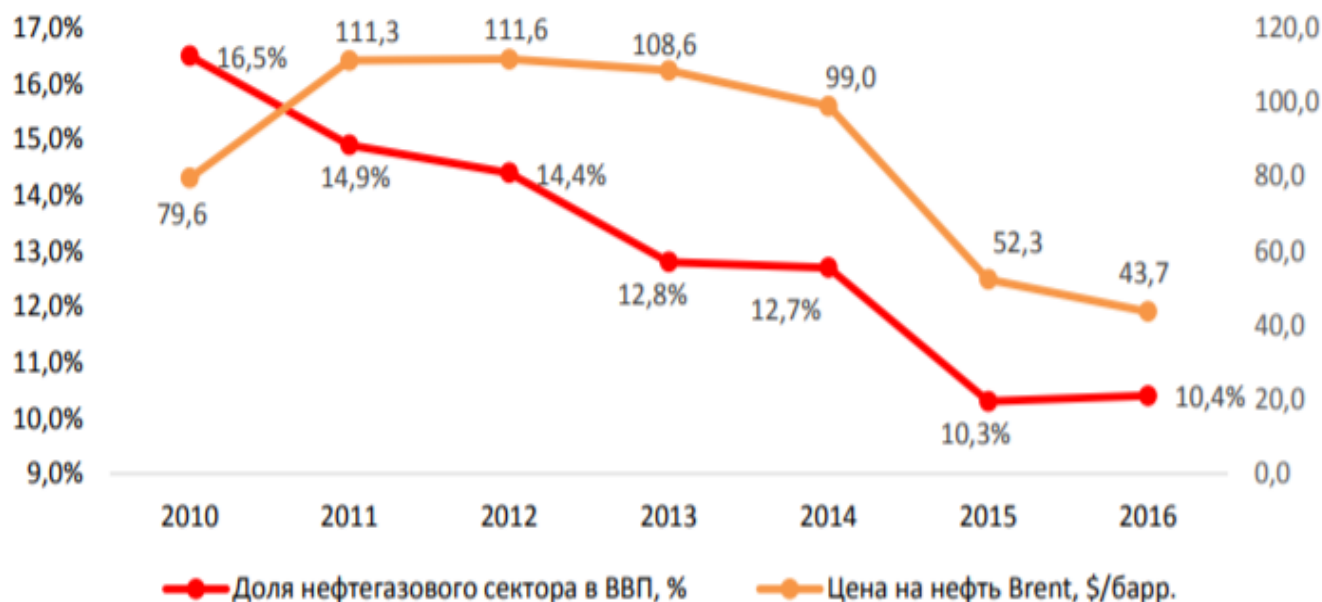


Рисунок 1.1 – Доля нефтеперерабатывающей отрасли в ВВП  
Республики Казахстан

По данным аналитиков за 2010–2016 гг., производство нефти в Республике Казахстан изменилось незначительно: с 79,5 млн тонн в 2010 году до 80,8 млн тонн в 2014 году. Доля производства казахстанской нефти в общемировом объёме в среднем за проанализированные пять лет составляло порядка 2%.

В 2016 году было планировано довести производство нефти до 80,8 млн тонн. Значительное наращивание производства нефти ожидалось в 2017–2019 гг. в связи с началом коммерческой добычи нефти на месторождении Кашаган, а также за счёт дальнейшей разработки месторождений Тенгиз и Карачаганак. Однако полагалось, что годовой рубеж производства сырой нефти и газового конденсата в 100 млн тонн нефти не будет преодолен в 2020 году [4].

Кризисные явления усиливают проявление негативных факторов и приводят к упадку целостного комплекса нефтеперерабатывающей отрасли. В настоящее время особенно остро встаёт вопрос об обеспечении комплексной безопасности отрасли, поэтому исследование кризисных явлений сегодня особенно актуально, поскольку проблема переросла из отдельных ситуативных происшествий в микросреде в риск глобального характера, угрожающий экономической безопасности государства [5].

В профильных исследованиях по этому вопросу акцент ставится на конкретных действиях, которые будут способствовать постепенному развитию мощнейшего потенциала нефтеперерабатывающих предприятий Республики Казахстан [6]. Однако, формирование комплексных стратегий физической безопасности приводит к дополнительным затратам нефтеперерабатывающих компаний, так как на сегодняшний день этот вопрос на 96 % финансируется ими самостоятельно [7].

Система обеспечения безопасности нефтяной промышленности государства, по мнению исследователей, является многокомпонентным явлением (таблица 1.1).

Автор	Год публикации	Компоненты безопасности нефтегазовой отрасли					
		Пожарный	Информационный	Экономический	Промышленная	Ресурсы	Управление рисками
Кондратьев С.Ю.	2007				■	■	■
Нгуен Минь Хьонг	2011	■					■
Туйтебаева Д.С.	2013		■				■
Мукан С.М.	2014			■	■	■	
Калгина И.С.	2016				■	■	■

Таблица 1.1 – Матрица компонентов безопасности нефтеперерабатывающей отрасли Республики Казахстан в монографических изданиях за 2007–2016 гг.

Анализ научных работ по проблеме безопасности нефтеперерабатывающей отрасли показывает, что монографические исследования за последние 10 лет касаются в основном ресурсного и экономического компонента, а вопросы физической безопасности объектов в РК остаются вне поля зрения исследователей (в отличие от российской научной среды). Графическое представление направлений исследований также показывает, что их тематика практически не пересекается и комплексный подход к решению проблем пока не найден.

В связи с этим, был проведён контент-анализ периодической литературы по проблемам ПБ нефтеперерабатывающей отрасли. Выборку составили более 125 статей и тезисов научных конференций [8]. Ранжирование количества компонентов рассматриваемого явления показало смещение научных интересов от сферы экономики к информационному и пожарному компоненту (рисунок 1.2).

Присвоение числового ранга зависит от частоты упоминания компонентов в литературе. Наиболее часто упоминаемому компоненту как ключевому слову исследования присваивается наибольший ранг. Так, компонент «проблемы пожарной и промышленной безопасности» получил наибольшее распространение

и ранг, а развитие информационных технологий как одной из существенных технологий для обеспечения ПБ ОН РК является наименее изученным.

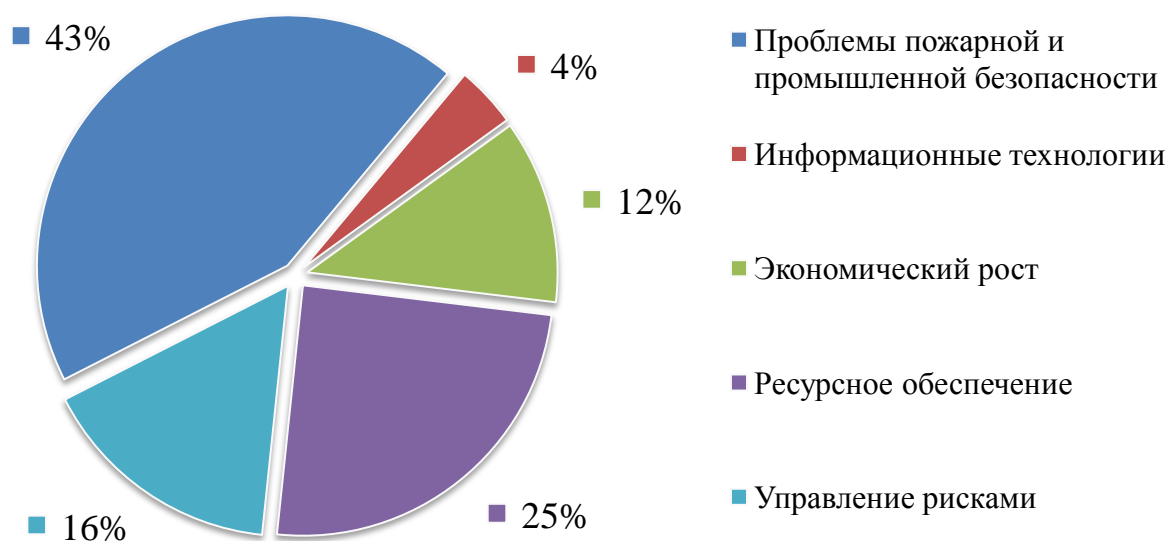


Рисунок 1.2 – Анализ научных работ, посвящённых вопросам управления пожарной безопасностью в нефтеперерабатывающей отрасли

Полученные данные подтверждают актуальность данного исследования и необходимость проведения углублённого монографического исследования по проблеме ПБ нефтеперерабатывающей отрасли. Однако выбор темы обусловлен не только пробелами в научных исследованиях, но и практическими особенностями отрасли в РК. Так, с 1992 года на территории РК было зарегистрировано [9] более 20 крупных пожаров (чрезвычайных ситуаций по причине пожара) на объектах нефтепереработки. Важно отметить, что официальных данных и разъяснений по каждому пожару на официальных ресурсах не приводилось. Поэтому в рамках данного исследования впервые составлена оперативная карта пожарной ситуации объектов нефтепереработки Республики Казахстан (рисунок 1.3).

Как видно из рисунка 1.3, географическое расположение объектов нефтепереработки Республики Казахстан не влияет на частоту возникновения ЧС по причине пожаров. В связи с этим распределим и опишем специфику ЧС относительно основных предприятий нефтяной отрасли РК.

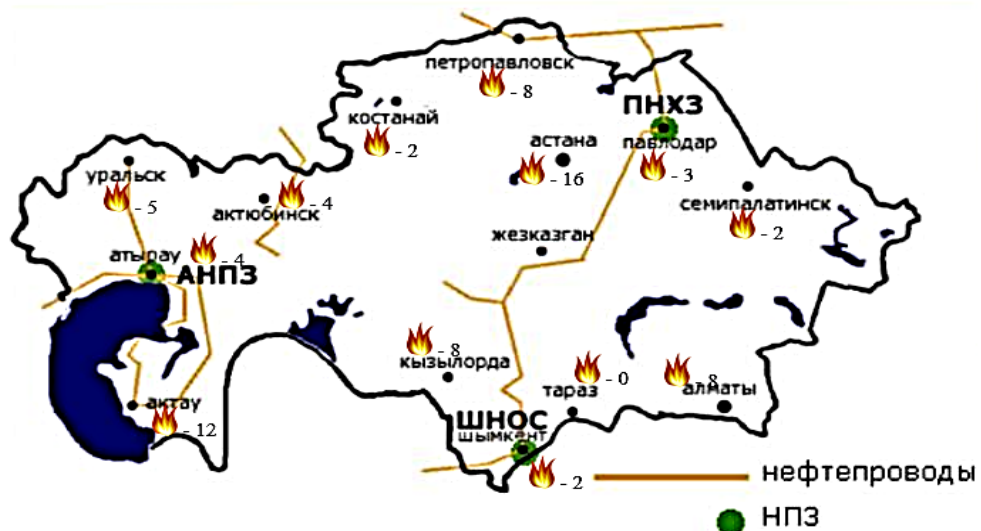


Рисунок 1.3 – Оперативная карта пожарной ситуации объектов нефтепереработки Республики Казахстан

По данным на 2018 г. нефтеперерабатывающими объектами являются три завода: Атырауский нефтеперерабатывающий завод, Павлодарский нефтехимический завод и Шымкентский нефтеперерабатывающий завод [10] (таблица 1.2).

Таблица 1.2 – Ведущие объекты нефтепереработки Республики Казахстан на 2018 г.

НПЗ	Контролирующий акционер	Мощности по переработке, млн т.	Объем переработки (2015 год), млн т.	Глубина переработки (2015 год), %	Область	Год ввода в эксплуатацию
Атырауский НПЗ	КазМунайГаз	4,9	4,86	59,2	Атырауская	1945
Павлодарский НХЗ	КазМунайГаз	6,0	4,81	72,5	Павлодарская	1978
Шымкентский НПЗ	PetroKazakhstan	5,2	4,49	75	Южно-Казахстанская	1985
Мини-НПЗ в г. Аксай	АО «Конденсат»	0,6	н/д	н/д	Западно-Казахстанская	1998
Мини-НПЗ в г. Актобе	ТОО «Актобе нефтепереработка»	0,3	н/д	62	Актюбинская	2011

Согласно официальным данным, за период с 2010 по 2018 гг. зарегистрировано более 331 случая возникновения чрезвычайных ситуаций по

причине пожара, из них 20 крупнейших принесли ущерб более чем на 26 млрд тенге. Отметим, что критическая масса затрат по причине пожара отмечена на Атырауском нефтеперерабатывающем заводе [11–20] (таблица 1.3).

Таблица 1.3. – Крупнейшие пожары на объектах нефтепереработки РК в 2010–2018 гг.

НПЗ РК	Дата пожара	Локализация	Использование специальной техники	Причина	Прямой ущерб, млн. тенге.
Атырауский НПЗ	29.01. 2009	Пожар в цехе № 1	30 кв. м; 7 человек л/с ГУ «СП и АСР», 14 ед. техн.	Внутреннее возгорание	2,6
	24.09. 2010	Пожар на фильтровальном блоке	Общая площадь возгорания 1950 м <sup>2</sup> 189 л/с и 36 ед. техники	Возгорание нефтешлама в цехе насос. мех. очистки № 8	2,1
	13.01. 2012	Пожар в цехе № 5	Нет данных	Нарушение режима эксплуа- тации установки замедленного коксования и установки по про-у нефтяного кокса	1,4
	06.07. 2015	Пожар в блоке установки замедленного кокования (УЗК)	85 м <sup>2</sup> , 45 чел. и 19 ед. техник	Причиной пожара стала разгерметизация запорной арматуры на приёмной линии насос.оборудования	1,35
	20.07. 2016	Пожар на установке ЭЛОУ АВТ	17 чел. л/с и 4 ед. тех ДЧС Атырауской области МЧС РК; 16 чел и 5 ед. техники противопожарной службы ТОО «АНПЗ». Площадь пожара 300 м <sup>2</sup>	На установке ЭЛОУ-АВТ-3 произошло возгорание на насосе Н-16 с последующей разгерметизацией трубопровода	1,8
Павлодарский НХЗ	18.09. 2009	Пожар на нефтеперегонной установке	144 чел. и 34 ед. спецтехники	В результате утраты контроля давления сырой нефти	800
	27.10. 2012	Возгорание печи подогрева сырья	75 чел. 12 ед. техники	Сгорание техно-й печи подо- грева сырья для катали- тического крекинга	916
Шымкентский НПЗ	29.10. 2013	Насосная установка	14 ед.тех и 44 чел. л/с	Разгермети-я уплотнения вала насоса высокого давления	0,6
	06.02. 2014	Возгорание трубопровода на выходе из печи П- 101/1	В тушении пожара принимали участие 24 ед. тех и 136 л/с	Природный фактор: аномально низкая температура воздуха	1,144
	04.08. 2016	Сгорели 12 ц-н с бензином, повреждена насосная станция	В ликвидации возгорания задействованы сил и средств 100 чел л/с и 20 ед. техн., пожарный поезд	Столкновение цистерн с тремя полувагонами	1,145
	24.06. 2017	Резервуары с г-м топливом. площадь 190 м <sup>2</sup>	36 ед. техники, 2 пожарных поезда и 360 человек личного состава. 1 чел. погиб	Причина пожара из-за хлопка газовойдушной смеси, в одном из резервуаров базы начался пожар	2,3



Для определения удельного веса затрат и вероятности возникновения пожаров показана корреляционная зависимость данных по трём показателям: частота возникновения пожаров, общий ущерб от пожаров за исследуемый период, показатели годовых расходов ОН на ПБ [21]. Результаты показаны на диаграммах (рисунок 1.4), исследуемый период с 2010 по 2018 гг.

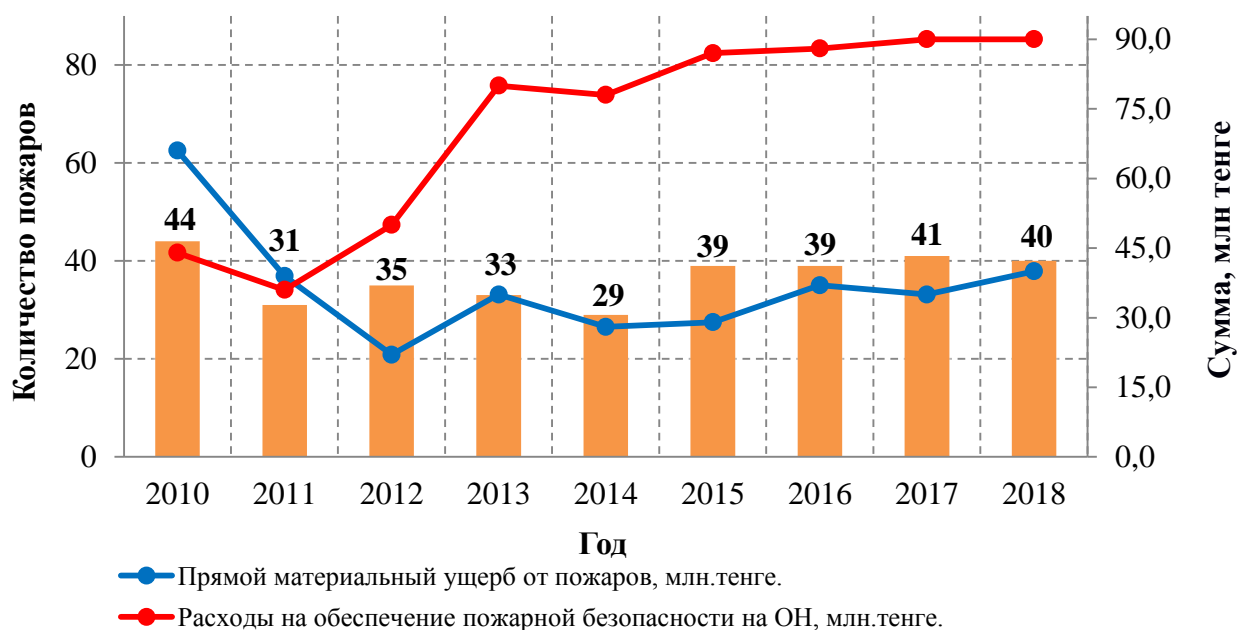


Рисунок 1.4 – Анализ пожаров и их последствий на объектах нефтепереработки Республики Казахстан в 2010–2018 гг.

Результат анализа данных за 2010–2018 гг. показал, что ежегодное количество пожаров на объектах нефтепереработки находится в диапазоне от 29 до 44 пожаров в год.

Анализ полученных результатов показывает, что прямой связи между увеличивающимися расходами на обеспечение пожарной безопасности и не снижающимся количеством пожаров на объектах нефтепереработки не обнаружено. То есть большие расходы на пожарную безопасность не гарантируют уменьшение ущерба от пожаров и снижения их количества на объектах нефтепереработки РК. Объективный анализ ситуации в области обеспечения пожарной безопасности указывает на необходимость трансформации подходов к управлению сложными объектами.

## **1.2. Современные подходы к управлению пожарной безопасностью на объектах нефтепереработки Республики Казахстан**

Основными антропогенными источниками экологической угрозы РК выступают крупные промышленные комплексы. Нефтеперерабатывающие предприятия относятся к одним из главных загрязнителей окружающей среды, но только в случае пожара или ЧС на объектах. Опасность в деятельности нефтеперерабатывающих предприятий возникает тогда, когда нефтепродукты попадают в окружающую среду. Наиболее объёмным и неконтролируемым является попадание вышеуказанных веществ в окружающую среду при взрывах и пожарах на нефтеперерабатывающих предприятиях, что позволяет отнести их к категории потенциально опасных объектов [22].

В соответствии с [23] потенциально опасным объектом считается объект, на котором могут использоваться или изготавливаются, перерабатываются, сохраняются или транспортируются опасные вещества, биологические препараты, а также другие объекты, которые при определённых обстоятельствах могут создать реальную угрозу возникновения аварии.

Объект хозяйственной деятельности признается потенциально опасным при условии наличия в его составе хотя бы одного источника опасности, способного инициировать ЧС, при наличии на объекте источников опасности, которые присущи потенциально опасным объектам или если он подпадает под действие ряда нормативно-правовых актов [24].

С учётом принятой нормативно-правовой базы под управлением ПБ или обеспечением взрывопожарной безопасности ОН в данной работе понимаются действия по предупреждению, локализации и ликвидации пожара, и недопущение перехода пожара в чрезвычайную ситуацию.

Следует отметить, что существенную роль при определении опасности, в том числе и пожарной, конкретного производства играют такие показатели, как износ основных промышленно-производственных фондов, зона возможного

поражения, количество непороговых значений опасных веществ больше двух. Исходной величиной является количество населения, которое проживает в зоне возможного действия последствий в результате ЧС, характера действия опасностей. Для принятия решения относительно предотвращения, локализации и ликвидации пожарной ситуации следует также учитывать информацию о наличии зданий, насаждений, подвижных конструкций на пути поражения, изменения местности техногенного характера, ресурсной, как специализированной, так и неспециализированной базы для недопущения распространения выхода пожара за пределы рабочей площадки, а также для ликвидации возможных последствий в случае развития ЧС [25].

Эффективность управления ПБ объектов нефтепереработки зависит от многих факторов – как собственно от работы предприятия, так и от наличия актуальной информации. Как подчёркнуто в работе [26], «проблема оказания своевременной и точной информации для принятия решений с целью предотвращения, локализации и ликвидации чрезвычайных ситуаций, связанных с взрывами и пожарами на предприятиях нефтяной отрасли, является актуальной во всем мире».

С точки зрения управления при построении моделей поддержки принятия решений по обеспечению пожарной безопасности объекта защиты, объекты нефтепереработки следует рассматривать не только в рамках потенциальной опасности отдельных веществ, которые производятся или хранятся на объекте. Каждый объект при построении как функциональной, так и информационной модели, следует рассматривать как открытую микросистему в пределах сложной макросистемы связей с органом, которому объект подчинен, с учётом управляющих воздействий в каждой системе.

Функциональной моделью является «абстрактная модель, устанавливающая состав, порядок и принципы взаимодействия всех частей; модель взаимосвязи системы с внешними и внутренними элементами» [27].

Информационной моделью, по определению ГОСТ.34.003.90, является «модель объекта, представленная в виде информации, описывающей

существенные для данного рассмотрения параметры и переменные величины объекта, связи между ними, входы и выходы объекта и позволяющая путём подачи на модель информации об изменениях входных величин моделировать возможные состояния объекта» [28].

Исходя из анализа первоисточников, основные направления разработки большинства моделей управления ПБ объектов нефтепереработки нацелены на моделирование риска некоторого гипотетического объекта или отрасли в целом, и опираются на следующие направления исследования:

1) риск-ориентированный подход:

– риск-анализ глубоких экологических и социальных изменений, который осуществляли Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Н.Л. Присяжнюк [29], М. Дуглас [30], Н. Пиджеон и Дж.Г. Касперсон [31], П. Словик [32], О. Ренн [33], А.Ф. Маленченко [34];

– риск-ориентированный подход, который, в частности, широко исследован в отношении РК такими авторами, как К.Ж. Раимбеков, А.Б. Кусаинов [35], А. Хасофер и И. Беннетс [36], С.Г. Аубакиров [37], М.С. Кайсанов, [38] и др.;

2) информационный подход. Среди исследователей-разработчиков моделей, включая разработку информационных технологий обеспечения безопасности, систем контроля и анализа ситуаций, обработки информации для принятия решений при ликвидации ЧС, можно назвать таких специалистов: А. Брик [39]; Э.Д. Хенли [40]; Б. Мишем [41], В.Е. Снитюк, А.А. Быченко, А.Н. Джулай [42]; С.И. Дворецкий, Ю.Л. Муромцев, В.А. Погонин, А.Г. Схиртладзе [43], Д. Янг [44];

3) процессный подход. Одним из ключевых моментов в проблеме обеспечения ПБ объектов нефтепереработки является выполнение комплекса работ, основу которых составляет анализ, оценка и управление риском, сопровождающихся пожарами и взрывами на технологическом оборудовании с пожаровзрывоопасными веществами и материалами. Управление пожарным риском подразумевает разработку и реализацию целого комплекса мероприятий (экономического, социального, инженерно-технического, организационного и

иною характера), которые позволят минимизировать пожарные риски до допустимого уровня для конкретного объекта. Процессный подход характерен для работ таких учёных, как Ю.Д. Моторыгин [45], В.П. Молчанов, В.П. Сучков [46], С.А. Швырков, С.А. Горячев, В.П. Сорокоумов и др. [47];

4) системы поддержки принятия решений. Наиболее близкими к теме диссертации являются фундаментальные исследования, которые освещают подходы к моделированию систем принятия решений по управлению ПБ отдельных объектов нефтепереработки с учётом их промышленного потенциала (В.Н. Бурков [48], Д.В. Тупиков [49], Ю.Н. Шебеко, В.Л. Малкин, И.М. Смолин, В. А. Колосов, Е.В. Смирнов, А.С. Паршин [50], В.П. Сучков и Р.М. Джумагалиев [51], Б.Н. Курочкин [52]). Указанные исследования и выступают базисом этой работы.

Эффективность процесса управления [53] определяется способностью объекта реализовать поставленные задачи в установленные сроки. Системным требованием информационной поддержки персонала объектов нефтепереработки является входной нормоконтроль полученных управляющей системой приказов и распоряжений по признакам их соответствия назначению и типовым заданием микросистемы объекта, имеющимся на объекте ресурсам и условиям текущего регламента функционирования объекта. Тогда функциональная модель управления должна реализовывать процедуры входного и выходного нормоконтроля управляющих воздействий, и на технологическом уровне способствовать избежанию кризисных явлений, которые связаны с бессистемным управлением [54]. Поддержка персонала технологическими процедурами входного и выходного нормоконтроля является системным требованием к СППР [55].

В рассмотренных публикациях исследование соответствия модели управления системным потребностям объекта управления встречается фрагментарно, поэтому возникла необходимость интегрировать общесистемные знания и подходы системного анализа, прикладных системных исследований в области кибернетики, информатики и проектирования активных систем для

определения в диссертации системно полного комплекса таких требований по ПБ объектов нефтепереработки.

Таким образом, управление ПБ объектов нефтепереработки РК должно основываться на опыте разработки и внедрения моделей автоматизации выполнения функций и задач управления сложными объектами, что даёт возможность формировать принципиально новую модель управления ПБ для создания соответствующей ИТ.

Важно отметить, что некоторые авторы [42] к задачам информационно-аналитических систем и систем обработки информации для принятия решений также относят автоматизацию процессов СППР при пожаротушении и применение методов искусственного интеллекта для создания экспертных систем. Автоматизация процессов относится к функциям, а не к задачам СППР, но применение методов искусственного интеллекта является наиболее перспективным направлением теоретических исследований, которое только развивается [56].

Однако на территории РК практическая реализация применения моделей СППР по обеспечению ПБ очень незначительна. На объектах нефтепереработки в основном задействованы имитационные модели, по которым можно построить картину развития отдельной ситуации. Однако ни одна из практических реализаций по управлению ПБ объектов нефтепереработки РК не может быть представлена в качестве полноценной СППР.

Среди наиболее известных зарубежных моделей по управлению ПБ, использующихся в Казахстане, можно назвать следующие:

- имитационная модель функционирования противопожарной службы, которая разработана Всероссийским научно-исследовательским институтом противопожарной обороны, и предназначена в качестве элемента автоматизированной системы управления противопожарными службами города;
- модели, используемые в системе имитационной деятельности противопожарной службы «КОСМАС» с применением геоинформационных технологий и тренажёре-игре «ТИГРИС», которые являются российскими разработками;

– модели, которые легли в основу программ для моделирования и проведения расчётов: ASCOS (Analysis of Smoke Control System), ASET (Available Safe Egress Time), DETACT (Detector Activation), FAST (Fire And Smoke Transport), FIREFORM (Fire Formulae), FPETOOL (Fire Protection Engineering Tool), HAZARD-1; LAVENT (Link Activated Vent), среди которых наиболее известными являются пакеты прикладных программ «FPETOOL» и «HAZARD-1», которые разработаны в США и используются многими европейскими странами, и британские разработки для имитационного моделирования Jasmine и Sofie [57].

Прикладная сфера исследования, очерченная в предыдущих подразделах, требует детализации некоторых определений и анализа информационных моделей, которые могут быть применены для автоматизации выполнения функций и задач в системе ПБ ОН.

Основываясь на анализе различных подходов к решению проблемы поддержки принятия решения для гарантирования ПБ, оптимальным будет использование информационного подхода, описанного Р.Ш. Хабибулиным с соавторами [58]. Поэтому систематизируем данные различных исследований и сформируем универсализированный подход к решению поставленной задачи.

В современных публикациях по кибернетике отмечается важный постулат, что сложные системы проявляют свойство к самоорганизации с получением определённого синергетического эффекта. Необходимым условием структурной самоорганизации системы является наличие информации о требованиях к организации ресурсов, технологий, среды и взаимодействия. Такие требования, как правило, определяются в положении об объекте, проектных и организационных документах [59].

Из вышесказанного вытекает необходимость функционального моделирования, как основы системного подхода к решению рассматриваемой проблемы прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.



### **1.3. Проблемы управления пожарной безопасностью на объектах нефтепереработки при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений**

Необходимость совершенствования управления ПБ объектов нефтепереработки, в том числе и путём внедрения новых подходов для получения и обработки информации с целью автоматизации задач управления, вызвано рядом технико-технологических и экономических нерешённых проблем.

Для относительно стабильного функционирования в глобальных экономических условиях большинство ОН в Казахстане инвестируют средства в расширение производства. Поэтому важной задачей выступает обеспечение потенциально опасных объектов новой, относительно недорогой, лёгкой в монтаже и обслуживании и одновременно эффективной техникой и технологией взрывопожарной безопасности.

Формирование инновационной парадигмы объектного управления ПБ невозможно без использования современных концепций, но также должно включать историческую детерминанту государственного управления – вектор, по которому идёт развитие науки.

Современные инновационные исследования используют технологии взрывопожарной и даже импульсной техники. То есть осуществлён прямой переход к инновационным системам мгновенного реагирования.

Однако существует проблема, которая ограничивает внедрение и функционирование новых средств управления ПБ на объектах нефтепереработки РК: скорость развития пожара и принятие решений по немногочисленным имитационным моделям относительно мер по его ликвидации не согласованы во времени, а достоверная и актуальная информация о развитии пожара, месте происшествия, имеющихся средствах, состоянии ситуации отсутствует [60].

Проблема заключается в том, что на практике в технологиях управления сложными объектами ещё не стала очевидной причинно-следственная связь



между своевременным применением технологии кризисного управления к ситуации на объекте и попыткой избежать кризиса путём применения технологии управления в штатном режиме. Именно своевременность определения кризисной ситуации (КС), которая значительно отличается от штатной ситуации (ШС) и не может быть исправленной методами только штатного управления, и требует исследования, например, в проектах создания СППР.

С точки зрения системного подхода на весь цикл возможных ситуаций на объекте защиты, технология ситуационного управления должна не отделяться от штатной системы управления, а создавать целостную систему в условиях управления объектов нефтепереработки.

Использование СППР на объектах нефтепереработки представляет собой решение объёмных, трудно формализуемых задач в смежных предметных областях и характеризуется отсутствием или сложностью формальных алгоритмов решения, неполнотой и нечёткостью исходной информации, нечёткостью достигаемых целей, а также сложностью нахождения решения.

Проблема поддержки принятия управленческих решений на ОН заключается в необходимости ЛПР принять решение в кратчайшие сроки, в условиях существования большого объема информации. Принятие решений происходит в меняющейся обстановке, в условиях неопределённости и отсутствия технологии, позволяющие использовать накопленный предыдущий опыт в процессе принятия решений. Поэтому принятие оперативных, обоснованных и рациональных решений требует применения прецедентной СППР для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары ОН РК [61].

Статистические данные показывают, что во многих случаях своевременное время прибытия пожарно-спасательных подразделений к месту вызова оказывается проблематичным, это зависит от многих факторов: скорости движения пожарных автомобилей, распределения оперативных подразделений по территории города, их зон обслуживания, а также занятости на других вызовах. Всё это осложняет своевременно прибытие к месту пожара, что приводит к тому, что для

тушения уже развившегося пожара требуется значительно больше пожарных подразделений [62].

Таким образом, для обеспечения своевременного времени прибытия и сосредоточения необходимого количества ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары ОН необходимо разрабатывать модели и алгоритмы их прогнозирования в рамках интеллектуальной СППР. Для решения данной проблемы необходимо подробное исследование выбранного нами направления по совершенствованию управления ПБ ОН.

Существующая система управления пожарной безопасностью объектов нефтепереработки РК основывается на взаимодействии таких субъектов, как: ЛПР, департамент по чрезвычайным ситуациям (ДЧС), объект защиты (ОН), диспетчер ОН, объектовая пожарная часть (ОПЧ), отряд пожарной и газовой безопасности (ОПГБ), отдел гражданской защиты (ОГЗ) (рисунок 1.5).

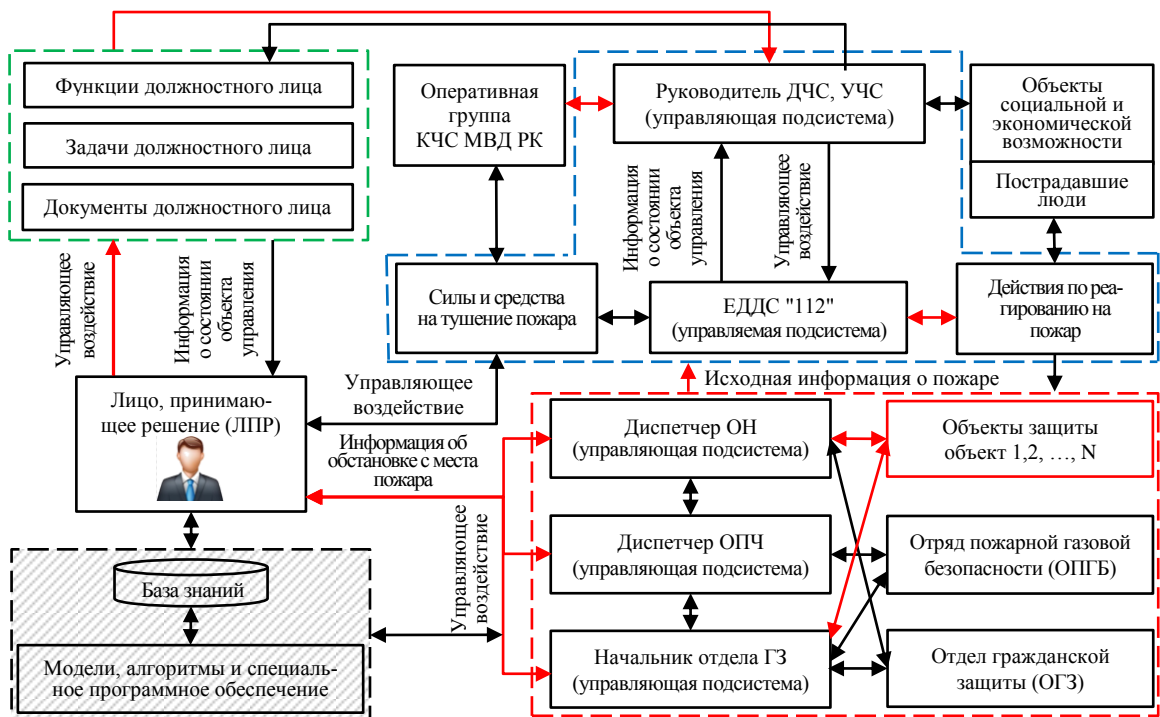


Рисунок 1.5 – Схема организации управления пожарной безопасностью объекта нефтепереработки РК

При этом схема принятия решений при возникновении угрозы ПБ состоит в передаче информации от одного узла к другому. Пока ЛПР не получит все данные, реализация ликвидации пожара или ЧС не может быть осуществлена.

При возникновении риска пожара на объектах нефтепереработки данная тактика недопустима. Кроме того, выработанная физическая система передачи данных не способствует осуществлению превентивных мер – невозможность оценки текущих рисков объекта защиты.

Объекты нефтепереработки используют различные системы гарантирования ПБ. В таблице 1.4 представлены функциональные характеристики СППР на указанных объектах нефтепереработки РК. Справа для наглядности создано дополнительное поле, в котором показаны компоненты новейших готовых разработанных за рубежом СППР, которые можно купить и внедрить уже сегодня. Как видно, компоненты СППР являются неполными [63].

Полученные данные говорят о несформированном едином подходе к выбору критериев СППР ПБ объектов нефтепереработки. Это очень важный научный вывод, который позволяет говорить о несовершенстве предложенных (даже в комплексе) компонентов СППР на ОН в Казахстане и за рубежом. Именно поэтому многие объекты разрабатывают собственные СППР. Но при изменении даже небольших параметров действующие системы могут давать отказ – и реально возникает риск пожара, о чем и говорят данные статистики в РК [64].

Таблица 1.4 – Используемые критерии принятия решений на некоторых ОН РК

Группы и критерии работы СППР	Отечественные СППР					Зарубежные действующие СППР на крупных ОН мира					
	Атырауский и Павлодарский НПЗ	Шымкентский НПЗ	АРМ-Гарнизон	АРМ-Диспетчер ЦУС	Пожаротушение	KAMELEON FIREEX KFX (США)	PLC Fire Safety (США)	Fire and Safety Specialists Inc. (Канада)	Fire Station (США)	Fire Dynamic stimulation (Финляндия)	Fireplan (Германия)
	ТОО «КазМұнай-Газ Өнімдері»	СППР ШНПЗ									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Управление системой передачи данных											
Ручное	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
Полуавтоматическое	+	+	+	+	+	–	+	–	–	+	–
Автоматическое	–	–	–	–	–	+	–	+	+	–	+
Предупреждение рисков											
Фиксатор погодных условий	–	–	–	+	–	+	–	–	+	+	+

Продолжение таблицы 1.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Датчики возгорания	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
Анализ горючести материалов, оборудования и зданий	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	+
Нейронные сети	+	+	-	-	-	+	+	-	-	-	+
Реестр событий											
Только аналитические таблицы	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-
Только анализ чрезвычайного происшествия	-	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Применение метода прецедентов	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	+
Диспетчеризация											
Прямая на объекте	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Удалённая – транспортировка	+	+	-	-	-	-	-	+	+	+	-
Технические параметры тушения											
Количество направлений тушения 2 и более	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
Пожарные извещатели от 1 на 1000 м <sup>2</sup>	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+
Инерционность срабатывания в сек. (от 2 с)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Резервуары и безопасность жидких и газообразных веществ	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-
Система формирования отчётов											
Автоматическая	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+
По запросу	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
Превентивная (предупредительная)	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+

Итак, по данным таблицы 1.4 можно сделать вывод, что объекты нефтепереработки в РК используют различные системы гарантирования ПБ. При этом крупнейшие объекты нефтепереработки используют узкоспециализированные СППР. В таблице показано, что система предупреждения рисков направлена на повсеместное использование датчиков огня. Это позволяет вовремя реагировать на уже возникшие источники пожара, однако без системы аналитики основных рисков (как это сделано в зарубежных СППР) данная система не работает на предупреждение.

Кроме того, отечественные СППР работают в полуавтоматическом режиме. Данная практика сегодня все ещё является общепринятой и работает в США, и в Финляндии. Можно считать этот вариант наиболее приемлемым, как взаимоисключающий человеческий фактор и риски технического сбоя.

Другой аналитической проблемой использования отечественных СППР является отсутствие анализа опыта реакции при ликвидации пожара, что не соответствует общемировой тенденции. Несмотря на это, на Шымкентском НПЗ начат проект по внедрению метода прецедентов, что, безусловно, является положительным опытом и требует развития (унификации для всех ОН РК).

Остальные параметры СППР (диспетчеризация, технические параметры тушения, система формирования отчётов) соответствуют общемировой практике и достаточно активно используются на отечественных объектах нефтепереработки.

Проблемное поле управления ПБ на объектах нефтепереработки РК можно представить следующим образом (рисунок 1.6).

Нехватка или вовсе отсутствие информационно-аналитического обеспечения для поддержки принятия решений по предупреждению, локализации и ликвидации пожара на объектах нефтепереработки РК влияет на снижение риска и последствий техногенных ЧС [65].

В настоящее время обработка больших пластов данных, хранимых в основном в текстовых редакторах или табличных процессорах, не может осуществляться без использования СППР. Без этого невозможно реализовать анализ динамики пожара, адекватности принятых решений, промахов, допущенных при локализации и ликвидации пожара или ЧС.

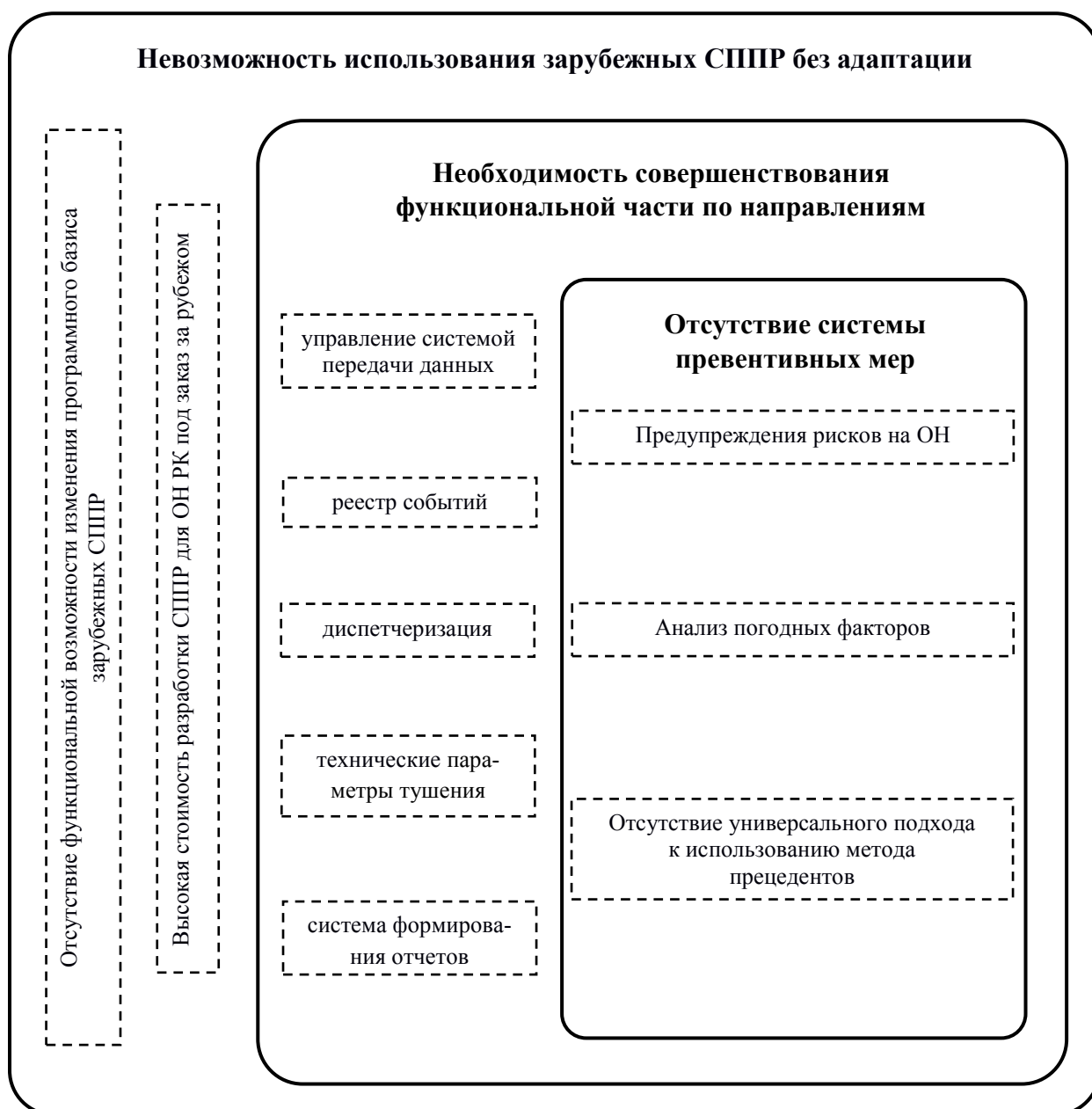


Рисунок 1.6 – Проблемное поле управления пожарной безопасностью на ОН

Итак, был проведён анализ эффективности СППР путём разделения их на критерии. Эти данные в дальнейшем будут положены в основу решения задачи разработки критериев СППР.

В основу разработки параметров СППР ПБ объектов нефтепереработки РК положен метод прецедентов. Структура критериев для решения данной задачи будет иметь следующий вид:

- предупреждение рисков;
- управление системой передачи данных;
- реестр событий;

- диспетчеризация;
- технические параметры тушения;
- система формирования отчётов.

В данной работе внимание уделяется методам извлечения прецедентов. Предложенный аппарат иллюстрирует отличия от существующих разработок в смежных областях знания и имеет концептуальную направленность, а не предназначен для автоматизации лишь нескольких процессов.

В работе предложен подход к интеграции трёх областей научных интересов:

- проектирование СППР для объектов нефтепереработки;
- модели использования метода прецедентов в кибернетических моделях;
- разработки по использованию метода прецедентов по предупреждению и ликвидации пожаров или ЧС.

Анализ кибернетического подхода к решению проблемы поддержки принятия решения для гарантирования ПБ позволил положить в его основу концептуальный информационный подход с интеграцией в него метода прецедентов. В отличие от ранее проведённых исследований (кроме специализации по ОН), данное исследование направлено на создание базовой модели, а не реализации для отдельного объекта. Именно это позволит универсализировать использование метода прецедентов в СППР для объектов нефтепереработки РК. Таким образом, управление ПБ объектов нефтепереработки РК должно основываться на опыте разработки и внедрения моделей автоматизации выполнения функций и задач управления сложными объектами на основе метода прецедентов, что даёт возможность формировать принципиально новую модель управления ПБ для создания соответствующей ИТ.

Таким образом, в исследовании ставится задача создать исчерпывающий перечень критериев, который можно использовать в решении задачи управления ПБ на объектах нефтепереработки. Планируется, что перечень критериев в математической модели будет построен по принципу взаимного исключения факторов, то есть формирования независимых элементов системы. Метод прецедентов позволит впервые отойти от технологий ликвидации опасностей к системе предупре-

ждения по следующим причинам: не будет прямой связи между критериями работы СППР и нарушение работы одной системы не повлияет на другую и на общий уровень ПБ. Для этого планируется в будущем построить соответствующую математическую модель как основу единой СППР для ОН Казахстана.

На данном этапе в основу выявления вышеуказанных критериев положены данные по таким ОН как: Атырауский, Павлодарский и Шымкентский. В дальнейшем на данных объектах планируется апробация единой модели СППР для объектов нефтепереработки Казахстана. Несмотря на аналитический характер планируемой разработки, в результате будет получена работоспособная и гибкая (на основе метода прецедентов) модель.

#### **1.4. Анализ научных работ по проблемам поддержки принятия решений в области обеспечения пожарной безопасности**

Определённые параметры проблемного поля исследования ПБ на объектах нефтепереработки РК позволяют говорить о возрастании роли управления в целом, что выдвигает соответствующие требования к механизмам исследования проблемы формирования интеллектуальной системы предупреждения и ликвидации пожаров или ЧС на стратегически важных для страны объектах, которыми являются ОН.

Основы концепции контроля и предупреждения рисков пожарной безопасности возникли относительно общей истории ПБ недавно, научно-практические разработки в РК ведутся по этому направлению всего 20 лет, и важно понять, какие проблемы полностью решены, а какие требуют дальнейших исследований.

Для этого проведём анализ степени исследования проблематики механизмов управления в сфере пожарной безопасности в Республики Казахстан на основе анализа последних патентных разработок [66] (таблица 1.5).



Таблица 1.5 – Обзор базы патентов РК по управлению ПБ

№ патента РК	Автор	Тема	Использованные направления управления ПБ
3454	Жегров Е.Ф., Нестеров А.М., Ястребов Л.М., Родина Н.А., Кривошеев Н.А., Чуй Г.Н., Иваньков Л.Д., Дороничев А.И., Пак З.П., Халилова И.Б., Михайлова М.И., Телепченков В.Е.	Устройство пожаротушения и автоматическая система пожаротушения	Устройство пожаротушения содержит твердотопливный заряд из аэрозолеобразующего состава, размещенные в корпусе с твердотопливным зарядом, и средство охлаждения продуктов сгорания. Автоматическая система пожаротушения содержит устройства пожаротушения, датчик температуры, основной и резервный источники питания и быстродействующий огнепроводный шнур. Изобретение предназначено для использования предпочтительно в транспортных средствах и стационарных замкнутых помещениях
29813	Аюбаев М.	Устройство автомат-го газового пожаротушения	Автоматизированная СППР
1027	Курмангалиев Е.Б., Конакбаев Е.С., Анопьянов Н.Н.	Автоматический модуль пожаротушения	Автономное устройство тушения пожаров небольших масштабов без вмешательства человека или командных систем
2743	Евсеев Г.А., Шувалов С.Г., Зерук А.Ф.	Газодинамический способ и устройство гашения горящих нефтяных, газовых и нефтегазовых фонтанов “Шквал”	Устройство пожарной техники, а именно к способам и устройствам гашения горящих фонтанов нефтяных, газовых и нефтегазовых скважин

Как видим, полезные разработки в РК направлены на формирование технических решений в системе управления ПБ и соответствуют общегосударственным нормативам. Многие решения находят своё применение на объектах повышенной пожарной опасности, к которым относятся ОН. Патенты содержат элементы СППР и автономные центры управления, не связанные с какой-либо автоматизированной информационно-управляющей системой (АИУС). На объектах используются в основном российские системы управления, адаптированные к потребностям российских (не казахстанских) объектов нефтепереработки без формирования параметрической модели управления на

основе собственной базы государственной противопожарной службы и соответствующих подразделений на ОН в РК.

Анализ содержательного наполнения с целью определения степени исследования проблематики управления сферой ПБ был проведён только в последние годы благодаря исследованиям, работающих в РК.

В области управления ПБ также можно отметить исследование Ph.D. К.А. Нарбаева в 2017 г. «Разработка методики оценки социально-экономических последствий чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан». Автор разработал методику общей оценки социально-экономических последствий ЧС и осуществил интегральную оценку риска социально-экономических последствий ЧС [67]. Однако вопросы пообъектного управления и проблема предупреждения ЧС не подвергались глубокому анализу.

Наиболее точные данные по состоянию систем управления ПБ без учёта исторической детерминанты даны в работе к.т.н., профессора Р.М. Джумагалиева и инженера ГККП «Служба спасения г. Алматы» И.А. Васиной [68]. В совместной работе авторы приходят к выводу, что предпосылкой для интеграции отдельных моделей и алгоритмов по реализации концепции взрывопожарной безопасности с целью автоматизации выполнения функций и задач управления, которая может быть положена в основу соответствующей ИТ, выступают общесистемные требования, которые должны формироваться именно на этапе исследования объекта и предмета управления. Поэтому следует учитывать, что система ПБ ОН должна состоять из гибко интегрированных подсистем, а не отдельных систем, которые объединены общей концепцией. Только при таком подходе будут реализованы все возможности как новой импульсной техники многоплановой защиты, так и современных ИТ.

Ведущее место принадлежит работе группы авторов под руководством к.т.н., профессора Р.М. Джумагалиева «Проведение исследований по оценке и управлению рисками пожароопасных технологических процессов в нефтегазовой отрасли Республики Казахстан» (2011г.). Работа выполнена Республиканским государственным предприятием «Специальный научно-исследовательский центр

пожарной безопасности и гражданской обороны» МЧС РК (РГП СНИЦ ПБ и ГО) в рамках Республиканской бюджетной программы «Прикладные научные исследования в области чрезвычайных ситуаций». Авторами была достигнута цель – разработка математической модели прогнозирования обстановки при пожаре на пожароопасных объектах, связанных с добычей, хранением, переработкой и транспортировкой нефти и нефтепродуктов, в целях дальнейших мероприятий по повышению уровня безопасности людей, ПБ технологических процессов и объектов нефтегазовой отрасли. Несмотря на значительный результат, внедрение этой разработки по сей день осложняется отсутствием системы предупреждения опасных ситуаций для выбранных объектов из-за отсутствия элемента интеллектуального управления.

Именно поэтому на первый план сегодня выходят вопросы проектирования и практического применения СППР для решения задач управления ПБ ОН. В нефтеперерабатывающем комплексе в основном задействованы имитационные модели, по которым можно построить картину развития отдельной ситуации. Однако ни одна из практических реализаций по управлению ПБ ОН РК не может быть представлена в качестве полноценной СППР.

В настоящее время проблема отсутствия или недостатка информационно-аналитического обеспечения для СППР влияет на адекватность принимаемых решений по предупреждению, локализации и ликвидации пожаров или ЧС. Собранный массив информации не позволяет осуществлять анализ динамики пожара и ЧС, адекватности принятых решений, ошибок, допущенных при локализации и ликвидации пожаров и ЧС, так как накопление информации осуществляется в стандартных текстовых редакторах и табличных процессорах, а аналитическая обработка информации выполняется без использования интеллектуальных технологий.

В фундаментальных научных исследованиях [69] для решения этой проблемы предлагается использование эвристических методик, которые в своей основе имеют субъективные вероятности. Стоимость применения таких методик выше, чем при использовании количественного и вероятностного анализа, но все

же оправдана для принятия действительно обоснованных решений для обеспечения эффективной ПБ. При этом затраты на осуществление экспертной оценки риска меньше, чем на реализацию методики.

В работе Д.В. Немчинова выдвигается предложение применения метода экспертных оценок для уровня риска как основы для разработки СППР. Данный метод основан на учёте факторов, оказывающих непосредственное влияние на формирование аварий, к которым можно отнести, например, события различной природы (неопределённость природы); априорную оценку временных факторов (процессы, которые не имеют строго определённого начала или окончания); технологические закономерности [70]. 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 неопределённость.

В работе И.М. Тетерина, Н.Г. Топольского, В.М. Климовцова, Ю.В. Пруса рассматривается проблема создания систем поддержки принятия решений (СППР) для руководителя тушения пожара на основе экспертных систем [71]. В работе сформулированы принципы построения СППР для управления пожарными подразделениями при тушении пожаров. Также произведён анализ задач оперативного управления пожарными подразделениями, решаемых с помощью автоматизированных систем.

В.Л. Семиковым, Нгуен Ба Туан проведён анализ развития системы управления обеспечением деятельности гарнизонов пожарно-спасательной службы [72]. Для качественного изучения оперативной деятельности гарнизонов авторы предлагают использовать системный подход, который ориентирован на исследование деятельности гарнизонов как единого целого, когда изучаются принципы организации элементов в целую систему, а функционирование каждой подсистемы и отдельных элементов рассматривается с точки зрения достижения главной цели, стоящей перед пожарной охраной крупных городов. Авторы

выявили целый ряд проблем в организации и управлении гарнизонами пожарной службы крупных городов, решение которых будет способствовать повышению эффективности функционирования этих гарнизонов.

Также можно отметить работу А.Н. Денисова, Н.М. Хыонг. Авторами статьи разработана методика построения номограммы для расчёта сил и средств тушения пожаров в резервуаре на начальном этапе [73]. Разработанные номограммы для расчёта сил и средств при охлаждении горящего и соседних с ним резервуаров с нефтепродуктами, позволяют без проведения математических расчётов определить требуемое количество пожарных стволов, отделений на охлаждение, расход воды, а также дают возможность определить предельное расстояние при размещении позиций ствольщиков при охлаждении (защите) резервуаров.

С.В. Соколовым, И.А. Захаровым рассматривается применение компьютерной имитационной системы, позволяющей моделировать процесс функционирования пожарных подразделений города, для оценки возможностей пожарно-спасательного гарнизона города при ликвидации возможного крупного пожара. Для корректного исследования данной проблемы и принятия обоснованных управленческих решений, авторами была использована проблемно-ориентированная интерактивная имитационная система типа «КОСМАС» [74]. С помощью данной системы был проведён ряд многовариантных имитационных экспериментов и на основании их результатов были предложены рекомендации.

В работе М.В. Сибирякова представлены результаты исследований геоинформационных данных о следовании пожарно-спасательных подразделений к местам экстренных вызовов [75]. Автором статьи проведён анализ полученной информации о динамике реагирования на экстренные вызовы пожарно-спасательных подразделений г. Москвы. В результате обработки геоинформационных данных была получена информация о динамических характеристиках следования реагирующих подразделений к местам вызовов.

В работе А.Б. Кусаинова рассмотрен вопрос организационного проектирования гарнизона противопожарной службы города [76]. С помощью теории моделирования противопожарных подразделений и существующих

алгоритмов проектирования подразделений разработан алгоритм определения необходимого числа пожарных автомобилей, противопожарных депо и численности личного состава. Проведено моделирование необходимого числа противопожарных подразделений.

Работа отечественных учёных отражает, что снижение риска и последствий техногенных ЧС в значительной мере зависит от адекватности принимаемых решений [77]. Сделан вывод, что рассуждение по аналогии (по прецедентам) позволяет выявить аналогичную ситуацию и адаптировать принятое решение с учётом условий текущей ситуации. Разобран алгоритм поиска аналога, а также модель хранения его в БД.

В исследованиях П.Р. Варшавского и А.П. Еремеева рассматриваются методы обработки информации СППР на основе настраиваемой модели прецедента [78]. Основное внимание уделяется методам извлечения прецедентов, и предложенный аналитический аппарат иллюстрируется его использованием для автоматизации процессов диагностики и оперативного управления технологическими подсистемами отдельного технологического блока (энергоблока). Однако разработка не реализована в форме СППР и отсутствует возможность ее интеграции в другие практические области.

В работе Т.В. Авдеенко и Е.С. Макарова рассматривается подход, способствующий улучшению передачи, хранения и извлечения знаний в области поддержки пользователей в IT-подразделениях [79]. Предлагаемый подход основан на интеграции прецедентного подхода и онтологии. Представлено описание основных концептов онтологии. Предлагается структура класса *Precedent*, которая позволяет ввести информацию о прецедентах в области IT-консультирования, а также установить связь с онтологией предметной области. Экземплярами класса *Precedent* являются конкретные случаи консультирования пользователей IT-подразделений. Предлагаемый метод оценивает близость прецедентов друг к другу с помощью семантической близости концептов онтологии, связанных с прецедентами, путём задания взвешенных ассоциативных связей от прецедентов к концептам. Подход может быть использован для

извлечения прецедентов с учётом их семантической близости. Данное исследование направлено и может использоваться на заключительном этапе разработке СППР, однако аналитической базы для этого недостаточно, так как не прописан алгоритм интеграции метода прецедентов в СППР нефтеперерабатывающих предприятий, а также не учитывается специфика обеспечения ПБ таких объектов защиты. В связи с этим рассмотрим сущность метода прецедентов и определим возможности его интеграции.

Метод прецедентов (Case-based reasoning) – это процесс решения новой задачи на основе результатов решений подобных задач [80]. Суть метода прецедента заключается в том, чтобы использовать накопленные знания и опыт при решении проблемы в процессе выработки решения новой задачи. Этот метод основывается на принятии решения по аналогии [81–82].

Процесс решения новой задачи путём очередного использования и адаптации решений, которые были получены ранее при решении схожих задач, называется прецедентным подходом. Задачей прецедентного подхода является использование накопленного опыта решения проблем в процессе выработки решения новых задач [83].

Для принятия решения в условиях неопределённости лицу, принимающему решение (ЛПР), приходится обрабатывать большие объёмы информации при существенных ограничениях во времени на оценку обстановки и принятие решения. В таких случаях чаще всего решение принимают на основании предыдущего опыта («хорошая инженерная практика») и знания общих закономерностей технологического процесса.

Одним из направлений развития в области искусственного интеллекта является процесс получения правдоподобных суждений на основе уже имеющейся накопленной информации. Повторное использование информации (опыта решения схожих задач) позволяет уменьшить время, затрачиваемое на решение новой проблемы, улучшить качество принимаемого решения.

Существует ряд подходов к принятию решений на основе правдоподобных рассуждений, включая принятие решения на основе индукции, абдукции,



аргументации, аналогии, прецедентов. Реализация этих подходов позволяет разрабатывать разнообразные интеллектуальные СППР.

Е.С. Макарова указывает, что метод рассуждений на основе прецедентов (CBR – Case-Based Reasoning) используется для представления знаний в социально-экономических системах. Представлена история развития метода рассуждений на основе прецедентов и применение этого метода в различных областях [84]. Результаты исследований позволяют утверждать, что разработанный метод машинного обучения на основе нечёткого вывода существенно повышает точность классификации прецедентов.

Таким образом, практическая реализация метода прецедентов отчасти нашла своё отражение в кибернетике и автоматизации, однако управляющее воздействие на СППР ОН в науке доказано не было. Тем не менее, для данной цели можно использовать разработки по использованию метода прецедентов для предупреждения и ликвидации техногенных ЧС.

Также можно отметить работу А.Ф. Бермана, О.А. Николайчук, А.И. Павлова и А.Ю. Юрина. Авторами статьи показана возможность снижения риска и последствий техногенных ЧС, которые в значительной мере зависят от адекватности принимаемых решений по их предупреждению, локализации и ликвидации [77]. Предлагается архитектура и методы обработки информации СППР на основе настраиваемой модели прецедента.

В рассмотренных публикациях методы рассуждения, основанные на прецедентном подходе, используются во многих сферах человеческой деятельности (техника, юриспруденция, медицина и др.). Прецедентный подход успешно используется в динамических ИС, а также в системах экспертного диагностирования, в ИСППР, системах машинного обучения, при решении задач прогнозирования, обобщения накопленного опыта, поиска решения в малоизученных предметных областях и др.

В.А. Минаевым, Н.Г. Топольским, К.М. Чу сделано важное открытие, которое доказывает возможность использования метода прецедентов для обеспечения ПБ промышленных объектов. Работы профессора Н.Г. Топольского



впервые позволили говорить о методе прецедентов как об управленческом решении для формирования искусственного интеллекта в системах управления безопасностью [85].

Таким образом, формирование СППР для обеспечения ПБ ОН основывается на оптимизации информационных потоков системы и максимального уменьшения времени на принятие решений и ликвидации пожара [86]. Основываясь на анализе кибернетического подхода, к решению проблемы поддержки принятия решения для гарантирования ПБ для оптимизации будет положен информационный подход, описанный выше, с интеграцией в него метода прецедентов. Однако в отличие от ранее проведённых исследований (кроме специализации по ОН), данное исследование направлено на создание базовой модели, а не реализации для отдельного объекта защиты. Именно это позволит универсализировать использование метода прецедентов для СППР ОН РК.

### **1.5. Выводы по первой главе**

В результате теоретического обзора проблематики, выбранных направлений исследования в области прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки, можно сделать следующие выводы и обобщения:

1. Проведённый анализ пожаров на объектах нефтепереработки РК за период с 2010 по 2018 гг. показал, что прямой связи между расходами на обеспечение пожарной безопасности и её уровнем не обнаружено. Особенности возникновения и развития пожаров на рассматриваемых объектах защиты говорят о том, что для эффективного управления пожарной безопасностью и уменьшения количества пожаров, и последствий от них необходимо совершенствовать модели и алгоритмы прогнозирования ресурсов (сил и средств) пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

2. Одной из существенных проблем управления пожарной безопасностью на объектах нефтепереработки РК является отсутствие моделей, алгоритмов, специального программного обеспечения, позволяющих лицу, принимающему решение использовать накопленный предыдущий опыт для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары рассматриваемых объектов защиты. В условиях ограничения во времени, большого поступающего объема информации для принятия обоснованных и рациональных решений предлагается применение прецедентного подхода и решения задачи классификации по определению ранга пожара.

3. В результате анализа работ по проблемам поддержки принятия решений в области обеспечения пожарной безопасности, в том числе определении и прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений, выявлено, что применение информационных технологий как одной из существенных технологий для обеспечения пожарной безопасности объектов нефтепереработки является наименее изученным, а интеллектуальные технологии, применяющие накопленные знания и алгоритмы их обработки практически отсутствуют.

4. В проводимом исследовании конкретизированы цель и задачи исследования, а также перечень критериев, которые можно использовать для поиска оптимального решения по прогнозированию ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки в рамках создаваемой СППР с накапливаемой базой знаний.

## **ГЛАВА 2. ФОРМИРОВАНИЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ, МОДЕЛЕЙ И АЛГОРИТМОВ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ПОЖАРЫ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

### **2.1. Функциональная модель организации взаимодействия в системе управления пожарной безопасностью объектов нефтепереработки на основе метода прецедентов**

Управление ПБ сложных систем, в зависимости от степени защиты, основывается на опыте разработки и внедрения моделей автоматизации выполнения функций и задач управления сложными объектами, что даёт возможность формировать принципиально новую модель управления безопасностью для создания соответствующей ИТ.

Для поддержки решений необходимо определить информацию по всем множествам полученных ранее данных (прецедентов), принять решение по задействованию основных исполнительных элементов, которые могут быть использованы для:

- принятия решений по прогнозированию ресурсов (сил и средств) пожарно-спасательных подразделений;
- реагирование на пожары;
- использованию автоматических систем пожаротушения (дренчерных, спринклерных, пенных), имеющихся на объекте, ручных стационарных и передвижных средств и т.д.

Для успешной реализации процесса экстренного реагирования все варианты действий должны быть заранее проработаны, а значит важно проанализировать

имеющийся опыт пожаротушения для объекта защиты. Для этого используется метод прецедентов.

Метод прецедентов позволяет структурировать единицы опыта, при этом выбор структуры данных об инциденте нарушения пожарной безопасности зависит от задач, при решении которых необходимо обеспечить повторное использование опыта. С точки зрения первичной теории нечётких множеств [87] для обоснования механизма метода прецедентов предлагается использовать так называемую чистую аналитику. В таком ключе, вывод на основе прецедентов – это метод принятия решений, в котором используются знания о предыдущих ситуациях или случаях (прецеденты). Во время рассмотрения новой проблемы (текущего случая) отыскивается похожий прецедент в качестве аналога. Такой подход, по мнению практиков [88], позволит интегрировать метод прецедентов из математической абстракции в «реальную жизнь».

Общая структура прецедента включает два основных компонента:

- идентифицирующая (характеризующая) часть – описывает опыт таким способом, который позволяет оценить возможность его повторного использования в определённой ситуации;
- обучающая часть – описывает урок (обучающее знание, решение) как часть единицы опыта, например, решение проблемы или его часть, доказательство (вывод) решения, альтернативные или неудавшиеся решения.

На основе проведённого анализа сформируем четырёхуровневую систему проектирования СППР [89]. В основе проектирования положен цикл вывода на основе прецедентов в СППР объектов нефтепереработки (рисунок 2.1).

На объектах нефтепереработки в основном задействованы имитационные модели, по которым можно построить картину развития отдельной ситуации. Поэтому интеграция данного цикла представляется возможным.

На втором уровне, основываясь на анализе различных подходов к решению проблемы поддержки принятия решения для гарантирования ПБ, для оптимизации будет положен информационный подход, описанный Р.Ш. Хабибуллиным с соавторами [58], который приводит к пониманию

необходимости проектирования технологии обработки информации для принятия решений. При этом модели обработки информации для СППР в системе противопожарной защиты объектов нефтепереработки должны отражать условия неопределённости влияния различных факторов на процесс формирования решений и использовать наряду с формализованными неформализованные процедуры.

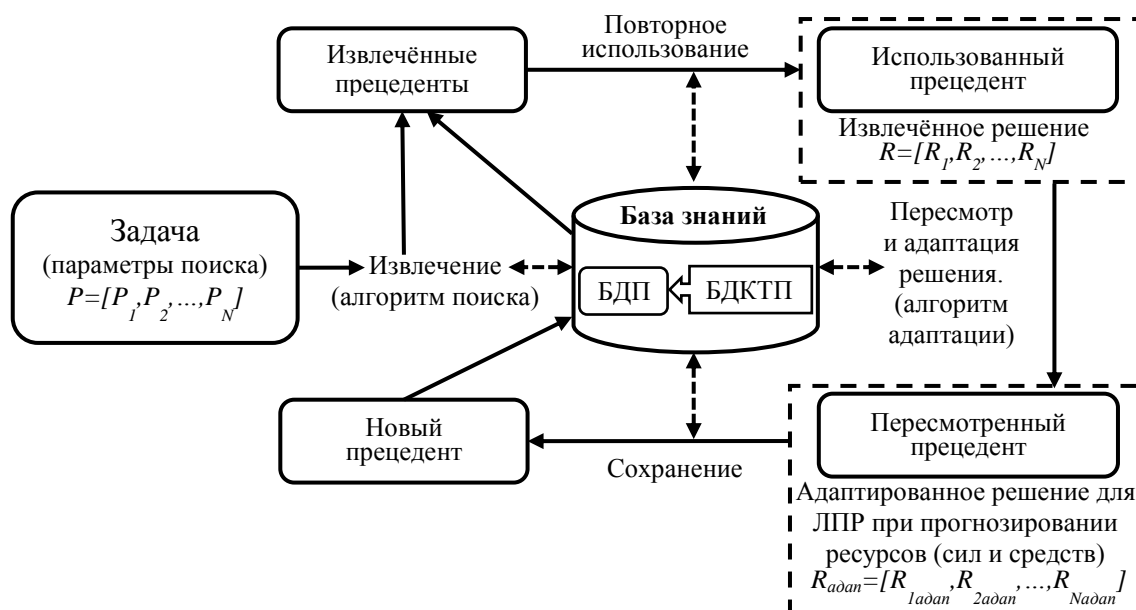


Рисунок 2.1 – Обобщённая структура применения метода прецедентов

Управленческий подход к методу прецедентов предложен в работе зарубежных исследователей [90]. Авторы формируют свою концепцию, согласно которой прецедент – это описание проблемы или ситуации в совокупности с подробным указанием действий, которые выполняются в определённой ситуации или для решения определённой проблемы. Описание проблемы должно содержать всю информацию, необходимую для достижения цели вывода (выбора наиболее соответствующего решения). После того как прецеденты найдены, надо выбрать «наиболее подходящий» из них. Это определяется сравнением параметров текущего случая и выбранных прецедентов. Определение метода, на котором будет основываться нахождение степени сходства прецедентов, решается во время создания системы ее разработчиками.

Объекты нефтепереработки, как сложная система, имеет управляемый режим функционирования. Однако обусловленность работы объектов нефтепереработки множеством управляющих параметров и повышенной сложностью системы управления ПБ указывают на высокую вероятность возникновения нештатного режима.

В основу ИТ обработки информации для обеспечения управления ПБ по методу прецедентов на объектах нефтепереработки должны быть положены функциональные модели, которые позволяют адекватно определять параметры применения средств противопожарной защиты по методу прецедентов согласно условиям, которые сложились, и особенностям самого объекта защиты.

Однако для практического применения метода прецедентов необходимо не только чётко определить нужное количество средств пожаротушения и их расположение с целью обеспечения эффективной локализации и ликвидации пожара. Необходимо также знать количество прецедентов в БД, с помощью которых развитие пожара можно остановить, не выходя за пределы регламентного режима, и обеспечить его окончательную ликвидацию.

Рассмотрим технологию обеспечения ПБ по методу прецедентов для отдельного объекта защиты, и на основе анализа работы ОН определим базовый уровень объектов повышенной опасности.

Отдельный технологический объект содержит в себе соединения и вещества, которые в результате аварии могут стать непосредственным источником взрыва и (или) пожара. Предупреждение и своевременная локализация утечки нефтепродуктов возможны путём определения необходимого количества параметров в зависимости от максимальной утечки нефтепродуктов за время срабатывания автоматических задвижек на технологических линиях. Для этого по методу прецедентов нужно определить количество параметров, необходимых для противопожарной защиты отдельного технологического объекта.

Автоматизированная подсистема противопожарной защиты включается в тот момент, когда автоматические ресурсы ОН несколько замедлили процесс

развития пожара, но не привели производственную систему ОН к регламентным границам.

На ситуационном уровне обработки информации для поддержки принятия решений по обеспечению ПБ по методу прецедентов ОН, который начинает работать ещё при получении сигналов о выходе технологического процесса за пределы допустимого, происходит передача управления ситуацией на объекте защиты.

Цель ситуационной подсистемы ПБ по методу прецедентов для объектов нефтепереработки – недопущение перехода пожара в чрезвычайную ситуацию, выхода пожара за пределы рабочей площадки, локализации и ликвидации пожара исходя из ситуации на объекте.

Ситуационная подсистема включает в себя определение списка объектов защиты ПБ для получения, обработки и прогнозирования возможных вариантов развития пожара, определения границ чрезвычайной ситуации, моделирование необходимых действий и контроль над выполнением принятых решений.

Для формирования системы анализа прецедентов была реализована работа с архивными данными на ОН. Непосредственно на предприятии в службе безопасности по официальному запросу был получен перечень документов [91], свидетельствующих о возникновении и особом порядке тушения пожаров на ОН. Данная проделанная работа также позволяет пожарной охране получить информацию о реальном состоянии готовности объекта защиты противостоять каждому типу вероятной угрозы, определённой из БДП. Определение соответствия модели «дерева прецедентов в системе правления пожарной безопасностью объектов нефтепереработки» (рисунок 2.2) нуждам объектов нефтепереработки проведём по существенным критериям [65]. Важным фактором для обоснования любой модели являются доводы относительно эффективности использования ресурсов (средств, финансов, времени, усилий участников тушения пожаров).

Таким образом, формирование БДП и разработка алгоритма его интеграции в систему ПБ объектов нефтепереработки являются важной задачей. В условиях ОН, с учётом вероятного ущерба от пожаров, данная система должна работать в

трёх режимах: превентивно, в режиме реального времени и как средство анализа эффективности ресурсов пожарно-спасательных подразделений.

С точки зрения системного подхода взаимодействие определённых аспектов функционирования общей системы безопасности должно реализовать своё назначение без перехода к кризисному режиму функционирования. Достижение этого критерия доказывает соответствие модели управления системным потребностям объекта защиты по функциям. Представим функциональную модель ОН в нотации IDEF0 в условиях обеспечения противопожарной защиты.

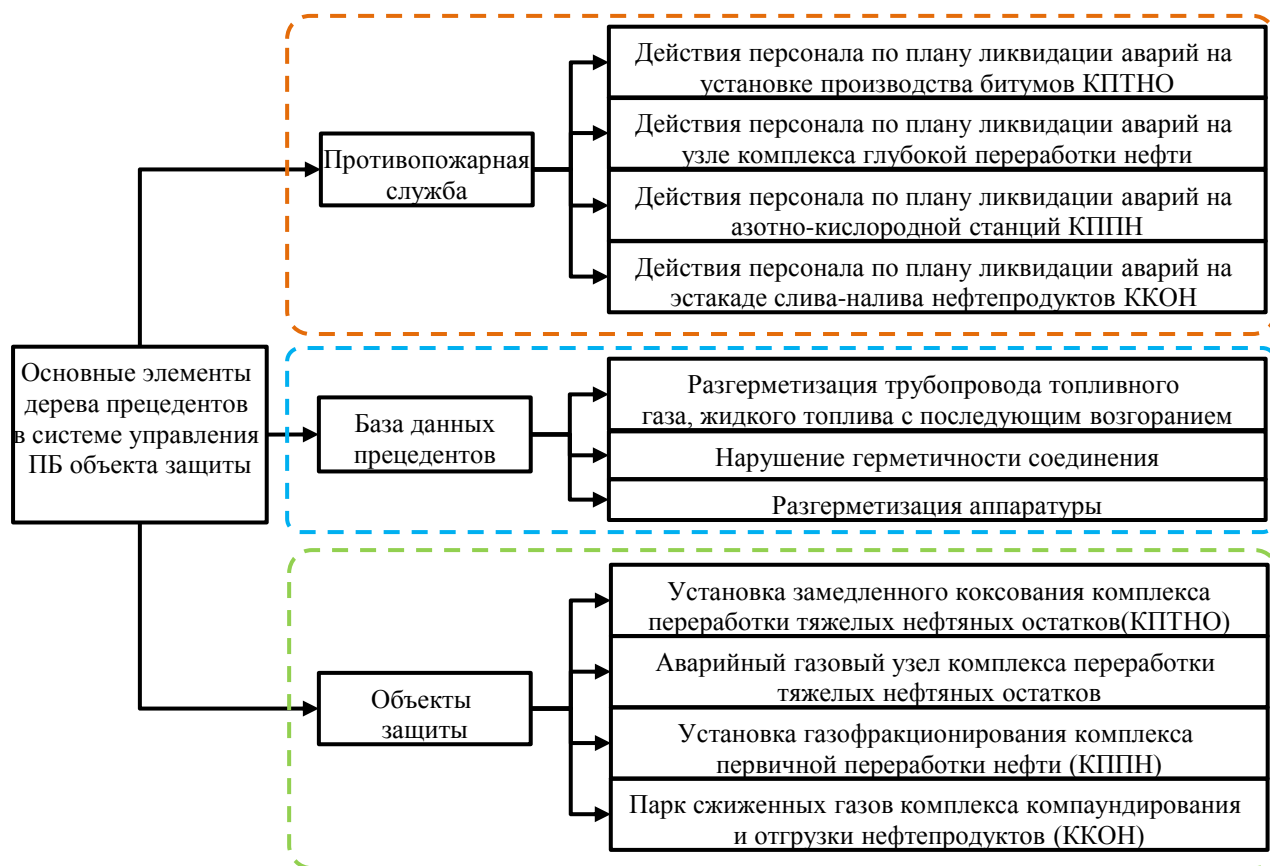


Рисунок 2.2 – Дерево прецедентов в системе управления ПБ объектов нефтепереработки

На рисунке 2.3 обобщённо представлена организация работы ОН – контекстная диаграмма. Цель моделирования – описать работу ИС обеспечения безопасности для чёткого понимания ее функционирования с позиции противопожарной защиты [92].

Как видно из диаграммы, работа базовой системы ПБ обусловлена необходимостью удовлетворить потребность объекта защиты в безопасности (вход).



В результате правильной организации ее работы объект нефтепереработки находится в защищённом состоянии (выход). Для получения желаемого результата необходимо руководствоваться соответствующими нормативными документами (управление) и чётко определять исполнителей тех или иных функций, а также используемые при этом технические средства (механизм).

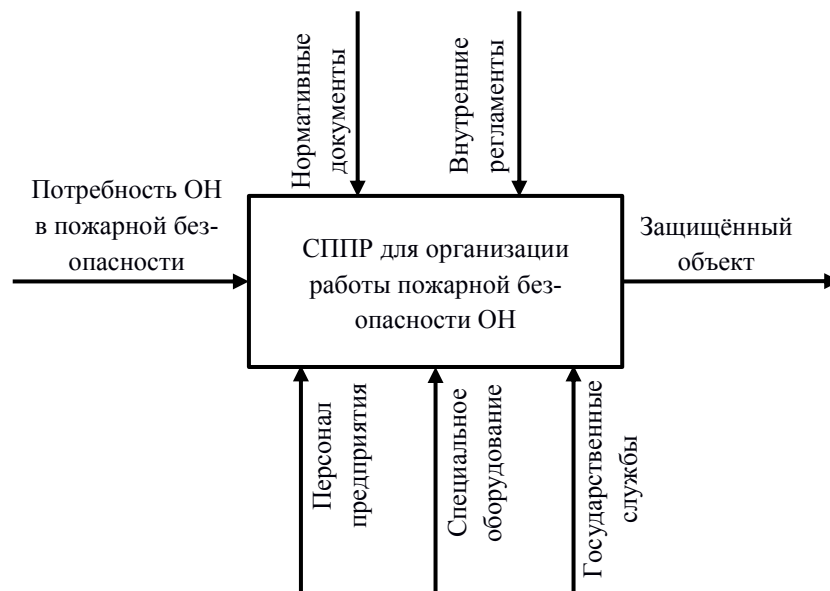


Рисунок 2.3 – Контекстная диаграмма организации работы системы пожарной безопасности объекта нефтепереработки

На рисунке 2.4 показана декомпозиция контекстной диаграммы, где раскрыто содержание некоторых выполняемых функций системы ПБ.

Поскольку, как было изложено выше, функции системы ПБ на ОН многочисленны, были выбраны процессы, представляющие наибольший интерес: «Контролировать состояние узлов и агрегатов»; «Обеспечить пожарную безопасность технологического участка»; «Обработать структурированные данные по прецедентам». Указанные функции выполняются службой ПБ автономно, в зависимости от вида опасности, возникающей на ОН. Систематизация данных для реализации процесса управления возможна на основе использования метода прецедентов.

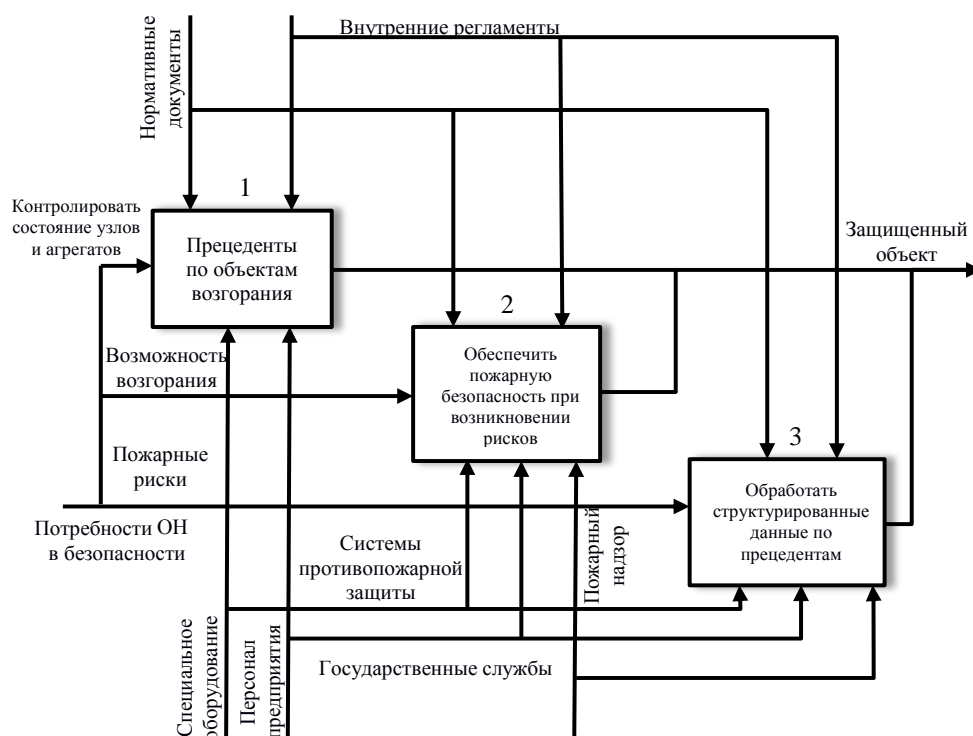


Рисунок 2.4 – Функциональная диаграмма организации элементов системы пожарной безопасности объекта нефтепереработки

Функции обеспечения безопасности регулируются нормативной документацией разного уровня: законодательной, ведомственной и внутренними (предприятия) регламентами (например, устав, регламент, трудовые договоры, правила внутреннего трудового распорядка сотрудников, должностные обязанности руководителей и персонала). В качестве механизма функциональных блоков 2 и 3 используется государственная служба – пожарный надзор. Выходами всех трёх блоков является «Защищённый объект».

Декомпозируем функциональный блок 3 – «Обработка структурированных данных по прецедентам» (рисунок 2.5).

Он включает в себя три процесса: «Принять сигнал тревоги»; «Принять оперативное решение»; «Запротоколировать визуальную информацию» (на основе анализа предыдущего опыта).

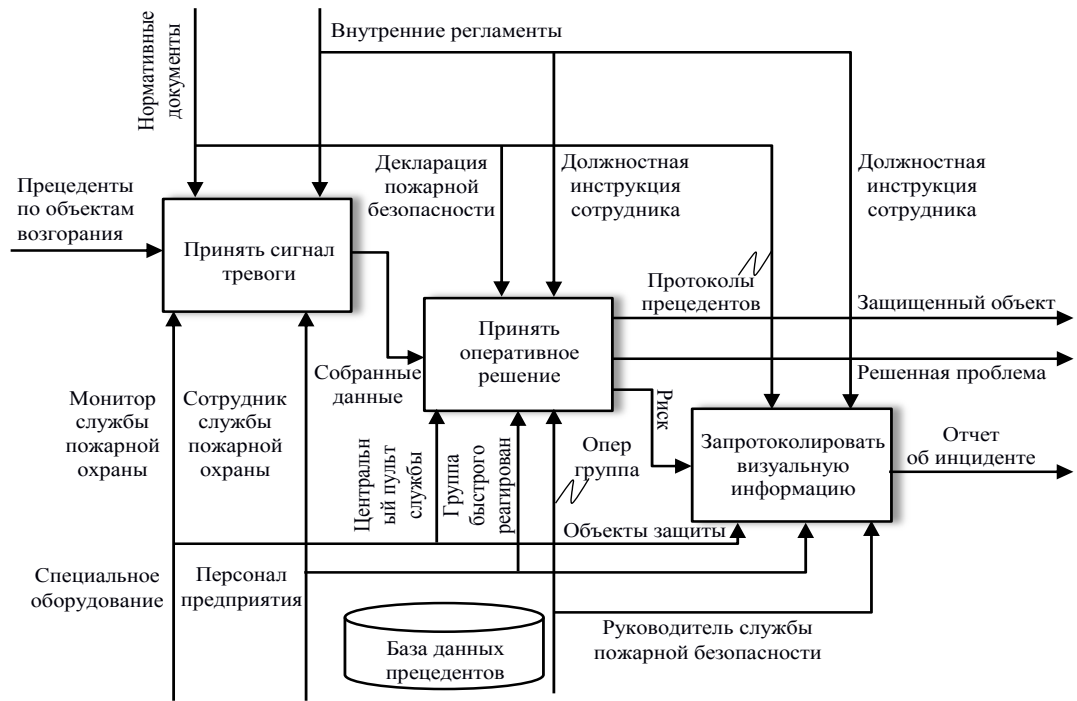


Рисунок 2.5 – Декомпозированная диаграмма процесса обработки структурированных данных по прецедентам

Таким образом, модель организации работы службы ПБ объекта нефтепереработки в нотации IDEF0 может быть интегрирована в ИСППР на основе обращения к БДП. Конечный модуль работы системы направлен на автоматизированное создание протоколов записи параметров каждого прецедента. Связь данных возможна с использованием ключевых параметров классификации, что позволит не только систематизировать прецеденты, но и быстро осуществлять поиск информации, реализовывать функцию сравнения по параметрам каждого прецедента.

## 2.2. Фреймовая модель представления знаний в системе пожарной безопасности объекта нефтепереработки на основе метода прецедентов

Для автоматизации записи в БДП важно на следующем этапе разработать комплекс критериев оценки признаков прецедентов ПБ объектов

нефтепереработки. Указанные в первой главе аспекты состояния объектов нефтепереработки и их противопожарных систем, отсутствие совершенных моделей, необходимых для реализации управленческого процесса в указанной сфере, приводят к пониманию необходимости проектирования технологии обработки информации для принятия решений. При этом модели обработки информации в системе защиты пожарной безопасности объектов нефтепереработки должны отражать условия неопределённости влияния различных факторов на процесс формирования решений и использовать наряду с формализованными неформализованные процедуры [93].

На основе анализа нормативных актов по противопожарной защите объектов нефтепереработки разработано «дерево прецедентов» по рискам ПБ технологических объектов на объектах нефтепереработки:

- Прецедент как основа пожарной безопасности ОН
- А – 1.0.0 нарушение герметичности соединения трубопроводов
  - на установке абсорбции, стабилизации газофракционирования С-300 комплекса глубокой переработки нефти
    - трубопровод
- А– 1.1.0. Разгерметизация аппаратуры
  - план ликвидации аварий (ПЛА) на газовой компрессорной комплекса первичной переработки нефти
  - эстакада слива-налива нефтепродуктов ККОН (Комплекс компаундирования и отгрузки нефтепродуктов)
  - гидроочистки каталитического крекинга комплекса глубокой переработки нефти
- А– 2.0.0. Разгерметизация торцевого уплотнения
  - в парке сжиженных газов комплекса компаундирования и отгрузки нефтепродуктов
- А– 2.2.1. Образование парогазового облака
  - установка газофракционирования комплекса первичной переработки нефти

- А– 2.0.0. Разгерметизация: аппаратуры, фланцевых соединений, технологических трубопроводов
  - С-001 комплекса глубокой переработки нефти (КГПН)
- А– 3.0.0. Разгерметизация оборудования, повреждение резервуара, насоса, трубопровода
  - повреждение резервуара, насоса, трубопровода
  - топливная станция КГПН
  - действия персонала по плану ликвидации аварий на ТС КГПН
- А– 4.0.0. Возгорание электрооборудования
  - азотно-кислородная станция комплекса первичной переработки нефти
- А– 4.1.0. Разгерметизация оборудования
  - аварийный газовый узел комплекса переработки тяжелых нефтяных остатков
- А– 6.0.0. Разгерметизация оборудования, аппаратуры, трубопроводов
  - установка замедленного коксования КПТНО (Комплекса переработки тяжелых нефтяных остатков)
- Акт 05-03-14 проверки взаимодействия персонала и заводских служб по плану локализации аварийной ситуации
- А– 6.1.0. Нарушение герметичности фланцевых соединений трубопроводов, аппаратов
  - С-001 КГПН
- А– 6.1.1. Коррозионно-механический износ аппаратуры, трубопроводов.
- А– 6.2.2. Выброс сероводорода из аппаратуры
- А– 7.0.0. Разгерметизация аппаратуры
  - С-001 КГПН
  - на установке земледельного коксования
  - на установке производства битумов КПТНО
- А– 7.1.0. Разгерметизация торцевого уплотнения насосов

- производства битумов комплекса переработки тяжёлых нефтяных остатков
- С- 100 КГПН
- Б– 1.0.0. Разгерметизация трубопровода топливного газа, жидкого топлива с последующим возгоранием.
  - утилизации тепла дымовых газов КГПН
- А– 8.0.0. Разгерметизация фланцевых соединений аппаратов и трубопроводов
- А– 8.0.0. Загазованность в компрессорной. Нарушение герметичности соединений трубопроводов и аппаратов.
  - на узле смещения комплекса бензинов компаундирования и отгрузки нефтепродуктов
  - действия персонала по плану ликвидации аварий на установке производства битума (УПБ) на КППНО

В целом важно согласование интересов субъектов и технических систем по ПБ объекта нефтепереработки. Для модели, которая отображает развитие ситуации в аварийном (кризисном) состоянии, необходимым является также учёт времени и степени выполнения регламентных процедур в условиях ограниченных ресурсов.

Для системы безопасности объекта нефтепереработки такие процедуры будут однотипными по формальному определению, но разные по функциональной реализации. Каждое подразделение предприятия будет, с учётом своих особенностей, формулировать соответствующую целевую функцию на базе определения целей и стратегий действий. Структурирование данных о системе ПБ объекта нефтепереработки может осуществляться по производственным, фреймовым, семантическим схемам.

Производственная модель или модель, основанная на правилах, позволяет представить знания в виде предложений типа «Если (условие), то (действие)». Под «условием» (антецедентом) понимается некоторое предложение-образец, по которому осуществляется поиск в базе знаний (БЗ), а под «действием»

(консеквентном) – действия, выполняемые при успешном исходе поиска (они могут быть промежуточными, выступающими далее как условия и терминальными или целевыми, завершающими работу системы). Чаще всего вывод на такой БЗ бывает прямой (от данных к поиску цели) или обратный (от цели для ее подтверждения – к данным). Данные – это исходные факты, хранящиеся в базе фактов, на основании которых запускается машина вывода или интерпретатор правил, перебирающий правила из продукционной БЗ.

Продукционная модель чаще всего применяется в промышленных экспертных системах. Она привлекает разработчиков своей наглядностью, высокой модульностью, лёгкостью внесения дополнений и изменений и простотой механизма логического вывода.

Семантическая сеть – это ориентированный граф, вершины которого – понятия, а дуги – отношения между ними. В качестве понятий обычно выступают абстрактные или конкретные объекты, а отношения – это связи типа: «это» («АКО – A-Kind-Of»), «is»), «имеет частью» («has part»), «принадлежит», «любит». Характерной особенностью семантических сетей является обязательное наличие трех типов отношений: класс – элемент класса (цветок – роза); свойство – значение (цвет – жёлтый); пример элемента класса (роза – чайная). Недостатком этой модели является сложность организации процедуры поиска вывода на семантической сети.

Фреймом называется формализованная модель для отображения образа. Различают фреймы-образцы, или прототипы, хранящиеся в БЗ, и фреймы-экземпляры, которые создаются для отображения реальных фактических ситуаций на основе поступающих данных. Модель фрейма является универсальной, поскольку может отобразить все многообразие знаний об объекте через:

- фреймы-структуры, обозначают объекты и понятия (заем, залог, вексель);
- фреймы-роли (менеджер, кассир, клиент);
- фреймы-сценарии (банкротство, собрание акционеров);
- фреймы-ситуации (тревога, авария, рабочий режим устройства) и др.

Основным преимуществом фреймов как модели представления знаний является то, что она отражает концептуальную основу организации памяти человека, а также ее гибкость и наглядность. Таким образом, требуется построение фреймовой структуры, которая позволит формализовать разрозненные данные.

Фрейм – это минимальная структура информации, необходимая для представлений знаний о стереотипных классах объектов, явлений, ситуаций, процессов и др., если эти объекты составляют класс концептуальных (повторяющихся, стереотипных) объектов.

Фрейм состоит из имени и отдельных единиц, называемых слотами. Он имеет однородную структуру:

#### ИМЯ ФРЕЙМА

Имя 1-го слота: значение 1-го слота

Имя 2-го слота: значение 2-го слота

.....

Имя N-го слота: значение N-го слота.

Наполняя слоты конкретным содержанием, можно получить фрейм конкретной ситуации. Слоты во фрейме играют ту же роль, что и поля в записях БД. При этом их наполнителями являются значения, хранящиеся в полях. Значением слота может быть различная информация (числа или математические соотношения, тексты на естественном языке или программы, правила вывода или ссылки на другие слоты данного фрейма или других фреймов).

Для построения фреймовой модели необходимо выполнить следующие шаги:

1. Определить абстрактные объекты и понятия предметной области, необходимые для решения поставленной задачи. Оформить их в виде фреймов-прототипов (фреймов-объектов, фреймов-ролей).

2. Задать конкретные объекты предметной области. Оформить их в виде фреймов-экземпляров (фреймов-объектов, фреймов-ролей).

3. Определить набор возможных ситуаций. Оформить их в виде фреймов-ситуаций (прототипы). Если существуют прецеденты по ситуациям в предметной области, добавить фреймы-экземпляры (фреймы-ситуации).

4. Описать динамику развития ситуаций (переход от одних к другим) через набор сцен. Оформить их в виде фреймов-сценариев.



5. Добавить фреймы-объекты сценариев, которые отражают данные конкретной задачи.

Построим фреймовую модель представления знаний в выбранной предметной области прецедентов ПБ.

Ключевые понятия данной предметной области – объекты нефтепереработки как объект защиты, и те объекты, которые находятся под защитой. У объектов пожарной безопасности ОН есть общие физические характеристики, поэтому целесообразно выделить общее абстрактное понятие – объекты защиты. Тогда фрейм «ОН» (таблица 2.1) являются прототипом-образцом, а фреймы «Объекты повышенной опасности», «Здания и сооружения», «Инфраструктура», «Внешние объекты» – прототипами-ролями. Также нужно определить основные слоты фреймов – характеристики, имеющие значения для решаемой задачи.

Таблица 2.1 – Фрейм «Объект защиты (ОН)»

Объект защиты (ОН)		
Имя слота	Значение слота	Способ получения значения
Тип	Действующий / недействующий	Из внешних источников
Размер	Крупный / локальный	Из внешних источников

Таблица 2.2 – Фрейм «Сектор объекта защиты»

Сектор объекта защиты		
Имя слота	Значение слота	Способ получения значения
Название		Из внешних источников
Масштаб	По всему ОН / локально	Из внешних источников
Физический размер объекта	От ... до ...	Из внешних источников

Для фрейма по объектам повышенной защиты (базовые элементы основного производства) создадим уточняющие фреймы. Эти фреймы-наследники содержат все слоты своих родителей, они явно прописываются только в случае изменения какого-либо параметра (таблицы 2.2–2.5).

Таблица 2.3 – Фрейм «Объекты повышенной опасности»

Объекты повышенной опасности		
Имя слота	Значение слота	Способ получения значения
Степень опасности		Из внешних источников
Дата создания		Из внешних источников
Риск опасности		Из внешних источников
Место локализации	Фрейм-объект	Из внешних источников

Таблица 2.4 – Фрейм «Система противопожарной защиты»

Система противопожарной защиты		
Имя слота	Значение слота	Способ получения значения
Степень опасности		Из внешних источников
Дата создания		Из внешних источников
Риск опасности		Из внешних источников
Место локализации	Фрейм-объект	Из внешних источников

Таблица 2.5 – Фрейм «Объект прилегающей территории»

Объект прилегающей территории		
Имя слота	Значение слота	Способ получения значения
Материал		Из внешних источников
Дата создания		Из внешних источников
Риск опасности		Из внешних источников
Место локализации	Фрейм-объект	Из внешних источников

Задачей обработки информации для поддержки решений на этом этапе является определение необходимых сведений по всем множествам полученных ранее данных. Фреймы-образцы описывают конкретную ситуацию по прецедентам и т. д. Поэтому определим следующие фреймы-образцы, являющиеся наследниками фреймов-прототипов в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Фрейм-образец «Прецедент»

Прецедент		
Имя слота	Значение слота	Способ получения значения
Название	Название цеха	Из внешних источников
Масштаб прецедента (площадь пожара)		Из внешних источников
Ресурсы пожаротушения		Из внешних источников
Влияние на технологическое производство	Остановка / пауза / потеря до восстановления	Из внешних источников

Таким образом, организация учёта прецедентов безопасности ОН позволяет учитывать как последовательность событий, так и их длительность. Фактор длительности принятия решений и ликвидации последствий связан, как показано выше, с объектом исследования – системой ПБ, в которой фактор времени является частью всех уравнений. В случае, если анализ длительностей не принципиален, а важен только порядок событий, можно воспользоваться методикой теории алгоритмов и построить базовые процессы предложенной модели.

Ситуации возникают после наступления событий, выполнения условий и могут следовать одна за другой. Динамику предметной области можно отобразить в фреймах-сценариях. Их может быть множество, опишем наиболее общий и типичный сценарий пожара в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Фреймовая модель по сценарию-образцу «Событие»

Событие		
Имя слота	Значение слота	Способ получения значения
ОН	Фрейм-объект	Из внешних источников
Объект	Фрейм-объект	Присоединённая процедура
Предмет защиты	Фрейм-объект	Присоединённая процедура
Внешние объекты	Фрейм-объект	Присоединённая процедура (определяет по выбранной компании)
Инфраструктура	Фрейм-объект	Присоединённая процедура (определяет по выбранной компании)
Сцена 1	Получение заявки	Из внешних источников
Сцена 2	Составление документации прецедента	Из внешних источников
Сцена 3	Анализ эффективности ресурсов	Из внешних источников
Сцена 4	Формирование прецедента	Из внешних источников

Таким образом, всю систему противопожарной защиты ОН можно представить в виде взаимосвязанных фреймов (рисунок 2.6),

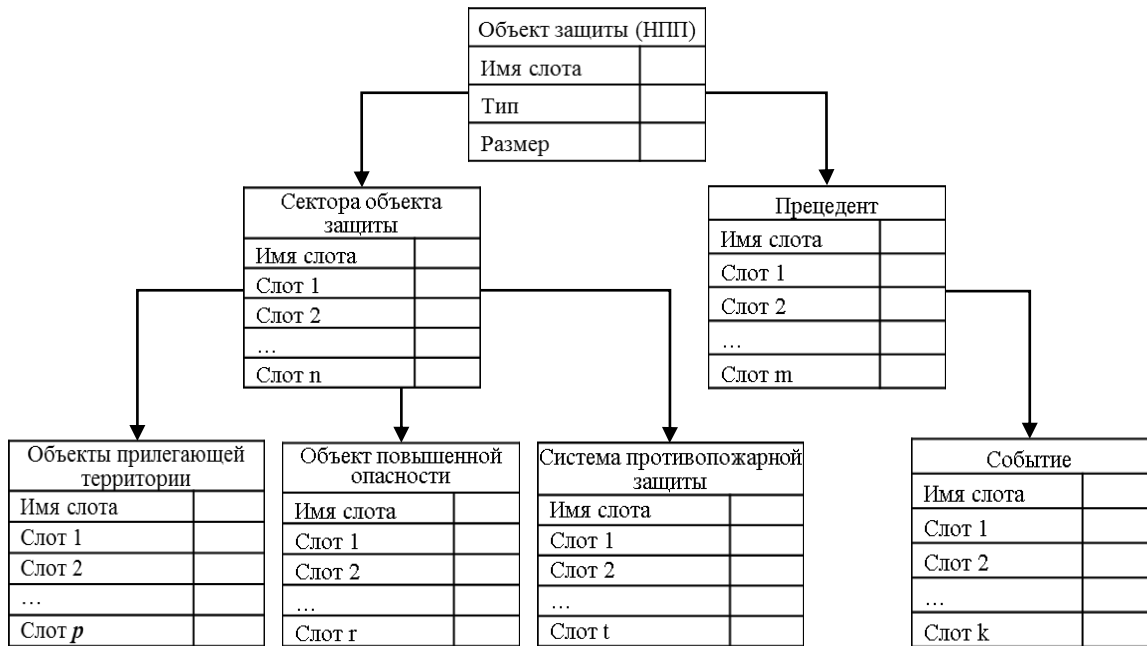


Рисунок 2.6 – Информационная модель описания прецедентов в виде фреймовой структуры

где  $n$  – количество секторов объекта защиты,  $p$  – количество объектов на прилегающей территории,  $r$  – количество объектов повышенной опасности,  $t$  – количество систем противопожарной защиты,  $m$  – количество прецедентов,  $k$  – количество событий.

В дальнейшем они используются при декомпозиции данных для создания карточек прецедентов пожарной опасности. Работа с данными карточками основывается на сравнении по всем группам фреймов, что существенно увеличивает время обработки данных и требует формализации поисковых алгоритмов обнаружения схожих объектов.

### 2.3. Методики поиска прецедентов

Поиск решения на основе прецедентов заключается в определении степени сходства текущей ситуации с прецедентами из БДП. Степень сходства зависит от близости текущей ситуации и прецедента с БДП и выявляется с помощью алгоритма определения параметров пространственного представления.

Проблема выбора подходящего прецедента является одной из самых важных в таких системах. Естественно искать подходящий прецедент в той области пространства поиска, где находятся решения сходных проблем, иначе говоря, поиск должен быть организован сообразно цели [94].

В некоторых случаях такого представления бывает недостаточно, так как имеются ограничения, связанные с выразительными возможностями параметрической модели представления прецедентов. При параметрическом представлении трудно обеспечить учёт зависимости между параметрами прецедента (например, временные зависимости или причинно-следственные).

Для работы по поиску аналитических данных используется метод «ближайшего соседа». Данный метод относится к классу методов, работа которых основывается на хранении данных в памяти для сравнения с новыми элементами.

При появлении новой записи для прогнозирования находятся отклонения между этой записью и подобными наборами данных, и наиболее подобная (или «ближний сосед») идентифицируется.

Задача поиска «ближайшего соседа» состоит в нахождении среди множества элементов, расположенных в многомерном метрическом пространстве, близких к заданному, согласно некоторой функции близости. Уменьшение вычислительной сложности поиска «ближайшего соседа» в словарях большого размера рассматривалось в работах зарубежных авторов [95–98]. Применение методов, предложенных в этих работах, позволяет сократить количество операций и, соответственно, время поиска в 20–30 раз.

При таком подходе используется термин « $k$ -ближайший сосед». Термин означает, что выбирается  $k$  «верхних» (ближайших) соседей для их рассмотрения в качестве множества «ближайших соседей». Поскольку не всегда удобно хранить все данные, иногда хранится только множество типичных случаев.

Метод «ближайшего соседа» представляет собой простейший метрический классификатор, основанный на оценке сходства различных объектов. Рассматриваемый объект относят к классу, к которому относятся предметы обучающей выборки. Рассмотрим более подробно данный метод и приведём примеры его реализации в прецедентном подходе.

Метод «ближайшего соседа» можно считать наиболее распространённым методом, используемым для классификации. Объект поддается классификации и относится к тому классу, к которому относится ближайший объект обучающей выборки [99].

Метод «ближайшего соседа» при  $k = 1$  способен давать ложную классификацию, причём не только на объектах-выбросах, но и для классов, которые расположены поблизости. Если взять  $k = m$ , где  $m$  показатель сдвига прямой, то алгоритм будет максимально устойчивым и выродится в постоянную величину. Именно поэтому для достоверности важно не допускать крайних показателей  $k$ . На практике в качестве оптимального показателя  $k$  применяют критерий скользящего контроля.

### **Отсев выбросов**

Объекты обучения в основном являются неравноценными, но среди них есть такие, которые обладают характерными признаками класса и именуется эталонами. При близости рассматриваемого предмета к идеальному образцу высока вероятность его принадлежности к данному классу.

Пример можно взять на основе периферийных и неинформативных категорий объектов. Предполагается плотное окружение рассматриваемого объекта другими представителями данного класса. При удалении их с взятой выборки качество классификации не пострадает. Попасты в такую выборку может определённое число шумовых выбросов, которые находятся «в гуще» другого класса. Удаление в основном положительно отражается на качестве проводимой классификации. Если с взятой выборки устраняют неинформативные и шумовые объекты, можно рассчитывать на несколько положительных результатов одновременно. В первую очередь, интерполяция методом «ближайшего соседа» позволяет повышать качество классификации, сокращать объем хранимых данных, уменьшать время классификации, которое тратится на выбор ближайших стандартов.

### **Применение выборок**

Метод «ближайших соседей» базируется на специальном программном обеспечении. Для создания сверхбольших выборок используют увеличение надёжности ПБ нефтеперерабатывающего предприятия. Ставится задача не просто сохранить существенный объем информации, но и в минимальный временной промежуток успевать находить произвольный объект  $i$  среди  $k$  ближайших соседей. Для того, чтобы справиться с поставленной задачей, применяют два способа:

- прореживают выборку при помощи выбрасывания неинформационных объектов;
- применяют специальные эффективные структуры и индексы данных для моментального поиска ближайших соседей [100].

Метод «ближайшего соседа» применяют при решении практических задач, в которых известна заранее функция расстояния  $D(P_i, P_j)$ . При описании объектов числовыми векторами используют евклидову метрику. Подобный выбор не имеет

специального обоснования, но предусматривает измерение всех признаков «в едином масштабе». Если не учесть этот фактор, то в метрике будет преобладать признак, имеющий наибольшие числовые значения [101].

При наличии значительного количества признаков, вычисления расстояния в виде суммы отклонений по конкретным признакам появляется серьёзная проблема размерности. В пространстве высокой размерности далёкими друг от друга окажутся все объекты. В конечном итоге произвольной будет выборка близких для исследуемого объекта  $k$  – соседей. Для устранения подобной проблемы отбирается небольшое число информативных признаков. Алгоритмы расчёта оценок выстраивают на основе различных наборов признаков, причём для каждого отдельного выстраивают свою функцию близости [94].

Преимущества метода «ближайшего соседа»:

- простота использования полученных результатов;
- решения не уникальны для конкретной ситуации, возможность их использования для других случаев;
- целью поиска является не гарантированно верное решение, а оптимальное из возможных решений;

Недостатки метода «ближайшего соседа»:

- данный метод не создаёт каких-либо моделей или правил, обобщающих предыдущий опыт, в выборе решения они основываются на всем массиве доступных данных, поэтому невозможно сказать, на каком основании строятся ответы;
- существует сложность выбора меры «близости» (метрики), высокая зависимость результатов классификации от выбранной метрики;
- при использовании метода возникает необходимость полного перебора обучающей выборки при распознавании, следствие этого – вычислительная трудоёмкость.

Основной тип представления данных при решении задачи прогнозирования методом «ближайшего соседа» – БДП.

Технологией прогнозирования методом «ближайшего соседа» является накопление характеристики события, что гарантирует в дальнейшем улучшение с

течением времени БДП. Основной целью поиска решений в методе «ближайшего соседа» является не гарантированно верное решение, а оптимальное из возможных.

Для рассматриваемого профиля реализации, используя значения параметров объектов  $i$ , можно с помощью интерполяции построить прогноз развития проблемной ситуации (на уровне параметров). Следует отметить, что на результат поиска прецедентов, удовлетворяющих проблемной ситуации по ОН, оказывают влияние несколько факторов.

Во-первых, это выбор метрики. В каждом конкретном случае этот выбор производится по-разному, в зависимости от целей защиты объекта нефтепереработки, физической и статистической природы используемой информации при управлении сложным объектом и других ограничений и факторов, влияющих на процесс поиска решения.

Во-вторых, это выбор шага, с которым разбивается на промежутки рассматриваемый отрезок времени. Вариация размеров шага даёт различное количество дискретных точек, по которым происходит сравнение значений параметров прецедентов. Это оказывает влияние не только на точность выбора прецедента, но и на скорость выполнения поискового алгоритма, а также на величину погрешности, с которой может быть определено соответствие.

И, в-третьих, важным оказывается выбор порогового значения, определяющего степень сходства.

Одна из задач информационной модели обеспечения метода прецедентов как части системы обеспечения безопасности объекта нефтепереработки – гармонично совместить технологии кризисного мониторинга и кризисного управления с процедурами управления ресурсами, инфраструктурой, регламентом, общим мониторингом объекта. Технологии обработки информации для принятия решений в данной ситуации, как правило, опираются на экспертные системы, системы принятия коллективных решений и строятся преимущественно на аппарате нечёткой логики в условиях неопределённости. Экспертные методы дополняются математическими моделями [102].



После проведения опроса группы экспертов осуществляется обработка результатов. Целью обработки является получение обобщённых данных и новой информации, содержащейся в скрытой форме в экспертных оценках. В зависимости от целей экспертного оценивания при обработке результатов опроса возникают следующие основные задачи:

- определение компетентности экспертов и обобщённой оценки объектов;
- построение обобщённой ранжировки объектов;
- определение согласованности мнений экспертов;
- определение зависимостей между ранжировками.

Пусть  $m$  экспертов произвели оценку  $n$  объектов. Результаты оценки представлены в виде величин  $x_{ij}$ , где  $j$  – номер эксперта,  $i$  – номер объекта. Эти величины могут быть заданы с использованием баллов либо чисел, принадлежащих некоторому отрезку числовой оси.

Коэффициент компетентности экспертов и обобщённые оценки объектов для тех случаев, когда проводится непосредственное числовое оценивание альтернатив, можно вычислить по апостериорным данным, т.е. по результатам оценки объектов. При этом компетентность экспертов оценивается по степени согласованности их оценок с групповой оценкой объектов.

Алгоритм вычисления коэффициентов компетентности экспертов и обобщённой оценки объектов сводится к расчётам по следующим рекуррентным формулам:

$$x_i^t = \sum_{j=1}^m x_{ij} k_j^{t-1}, i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.1)$$

$$\lambda^t = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} x_i^t, t = 1, 2, \dots, n, \quad (2.2)$$

$$k_j^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^n x_{ij} x_i^t, j = 1, 2, \dots, m. \quad (2.3)$$

Вычисления начинаются с  $t = 1$ . Начальные значения компетентности принимаются одинаковыми, и равными  $k_j^0 = \frac{1}{m}$ .

При наличии нескольких ситуаций эксперты упорядочивают объекты для каждой ситуации в отдельности. Если известны вероятности проявления той или иной ситуации  $P_1, P_2, \dots, P_n$ , где  $n$  – число различных ситуаций, то можно построить обобщённую ранжировку, осреднённую по всем ситуациям. В связи с этим возникает необходимость количественной оценки степени согласия экспертов. Оценка согласованности мнений экспертов основывается на использовании понятия компактности. Оценка каждого эксперта представляется как точка в некотором пространстве, в котором введено понятие расстояния.

Если оценки экспертов находятся на небольшом расстоянии друг от друга, то можно это интерпретировать как хорошую согласованность суждений экспертов. Если же точки разбросаны в пространстве на большом расстоянии, то согласованность – невысокая.

При использовании количественных шкал измерения и оценке объекта всего по одному критерию мнения группы экспертов можно представить как точки числовой оси. Эти значения можно рассматривать как реализации случайной величины. Тогда центр группировки точек будет рассматриваться как математическое ожидание, а разброс количественно оцениваться дисперсией случайной величины.

При измерении объектов в порядковой шкале согласованность оценок экспертов в виде ранжировок или парных сравнений объектов также основывается на понятии компактности. Для этого обычно используется мера согласованности мнений экспертов – дисперсионный коэффициент конкордации (коэффициент согласия). Эксперт исследуемой области не способен хранить и использовать в полной мере огромное количество прецедентов, для этого специально созданы данные системы. Достоинства систем такого вида в том, что можно хранить большой объем информации, обобщать ее и анализировать. Основной алгоритм прогнозирования на основе прецедентов включает:

- 1) нахождение самых оптимальных прецедентов для конкретных задач из базы данных прецедентов;

- 2) адаптацию найденного решения для конкретного случая, рассматриваемого в данный момент;
- 3) анализ решения и применение его к нашему случаю;
- 4) проверку корректности решения и сохранение его;
- 5) добавление решения в БДП для использования впоследствии для конкретного случая пожара на основе предыдущих прецедентов.

Итак, данный метод по своей сути относится к категории «обучение без учителя», т.е. является «самообучающейся» технологией, благодаря чему рабочие характеристики каждой БДП с течением времени и накоплением примеров улучшаются. Разработка БДП по конкретной предметной области происходит на естественном для человека языке, следовательно, может быть выполнена наиболее опытными сотрудниками предприятия – экспертами или аналитиками, работающими в данной предметной области (пожарной безопасности объекта нефтепереработки).

Для примера работы составим фрейм (таблица структурированных по единым параметрам данных) с конкретными данными, с учетом параметров самого прецедента, параметров реакции на прецедент, параметров системы безопасности, которые были задействованы в ликвидации пожара или ЧС (см. таблицу 2.8). Фрейм разработаем на примере плана тушения пожара ОН (таблица 2.9). В имеющейся БДП *фрейм 1* – наступивший реальный пожар, который мы начинаем сравнивать с имеющейся БДП прецедентов, представленной на *фрейме 2*.

Важно учитывать, что для объектов нефтепереработки необходимо использовать прецедент с учётом времени воздействия (для реализации управления не только объектами, но и временем), который формально можно определить набором, представляющим ситуацию, расширенную блоком описательных параметров *I*, куда могут входить данные по прецеденту (норма, ошибка, предупреждение), описание, ссылки, временной фактор, диагноз (решение) и т.д.

Таблица 2.8 – Пример фрейма №1. Пожар в насосной цеха № 8.

№	Показатели	Значения
1	Вид пожара (ЧС)	пожар в насосной цеха № 8.
2	Вид ГЖ (ЛВЖ)	смесь нефтепродуктов
3	Ширина насосной	16 м
4	Длина насосной	42 м
5	Общая площадь	672 м <sup>2</sup>
6	Время свободного развития пожара	11 мин
7	Путь про-й огнём	13,2 м
8	Площадь пожара	547,11 м <sup>2</sup>
9	Кол-во личного состава	43 чел
10	Кол-во пожарных авто	9 автомобилей
11	Количество отделений	9 отделений
12	Обстановка пожара при 11 мин	Горение в насосной. Прибывает ПЧ-1 в составе отделения на АЦ, отделения на ПНС, и отделения на ППК-37,5.
13	Рекомендации руководителю тушения пожара (РТП) при 11 мин	1. АЦ-40. ПЧ-1. (1-ход) установить на ПГ-293, проложить магистральную линию, звеном ГДЗС подать ствол ГПС-600 на тушение с восточной стороны насосной. 2. ПНС-110 установить на ПВ83-1/12. 3. ППК-37,5 в резерв.
14	Обстановка пожара при 17 мин	Горение продолжается. Увеличивается температура. Прибывает ПЧ-2 в составе 3 отд.
15	Рекомендации РТП при 17 мин	1. АЦ-40. ПЧ-2. установить на ПВ 83-1/13 проложить магистральную линию, звеном ГДЗС подать ствол ГПС-600 на тушение с западной стороны насосной. 2. АЦ-40. ПЧ-2 установить на ПГ-35 проложить магистральную линию, подать ствол ГПС-600 на тушение насосной через оконный проем. 3. АЦ-40 (2-ход) установить на ПГ-4 проложить магистральную линию, подать 2 ствола «А» на охлаждение кровли.
16	Обстановка на пожаре при 21 мин	Горение продолжается. Прибывают: АЦ-40. СПЧ-1, АЦ-40. ПЧ-34.
17	Рекомендации РТП при 21 мин	1. АЦ-40 установить на ПГ-36. Личный состав от магистральной линии и разветвления 3-хода ПЧ-2 звеном ГДЗС подать ствол ГПС-600 на тушение насосной с западной стороны. 2. АЦ-40 в резерв. Личный состав от магистральной линии и разветвления 3-хода ПЧ-2. Подать 1 ствол ГПС-600 на тушение насосной через оконный проем.
18	Обстановка на пожаре при 30 мин	Горение локализовано. Прибывает АЦ-40. СПЧ-1.
19	Рекомендации РТП при 30 мин	АЦ-40 и л/состав в резерв.
20	Обска на пожаре при 34 мин	Пожар ликвидирован.
21	Рекомендации РТП при 34 мин	РТП осматривает место пожара, уточняет причину его возникновения, прибывшим подразделениям «Отбой».
22	Вывод	Для тушения пожара в насосной необходимо сосредоточить силы и средства по повышенному вызову № 3.

Таблица 2.9 – Пример фрейма №2, пожар в аварийном амбаре 25-1 цеха №8, как прецедент для пожара в насосной цеха № 8.

№	Показатели	Значения
1	Вид пожара (ЧС)	пожар в аварийном амбаре 25-1 цеха № 8.
2	Вид ГЖ (ЛВЖ)	смесь нефтепродуктов
3	Ширина амбара	25 м
4	Длина амбара	40 м
5	Общая площадь	1000 м <sup>2</sup>
6	Время свободного развития пожара	11 мин
7	Путь про-й огнём	14 м
8	Площадь пожара	720 м <sup>2</sup>
9	Кол-во личного состава	48 чел
10	Кол-во пожарных авто	10 автомобиля
11	Количество отделений	10 отделений
12	Обстановка пожара при 11 мин.	Горение в насосной. Прибывает ПЧ-8 в составе отделения на АЦ, отделения на ПНС, и отделения на ППК-37,5.
13	Рекомендации руководителю тушения пожара (РТП) при 11 мин	1. АЦ-40. ПЧ-8. (1-ход) установить на ПГ-293, проложить 2 магистральные линии, подать 4 ствола ГПС-600. 2. ПНС-110. ПЧ-8. установить на ПВ83-1/12. 3. ППК-37,5. ПЧ-8. (3-ход) выбрать позицию и установить.
14	Обстановка пожара при 17 мин	Горение продолжается. Увеличивается температура. Прибывает СПЧ-7 в составе 3 отд. на АЦ, ППК-37,5
15	Рекомендации РТП при 17 мин	1. АЦ-40. СПЧ-7. (1-ход) установить на ПГ-9, проложить магистральную линию к ППК-37,5 и через разветвление подать ствол «А» на охлаждение лестницы АТС-59. 2. СПЧ-7. (2-ход) АЦ-40. установить на ПГ- 294 проложить магистральную линию к ППК-37,5. 3. СПЧ-7. (3-ход) АЦ-40 установить между (2 и 1-ходом) ПЧ-8, подать к ним рукавные линии.
16	Обстановка на пожаре при 21 мин	Горение продолжается. Прибывают: АЦ-40. СПЧ-1, резервный АТС-59, МЖТ-16
17	Рекомендации РТП при 21 мин	1. АТС-59. ПЧ-8. установить на выбранную позицию, соединить с магистральной линией (2-хода) ПЧ-8. 2. АЦ-40. СПЧ-1. установить на ПГ-8, протянуть магистральную линию, подать 2 ствола ГПС-600. По единой команде начать пенную атаку.
18	Обстановка на пожаре при 30 мин	Прибывают: АЦ-40. ПЧ-2, АЦ-40. ПЧ-34.
19	Рекомендации РТП при 30 мин	Пожар ликвидирован. 1.АЦ-40. ПЧ-2. в резерв, л/состав работа на стволах. 2.АЦ-40. ПЧ-34. в резерв, л/состав работа на стволах.
20	Обстановка на пожаре при 34 мин	РТП осматривает место пожара, уточняет причину его возникновения, прибывшим подразделениям дает команду «Отбой».
21	Рекомендации РТП при 34 мин	Для тушения пожара аварийного амбара 25-1 необходимо и достаточно сосредоточить силы и средства в количестве 5 отделений. Вызов № 3 и требуется подвоз пенообразователя на МЖТ.

## **2.4. Алгоритмы поддержки принятия решений с интеграцией ретроспективных данных по методу прецедентов**

На данный момент активно разрабатываются различные варианты применения метода прецедентов в управлении безопасностью сложных систем на математическом аппарате. Критический анализ научных публикаций и практических алгоритмов его использования на объектах сложных систем позволил сделать вывод о необходимости алгоритмизации СППР на основе прецедентов с учётом трёх основных этапов: целеполагания, анализа ресурсов и разработки математического аппарата, компилирующего опыт (БДП) с имеющимися ресурсами для недопущения нарушения элементов безопасности сложных систем.

В связи с вышесказанным предлагается реализовать поставленную задачу через два алгоритма.

1. Алгоритм анализа возникновения связанных событий по методу прецедентов, который разработан относительно ситуации на ОН с целью максимального использования всех преимуществ фреймов противопожарной защиты и самой быстрой локализации и ликвидации пожара (рисунок 2.7).

Главной целью подсистемы формирования информационного хранилища является недопущение выхода события за пределы критического уровня, определённого по методу прецедентов. Выполнение функций и задач управления на уровне включения подсистемы формирования информационного хранилища обеспечивается путём предварительного сбора и передачи информации об отклонениях и параметрах для определения на этой основе последующих действий.

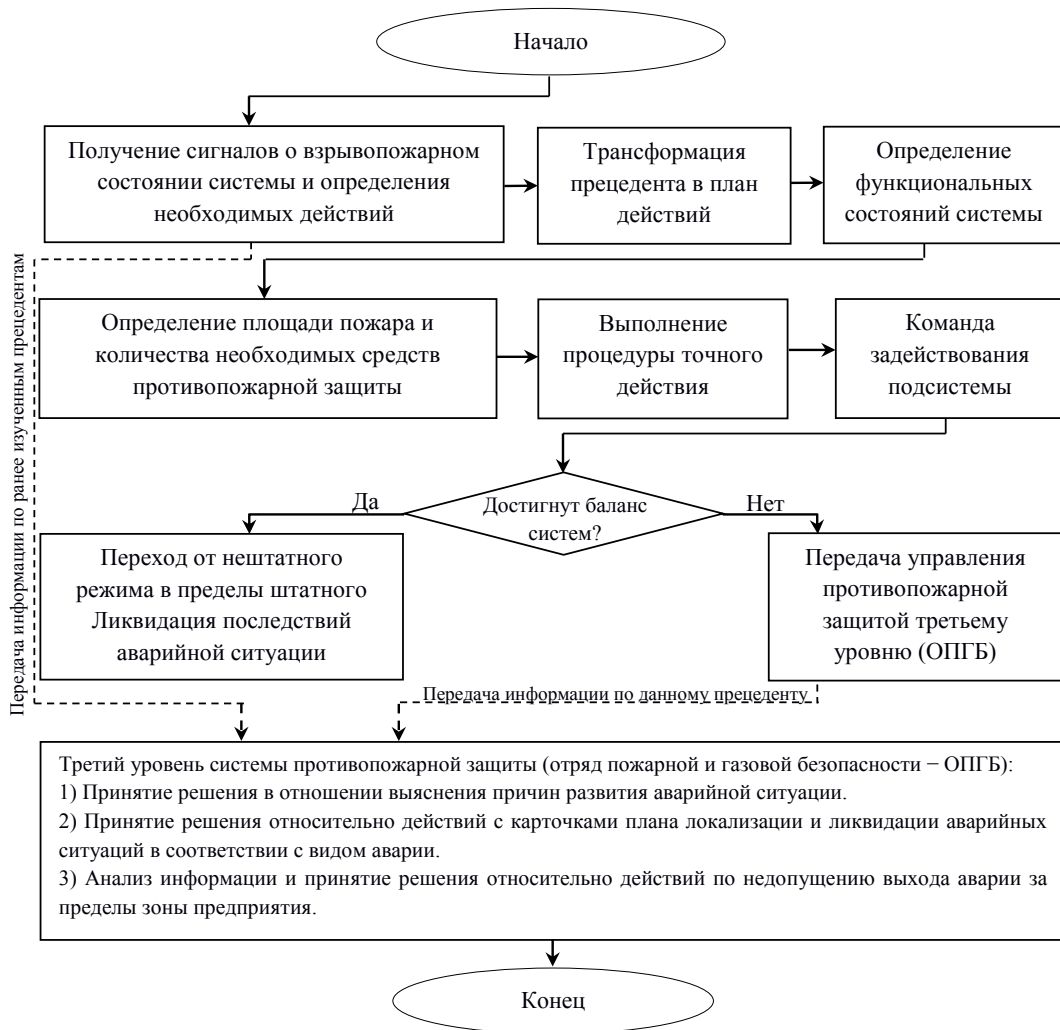


Рисунок 2.7 – Алгоритм реализации обработки информации об обеспечении противопожарной защиты с интеграцией метода прецедентов

2. Для подсистемы формирования информационного хранилища требуется разработка метода обработки информации внутри БДП. Алгоритм действия второго уровня обработки информации представлен на рисунке 2.8.

Главной целью информационной поддержки принятия решений на уровне задействования автоматизированной подсистемы является подключение модуля предварительной обработки информации по методу прецедентов, который позволит выполнить действия, не допускающие переход аварийной ситуации в полномасштабную аварию: какие автоматизированные средства, в каком количестве, с каким объёмом были ранее использованы и какие нужно задействовать сейчас для обеспечения наиболее эффективной локализации и ликвидации аварии.

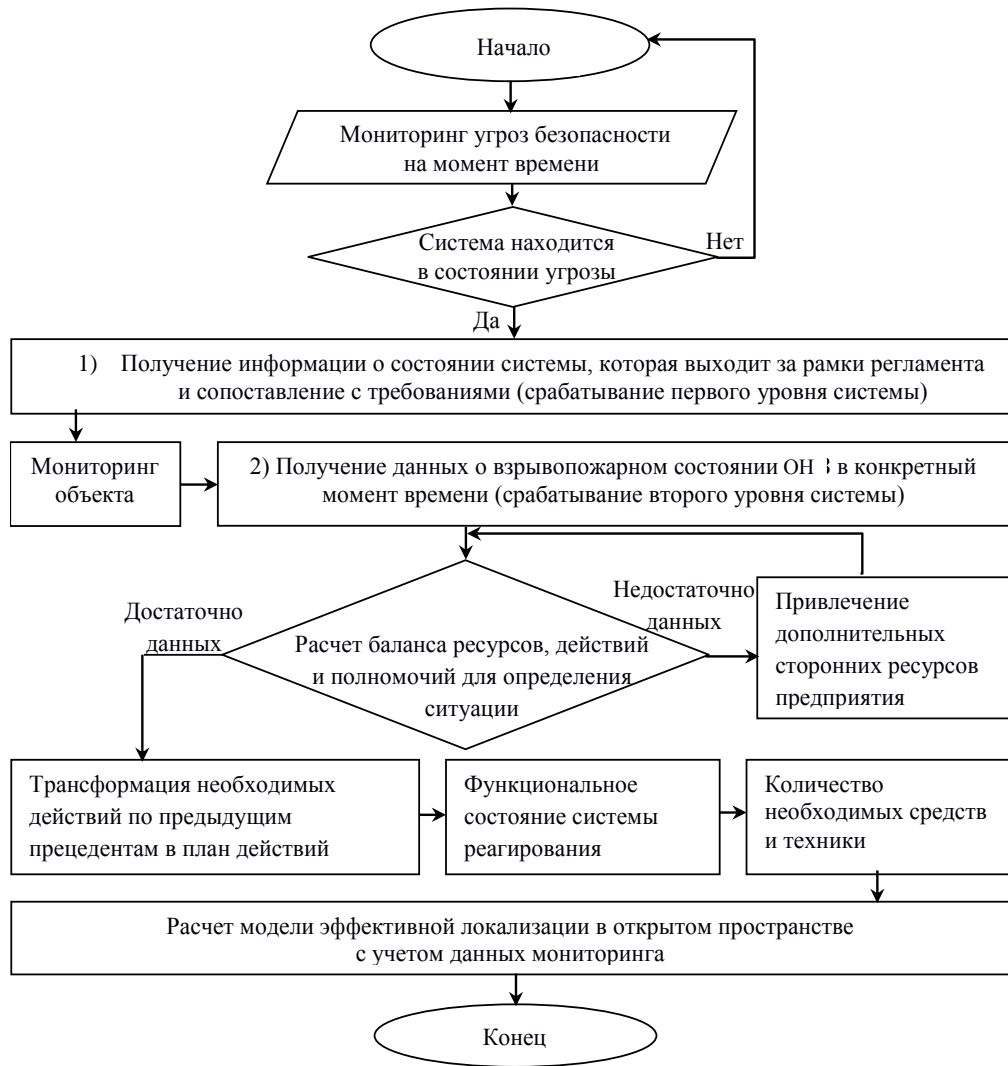


Рисунок 2.8 – Алгоритм реализации обработки информации на уровне задействования автоматизированной подсистемы противопожарной защиты

Цель ситуационной подсистемы защиты – недопущение перехода аварии в катастрофу, выхода аварии за пределы рабочей площади, локализация и ликвидация аварии исходя из ситуации на предприятии с привлечением внешних средств и ресурсов, но под руководством предприятия. Сбор данных для принятия решений осуществляется заранее, и в момент возникновения угрозы используется метод прецедентов.

Рассмотрим пример работы БДП и составим фрейм (таблица структурированных по единым параметрам данных) с конкретными параметрами прецедента, учитывая параметры реакции на прецедент, параметры сил и средств, которые были задействованы в ликвидации пожара.



Математически структуру фрейма можно описать следующим образом:

$$F : \{(N_i, Z_i)\}, \{C_i\}, \quad (2.4)$$

где  $F$  – имя слота,  $N_i$  – имя параметра,  $Z_i$  – его значение,  $C_i$  – связь с другими слотами,  $i$  – номер строки слота.

На примере плана тушения пожара в насосной цеха ОН разработан пример создания фрейма, состоящего из 21 параметров (см. таблицу 2.9 выше). В результате для ЛПР дается рекомендация для определения номера (ранга) пожара, который позволяет выявить условный признак сложности пожара и с прогнозировать необходимые ресурсы (силы и средства) пожарно-спасательных подразделений для его тушения (параметр №21).

На основе анализа планов тушения пожаров с различных объектов нефтепереработки разработана БДП из 10 прецедентов в виде фреймов.

Рассмотрим методику поиска прецедентов на примере рассматриваемого фрейма. Для сравнения будут взяты 5 параметров фрейма из 21:

$P1$  – ширина насосной;

$P2$  – длина насосной;

$P3$  – общая площадь;

$P4$  – время свободного развития пожара;

$P5$  – площадь пожара.

Проведём классификацию десяти фреймов из БДП, каждый из которых характеризуется пятью выбранными параметрами, имеющими численное значение (таблица 2.10).

Таблица 2.10 – Выборка групп параметров

Показатели фреймов	$P1$	$P2$	$P3$	$P4$	$P5$
фрейм №1	16	42	672	11	547
фрейм №2	56	92	5152	–	1230
фрейм №3	14	34	476	11	476
фрейм №4	74	60	4440	13	3582
фрейм №5	10	10	100	–	13
фрейм №6	20	18	360	16	110
фрейм №7	30	30	900	21	740
фрейм №8	24	34	816	8	200
фрейм №9	48	56	2688	19	2500
фрейм №10	15	15	225	9	225

Рассмотрим алгоритм определения «ближайшего соседа» для фреймов №1 и №2, описанных в пп. 2.3 данного исследования. Пусть элемент сравнения фрейм №2 и фрейм №1 как объект сравнения описываются 5 параметрами. Таким образом, в БДП содержатся 10 переменных. Согласно методике расчёта «ближайшего соседа» интегральный показатель схожести будет иметь вид:

$$P(a \text{ и } b) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ai} - x_{bi})^2}, \quad (2.5)$$

где  $a$  и  $b$  – точки в  $n$ -мерном пространстве;  $i$  – порядковый номер признака;  $x_{ai}$  и  $x_{bi}$  – координаты точек  $a$  и  $b$  по признаку  $i$ .

Полученные данные помещаются в таблицу (матрицу расстояний). Затем из матрицы расстояния выбираются наименьшие значения и объединяются в кластеры.

При проведении кластерного анализа по принципу «ближайшего соседа» будут получены два кластера ( $P_r$  и  $P_m$ ), расстояние между которыми будет равно наименьшему значению [61]. В результате получаем иерархическую классификацию фреймов (таблица 2.11).

Таблица 2.11 – Исходные данные

Пример 1		
Координаты	$P1$ – общая площадь	$P2$ – площадь пожара
Цель	772	647
фрейм №8	916	300
фрейм №6	460	210
Пример 2		
Координаты	$P2$ – площадь пожара	$P4$ – кол. лич. состава
Цель	547	43
фрейм №7	740	54
фрейм №3	746	11
Пример 3		
Координаты	$P2$ – площадь пожара	$P5$ – кол. пож. авто
Цель	547	3
фрейм №7	740	5
фрейм №3	200	2
Пример 4		
Координаты	$P1$ – общая площадь	$P3$ – время своб. разв. пожара
Цель	672	11
фрейм №3	476	14
фрейм №4	360	16

Затем вычисляются значения степени сходства SIM текущей ситуации с прецедентами с БДП (таблица 2.12).

Таблица 2.12 – Расчёт расстояния по фреймам

Расчёт расстояния от цели до П1 (D1) и П2 (D2)					
Пример 1					
D1	772	916	647	300	375,7
D2	772	460	647	210	536,9
Пример 2					
D1	547	740	43	54	193,3
D2	547	476	43	11	77,9
Пример 3					
D1	547	740	3	5	193,0
D2	547	200	3	2	347,0
Пример 4					
D1	672	476	11	14	196,0
D2	672	360	11	16	312,0
Расчёт расстояния Dmax					
Пример 1					
Dmax	100	1000	100	1000	272,8
Пример 2					
Dmax	10	100	100	1000	904,5
Пример 3					
Dmax	1	10	100	1000	900,0
Пример 4					
Dmax	10	20	100	1000	900,1
Вычисление значения степени сходства SIM текущей ситуации с двумя прецедентами из БДП					
Пример 1					
П1	1	375	1272	0,71	71%
П2	1	536	1272	0,58	58%
Пример 2					
П1	1	193	904	0,79	79%
П2	1	77	904	0,91	91%
Пример 3					
П1	1	193	900	0,79	79%
П2	1	347	900	0,61	61%
Пример 4					
П1	1	196	900	0,78	78%
П2	1	312	900	0,65	65%

Для автоматизации процесса составим алгоритмы применения метода прецедентов в системе ПБ объектов нефтепереработки с учётом фреймовой модели хранения данных в БЗ. Обобщённый алгоритм поиска прецедентов по методу «ближайшего соседа» представлен на рисунке 2.9,

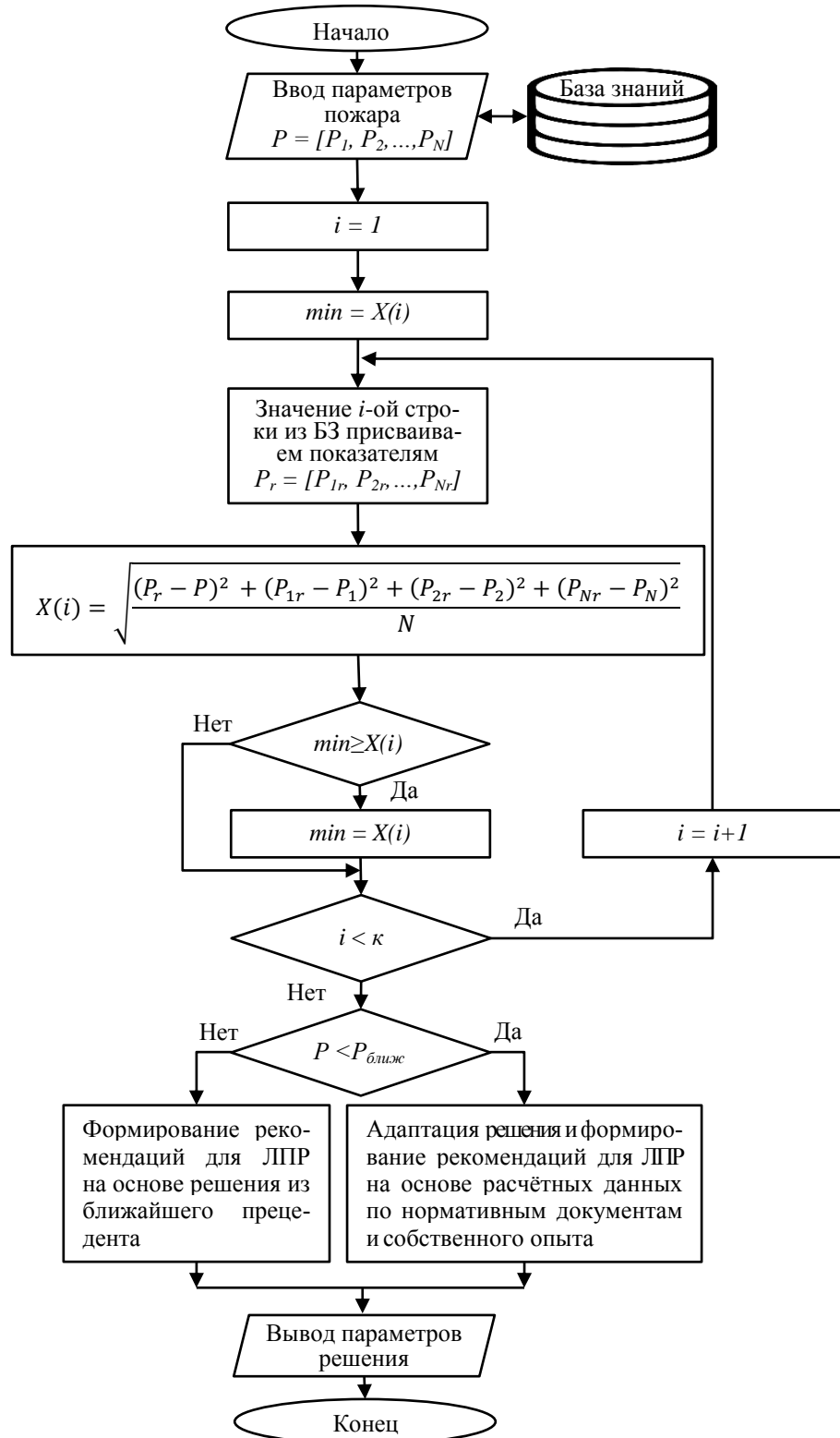


Рисунок 2.9 – Алгоритм поиска и адаптации прецедентов по методу «ближайшего соседа»

где:  $P$  – массив параметров текущего случая,  $P_{ближ}$  – массив параметров ближайшего прецедента,  $min$  – минимальное значение среднеквадратичного отклонения прецедентов,  $k$  – количество прецедентов в БЗ,  $i$  – номер прецедента в БЗ,  $X(i)$  – значение среднеквадратичного отклонения  $i$ -го прецедента,  $N$  – количество параметров.

Проведён тест на сходимость между прецедентом по текущей ситуации и прецедентами из БДП. Сравнение целевой функции и текущего состояния осуществляется по 10 параметрам, при сравнении всех 180 фреймов расчет, возможно выполнить только в автоматизированном режиме при использовании БД всех прецедентов.

## **2.5. Обоснование необходимости разработки специального программного обеспечения**

В настоящее время большую актуальность приобретает необходимость многокритериального моделирования поддержки принятий решений в различных проблемных ситуациях, включая систему противопожарной защиты объектов нефтепереработки.

На сегодняшний день в схеме управления оповещением и взаимодействием на объектах нефтепереработки РК в пп. 1.3 данного исследования, отсутствует система формирования информационного хранилища данных, баз знаний для учёта накопленного опыта. В связи с этим планомерно говорить о целесообразности формирования единой БЗ для объектов нефтепереработки РК в связи с возможностью накопления и распределения данных с помощью моделей, алгоритмов и СПО.

Формирование БЗ как основы поиска оптимального решения противопожарной защиты, таким образом, станет основой для разработки внутренних стандартов реагирования, модернизации существующей базы пожаротушения и системы управления внештатными ситуациями. Представленный проект может быть использован как универсальная интеллектуальная встраиваемая система проверки эффективности противопожарной защиты объектов нефтепереработки.

Особенности интеллектуальной системы приводят к необходимости использования в процессе решения поставленных задач знаний, накопленных путём сбора материалов анализа пожаров на объектах нефтепереработки. На основании

полученных знаний разрабатываются СППР, осуществляющие сбор и управление этими знаниями, принимающие решения об оптимальном способе достижения целей в условиях неполноты и нечёткости предметной области. Для минимизации риска человеческого фактора данные для ввода в систему строго формализуются по фреймам.

Особенности такого подхода в том, что СППР могут использоваться в различных предметных областях, в том числе и для эффективного анализа статистической информации по ПБ объекта защиты.

При использовании СППР можно произвести упорядочивание данных – каждому из значений категориального атрибута присваивается порядковый номер. Атрибут исключается из рассмотрения, если невозможно применить упорядочивание. Исследуемые числовые данные необходимо нормировать, чтобы каждый из атрибутов имел равный вес при сравнении. Также необходимо учитывать и вес атрибута относительно других атрибутов для правильного нормирования фреймов для объектов нефтепереработки.

Блок формализации полученных знаний обеспечивает формализацию, сохранение и использование БЗ для принятия стратегических решений, а также для формирования начальной структуры предметных областей, моделей объекта управления и в целом БЗ. Данный блок позволяет провести сбор полученных знаний о ситуациях и угрозах ПБ, сильных и слабых сторонах объекта нефтепереработки и формализовать полученные знания, представив их в численной и наглядной графической форме. Эти знания, будучи формализованы и сохранены, могут быть использованы в дальнейшем. Также блок позволяет выявлять, ранжировать и согласовывать экспертные представления различных специалистов о стратегических целях организации и возможных действиях, направленных на их достижение. Специалисты также могут выступать в роли источника знаний, в этом случае их мнения учитываются с большим весом.

На основе эффективного мониторинга данных и достижения целевых значений показателей деятельности объекта нефтепереработки выявляются

причины отклонения показателей от плановых нормативов, связанные как с внешней средой, так и с внутренними проблемами объекта защиты.

Предложенная система для разработки СПО может применяться при определении оптимальных показателей для выявления и оценки существующих и потенциальных угроз противопожарной защиты и подготовке мотивационной базы для принятия управленческих решений, направленных на прогнозирование ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары или ЧС. Так как готового решения по данному вопросу на сегодняшний день не существует, предлагается цифровизация процессов управления ПБ на основе внедрения СППР «АРМ системы поддержки принятия решений для специалиста пожарной безопасности НПЗ».

## **2.6. Программная реализация системы поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки на основе разработанных моделей и алгоритмов**

На основе разработанного алгоритма поиска и адаптации прецедентов по методу «ближайшего соседа» создана программа для ЭВМ, зарегистрированная в Роспатенте №2020612655 от 28 февраля 2020 г. При разработке специального программного обеспечения использовался язык программирования высокого уровня *Object Pascal*.

Цель разрабатываемого СПО – поддержка принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары или ЧС с использованием метода прецедентов и дискриминантного анализа.

Задачи СПО:

- 1) быстрый доступ для ЛПР к необходимой информации о подобных исследуемых ситуациях, которая накоплена в БДП;
- 2) применение на практике знаний, включенных в БДП, наиболее подходящих к оперативной ситуации на пожаре и ЧС;
- 3) представление результатов управленческого решения в наиболее удобной для ЛПР форме.

#### Функции СПО:

- 1) сбор, хранение и обеспечение доступа к массивам данных об объектах защиты, методах и средствах противопожарной защиты;
- 2) сбор, хранение и обеспечение доступа к массивам данных о случаях возникновения пожаров как прецедентов нарушения требований ПБ;
- 3) оценка степени эффективности реагирования на каждый прецедент на основе сравнительного анализа с массивом БДП.

Разрабатываемое СПО должно включать в себя интуитивно понятный интерфейс для ЛПР, также должен осуществляться контроль вводимых параметров, например: числовые поля не должны заполняться буквами или иными знаками, параметры произошедшего пожара не должны иметь отрицательное значение, все поля в СПО должны заполняться для перехода к другому действию. СПО связана с БЗ и текстовыми документами для отображения рекомендаций.

Интерфейс программы состоит из двух диалоговых форм, представленных на рисунках 2.10. и 2.11. Главная диалоговая форма содержит список рассматриваемых параметров пожара (площадь пожара, площадь объекта, количество вещества и время горения).

При функционировании разработанного специального программного обеспечения должен осуществляться контроль при вводе параметров произошедшего пожара (данные, вводимые ЛПР). Если была допущена ошибка при вводе новых параметров для поиска решения по текущему пожару, система выдаст сообщение и предоставит возможность исправления ошибки и продолжения работы.



Рисунок. 2.10 – Интерфейс специального программного обеспечения системы поддержки принятия решений, диалоговая форма ввода данных по новому случаю

На основе введенных данных формируется выборка прецедентов с БДП по проценту сходимости с текущим пожаром, которая отображается на следующей диалоговой форме (рисунок 2.11).

Рисунок 2.11 – Интерфейс специального программного обеспечения системы поддержки принятия решений, диалоговая форма вывода и адаптации результата по новому случаю

На ней расположено два окна. Первое окно – для отображения действий по текущему решению для РТП, во втором окне даётся адапционное решение для

РТП, также есть поля для вывода значений о количестве задействованных ресурсов сил и средств при пожаре.

СПО «АРМ системы поддержки принятия решений для специалиста пожарной безопасности НПЗ» может применяться при определении и оценке существующих и потенциальных угроз противопожарной защиты, подготовке информационно-аналитической базы для принятия управленческих решений, направленных на повышение эффективности тушения пожаров.

## **2.7. Определение ранга пожара на основе дискриминантного анализа**

В настоящее время уровень пожарной безопасности объектов нефтепереработки оценивается как недостаточный, а в отдельных случаях – как опасный [1], что определяет необходимость увеличения эффективности управленческих решений при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений для ликвидации пожаров на данных объектах защиты. Связи с этим необходимо сказать о проблеме отсутствия или недостатка информационно-аналитического обеспечения для поддержки принятия решений влияющей на правильное определение ранга пожара [103], что в свою очередь влияет на адекватность принимаемых решений по реагированию, предупреждению, локализации и ликвидации пожаров. Собранные массивы ретроспективных данных о пожарах, как правило, не анализируются с применением интеллектуального анализа данных. Это во многом ограничивает возможности лиц принимающих решение получить надёжные инструменты поддержки управления с использованием современных информационных технологий.

Установление ранга пожара часто является предметом научных исследований различных учёных. Проведено множество исследований в различных областях. Разработано большое количество математических методов,

алгоритмов и информационных технологий для решения частных задач по определению ранга пожара.

Результаты проведённых исследований в основном делают вывод о том, что принимать решения в области обеспечения пожарной безопасности ЛПР приходится в условиях ограничения во времени, большого объёма информации и неопределённости. Анализ статистических данных показывает, что решения, принимаемые ЛПР, часто не соответствуют обстановке, сложившейся на горящем объекте [104]: ошибочные решения составляют до 57% их общего количества.

Неверно установленный ранг пожара приводит к неправильному расчёту привлекаемых ресурсов (сил и средств) пожарно-спасательных подразделений. Если привлечённых на пожар ресурсов будет не достаточно, то сократить время тушения пожара и обеспечить необходимую скорость эвакуации людей будет невозможно. А из-за избыточного привлечения сил и средств остаются без должного прикрытия другие объекты защиты.

В связи с вышесказанным, для сокращения числа погибших и пострадавших при пожаре людей и уменьшение материального ущерба, необходимо оптимизировать использование и ценность имеющейся информации по пожарам с объектов нефтепереработки (БДП), ставится задача по применению процедуры классификации по определению ранга пожара с использованием интеллектуального анализа данных [105].

Для выбора метода интеллектуального анализа данных, позволяющего получать достоверные результаты прогнозирования в условиях неопределённости, были обобщены результаты проведённого анализа работ по определению ранга пожара. В анализируемых работах рассмотрены следующие математические методы: нейронные сети; методы визуализации; дискриминантный анализ; деревья решений.

Эти методы имеют ряд преимуществ:

- способность решать задачи с неопределёнными входными и выходными данными;
- способность адаптации к окружающей среде;

- обладают сверхвысоким быстродействием;
- дают более чёткое различие между сегментами;
- простота в применении и интерпретации;
- возможность определения более важных полей для классификации.

Недостатки методов в основном заключаются в вероятности ошибок в задачах классификации с большим количеством классов и относительно небольшим числом примеров для обучения.

Среди перечисленных групп методов интеллектуального анализа стоит отметить метод нейронных сети и метод дискриминантного анализа. Именно они получили мощный толчок в развитии не только в теоретической части, но и в практической – на их основе наилучшим образом решаются задачи управления при поддержке принятия решений на производственных объектах. Учитывая, что с каждым годом проблема производственной безопасности приобретает все более актуальный характер, а именно устаревающие основные фонды, с другой стороны, внедряющиеся новейшие технологии, изменения законодательстве и т.д.

По результатам обобщения была проведена сравнительная характеристика математических методов указанных выше (таблица 2.13). Оценка каждой из характеристик проведена такими категориями, в порядке возрастания: очень низкая, низкая, нейтральная, высокая/нейтральная, нейтрально/высокая, высокая.

Таблица 2.13 – Сравнительная характеристика методов

Алгоритм	Точность	Ошибочность	Быстрота	Популярность	$K_{эф}$
нейронные сети	высокая	низкая	низкая	нейтральная/ высокая	7,5
методы визуализации	высокая	высокая/ нейтральная	очень низкая	нейтральная	5,0
деревья решений	низкая	высокая	высокая/ нейтральная	высокая/ нейтральная	5,0
дискриминантный анализ	высокая	низкая	высокая	высокая/ нейтральная	10

Очевидно, что из перечисленных методов решаемой задачи наилучшим образом соответствует метод на основе дискриминантного анализа. Коэффициент его эффективности в данном случае равен 10.

На основании полученных результатов было решено использовать дискриминантный анализ для задачи классификации по определению ранга пожара.

Основная идея дискриминантного анализа заключается в том, чтобы определить, отличаются ли совокупности по среднему значению какой-либо переменной, и затем использовать эту переменную, чтобы предсказать для новых членов их принадлежность к той или иной группе. Если среднее значение определенной переменной заметно различается для двух совокупностей, то можно сказать, что переменная разделяет данные совокупности.

Для оптимизации использования и повышения ценности имеющейся информации и совершенствования процедуры прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки ставится задача классификации для определения ранга пожара с использованием дискриминантного анализа на основе ретроспективных данных полученных с карточек тушения пожара объектов нефтепереработки и хранящихся в БЗ.

Математическое описание процедуры дискриминантного анализа представлено в виде:

$$F(x) = \sum_{n=1}^k a_n X_n, \quad (2.6)$$

где  $F(x)$  – дискриминационные переменные с их значениями;  $a_0...a_n$  – вес дискриминантных переменных;  $n$  – число переменных;  $X_n$  – текущее значение  $k$ -го признака.

Для выбора лучших параметров была сформирована группировка прецедентов – пар «объект, ответ», называемая обучающей выборкой  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ , где  $X_i$  –  $i$ -й ранг пожара  $i = \overline{1, m}$  путем выбора прецедентов из БДП  $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ , где  $P_j$  –  $j$ -й прецедент с БДП  $j = \overline{1, n}$  и осуществить подбор параметров ресурсов  $R_i = \{R_1, R_2, \dots, R_k\}$ , где  $R_i$  –  $i$ -й ресурс для различных конфигураций обучающей выборки  $X = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ . Данный набор информации

позволил выявить, какие характеристики отличают объекты, относящиеся к одной группе (рангу пожара), от объектов, относящихся к другой группе.

Ретроспективные данные по нефтеперерабатывающему предприятию, подлежащие обработке, в зависимости от сложности пожара были заранее распределены на 3 группы (ранга) по привлечению количества пожарных расчётов (отделений) на основных пожарных автомобилях:

- 1) поступило сообщение о задымлении или пожаре (работают 2 отделения);
- 2) подтверждено сообщение о пожаре при большой площади горения (работают 6 отделений);
- 3) подтверждено сообщение о пожаре, сложная обстановка (работают 12 отделений).

Данные с базы данных прецедентов о пожарах, возникших и развивающихся в пределах одного объекта защиты без влияния на смежные объекты, вошли в группу *A*. В группу *B* вошли данные о пожарах, распространившихся с одного объекта защиты на несколько объектов, а также данные о пожарах, разрушивших смежные объекты, здания и сооружения на территории предприятия и за его пределами. В третью группу *C* вошли данные о пожарах, поразивших опасными факторами персонал предприятия и население близлежащих районов.

Исходные данные для обучающей выборки представлены в виде матрицы для каждого ранга:

$$X_i = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1m} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix}, \quad (2.7)$$

где  $i$  – обозначение ранга, к которому относится обработка (*A, B, C*);  $n$  – количество параметров;  $m$  – количество прецедентов;  $X_{nm}$  – значение  $n$ -го параметра переменной  $m$ -й обработки.

Проведена классификация 180 фреймов из базы данных прецедентов по определению ранга пожара с использованием дискриминантного анализа, каждый

фрейм характеризуется 4-мя параметрами, которые определены и обоснованы ранее в базе данных прецедентов и имеют численное значение:

- площадь объекта;
- площадь пожара;
- количество вещества;
- время горения.

Для разделения обучающей выборки на классы воспользуемся задачей обучения с учителем (Supervised learning) – один из разделов машинного обучения, посвящённый решению следующей задачи. Имеется множество объектов  $X$  и множество возможных ответов  $Y$ . Существует некоторая зависимость между ответами и объектами, но она неизвестна. Известна только конечная совокупность прецедентов – пар «объект, ответ», называемая обучающей выборкой [106] (рисунок 2.12).

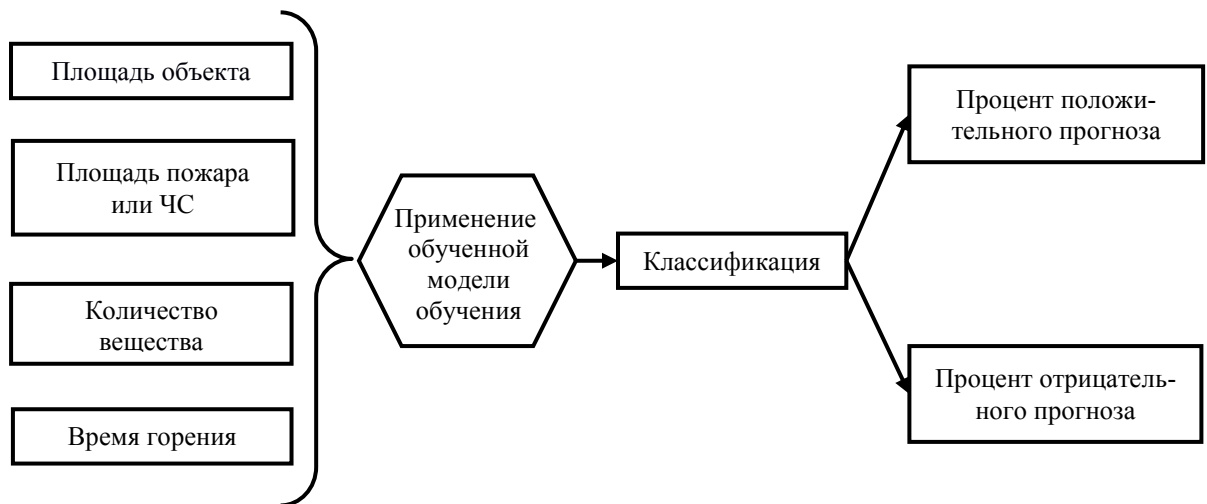


Рисунок 2.12 – Схематичное представление анализа обучения с учителем

Обучение с учителем делим на два основных этапа:

1. Этап обучения модели машинного обучения. На входе мы имеем все собранные нами данные с  $X$  и  $Y$ , а на выходе получаем обученную модель, которую можем в дальнейшем применять.



2. Этап непосредственного применения обученной модели. На входе вводятся новые данные только с  $X$ , а в результате получаем приближенный результат решения  $Y$ .

Рассмотрим классификационные различия между классами объектов и графически интерпретируем полученные результаты. Для обучения берётся 75 % данных из БДП, которые затем апробируются на оставшихся 25 %.

При обработке результатов вычислительного эксперимента необходим статистический анализ большого объёма данных, в результате возникает потребность в применении ИТ для автоматизации этого процесса. Современные программные средства, такие как *Matchcad*, *Matlab*, *Maple*, *Maxima*, *Statistica* и др., позволяют решать задачи, связанные с обработкой экспериментальных данных, используя встроенные функции и разработанные пользователем алгоритмы [107].

В результате обработки исходных данных сформированы графики, на которых площади объекта защиты от моделирования графики с исходными данными имеют следующий вид [108] (рисунок 2.13, 2.14).

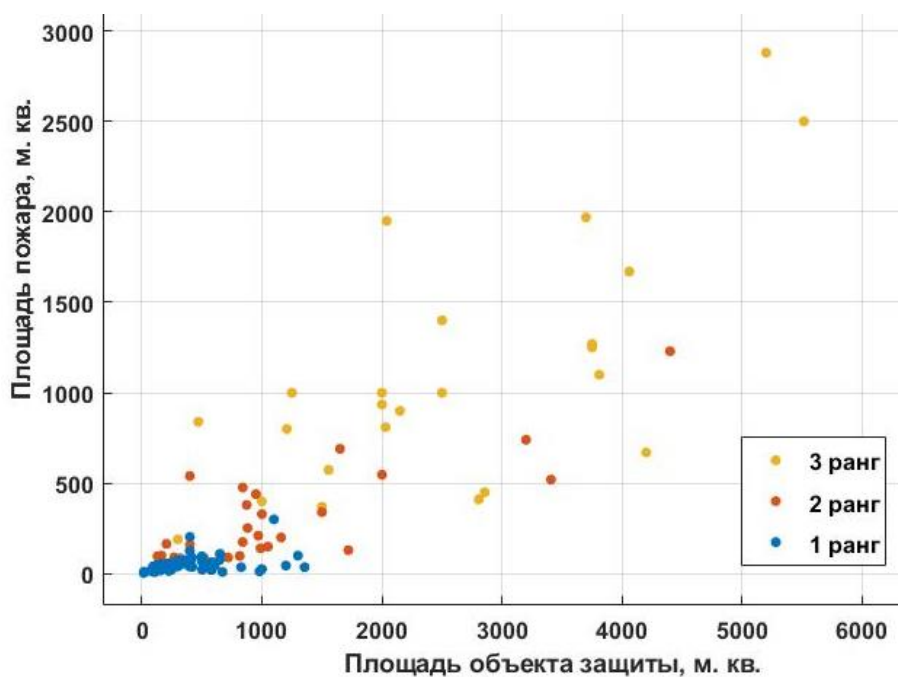


Рисунок 2.13 – График исходных данных зависимости площади объекта защиты от площади пожара для трёх рангов пожара



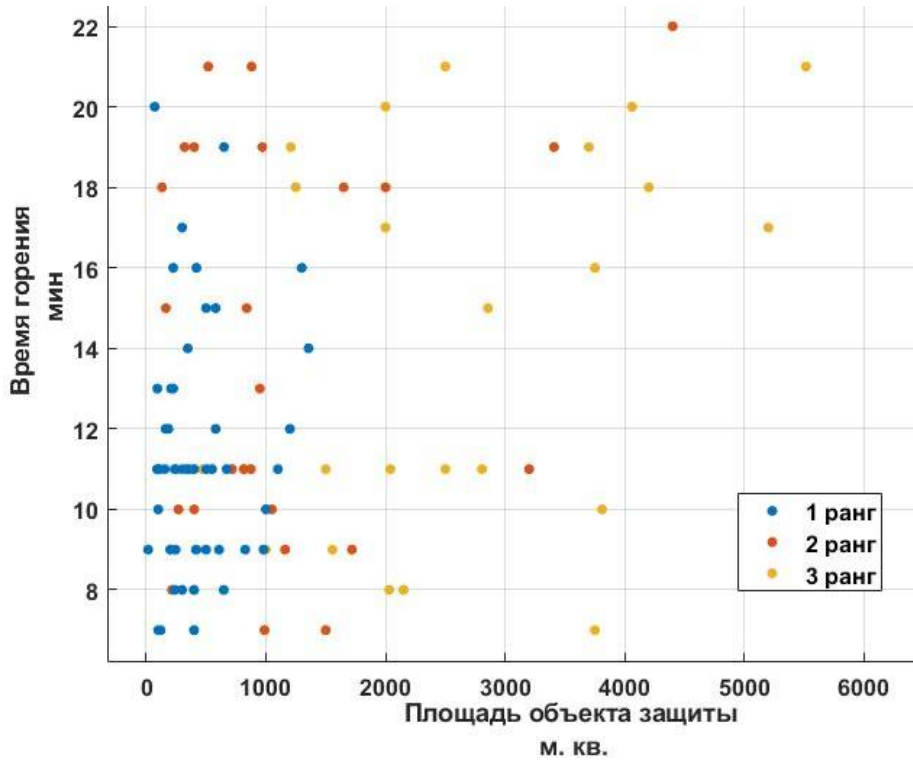


Рисунок 2.14 – График исходных данных зависимости площади объекта защиты от времени горения для трёх рангов пожара

Проведена оценка качества классификации каждого ранга в виде матрицы с процентами точного прогнозирования (рисунок 2.15).

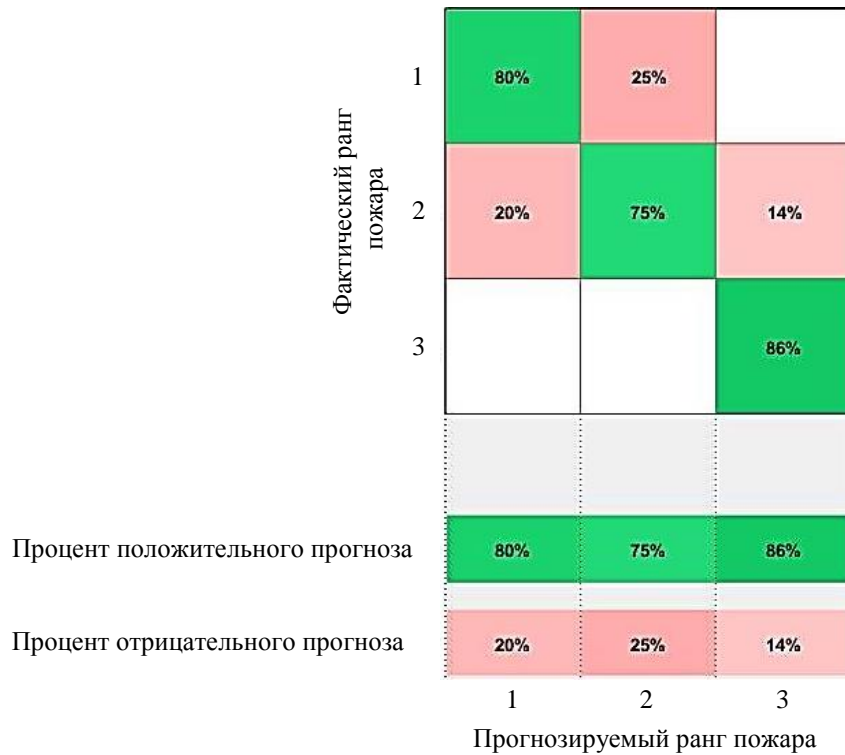


Рисунок 2.15 – Матрица, демонстрирующая точность прогнозирования ранга пожара

С учётом всех 4 показателей оценка качества классификации каждого ранга демонстрирует следующие результаты:

- в 80 % случаев 1 ранг прогнозируется успешно, в 20 % случаев принимается за 2 ранг;
- в 75 % случаев 2 ранг прогнозируется успешно, в 25 % случаев принимается за 1 ранг;
- в 86 % случаев 3 ранг прогнозируется успешно, в 14 % случаев принимается за 2 ранг.

Таким образом, в результате решения задачи классификации по определению ранга пожара с использованием дискриминантного анализа было выявлено, что данные с БДП по 1 и 3 рангам пожара прогнозируются лучше, чем по 2 рангу пожара. Это объясняется тем, что по 2 рангу пожара данных для классификации было недостаточно; данные по параметрам пожара несбалансированные; прослеживается большой разброс данных.

## **2.8. Анализ результатов тестирования разработанного специального программного обеспечения**

Используемый в СПО метод прецедентов позволяет создать гибкую (редактируемую и накопительную) базу знаний для объектов защиты и алгоритмы поддержки принятия решений для ЛПР при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары ОН РК, позволяющих снизить время принятия решений в условиях большого количества исходной информации. Представленное СПО может быть использовано как универсальная интеллектуальная встраиваемая система проверки эффективности противопожарной защиты объектов нефтепереработки.

На основе разработанного специального программного обеспечения в тестовом режиме был проведён поиск решения по текущему пожару и были

получены следующие результаты поиска по 180 фреймам из базы данных прецедентов, где каждый фрейм характеризуется пятью параметрами.

В таблице 2.14 мы можем видеть проранжированные прецеденты и наиболее ближайший прецедент к текущему случаю со среднеквадратическим отклонением.

Таблица 2.14 – Результат поиска ближайшего прецедента

№	Показатели фреймов	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	Среднее квадратичное отклонение %
		Кол-во вещества, т	Площадь пожара, м <sup>2</sup>	Площадь объекта, м <sup>2</sup>	Время свободного развития пожара, мин	Кол-во пострадавших на объекте защиты	
0	Текущий случай	15,0	240	580	13	2	
1	Фрейм №8	12,1	110	650	19	0	66,1
2	Фрейм №13	8,6	204	400	8	4	53,2
3	Фрейм №19	9,8	96	500	15	1	50,1
4	Фрейм №28	24,1	440	950	13	1	43,4
5	Фрейм №34	29,3	98	815	11	2	41,8
6	Фрейм №45	23,1	175	840	15	1	40,6
7	Фрейм №6	10,2	20	580	16	0	38,3
8	Фрейм №98	25	500	645	18	2	33,7
9	Фрейм №137	37,5	68	300	9	0	30,3
10	Фрейм №3	2,8	11	170	8	0	24,5

Также были получены следующие выводы.

1. Установлено, что имеющиеся 5 параметров в разной степени влияют на поиск прецедентов из БДП. Порядок приоритета параметров определился следующим образом:

- площадь пожара;
- количество вещества;
- площадь объекта;
- время свободного развития пожара;
- количество пострадавших на объекте.

2. При неоднократном тестировании поиска по 5 параметрам было выявлено, что параметр «количество пострадавших на объекте защиты» не влияет на поиск прецедентов из БДП, так как по нему выводится большое количество прецедентов с БДП.

3. Предлагается с помощью СПО провести тест по 5 параметрам для определения сходимости прецедентов по данным параметрам.

Был проведён тест на сходимость между прецедентом по текущей ситуации и прецедентами из БДП. Для поиска задаётся новая ситуация по 5 параметрам: количество вещества  $P_1 = 15$ ; площадь пожара  $P_2 = 240$ ; площадь объекта  $P_3 = 580$ ; время свободного развития пожара  $P_4 = 13$ ; количество пострадавших на объекте  $P_5 = 2$ . Тест проводился в 4 этапа, на каждом из которых задаваемые параметры сокращались на один и по оставшимся параметрам заново проводился поиск прецедента из БДП.

Анализ проведённого теста на сходимость прецедентов показал следующее:

- первый тест по 5 параметрам выявил, что наиболее близким прецедентом из базы прецедентов к текущему случаю является прецедент №8 ( $P_1 = 12,1$ ;  $P_2 = 110$ ;  $P_3 = 650$ ;  $P_4 = 19$ ;  $P_5 = 0$ ). Среднее квадратичное отклонение равно 66,1 %;

- во втором тесте после отсечения параметра «количество пострадавших на объекте», ближайшим оказался тот же прецедент № 8 ( $P_1 = 12,1$ ;  $P_2 = 110$ ;  $P_3 = 650$ ;  $P_4 = 19$ ;  $P_5 = 0$ ), однако среднее квадратичное отклонение между ними составило 66,09 %;

- в третьем тесте убираем ещё один параметр «время свободного развития пожара», выявлен также предыдущий прецедент №8 ( $P_1 = 12,1$ ;  $P_2 = 110$ ;  $P_3 = 650$ ;  $P_4 = 19$ ;  $P_5 = 0$ ). Среднее квадратичное отклонение при данном тесте составило 66,04 %;

- четвёртый тест проводился без учёта параметра «площадь объекта». В результате теста был найден прецедент №20 ( $P_1 = 32,3$ ;  $P_2 = 96$ ;  $P_3 = 500$ ;  $P_4 = 15$ ;  $P_5 = 1$ ). Среднее квадратичное отклонение при данном тесте составило 9,41 %.

Ниже представлен графический анализ теста на сходимость прецедентов (рисунок 2.16).

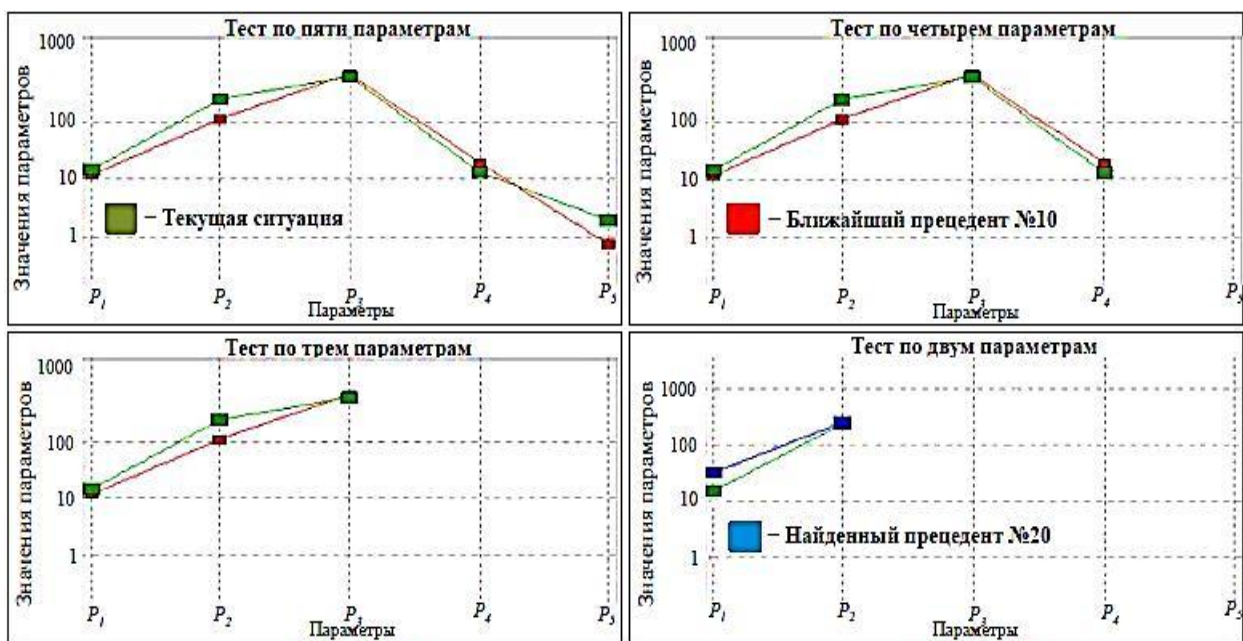


Рисунок 2.16 – Результаты тестирования на сходимость с помощью специального программного обеспечения

Изложим основные выводы по результатам тестирования:

- проведённый тест по двум параметрам «площадь пожара» и «количество вещества» показал, что выявляются разные по значениям прецеденты, совпадение между которыми невозможно;
- тест по трём параметрам выявил, что для эффективного поиска прецедентов из БДП необходимо использовать не менее трёх параметров;
- без двух из основных параметров («площадь пожара», «количество вещества», «площадь объекта защиты») среднеквадратичное отклонение между текущей ситуацией и найденным прецедентом будет отличаться в сотни и более раз.

Также было проведено исследование в виде сравнительного теста по четырем параметрам на применение коэффициентов важности параметров и без них, для поиска прецедентов из БДП. Анализ теста показал, что выявленные ближайшие прецеденты из БДП с коэффициентами важности, идентичны проведённому тесту без коэффициентов важности параметров.

В результате проведённого исследования выполнена компьютерная реализация теоретических положений прецедентного анализа СППР. В

следующей главе представлена разработка функциональной структуры и алгоритма системы поддержки принятия решений, проведение практической реализации и анализ эффективности прецедентного подхода.

## **2.9. Выводы по второй главе**

Обобщая изложенный в данной главе материал, можно сделать ряд выводов.

1. Сформулирована четырёхуровневая система проектирования системы поддержки принятия решений с учётом предметной области, где в основе проектирования был положен цикл вывода на основе прецедентов в системе поддержки принятия решений объектов нефтепереработки.

2. Разработано «дерево прецедентов» пожарной безопасности технологических объектов, позволяющее пожарно-спасательным подразделениям получить информацию о реальном состоянии готовности объекта нефтепереработки противостоять каждому типу вероятной угрозы, определённой из БДП.

3. Разработана функциональная модель по нотации IDEF0, которая описывает организацию работы службы пожарной безопасности объектов нефтепереработки. На основе обращения к БДП, функциональная модель организации работы службы пожарной безопасности объектов нефтепереработки интегрирована в СППР.

4. Разработана информационная модель описания ретроспективных данных в виде фреймовой структуры, которая описывает элементы системы противопожарной защиты объектов нефтепереработки в виде взаимосвязанных фреймов для автоматизации записи в БДП.

5. Разработан алгоритм поиска и адаптации прецедентов из БДП по методу «ближайшего соседа» для автоматизации процесса применения метода

прецедентов в системе пожарной безопасности объектов нефтепереработки с учётом фреймовой модели хранения данных в БЗ.

6. Проведено обоснование необходимости разработки специального программного обеспечения на основе разработанной БЗ и предложенного алгоритма поиска и адаптации прецедентов, так как готового решения по данному вопросу на сегодняшний день не существует. Предлагается цифровизация процессов управления пожарной безопасности объектов нефтепереработки на основе внедрения СППР «АРМ системы поддержки принятия решений для специалиста пожарной безопасности НПЗ».

7. Разработана программа для ЭВМ, зарегистрированная в Роспатенте № 2020612655 от 28 февраля 2020 г. При разработке специального программного обеспечения использовался язык программирования высокого уровня *Object Pascal*. Целью СПО является – поддержка принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки с использованием метода прецедентов.

8. Проведена оптимизация использования ценности имеющейся информации по вопросам противопожарной защиты, в результате решена задача классификации по определению ранга пожара на объектах нефтепереработки с использованием дискриминантного анализа, который позволяет спрогнозировать необходимое количество ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

9. С помощью разработанного СПО проведён ряд тестов: тест по поиску ближайшего прецедента по текущему случаю (пожар), тест на сходимость между новым случаем и 180 фреймами, также проведён сравнительный тест по четырём параметрам на применение коэффициентов важности параметров и без них, для поиска прецедентов из БДП. По всем тестам были получены результаты и сделаны соответствующие выводы.



### **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ПРИ РЕАГИРОВАНИИ НА ПОЖАРЫ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ**

#### **3.1. Определение требований к системе поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки**

Проблема поддержки принятия решений обусловлена широким спектром управленческих задач, решаемых ЛПР на объекте защиты, основной из которых является прогнозирование ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки. При этом применение интеллектуальной поддержки принятия решений необходимо от самого первого этапа (прогнозирование ресурсов сил и средств) до заключительного (оценка результатов принятого решения). Также необходимо отметить комплекс решаемых проблем: от хорошо структурированных до неструктурированных, что, соответственно, требует применение различных методов принятия решений.

Таким образом, чтобы снизить время принятия решений в условиях большого количества исходной информации и своевременно предотвратить возможные последствия от пожаров, ставится задача по созданию информационной системы поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

Для представления механизма взаимодействия основных элементов системы поддержки управления пожарной безопасностью на основе проведённых исследований разработана функциональная схема и алгоритм информационной



системы поддержки принятия решений. На рисунке 3.1 представлена функциональная схема системы поддержки управления пожарной безопасностью.



Рисунок 3.1 – Функциональная схема системы поддержки управления для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки

В функциональной схеме системы поддержки принятия решений произведена систематизация и алгоритмизация процедур взаимодействия основных блоков. Блок «Постановки задачи» необходим для точной формулировки условий задачи с описанием входной и выходной информации. В блоке «Задача управления» формируется проблемная ситуация с заданной целью, которую необходимо достичь. Блок «База знаний» предназначен для хранения долгосрочных данных, описывающих рассматриваемую предметную область. В блоке «Модуль адаптаций решения» производится модификация решения, которое имеется в выбранном прецеденте и направлено на целевую проблему. В блоке «Онтология задач, моделей и методов» производится определение понятий и связей, описывающих механизм работы для выполнения конкретной поставленной задачи. В блоке «Модуль формирования показателей решения»

производится процесс выбора одного из нескольких возможных вариантов решения. В блоке «Решение для ЛПР» выдаётся допустимое решение, требующее для достижения цели поддержки принятия решений.

Также осуществляется возможность перехода от качественного анализа сходных параметров к полной автоматизации количественного анализа. На основе предложенного подхода алгоритмические модели обработки информации для СППР по методу прецедентов показывают определённый цикл, согласно которому можно заранее выбрать необходимую информацию для поддержки принятия решения при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки. Цикл проходит не только процедуры анализа, внесения изменений и адаптации прецедента, но и обязательно предполагает обратную связь, что позволяет получить информацию о состоянии системы после внесения изменений.

Предложенная модель является базисом для разработки СППР и формирует базу для перехода от качественного описания результатов решений к количественному. Предложена концепция, при которой базис для СППР представлен в виде БДП и от качества их описания (стандартизация, заложенная в алгоритме) зависит скорость принятия решений.

Таким образом, целью СППР на уровне задействования автоматизированной подсистемы является недопущение выхода пожара за пределы критического уровня, определённого по методу прецедентов. Выполнение функций и задач поддержки принятия решений обеспечивается путём предварительного сбора и передачи информации об отклонениях и параметрах для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки (рисунок 3.2).

На объектах нефтепереработки с учётом вероятного ущерба от пожаров данная система может работать в трёх режимах: превентивно, в режиме реального времени и как средство анализа эффективности действий пожарно-спасательных подразделений.

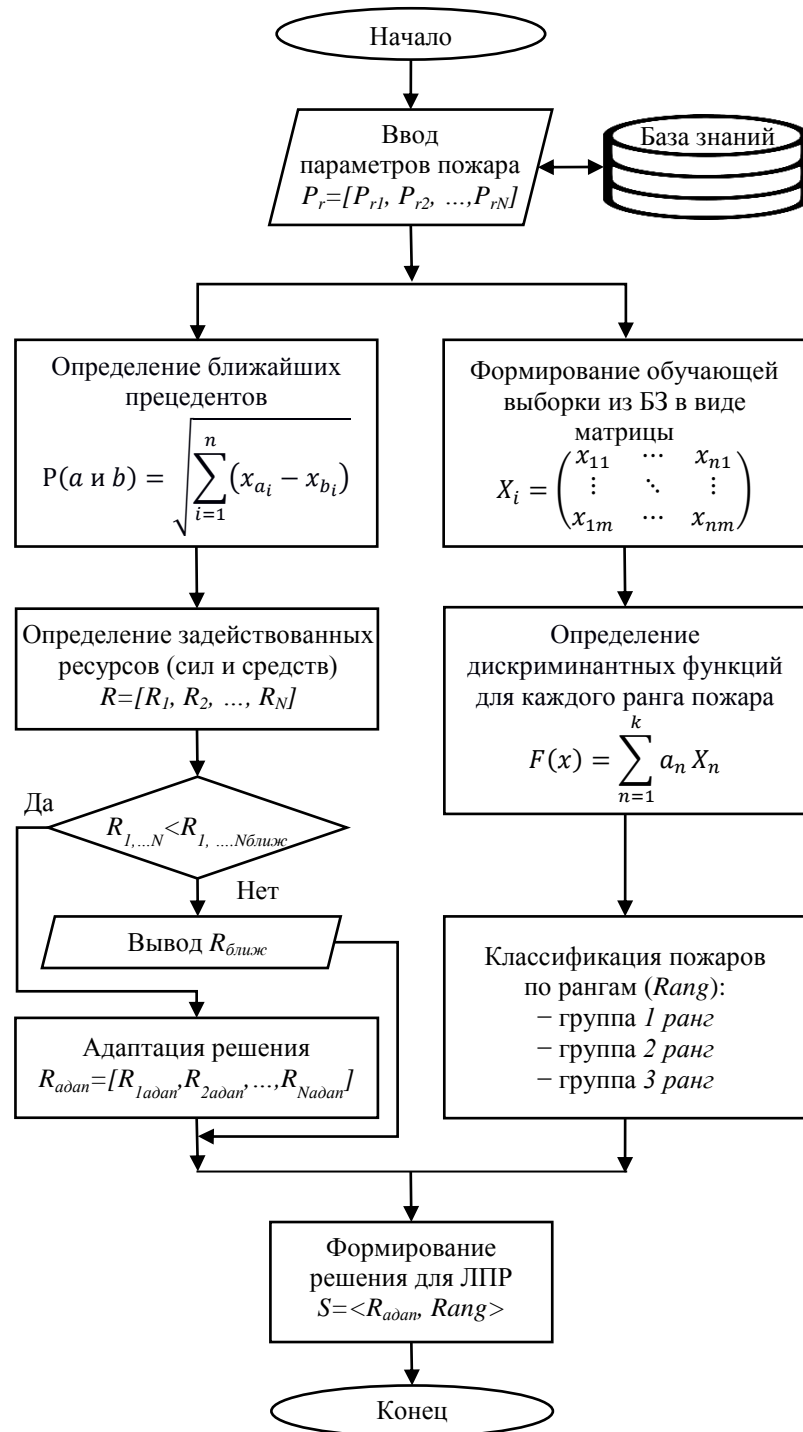


Рисунок 3.2 – Алгоритм интеграции моделей и процедур поддержки принятия решений по прогнозированию ресурсов пожарно-спасательных подразделений

Разработанный алгоритм с учетом специфики объектов нефтепереработки, доказывает возможность практической реализации СППР для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары ОН.

### **3.2. Практические рекомендации по применению специального программного обеспечения для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений**

Было проведено практическое применение прецедентного подхода при поддержке принятия решений с использованием СПО на объекте защиты. Разработанное специализированное программное средство «АРМ системы поддержки принятия решений для специалиста пожарной безопасности НПЗ» применяется для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

Для понимания механизма работы специального программного обеспечения на объекте защиты рассмотрим рисунок 3.3. Как пример взят произошедший пожар на железнодорожной сливной эстакаде ОН, где горит ж/д эстакада и 12 ж/д цистерн с бензином по 60 тонн в каждой, манифольд ТК-4, 2 бензовоза марки «Урал», шахта приемного трубопровода ж/д эстакады, площадь пожара – 970 м<sup>2</sup>, данный пожар визуализирован виде ситуационного плана. Начальник смены данного технологического участка, сообщает по телефону в диспетчерскую ОН о происшествии и первые показатели: что произошло вид ЧС, место ЧС или пожара, площадь ЧС или пожара и если пострадавшие. Диспетчер ОН, приняв информацию о пожаре, сообщает согласно утвержденному списку оповещения должностных лиц при пожаре на ОН. Диспетчер ОПЧ приняв данные от диспетчера ОН отправляет на место происшествия пожарно-спасательные подразделения с ЛПР (РТП). Прибыв на место пожара ЛПР выясняет текущую обстановку по пожару. Поступающие данные по разведке текущего пожара ЛПР начинает вводить в специализированное программное средство, где производится модификация текущего решения, которое имеется в выбранном прецеденте из БЗ и направленно на решение для определения ресурсов пожарно-спасательных подразделений привлекаемы на текущий пожар. На рисунке, схематично представлена взаимосвязь ЛПР с участниками ликвидации пожара и

разработанной БЗ. Также показаны результаты моделирования по трём сценариям пожара, с определением фактического и моделируемого ранга пожара, параметров сил и средств, имеющие наибольшую сходимость с текущей ситуацией (рисунки 3.4 и 3.5).

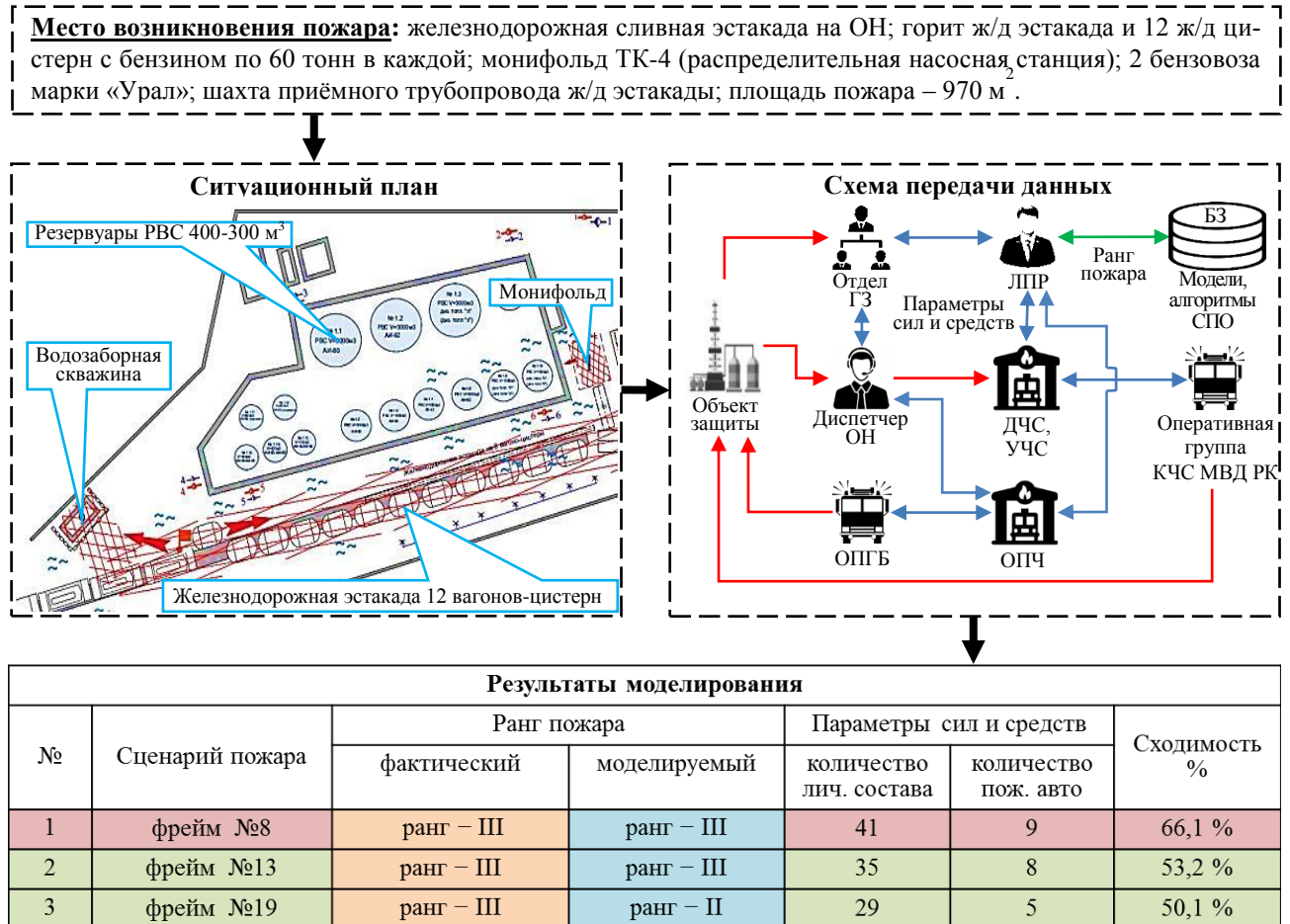
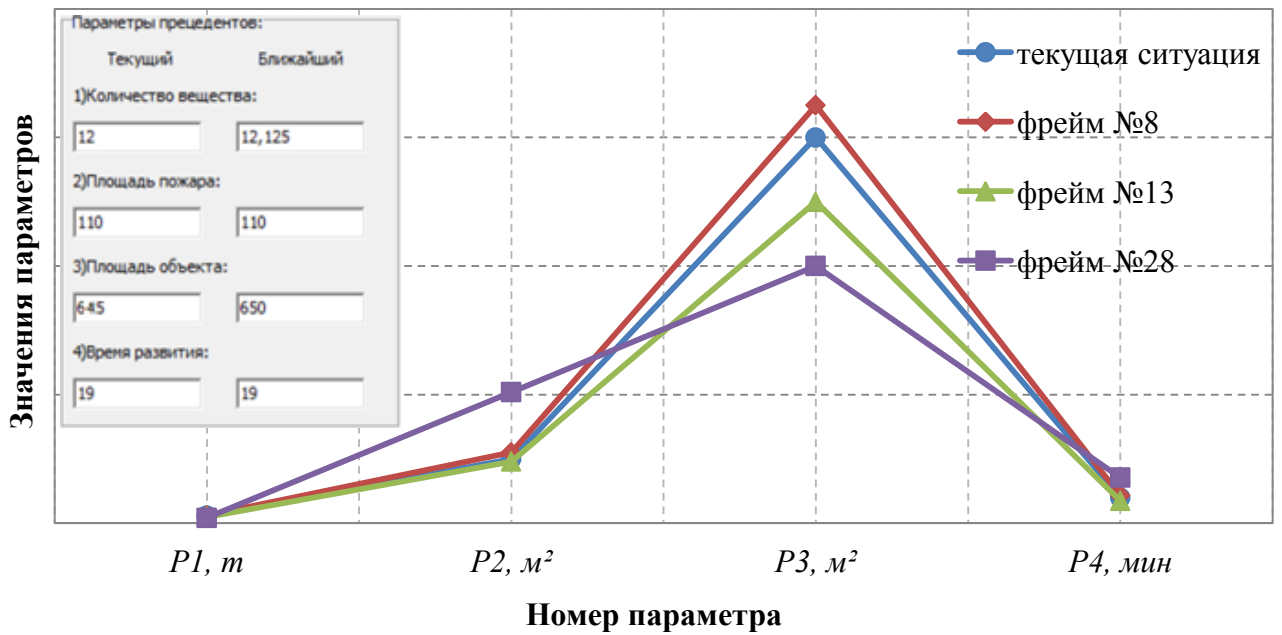


Рисунок 3.3 – Практическое применение прецедентного подхода при поддержке принятия решений с использованием специального программного обеспечения

Как видно из рисунка 3.3, предложенная структура ориентирована на решение как прикладных, так и исследовательских задач, непосредственно связанных с процессами контроля и диагностирования.

Практическая реализация полученных результатов способствует уменьшению информационной нагрузки на ЛПР, снижению влияния факторов субъективности при анализе пожарной ситуации, увеличению скорости принятия решений путём возложения части задач, решаемых ЛПР, на систему информационно-аналитической поддержки.



$P1$  – количество вещества, т;  $P2$  – площадь пожара,  $m^2$ .  $P3$  – площадь объекта,  $m^2$ ;  
 $P4$  – время свободного развития пожара, мин.

Рисунок 3.4 – Графический вывод результатов поиска прецедентов

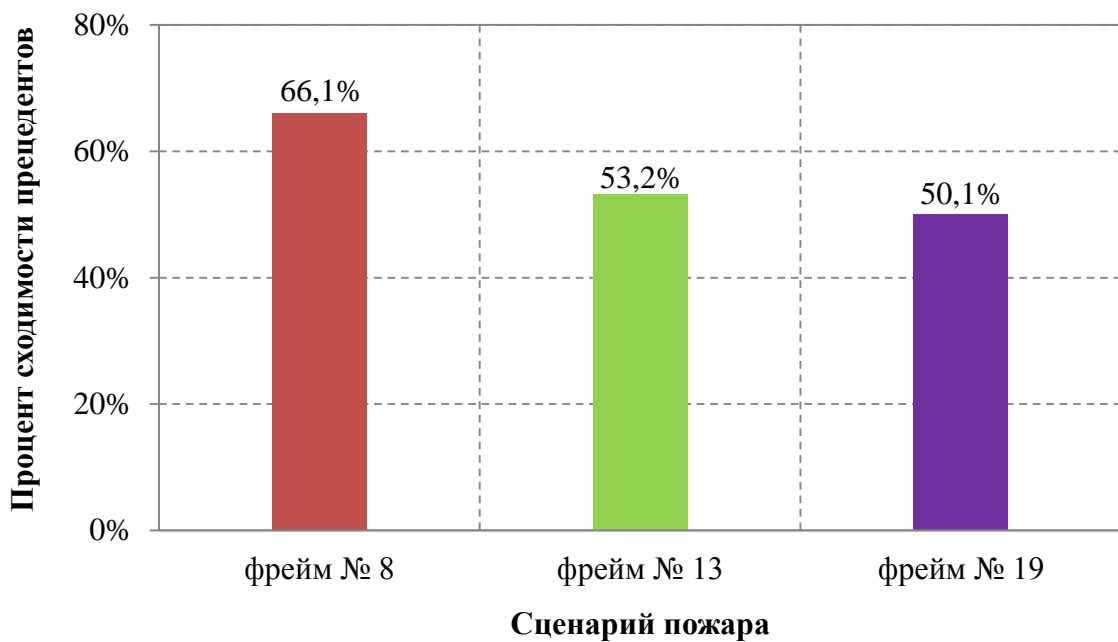


Рисунок 3.5 – Сравнение результатов моделирования на процент сходимости с текущей ситуацией

Обоснованность принимаемых решений повышается за счёт применения функционирующей системы информационно-аналитической поддержки и соответствующей БЗ, использующей собранные данные в области управления пожарной безопасностью.

### **3.3. Проведение оценки эффективности прецедентного подхода при поддержке принятия решений с использованием специального программного обеспечения**

Для оценки эффективности применения разработанных моделей и алгоритмов в рамках созданного специального программного обеспечения были привлечены специалисты департамента по ЧС, диспетчерской службы, отдела гражданской защиты. На основе результатов анализа существующей системы управления пожарной безопасностью типового ОН был выявлен комплекс работ диспетчерской службы, отдела гражданской защиты и объектовой пожарной части. При помощи разработанного специального программного обеспечения как инструмента информационно-аналитической поддержки принятия управленческих решений и на основе опроса специалистов были определены временные затраты на каждый рабочий этап, представленные в виде графиков Ганта [109].

Диаграмма Ганта – это инструмент, позволяющий визуализировать и управлять проектами, структурировать их выполнение и видеть общую картину задач, как личных, так и объекта защиты в целом.

Диаграмма Ганта представляет собой горизонтальные полосы, расположенные между двумя осями:

- Вертикальная. Это список выполняемых задач;
- Горизонтальная. Это временная шкала для выполнения данных задач.

Каждая полоса обозначает задачу или подзадачу, которые нужно выполнить в определенный срок. Графики построены в хронологическом порядке, что помогает отслеживать последовательность выполнения задач.

Были составлены графики для максимального и минимального по длительности вариантов выполнения работ.

На рисунке 3.6 представлены графики для оценки эффективности управления подразделениями на основе разработанной документации

(с использованием и без использования СПО) требующих максимальных затрат времени на каждом этапе.

Проведённый анализ эффективности разработанного СПО показал следующее:

- сокращение затрат времени при составлении задач для управления подразделениями от 18,7 % до 36,2 %;
- сокращение трудоёмкости процесса (количество затрачиваемых человек/часов) от 19,3 % до 23,5 % в зависимости от сложности разрабатываемой документации и времени, необходимого для сбора и предоставления данных об объектах защиты.

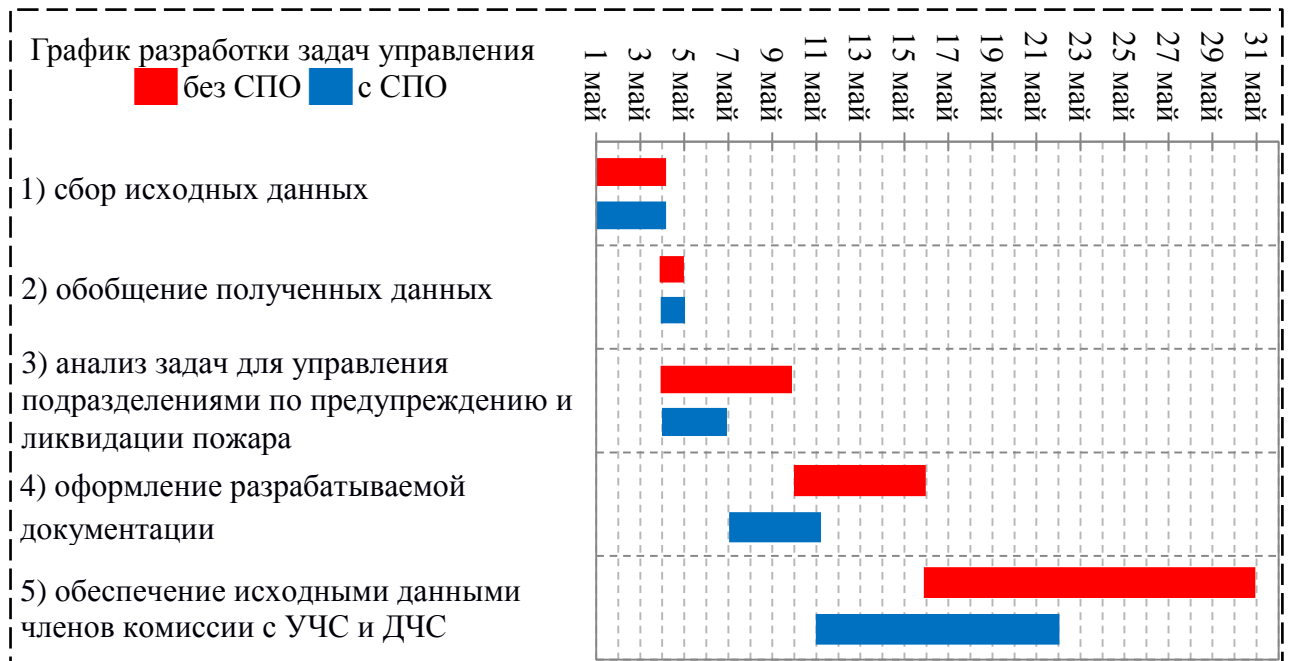


Рисунок 3.6 – Анализ эффективности прецедентного подхода при поддержке принятия решений с использованием и без использования СПО

Таким образом, предложенные в диссертации модели и алгоритмы прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений целесообразны к практическому применению в задачах поддержки принятия решений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.



### 3.4. Выводы по третьей главе

В данной главе получены следующие научные и практические результаты:

1. Разработана функциональная модель системы поддержки принятия решений, где произведена систематизация и алгоритмизация процедур взаимодействия основных блоков системы для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки. Данная система может работать в трёх режимах: превентивно, в режиме реального времени и как средство анализа эффективности действий пожарно-спасательных подразделений.

2. Разработан алгоритм интеграции разработанных моделей и процедур поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

3. Показано практическое применение прецедентного подхода для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки, которое показало, что практическая реализация полученных результатов способствует уменьшению информационной нагрузки на ЛПР, снижению влияния факторов субъективности при анализе возникшей ситуации, увеличению скорости принятия решений путём возложения части задач, решаемых ЛПР, на СППР.

4. Проведён анализ эффективности применения разработанных моделей и алгоритмов в рамках созданного специального программного обеспечения, который показал сокращение временных затрат при составлении задач управления подразделениями и трудоёмкости данного процесса, что представлено в виде диаграмм Ганта.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе в соответствии с предметом, целью и задачами исследования разработаны модели, алгоритмы, специальное программное обеспечение для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Проведён анализ проблем поддержки принятия решений при управлении пожарной безопасностью объектов нефтепереработки для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары данных объектов защиты. Сделан вывод о необходимости совершенствования системы поддержки принятия решений путём разработки и внедрения моделей и алгоритмов, позволяющих ЛПР использовать накопленный предыдущий опыт.

2. Создана информационная модель структурирования ретроспективных данных о пожарах в виде взаимосвязанных фреймов для решения управленческой задачи прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки из разработанной прецедентной базы знаний.

3. Построена математическая модель и алгоритм прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки, позволяющие осуществлять поиск прецедентов в  $n$ -мерном пространстве по рассмотренным показателям с учётом разработанной фреймовой модели хранения данных в БЗ, функциональной модели организации работы службы ПБ и решения задачи классификации по определению ранга пожара.

4. Разработано специальное программное обеспечение на основе созданных моделей и алгоритмов поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки.

5. Предложена функциональная структура и основные элементы СППР для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки. Определены цель и задачи системы. Выявлены необходимый вид и количество информации для ЛПР во время процесса принятия решений.

6. Проведена апробация и оценка эффективности разработанного специального программного обеспечения поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки. Так же по результатам оценки эффективности применения разработанного специального программного обеспечения было выявлено, что временные затраты на составление задач управления подразделениями сократились от 18,7 % до 36,2 %, а трудоёмкость данного процесса сократилась от 19,3 % до 23,5 % в зависимости от сложности разрабатываемой документации и времени, необходимого для сбора и предоставления данных об объекте защиты.

**СПИСОК УСЛОВНЫХ СОКРАЩЕНИЙ**

В диссертации используются следующие сокращения:

ВВП – валовой внутренний продукт;

МЧС – министерство по чрезвычайным ситуациям;

МВД – министерство внутренних дел;

КЧС – комитет по чрезвычайным ситуациям;

КТИ – Кокшетауский технический институт;

РК – Республика Казахстан;

РФ – Российская Федерация;

АСУ – автоматизированная система управления;

ИС – информационная система;

ПО – пожарная охрана;

ПБ – противопожарная безопасность

ПЧ – пожарная часть;

ОПЧ – объектовая пожарная часть;

ППО – подразделений пожарной охраны;

СОПБ – система обеспечения пожарной безопасности;

БД – база данных;

БДП – база данных прецедентов;

БЗ – база знаний;

БДКТП – база данных карточек тушения пожара;

СППР – система поддержки принятия решений;

ОН – Объект нефтепереработки;

ПНХЗ – Павлодарский нефтехимический завод;

ШНПЗ – Шымкентский нефтеперерабатывающий завод;

АНПЗ – Атырауский нефтеперерабатывающий завод;

АИУС – автоматизированная информационно-управляющая система;

ГО – гражданская оборона;

ДЧС – департамент по чрезвычайным ситуациям;

СВР – case-based reasoning;

ИСППР – информационные системы поддержки принятия решений;

КПТНО – коксования комплекса переработки тяжёлых нефтяных остатков;

КППН – комплекс первичной переработки нефти;

ККОН – комплекс компаундирования и отгрузки нефтепродуктов;

ПЛА – план ликвидации аварий;

УПБ – установке производства битума;

РТП – руководитель тушения пожара;

ЛПР – лицо, принимающее решение;

КС – кризисная ситуация;

ШС – штатная ситуация;

ПО – программное обеспечение;

ОПГБ – отряд пожарной и газовой безопасности;

АРМ – автоматизированное рабочее место;

ИР – информационные ресурсы;

ДЗ – диспетчер завода;

СПО – специальное программное обеспечение

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ювица, Н.В. Современное состояние нефтегазовой отрасли Казахстана [Текст] / Н.В. Ювица, А.Д. Елеукулова // Вестник университета Туран. – 2016. – № 4 (72). – С. 244–250.
2. Мусабекова, А. Краткий обзор нефтедобывающей отрасли Казахстана [Электронный ресурс] / А. Мусабекова // Рейтинговое агентство РФЦА. – 2010. – Режим доступа: <http://fs.ets.kz/f/114/kratkiy-odzor-neftedobывaiushei-otraski-rk-092010.pdf> (дата обращения 10.10.2017).
3. Андриюшина, Е. Анализ нефтегазового сектора Казахстана по итогам 8 месяцев 2017 года [Электронный ресурс] / Е. Андриюшина // Казахская фондовая биржа. – 2017. – Режим доступа: [http://www.kase.kz/files/ra\\_rfca\\_reports/rfca\\_oil\\_and\\_gas\\_sector\\_300817.pdf](http://www.kase.kz/files/ra_rfca_reports/rfca_oil_and_gas_sector_300817.pdf) (дата обращения 15.10.2017).
4. Байзакова, К.И. Основные подходы к определению понятия энергетической безопасности и ее характеристик: сходства и различия [Текст] / К.И. Байзакова, М. Болатхан // Знание. – 2016. – № 10-1 (39). – С. 127–135.
5. Кондратьев, С.Ю. Социологический аспект вопросов обеспечения безопасности на опасном производственном объекте [Текст] / С.Ю. Кондратьев // Безопасность труда в промышленности. – 2005. – № 7. – С. 60–63.
6. Аймагамбетов, Е.Б. Рациональное использование нефтегазовых ресурсов как приоритет развития минерально-сырьевого комплекса Казахстана [Текст] / Е.Б. Аймагамбетов, М.Р. Сихимбаев // Глобальная экономика в XXI веке: диалектика конфронтации и солидарности: Сборник научных трудов по итогам IV-й Международной научной конференции. – 2017. – С. 389–393.
7. Джумагалиев, Р.М. Результаты исследований по оценке и управлению рисками пожароопасных технологических процессов в нефтегазовой отрасли Республики Казахстан [Текст] / Р.М. Джумагалиев // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация: сборник научных трудов VII Международной

научно-практической конференции, посвященной 60-летию создания первого в Республике Беларусь научного подразделения в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и пожаров. В 2-х частях. Редколлегия: Ю.С. Иванов [и др.]. – 2016. – С. 317–325.

8. Национальный научный портал Республики Казахстан [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.nauka.kz> (дата обращения 27.11.2017).

9. Анализ ЧС по Республике Казахстан за 2016 год [Электронный ресурс]// Комитет по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан. Режим доступа: <http://emer.gov.kz/ru/480-operativnaya-obstanovka/analiz-chs-po-respublike/analiz-chs-po-respublike-za-2016-god> (дата обращения 10.12.2017).

10. Ермухан, С.Т. Использование информационных технологий в процессе модернизации нефтеперерабатывающих заводов Республики Казахстан [Текст] / С.Т. Ермухан // Вестник университета Туран. – 2014. – № 1 (61). – С. 158–162.

11. Причиной пожара на НПЗ в Шымкенте стало возгорание сырой нефти [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tengrinews.kz/events/prichinoy-rojara-npz-shyimkente-stalo-vozhgoranie-syiroy-207634> (дата обращения 07.02.2018).

12. Сильнейший пожар на нефтебазе в Шымкенте тушили около суток [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.nur.kz/1534405-silneyshiy-pozhar-na-neftebaze-v-shymke.html> (дата обращения 07.02.2018).

13. Свыше 1 млрд тенге составил ущерб от пожара на нефтебазе в Южном Казахстане // ИНТЕРФАКС-КАЗАХСТАН [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://expressk.kz/news/lenta\\_novostey/svyshe\\_1\\_mlrd\\_tenge\\_sostavil\\_ushcherb\\_ot\\_pozhara\\_na\\_neftebaze\\_v\\_yuzhnom\\_kazakhstane-83897](https://expressk.kz/news/lenta_novostey/svyshe_1_mlrd_tenge_sostavil_ushcherb_ot_pozhara_na_neftebaze_v_yuzhnom_kazakhstane-83897) (дата обращения 07.02.2018).

14. В Павлодаре на нефтехимическом заводе произошел пожар [Электронный ресурс] // Kazakhstan Today. Режим доступа: <https://www.caravan.kz/news/v-pavlodare-na-neftekhimzavode-proizoshel-pozhar-216262> (дата обращения 07.02.2018).

15. На Павлодарском НХЗ произошло возгорание печи подогрева сырья [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/view/131666-Na->

Pavlodarskom-NHZ-proizoshlo-vozhgoranie-pechi-podogreva-syrya (дата обращения 07.02.2018).

16. Выяснили причину пожара на Атырауском НПЗ [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tengrinews.kz/news/vyiynsnili-prichinu-pojava-na-atyrauskom-npz-25939> (дата обращения 07.02.2018).

17. На Атырауском нефтеперерабатывающем заводе произошел пожар [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://bnews.kz/ru/news/proisshhestviya/na\\_atyrauskom\\_neftepererabativaushchem\\_zavode\\_proizoshel\\_pozhar](https://bnews.kz/ru/news/proisshhestviya/na_atyrauskom_neftepererabativaushchem_zavode_proizoshel_pozhar) (дата обращения 07.02.2018).

18. В Казахстане на Атырауском НПЗ случился очередной пожар [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/view/107154-V-Kazahstane-na-Atyrauskom-NPZ-sluchilsya-ocherednoy-pozhar> (дата обращения 08.02.2018).

19. На Атырауском НПЗ произошел пожар [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://visa.kapital.kz/gosudarstvo/51769/na-atyrauskom-npz-proizoshel-pozhar.html> (дата обращения 08.02.2018).

20. На территории Атырауского НПЗ идет тушение пожара [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.new.inform.kz/ru/na-territorii-atyrauskogo-npz-idet-tushenie-pozhara\\_a2226614](http://www.new.inform.kz/ru/na-territorii-atyrauskogo-npz-idet-tushenie-pozhara_a2226614) (дата обращения 08.02.2018).

21. Мусайбеков, А.Г. Формирование информационной системы управления пожарной безопасностью на основе базы прецедентов типового нефтехимического завода [Текст] / А.Г. Мусайбеков // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Материалы X международной научно-практической конференции. 2019. – К.: КТИ КЧС МВД РК. – С. 127–130.

22. Об утверждении технического регламента «Общие требования к пожарной безопасности» [Электронный ресурс] // Приказ Министра внутренних дел Республики Казахстан от 23.06.2017 № 439. Режим доступа: [https://online.zakon.kz/document/?doc\\_id=37086623](https://online.zakon.kz/document/?doc_id=37086623) (дата обращения 21.03.2018).



23. О гражданской защите (с изменениями и дополнениями по состоянию на 13.06.2017 г.) [Электронный ресурс] // Закон Республики Казахстан от 11.04.2014 № 188-V. Режим доступа: [https://online.zakon.kz/document/?doc\\_id=31534450](https://online.zakon.kz/document/?doc_id=31534450) (дата обращения 25.12.2019).

24. «Об утверждении Правил определения общего уровня опасности опасного производственного объекта» [Электронный ресурс] // Приказ и.о. Министра по инвестициям и развитию Республики Казахстан от 26.12.2014 № 300. Режим доступа: [https://online.zakon.kz/document/?doc\\_id=31677894](https://online.zakon.kz/document/?doc_id=31677894) (дата обращения 05.02.2020).

25. Ветошкин, А.Г. Нормативное и техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности [Текст] / А.Г. Ветошкин // В 2-х ч. Ч. 2. Инженерно-техническое обеспечение безопасности жизнедеятельности. – М.: Инфра-Инженерия, 2017. – 652 с.

26. Безбородов, Ю.Н. Промышленная безопасность объектов нефтепродуктообеспечения [Текст] / Ю.Н. Безбородов, Л.Н. Горбунова, В.А. Баранов, В.Н. Подвезенный. – Красноярск: ИПК СФУ, 2011. – 606 с.

27. Хисамиева, Г.М. Совершенствование системы профессионального образования – один из способов улучшения качества персонала на предприятиях нефтехимической промышленности [Текст] / Г.М. Хисамиева, А.М. Бондарук, К.Ш. Ямалетдинова, С.И. Пыхов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. – 2009. – № 2 (76). – С. 137–140.

28. ГОСТ 34.003–90 Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Автоматизированные системы. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2009. – 19с.

29. Брушлинский, Н.Н. Пожарные риски. Вып. 1. Пожарные риски. Основные понятия [Текст] / Н.Н. Брушлинский [и др.]. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004.

30. Douglas, M. Risk and Culture: An Essay on the Selection of Technological and Environmental Dangers [Текст] / M. Douglas, A. Wildavsky – Berkeley and Los Angeles: Univ. of California Press, 1982. – 98 p.

31. Pidgeon, N. The Social Amplification of Risk [Текст] / N. Pidgeon, R. Kasperson, P. Slovic – Cambridge: Cambridge University Press, 2003. – 224 p.
32. Slovic, P. The Perception of Risk [Текст] / P. Slovic – London: Earthscan, 2000. – 244 p.
33. Renn, O. Concepts of Risk: A Classification [Текст] / O. Renn, S. Krimsky, D. Golding // Social Theories of Risk. – L.; N.Y.: Praeger, 1992. – Pages. 68–72.
34. Маленченко, А.Ф. Анализ экологического риска. Принципы и критерии оценки [Текст] / А.Ф. Маленченко, С.Н. Сушко, И.В. Салтанова // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон. – СПб.: Изд-во Рос. гидромет. ун-та. – 2002. – С. 72–73.
35. Раимбеков, К.Ж. Математические методы управления рисками чрезвычайных ситуаций [Текст] / К.Ж. Раимбеков, А.Б. Кусаинов // Современные технологии обеспечения гражданской обороны и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2015. – № 1-1 (6). – С. 40–43.
36. Hasofer, A.M. Risk Assessment in Building Fire Safety Engineering [Текст] / A.M. Hasofer, V.R. Beck, I.D. Bennetts. – Oxford: Butterworth-Heinemann. – 2007.
37. Аубакиров, С.Г. Становление и развитие общегосударственной системы предупреждения и тушения пожаров в Республике Казахстан [Текст] / С.Г. Аубакиров // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Материалы V Международной научно-практической конференции. г. Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК. – 2014 – С. 7–13.
38. Кайсанов, М.С. Роль испытательных пожарных лабораторий в обеспечении пожарной безопасности [Текст] / М.С. Кайсанов // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Материалы V Международной научно-практической конференции. г. Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК. – 2014 – С. 13–17.
39. Brik, A.M. Engineering Fire Testing and Computer Modelling of rail tank-cars engulfed in fires: Literature review for transport dangerous goods and transportation development center transport [Текст] / A.M. Brik – Canada Kingston, Ontario, Canada, March, 2006, Pages. 36.

40. Хенли, Э.Д. Надежность технических систем и оценка риска [Текст] / Э.Д. Хенли. – М.: Машиностроение, 1984. – 528 с.
41. Meacham, B. J. (2008). A Risk-Informed Performance- Based Approach to Building Regulation [Текст] / B.J. Meacham // 7th International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods, 2007, Pages. 1–13.
42. Снитюк, В.Е. Эволюционные технологии принятия решений при пожаротушении [Текст] / В.Е. Снитюк [и др.]; – Черкассы: Маклаут, 2008.
43. Дворецкий, С.И. Моделирование систем [Текст] / С.И. Дворецкий [и др.]; – М.: Академия, 2009.
44. Yung, D. Principles of Fire Risk Assessment in Buildings [Текст] / D. Yung – N.Y.: J. Wiley & Sons, 2008.
45. Моторыгин, Ю.Д. Исследование процессов развития горения с помощью конечных цепей Маркова [Текст] / Ю.Д. Моторыгин, В.А. Ловчиков, В.Б. Воронова // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2009. – № 3 (11). – С. 66–72.
46. Молчанов, В.П. Варианты развития пожара в хранилищах нефтепродуктов [Текст] / В.П. Молчанов, В.П. Сучков // Пожарное дело. – 1994. – № 11. – С. 40–44.
47. Швырков, С.А. Статистика квазимгновенных разрушений резервуаров для хранения нефти и нефтепродуктов [Текст] / С.А. Швырков, С.А. Горячев, В.П. Сорокоумов // Пожаровзрывобезопасность. – 2007.– Т. 16. – № 6. – С.48–52.
48. Бурков, В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы [Текст] / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ, 1999.
49. Тупиков, Д.В. Алгоритм поддержки принятия решений по устранению пожароопасных ситуаций на промышленных предприятиях [Текст] / Д.В. Тупиков, А.Ф. Резчиков, В.А. Иващенко // Управление большими системами. – 2014. – № 52. – С. 148–163.
50. Шебеко, Ю.Н. Методы оценки поражающих факторов пожаров и взрывов на наружных технологических установках [Текст] / Ю.Н. Шебеко, В.Л.

Малкин, И.М. Смолин, В. А. Колосов, Е.В. Смирнов, А.С. Паршин // Пожаро-взрывобезопасность. – 1999. – Т.8. – № 4. – С. 18–28.

51. Сучков, В.П. Рекомендации по обеспечению пожарной безопасности объектов нефтепродуктообеспечения, расположенных на селитебной территории [Текст] / В.П. Сучков, А.В. Куликов, В.П. Молчанов, А.А. Шаталов [и др.]; – М.: ГУГПС МВД России, ВНИИПО МВД России, 1997.

52. Курочкин, Б.Н. Разработка технических решений, направленных на совершенствование систем противопожарного водоснабжения объектов нефтегазового комплекса на примере нефтебазы ЗАО «Севертранссервис» П.Богандинский Тюменской области [Текст] / Б.Н. Курочкин, Р.Ф. Мухаметова // Актуальные вопросы науки и хозяйства: новые вызовы и решения: сборник материалов LI Международной студенческой научно-практической конференции. – 2017. – С. 105–107.

53. Глушков, В.М. Оценка эффективности сложных систем и организация вычислительных процессов [Текст] / В.М. Глушков // Математическое обеспечение ЭЦВМ. – Киев. – 1972. – С. 3–17.

54. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем [Текст] / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахаара. – М.: МИР, 1973. – 342 с.

55. Скурихин, В.И. Предпроектная разработка алгоритмов управления [Текст] / В.И. Скурихин, В.В. Дубровский, В.Б. Шифрин. – Киев: Наукова думка, 1980. – 296 с.

56. Матвеев, А.В. Перспективные направления информационно-аналитической деятельности в области обеспечения пожарной безопасности [Текст] / А.В. Матвеев, А.В. Максимов, И.И. Попивчак // Геополитика и безопасность. – 2015. – № 2 (30). – С. 113–117.

57. Раимбеков, К.Ж. Создание единой системы оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации в Республике Казахстан [Электронный ресурс] / К.Ж. Раимбеков, А.Б. Кусаинов // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 6 (70). – 11 с. Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2016-6/> (дата обращения 16.10.2018).

58. Рыженко, А.А. Информационная технология визуализации взрывов и пожаров на производственных объектах [Текст] / А.А. Рыженко, Р.Ш. Хабибулин // Труды Кольского научного центра РАН. – 2012. – Т. 3. – № 4. – С. 186–190.

59. Островский, Г.М. Технические системы в условиях неопределённости: анализ гибкости и оптимизация: учебное пособие [Текст] / Г.М. Островский, Ю.М. Волин. – 3-е изд. – 2016. – 318 с.

60. Захматов, В.Д. Теоретические основы разработки импульсной техники пожаротушения и многоплановой защиты [Текст] / В.Д. Захматов.– К.: Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича АН Украины, 1994.– 72 с.

61. Мусайбеков, А.Г. Анализ результатов поиска и сходимости прецедентов в системе поддержки управления ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин, В.С. Ухатов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020. – № 1. – С. 4–15.

62. Захаров, И.А. Анализ деятельности противопожарной службы города Астана [Электронный ресурс] / И.А. Захаров // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 2. – 7 с. Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb/2017-2/> (дата обращения 12.09.2019).

63. Обзор программного обеспечения для пожарного дела [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pojarunet.ru/obzor-programmnogo-obespecheniya-dlya-pozharnogo-dela> Fire and Safety Specialists Inc (дата обращения 11.02.2018).

64. Мусайбеков, А.Г. Решение оптимизационных задач в вопросах управления пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих предприятиях [Текст] / А.Г. Мусайбеков // Материалы VII международной конференции молодых ученых и специалистов. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2018. – С. 87–92.

65. Мусайбеков, А.Г. Технология ситуационного управления пожарной безопасностью нефтеперерабатывающего предприятия на основе метода прецедентов [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин // Материалы VIII международной конференции молодых ученых и специалистов. – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2019. – С. 69–75.

66. База патентов Казахстана. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://kzpatents.com/patents/a62b> (дата обращения 19.05.2018).

67. Нарбаева, К.А. Разработка методики оценки социально-экономических последствий чрезвычайных ситуаций в Республике Казахстан. Автореф. дис. д-ра философии PhD [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iuk.kg/documents/dissovet%20phd%20prog/Narbaev/avtoreferat-narbaeva.pdf>. (дата обращения 13.04.2018).

68. Джумагалиев, Р.М. Некоторые аспекты нормирования безопасных расстояний при пожарах в нефтегазовом секторе [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.safety.kz/archieve/2008/02/norm05.html> (дата обращения 14.08.2018).

69. Энгельгардт, В.В. Численный метод проведения структурно-параметрической идентификации для линейных динамических систем с использованием эвристического метода минимизации [Текст] / В.В. Энгельгардт // Наука и образование транспорту. – 2013. – № 1. – С. 225–229.

70. Немчинов, Д.В. Оценка риска аварий с использованием экспертных систем [Текст] / Д.В. Немчинов // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2007. – № 1. – С. 40–45.

71. Тетерин, И.М. Применение систем поддержки принятия решений руководителями оперативных подразделений при тушении пожаров в крупных городах [Электронный ресурс] / И.М. Тетерин, Н.Г. Топольский, В.М. Климовцов, Ю.В. Прус // Технологии техносферной безопасности. – 2008. – № 4 (20). – 33 с. Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2008-4/2008-4.html>. (дата обращения 17.05.2019).

72. Семиков, В.Л. Развития системы управления обеспечением деятельности гарнизона пожарной службы Вьетнама / В.Л. Семиков, Нгуен Ба Туан // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – №6 (70). – 5 с. Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2016-6/2016-6.html>. (дата обращения 19.05.2019).

73. Денисов, А.Н. О расчёте сил и средств пожарных подразделений на начальном этапе тушения пожаров на объектах нефтепереработки [Электронный ресурс] / А.Н. Денисов, Н.М. Хыонг // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2010. – № 4 (32). – 6 с. Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>. (дата обращения 19.05.2019).

74. Соколов, С.В. Оценка возможностей противопожарной службы города Астаны по обеспечению необходимого количества сил и средств при возникновении пожара на объекте международного выставочного комплекса «ЭКСПО – 2017» [Текст] / С.В. Соколов, И.А. Захаров // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2017. – № 2. – С. 53–58. DOI: 10.25257/FE.2017.2.53-58.

75. Сибиряков, М.В. Анализ геоинформационных данных о следовании пожарно-спасательных подразделений к местам экстренных вызовов [Электронный ресурс] / М. В. Сибиряков // Технологии техносферной безопасности. – 2016 – № 6. – 8 с. Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb> (дата обращения 09.07.2019).

76. Кусаинов, А.Б. Алгоритм оргпроектирования гарнизона противопожарной службы города [Текст] / А.Б. Кусаинов // Пожаровзрывобезопасность – 2018. – Т. 27. – № 11. – С. 23–29. DOI: 10.18322/PVB.2018.27.11.23-29.

77. Берман А.Ф. Система поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации техногенных ЧС на основе прецедентного подхода [Электронный ресурс] / А.Ф. Берман, О.А. Николайчук, А.И. Павлов, А.Ю. Юрин // Технологии техносферной безопасности. – 2013. – № 5 (51). – 9 с. Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2013-5/2013-5.html> , (дата обращения 27.05.2019).

78. Варшавский, П.Р. Методы правдоподобных рассуждений на основе аналогий и прецедентов для интеллектуальных систем поддержки принятия решений [Текст] / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // Новости искусственного интеллекта. – 2006. – № 3. – С. 39–62.

79. Авдеенко, Т.В. Система поддержки принятия решений в IT-подразделениях на основе интеграции прецедентного подхода и онтологии [Текст] / Т.В. Авдеенко, Е.С. Макарова // Вестник Астраханского



государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2017. – № 3. – С. 85–99.

80. Николайчук, О.А. Управление опытом при исследовании динамики технического состояния уникальных машин и конструкций: моделирование опыта [Текст] / О.А. Николайчук, А.Ю. Юрин // Информационные технологии. – 2008. – №6. – С. 30–37.

81. Watson I., Lee S. Rubin J., Wender S. Improving a case-based Texas hold'em poker bot. // Computational Intelligence and Games, 2008. CIG '08. IEEE Symposium On, dec. – 2008, Pages: 350–356.

82. Варшавский, П.Р. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений [Текст] / П.Р. Варшавский, А.П. Еремеев // Искусственный интеллект и принятия решений. – 2009. – № 2. – С. 45–47.

83. Баринов, Ю.Г. Эволюция методов решения проблем в менеджменте [Текст] / Ю.Г. Баринов, Г.В. Баринава // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Экономика. Право. Управление. – 2014. – № 5. – С. 92–103.

84. Макарова, Е.С. Исследование влияния параметров нечеткой модели на точность классификации прецедентов [Текст] / Е.С. Макарова // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2016. – № 4. – С. 7–18.

85. Минаев, В.А. Снижение пожарных рисков с использованием теории активных систем [Электронный ресурс] / В.А. Минаев, Н.Г. Топольский, К.М. Чу // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 4 (56). – 12 с. Режим доступа: <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2014-4/2014-4.html> (дата обращения 18.04.2018).

86. Мусайбеков, А.Г. Обзор применения метода прецедентов в управлении безопасностью сложных систем [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин, С.В. Гудин // Информационные системы и технологии. – 2019. – № 2 (112). – С. 103–112.

87. Zadeh, L.A. Fuzzy sets [Текст] / L.A. Zadeh // Information and Control. 1965. – V. 8. – P. 338–353.



88. Vaise Patu, Shuichiro Yamamoto. How to Develop Security Case by Combining Real Life Security Experiences (Evidence) with D-case // *Procedia Computer Science*, Volume 22, 2013, Pp. 954–959.

89. Карпов Л. Е. Адаптивное управление по прецедентам, основанное на классификации состояний управляемых объектов [Текст] / Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин // Труды института системного программирования РАН. – 2007. – № 2. – С. 37–58.

90. Gao P. P., Li Y. P., J. Sun, H. W. Li. Coupling fuzzy multiple attribute decision-making with analytical hierar-chy process to evaluate urban environmental security: A case study of Guangzhou, China // *environmental Com-plexity*, Volume 34, May 2018, Pp. 23–34.

91. Мусайбеков, А.Г. Современные проблемы и разработка концепции комплексного управления пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих предприятиях [Текст] / А.Г. Мусайбеков // Журнал «Вестник Кокшетауского технического института» – 2018. – № 4 (32). – С. 83–86.

92. Мусайбеков, А.Г. Фреймовая модель применения метода прецедентов для управления пожарной безопасностью нефтеперерабатывающих заводов [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 2. – С. 23–28.

93. Трофимова, М.С. Обзор методов и методик системного анализа применительно к управлению качеством предприятия [Текст] / М.С. Трофимова, С.М. Трофимов // Электроника, информатика, информационные технологии, системы управления. – 2015. – № 15. – С. 74–96.

94. Ватазин, А.В. Виртуальная интеграция и консолидация знаний в распределённой системе поддержки врачебных решений [Текст] / А.В. Ватазин, Л.Е. Карпов, В.Н. Юдин // Альманах клинической медицины. – 2009. – № 20. – С. 83–86.

95. Варшавский, П.Р. Механизмы правдоподобных рассуждений на основе прецедентов (накопленного опыта) для систем экспертной диагностики [Текст] /

П.Р. Варшавский // Труды 11-ой национальной конференции по ИИ с международным участием (КИИ-2008). Т. 2. –М: ЛЕНАНД, 2008. – С. 321–329.

96. Agrell E. Spectral coding by fast vector quantization / E. Agrell // Proc. IEEE Workshop on Speech Coding for Telecommunications. – Sainte-Adèle, Québec, Canada, 1993. – Pp. 61–62.

97. Arya S. Algorithms for fast vector quantization / S. Arya and D. M. Mount // In J. A. Storer and M. Cohn, editors, Proc. Of DCC '93: Data Compression Conference, IEEE Press. –1993. – Pp. 381–390. – ISBN 0-89871-329-3.

98. Zhou J. Simple Fast Vector Quantization of the Line Spectral Frequencies / Zhou J., Shoham Y., Akansu A. // Image Compression and Encryption Technologies. – 2001. – Vol. 4551. – Pp. 274–282.

99. Aamodt A., Plaza E. Case-Based Reasoning: Foundational Issues, Methodological Variations, and System Approaches // Artificial Intelligence Communications. IOS Press. 1994. – Vol. 7, № 1. – Pp. 39-59.

100. Макарова, Е.С. Прецедентный подход для решения задачи постановки диагноза [Текст] / Е.С. Макарова // В сборнике: Будущее науки - 2014 Сборник научных статей 2-й Международной молодежной научной конференции, в 3-х т. Ответственный редактор Горохов А.А. Юго-Зап. гос. ун-т., Курск: Изд-во ЮЗГУ. – 2014. – С. 355–359.

101. Мирзагитов, А.А. Методы разработки онтологии по информационной безопасности, основанные на прецедентном подходе [Текст] / А.А. Мирзагитов, Д.Е. Пальчунов // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. – 2013. – Т. 11. – № 3. – С. 37–46.

102. Кулаков, С.М. Прецедентный подход к формированию программ управления объектами циклического действия [Текст] / С.М. Кулаков, В.Б. Трофимов, А.С. Добрынин, Е.Н. Тараборина // В сборнике: Системы автоматизации в образовании, науке и производстве Труды XI Всероссийской научно-практической конференции. Сибирский государственный индустриальный университет. – 2017. – С. 11–19.

103. Климовцов, В.М. Решение задачи экспертной классификации определения ранга пожара с применением теории нечетких множеств // Материалы Международной научно-технической школы-конференции "Молодые ученые – науке, технологиям и профессиональному образованию". – М.: МИРЭА. – 2003. – С. 313-316.

104. Тетерин И.М., Климовцов В.М., Прус Ю.В. Методология разработки экспертных систем для оперативного управления пожарными подразделениями [Текст] / И.М. Тетерин, В.М. Климовцов, Ю.В. Прус. – М.: АГПС МЧС России. – 68 с.

105. Мусайбеков, А.Г. Специальное программное обеспечение системы поддержки управления пожарной безопасностью объекта защиты на основе метода прецедентов [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин // Материалы 28-й международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2019». – М.: Академия ГПС МЧС России. – 2019. – С. 27–32.

106. Podval'ny S.I. Intelligent modeling systems: design principles / S.I. Podval'ny, T.M. Ledeneva// Automation and remote control. – 2013. – Т. 74. – № 7. – С. 1201–1210.

107. Боровский, А.В. Дискриминантный анализ технических коротких текстов [Текст] / А.В. Боровский, Е.Е. Раковская, А.Л. Бисика // Вестник АГТУ. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2018. – № 2. – С. 53–60.

108. Мусайбеков, А.Г. Решение задачи классификации для определения ранга пожара на основе дискриминантного анализа [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин // Материалы международной научно-практической конференции «Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения» – Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. – 2020. – С. 69–75.

109. Бугаев, Ю.В. Алгоритм решения многокритериальной задачи о назначениях на сетях [Текст] / Ю.В. Бугаев, О.В. Авсеева, Л.А. Коробова, И.Ю. Шурупова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2017. – Т. 79. – № 4 (74). – С. 71–74.



## Приложение А

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа АРМ системы поддержки принятия решений для специалиста пожарной безопасности НПЗ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



# СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2020612655**

**АРМ системы поддержки принятия решений для  
специалиста пожарной безопасности НПЗ**

Правообладатели: *Мусайбеков Асхат Гайнуллаулы (KZ), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU), Ухатов Валерий Сергеевич (RU)*

Авторы: *Мусайбеков Асхат Гайнуллаулы (KZ), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU), Ухатов Валерий Сергеевич (RU)*


Заявка № **2020610655**

Дата поступления **17 января 2020 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **28 февраля 2020 г.**

*Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности*

 **Г.П. Иванов**



## Листинг программного кода

```
unit Unit1;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls, Grids, DBGrids, DB, ADODB, TeEngine, Series, ExtCtrls,
TeeProcs, Chart;

type

TForm1 = class(TForm)
cbb1: TComboBox;
edt1: TEdit;
btn1: TButton;
con1: TADOConnection;
tbl1: TADOTable;
edt2: TEdit;
edt3: TEdit;
edt4: TEdit;
btn2: TButton;
btn3: TButton;
tbl2: TADOTable;
cbb6: TComboBox;
lbl1: TLabel;
lbl2: TLabel;
lbl3: TLabel;
```

```
lbl4: TLabel;  
lbl6: TLabel;  
lbl7: TLabel;  
lbl8: TLabel;  
lbl9: TLabel;  
qry1: TADOQuery;  
ds1: TDataSource;  
dbgrd1: TDBGrid;  
edt6: TEdit;  
edt7: TEdit;  
cbb2: TComboBox;  
cbb3: TComboBox;  
cbb4: TComboBox;  
lbl12: TLabel;  
edt8: TEdit;  
lbl13: TLabel;  
procedure btn1Click(Sender: TObject);  
procedure btn3Click(Sender: TObject);  
procedure btn2Click(Sender: TObject);  
procedure edt1Change(Sender: TObject);  
procedure cbb6Change(Sender: TObject);  
procedure edt2Change(Sender: TObject);  
procedure edt3Change(Sender: TObject);  
procedure cbb1Change(Sender: TObject);  
procedure cbb2Change(Sender: TObject);
```



```
procedure cbb3Change(Sender: TObject);
procedure cbb4Change(Sender: TObject);
procedure edt1KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure edt2KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure edt3KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure edt4KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure edt4Change(Sender: TObject);

private
{ Private declarations }

public
{ Public declarations }

end;
```

#### Прописывание переменных:

```
var
Form1: TForm1;
nomerpr, minnomerpr, ffa, ffb: integer;
a, b, c, d, e, an, bn, cn, dn, en: Real;
sr, minsr: Real;
aa, bb, cc, dd: Real;
ffs, ffq : string;

implementation

uses Unit2, unit3;

{$R *.dfm}
```

Процедуры запрета ввода недопустимых символов и повторной запятой, открытие доступа к полям ввода значений:

```
procedure TForm1.edt1Change(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
i, n: Integer;
```

```
begin
```

```
cbb2.Enabled:=True;
```

```
n:=Pos(',',edt1.text);
```

```
for i:=n+1 to Length(edt1.text)do
```

```
if edt1.text[i]=',' then edt1.Clear;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.cbb6Change(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
ffs:=cbb6.Text + '.txt';
```

```
cbb1.Enabled:=True;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.edt1KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
```

```
begin
```

```
if not (Key in ['0'..'9',decimalseparator, #8]) then
```

```
Key := #0;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.edt2KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
```

```
begin
```



```
if not (Key in ['0'..'9',decimalseparator, #8]) then
```

```
Key := #0;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.edt3KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
```

```
begin
```

```
if not (Key in ['0'..'9',decimalseparator, #8]) then
```

```
Key := #0;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.edt4KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
```

```
begin
```

```
if not (Key in ['0'..'9',decimalseparator, #8]) then
```

```
Key := #0;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.edt2Change(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
i, n: Integer;
```

```
begin
```

```
cbb3.Enabled:=True;
```

```
n:=Pos(',',edt2.text);
```

```
for i:=n+1 to Length(edt2.text)do
```

```
if edt2.text[i]=',' then edt2.Clear;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.edt3Change(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
i, n: Integer;
```

```
begin
```

```
cbb4.Enabled:=True;
```

```
btn1.Enabled:=True;
```

```
n:=Pos(',',edt3.text);
```

```
for i:=n+1 to Length(edt3.text)do
```

```
if edt3.text[i]=',' then edt3.Clear;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.edt4Change(Sender: TObject);
```

```
var
```

```
i, n: Integer;
```

```
begin
```

```
n:=Pos(',',edt4.text);
```

```
for i:=n+1 to Length(edt4.text)do
```

```
if edt4.text[i]=',' then edt4.Clear;
```

```
end;
```

Процедура запуска алгоритма поиска:

```
//Запуск алгоритма поиска
```

```
procedure TForm1.btn1Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
//забор переменных
a:=StrToFloat(edt1.text);
b:=StrToInt(edt2.text);
c:=StrToInt(edt3.text);
d:=StrToInt(edt4.text);
minsr:=100000;

//подключение к таблице объекта
if cbb6.text='Объект 1' then
begin
tbl1.active:=False;

//подключаем таблицу объекта
tbl2.active:=True;
dbgrd1.DataSource.DataSet.First;
while not tbl2.Eof do
//проверка на окончание строк
begin
номерпр:= tbl2['Код'];

//взятие параметров из таблицы
an:= StrToFloat(tbl2[cbb1.text]);
bn:= StrToFloat(tbl2[cbb2.text]);
cn:= StrToFloat(tbl2[cbb3.text]);

//при отсутствии параметра его значения равны 0
if cbb4.Text='-----' then
begin
```

```

d:=0;
dn:=0;
end else begin dn:= StrToFloat(tbl2[cbb4.text]);
end;

//нахождение среднеквадричного отклонения
sr:=Sqrt(((an- a)*(an-a)+(bn-b)*(bn-b)+(cn-c)*(cn-c)+(dn-d)*(dn-d)+(en-e)*(en-e))/5);

//перебор всех прецедентов из таблицы
if minsr<sr then tbl2.Next else begin
minsr:=sr;
minnomerpr := nomerpr;
aa:= StrToFloat(tbl2[cbb1.text]);
bb:= StrToFloat(tbl2[cbb2.text]);
cc:= StrToFloat(tbl2[cbb3.text]);
if cbb4.text='-----' then dd:=0 else
dd:= StrToFloat(tbl2[cbb4.text]);
ffa:=StrToInt(tbl2['Количество лс']);
ffb:=StrToInt(tbl2['Количество авто']);
ffq:=IntToStr(minnomerpr) + '.txt';
tbl2.Next;
end;

//edt6.Text:= FloatToStr(minsr);
//edt7.Text:= intToStr(minnomerpr);
end;

```

```
end;

//переход на вторую форму
Form2.ShowModal

end;

процедура очистки формы
procedure TForm1.btn2Click(Sender: TObject);
begin
edt1.text:="";
edt2.text:="";
edt3.text:="";
edt4.text:="";
cbb1.text:='-----';
cbb2.text:='-----';
cbb3.text:='-----';
cbb4.text:='-----';
edt2.Enabled:=False;
edt3.Enabled:=False;
edt4.Enabled:=False;
cbb2.Enabled:=False;
cbb3.Enabled:=False;
cbb4.Enabled:=False;
btn1.enabled:=False;
end;
```

Процедура разблокировки ComboBox-ов при заполнении предыдущего значения. Также в этом фрагменте запрещается дублирование параметра прецедента путем его удаления из ComboBox-а:

```
procedure TForm1.cbb1Change(Sender: TObject);  
  
var i:Integer;  
  
begin  
  
edt1.Enabled:=True;  
  
for i:=0 to cbb2.Items.Count do  
if cbb1.Text=cbb2.Items.Strings[i-1] then  
cbb2.Items.Delete(i-1);  
  
for i:=0 to cbb3.Items.Count do  
if cbb1.Text=cbb3.Items.Strings[i-1] then  
cbb3.Items.Delete(i-1);  
  
for i:=0 to cbb4.Items.Count do  
if cbb1.Text=cbb4.Items.Strings[i-1] then  
cbb4.Items.Delete(i-1);  
  
end;
```

```
procedure TForm1.cbb2Change(Sender: TObject);  
  
var i:Integer;  
  
begin  
  
edt2.Enabled:=True;  
  
for i:=0 to cbb3.Items.Count do  
if cbb2.Text=cbb3.Items.Strings[i-1] then  
cbb3.Items.Delete(i-1);
```

```
for i:=0 to cbb4.Items.Count do
if cbb2.Text=cbb4.Items.Strings[i-1] then
cbb4.Items.Delete(i-1);
end;

procedure TForm1.cbb3Change(Sender: TObject);
var i:Integer;
begin
edt3.Enabled:=True;
for i:=0 to cbb4.Items.Count do
if cbb3.Text=cbb4.Items.Strings[i-1] then
cbb4.Items.Delete(i-1);
end;

procedure TForm1.cbb4Change(Sender: TObject);
begin
edt4.Enabled:=True;
end;
```

Кнопка «Выход»:

```
procedure TForm1.btn3Click(Sender: TObject);
begin
Close;
end;

end.
```

```
unit Unit2;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, TeEngine, Series, ExtCtrls, TeeProcs, Chart, Unit1, StdCtrls;
type
TForm2 = class(TForm)
cht1: TChart;
Series1: TLineSeries;
btn1: TButton;
Series2: TLineSeries;
Series3: TLineSeries;
Series4: TLineSeries;
Series5: TLineSeries;
Series6: TLineSeries;
Series7: TLineSeries;
Series8: TLineSeries;
lbl1: TLabel;
lbl2: TLabel;
grp1: TGroupBox;
lbl3: TLabel;
lbl4: TLabel;
lbl5: TLabel;
edt1: TEdit;
edt2: TEdit;
```



```
edt3: TEdit;
edt4: TEdit;
edt5: TEdit;
edt6: TEdit;
edt7: TEdit;
edt8: TEdit;
lbl6: TLabel;
lbl7: TLabel;
lbl8: TLabel;
btn2: TButton;
procedure btn1Click(Sender: TObject);
procedure FormShow(Sender: TObject);
procedure btn2Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form2: TForm2;
  q: string;
implementation
uses Unit3;
{$R *.dfm}
```

Кнопка «Далее»:

```
procedure TForm2.btn1Click(Sender: TObject);
begin
form3.show;
Form2.close;
end;
```

Процедура внесения значения в график, отображение параметров прецедента на форме, отображение сходимости прецедентов:

```
procedure TForm2.FormShow(Sender: TObject);
begin
//отображение графика схождения
Series1.AddXY(1, a);
Series1.AddXY(2, b);
Series1.AddXY(3, c);
Series1.AddXY(4, d);
Series2.AddXY(1, an);
Series2.AddXY(2, bn);
Series2.AddXY(3, cn);
Series2.AddXY(4, dn);
//отображение сходимости
q:= Format('%0.4f',[minsr]);
lbl2.caption:= q;
//отображение параметров прецедентов
```

```
lbl5.Caption:=('1') + Form1.cbb1.Text + ':';
```

```
edt1.Text:=Form1.edt1.Text;
```

```
edt2.text:=floattostr(aa);
```

```
lbl6.Caption:=('2') + Form1.cbb2.Text + ':';
```

```
edt3.Text:=Form1.edt2.Text;
```

```
edt4.text:=floattostr(bb);
```

```
lbl7.Caption:=('3') + Form1.cbb3.Text + ':';
```

```
edt5.Text:=Form1.edt3.Text;
```

```
edt6.text:=floattostr(cc);
```

```
if Form1.cbb4.Text='-----' then
```

```
begin
```

```
lbl8.Visible:=False;
```

```
edt7.visible:=False;
```

```
edt8.Visible:=False;
```

```
end;
```

```
lbl8.Caption:=('4') + Form1.cbb4.Text + ':';
```

```
edt7.Text:=Form1.edt4.Text;
```

```
edt8.text:=floattostr(dd);
```

```
end;
```

Кнопка «ВЫХОД»:

```
procedure TForm2.btn2Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Form2.close;
```

```
end;
```

end.

unit Unit3;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, Unit1, Unit2;

type

TForm3 = class(TForm)

grp1: TGroupBox;

mmo1: TMemo;

grp2: TGroupBox;

lbl1: TLabel;

edt1: TEdit;

edt2: TEdit;

lbl2: TLabel;

mmo2: TMemo;

lbl3: TLabel;

grp3: TGroupBox;

lbl4: TLabel;

lbl5: TLabel;

lbl6: TLabel;

edt3: TEdit;

edt4: TEdit;

mmo3: TMemo;

```

btn1: TButton;
btn2: TButton;
btn3: TButton;
dlgOpen1: TOpenDialog;
dlgOpen2: TOpenDialog;
dlgSave1: TSaveDialog;
procedure btn1Click(Sender: TObject);
procedure FormShow(Sender: TObject);
procedure btn3Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
public
{ Public declarations }
end;
var
Form3: TForm3;
implementation
{$R *.dfm}

```

Процедура вывода информации из текстового документа, сравнение значений ближайшего прецедента с текущим, вывод рекомендаций:

```

procedure TForm3.btn1Click(Sender: TObject);
begin
edt3.Text:=a;
edt4.text:=b;
end;

```

```

procedure TForm3.FormShow(Sender: TObject);
begin
dlgOpen1.FileName:=ffs;
mmo1.Lines.LoadFromFile(dlgOpen1.FileName);
dlgOpen2.FileName:=ffq;
mmo2.Lines.LoadFromFile(dlgOpen2.FileName);
edt1.text:=IntToStr(ffb);
edt2.text:=IntToStr(ffa);
end;

```

Процедура занесения нового прецедента:

```

procedure TForm3.btn3Click(Sender: TObject);
begin
//подключение к БД Access и добавление прецедента
Form1.tbl2.Active:=True;
Form1.tbl2.Insert;
Form1.tbl2.FieldName(" + Form1.cbb1.text + ").AsFloat:=a;
Form1.tbl2.FieldName(" + Form1.cbb2.text + ").AsFloat:=b;
Form1.tbl2.FieldName(" + Form1.cbb3.text + ").AsFloat:=c;
if Form1.cbb4.Text='-----' then
begin
Form1.tbl2.FieldName('Время развития').AsInteger:=0;
Form1.tbl2.FieldName('Количество пострадавших').AsInteger:=0;
end else begin Form1.tbl2.FieldName(" + Form1.cbb4.text + ").AsFloat:=c;
end;

```

```
Form1.tbl2.FieldByName('Количество лс').AsInteger:=StrToInt(edt3.text);
```

```
Form1.tbl2.FieldByName('Количество авто').AsInteger:=StrToInt(edt3.text);
```

```
Form1.tbl2.post;
```

```
//обновление данных таблицы
```

```
Form1.tbl2.close;
```

```
Form1.tbl2.Open;
```

```
//сохранение действий РТП
```

```
dlgSave1.FileName:=" + IntToStr(form1.dbgrd1.DataSource.DataSet.RecordCount+1)  
+ '.txt';
```

```
Mmo2.Lines.SaveToFile(dlgSave1.FileName);
```

```
end;
```

```
end.
```



## Приложение В

## Акты внедрения

Утверждаю

Заместитель начальника

РГУ «Кокшетауский технический

институт КЧС МВД

Республики Казахстан», к.ф-м.н.,

полковник гражданской защиты

К.Ж. Раимбеков

2020 г.



## АКТ

**о внедрении в учебный процесс Кокшетауского технического института  
КЧС МВД Республики Казахстан результатов диссертационного  
исследования Мусайбекова Асхата Гайнуллаулы**

Комиссия в составе:

майора гражданской защиты, к.т.н. Макишева Жандоса Куандыковича –  
начальника кафедры пожарной профилактики;

подполковника, к.т.н. Жаулыбаева Асана Аблаевича – профессора  
кафедры защиты в чрезвычайных ситуациях,

майора гражданской защиты, к.т.н. Захарова Игоря Анатолиевича –  
старшего преподавателя кафедры оперативно-тактических дисциплин,  
составила акт о том, что материалы и результаты диссертационного  
исследования Мусайбекова А.Г. на соискание ученой степени кандидата  
технических наук включены в учебно-методические комплексы дисциплин  
«Информационные технологии в ЧС», «Оценка риска в области  
чрезвычайных ситуаций» и «Пожарная безопасность технологических  
процессов» по специальностям 5В100100 «Пожарная безопасность» и  
5В103100 «Защита в чрезвычайных ситуациях».

Комиссия:

Начальник кафедры  
пожарной профилактики  
майор гражданской защиты, к.т.н.

Ж. Макишев

Профессор кафедры  
защиты в чрезвычайных ситуациях  
подполковник, к.т.н.

А. Жаулыбаев

Старший преподаватель кафедры  
оперативно-тактических дисциплин  
майор гражданской защиты, к.т.н.

И. Захаров

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

М.В. Бедило  
« 3 » \_\_\_\_\_ 2020 г.



### АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Мусайбекова Асхата Гайнуллаулы «Информационно-аналитическая поддержка принятий решений при управлении пожарной безопасностью нефтеперерабатывающих предприятий», представленной к защите по специальности 05.13.10 – управление в социальных и экономических системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя – начальника кафедры информационных технологий (ИТ) в составе УНК АСИТ, к.т.н., доцента Сатина Алексея Петровича, и членов комиссии – профессора кафедры ИТ, д.т.н., доцента Бутузова Станислава Юрьевича, преподавателя кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н. Береснева Дениса Сергеевича подтверждает, что результаты диссертационной работы Мусайбекова А.Г., внедрены в учебный процесс кафедры информационных технологий Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, при подготовке лекций и проведении практических занятий по дисциплинам «Информационные технологии управления в РСЧС», «Системы поддержки принятия решений» а именно: алгоритм и специальное программное обеспечение (разработка программы для ЭВМ на языке программирования Borland Delphi) поддержки принятия решений при управлении пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих предприятиях.

Председатель комиссии  
Начальник 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

Преподаватель кафедры ИТ УНК АСИТ  
к.т.н.

Д.С. Береснев

Утверждаю  
 Начальник РГУ «Управление по  
 чрезвычайным ситуациям города  
 Кокшетау»,  
 полковник гражданской защиты  
 А.Т. Джаксылыков  
 «26» \_\_\_\_\_ 2020 г.



### АКТ

**о внедрении результатов диссертационной работы  
 капитана гражданской защиты Мусайбекова Асхата Гайнуллаулы  
 «Информационно-аналитическая поддержка принятия решений  
 при управлении пожарной безопасностью объектов по переработке и  
 хранению нефти и нефтепродуктов», представленной к защите по  
 специальности 05.13.10 – управление в социальных и экономических  
 системах (технические науки)**

Комиссия в составе: старшего лейтенанта гражданской защиты Куанышев Руслан Нурланович – старшего инженера управления по чрезвычайным ситуациям; старшего лейтенанта гражданской защиты Кажгалиев Есенгельды Жумагалиевич – старшего инженера управления по чрезвычайным ситуациям, составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Мусайбекова А.Г., связанные с совершенствованием информационно-аналитической поддержки управления пожарной безопасностью объектов по переработке и хранению нефти и нефтепродуктов, использованы при планировании мероприятий по проведению командно-штабных учений (тренировок), по предупреждению и ликвидации пожаров и чрезвычайных ситуаций на объектах по переработке и хранению нефти и нефтепродуктов г. Кокшетау.

Комиссия:

Старший инженер

Управления по чрезвычайным ситуациям г. Кокшетау

старший лейтенант гражданской защиты

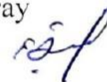


Р. Куанышев

Старший инженер

Управления по чрезвычайным ситуациям г. Кокшетау

старший лейтенант гражданской защиты



Е. Кажгалиев