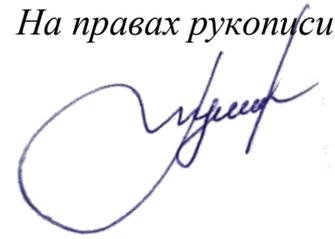


На правах рукописи



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 (технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2020

Работа выполнена на кафедре информационных технологий в составе учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России».

Научный руководитель: **Хабибулин Ренат Шамильевич**
кандидат технических наук, доцент, начальник учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»

Официальные оппоненты: **Тараканов Денис Вячеславович**
доктор технических наук, профессор кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России»

Власов Константин Сергеевич
кандидат технических наук, начальник отдела разработки мероприятий по поддержке принятия решений ФГБУ «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России»

Защита диссертации состоится «20» января 2020 года 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 205.002.01 в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:

<https://academygps.ru/upload/iblock/6a0/6a03a541d239da6e47978f7ef31bb716.pdf>

Автореферат разослан «11» ноября 2020 г.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью просим направить в Академию Государственной противопожарной службы МЧС России по указанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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.

Разработка моделей и алгоритмов поддержки принятия решений при прогнозировании ресурсов (сил и средств) пожарно-спасательных подразделений для тушения пожаров на объектах нефтепереработки, вызвана необходимостью снижения времени 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 объектов нефтепереработки.

Необходимость исследования, в том числе, 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 объектов нефтепереработки Республики Казахстан, 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, В.В. Кульба, А.В. Матюшин, 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, К.С. Власов, Е.Б. Алексеик, А.П. Сатин, А.В. Мокшанцев, 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, методо-

логия, 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель, задачи, объект и предмет исследования. Показана научная новизна работы, её теоритическая и практическая значимость. Представлены положения, выносимые на защиту, сведения о внедрении и апробации результатов работы.

В первой главе «Анализ проблем поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары» был проведён анализ ретроспективных данных о пожарах на объектах нефтепереработки РК. Анализ пожаров на ОН за 2010–2018 гг. показал, что ежегодное количество пожаров находится в диапазоне от 29 до 44 пожаров в год (рисунок 1).

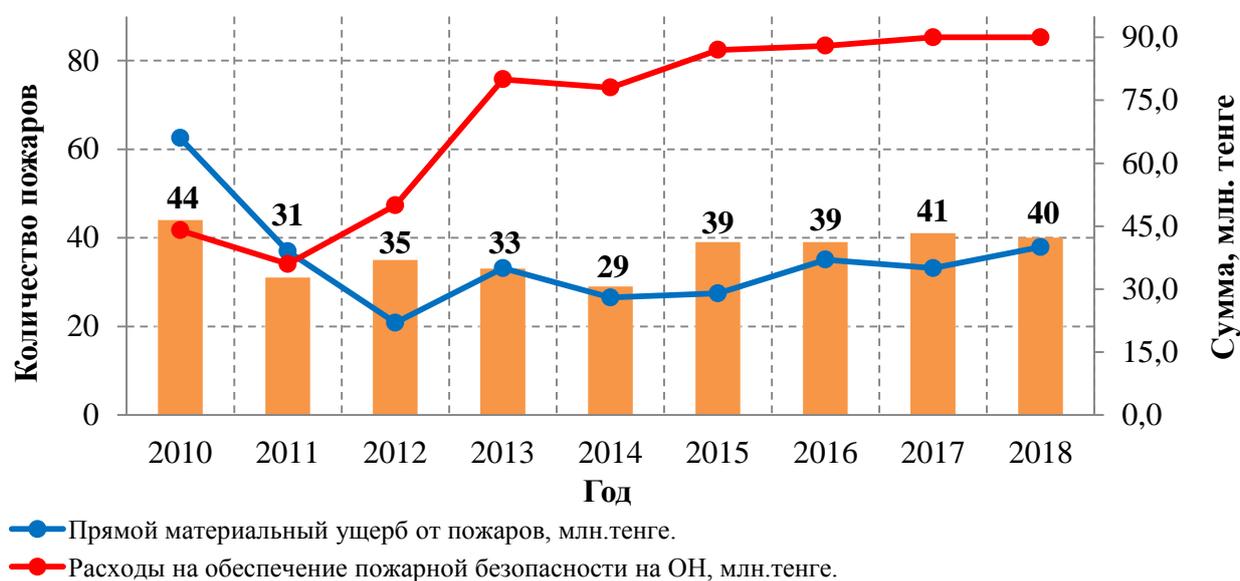


Рисунок 1 – Анализ пожаров и их последствий на объектах нефтепереработки Республики Казахстан в 2010–2018 гг.

За исследуемый период произошёл 331 пожар. В ходе анализа существующих систем ПБ на ОН установлено, что данные системы структурно и функционально в течение 9 лет изменялись незначительно. Однако расходы на обеспечение пожарной безопасности в то же время росли ежегодно.

Анализ полученных результатов показывает, что прямой связи между увеличивающимися расходами на обеспечение систем ПБ и неубывающим количеством пожаров на ОН не обнаружено.

Большинство пожаров на объектах нефтепереработки (порядка 75 %) происходит по причине человеческого фактора и связано с уровнем подготовленности кадров, наличия у них требуемого практического опыта, навыков прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений для тушения пожаров. Повышение уровня компетентности управляющего персонала возможно с использованием специализированных интеллектуальных СППР с возможностью прогнозирования развития событий и разработки плана тушения пожаров на объектах защиты на основе предыдущего накопленного опыта.

Проанализирована существующая система управления пожарной безопасностью объектов нефтепереработки Республики Казахстан, которая включает в себя следующие субъекты взаимодействия: ЛПР, департамент по чрезвычайным ситуациям (ДЧС), объект защиты – ОН, объектовая пожарная часть (ОПЧ), отдел гражданской защиты (ОГЗ) (рисунок 2).

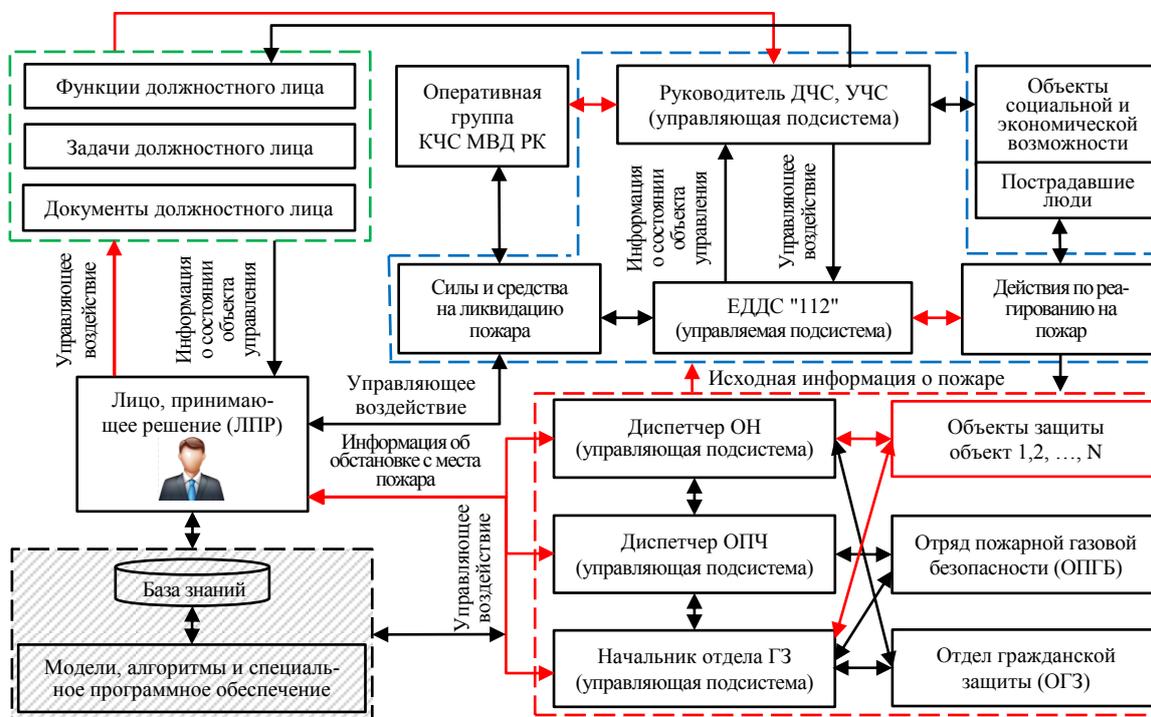


Рисунок 2 – Схема организации управления пожарной безопасностью объекта нефтепереработки РК

Анализ схемы управления показал отсутствие системы формирования информационного хранилища данных, баз знаний для учёта накопленного опыта. В связи с этим, следуя плану исследования, можно говорить о целесообразности формирования единой базы знаний для объектов нефтепереработки Казахстана для накопления и распределения данных с помощью моделей, алгоритмов и СПО. Для автоматизации формирования и ведения базы знаний необходима разработка комплекса критериев оценки произошедших пожаров (прецедентов) на объектах нефтепереработки.

Рассмотренная схема организации является базисом для разработки системы поддержки принятия решений и формирует основу для перехода от качественного описания результатов принятия решений к количественному. Предложена концепция, при которой основа для системы поддержки принятия решений представлена в виде базы знаний из взаимосвязанных фреймов (единиц информации, прецедентов) от качества описания и поиска которых (стандартизация, заложенная в алгоритме) во многом зависит скорость принятия решений.

В результате проведённого анализа уточнены и сформулированы основные задачи, которые необходимо решить для достижения цели исследования.

Во второй главе «Формирование базы знаний, моделей и алгоритмов системы поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки» создана база данных прецедентов по пожарам, произошедших на объектах нефтепереработки Республики Казахстан. Разработано «дерево прецедентов», модель и алгоритм поиска и адаптации прецедентов, модель и алгоритм прогнозирования ресурсов для тушения пожаров на объектах нефтепереработки и ранга пожара.

Систематизация накопленных данных для реализации процесса принятия решений при прогнозировании ресурсов пожарно-спасательных подразделений для тушения пожаров возможна на основе использования метода прецедентов, то есть описания ранее случившихся событий по единым параметрам. База данных прецедентов представляет собой хранилище ретроспективных данных и является частью базы знаний системы поддержки принятия решений. База знаний строится на основе метода прецедентов. Обобщённая схема структуры метода прецедентов с учётом рассматриваемой предметной области приведена на рисунке 3.

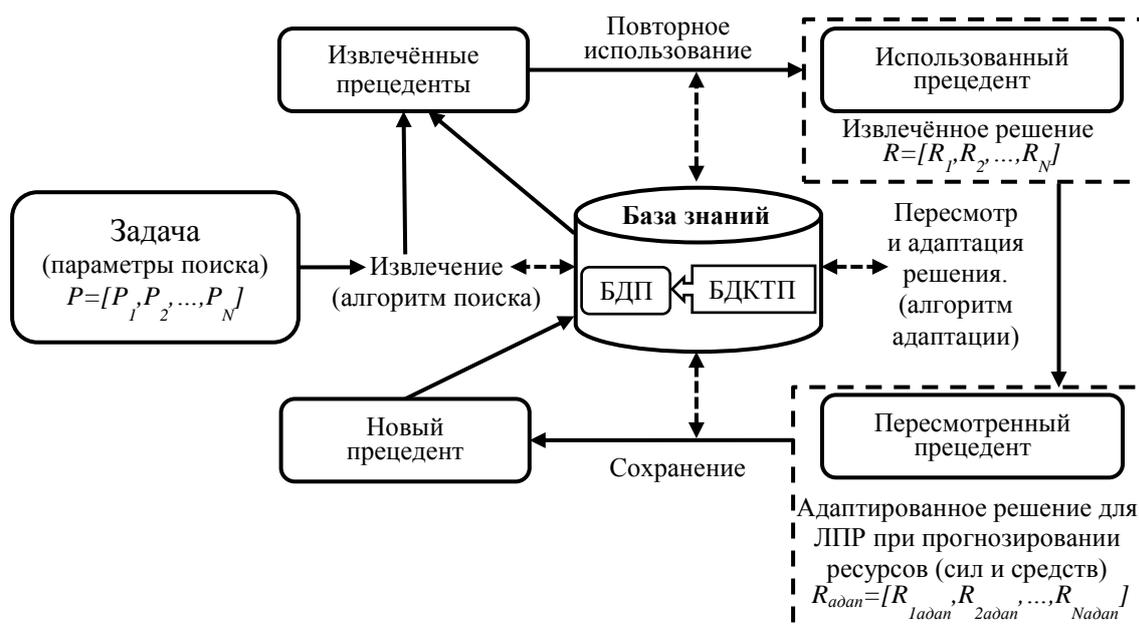


Рисунок 3 – Обобщённая структура применения метода прецедентов

Применение метода прецедентов для поиска информации из разработанной базы знаний происходит по следующим этапам:

- задача поиска оптимального решения (количество ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары ОН) формулируется в виде массива показателей прецедентов $P = [P_1, P_2, \dots, P_N]$;
- сопоставление новой информации с прецедентами, хранящимися в базе данных прецедентов (БДП), которая сформирована из базы данных карточек тушения пожара (БДКТП) для выявления аналогичных случаев;
- в наиболее близком к текущей проблеме извлечённом прецеденте формируются показатели решения $R = [R_1, R_2, \dots, R_N]$;

– адаптация выбранного решения к текущей проблеме представляется в виде $R_{adan} = [R_{1adan}, R_{2adan}, \dots, R_{Nadan}]$.

Проведено функциональное моделирование по нотации IDEF0, которое описывает организацию работы службы пожарной безопасности объектов нефтепереработки и представлено на рисунке 4. Функции системы пожарной безопасности на объекте нефтепереработки достаточно многочисленны, поэтому был выбран ряд процессов, представляющих важность для проводимого исследования: «Принять сигнал тревоги», «Принять оперативное решение», «Запротоколировать визуальную информацию» и др. На основе обращения к базе данных прецедентов функциональная модель организации работы службы пожарной безопасности объектов нефтепереработки в нотации IDEF0 может быть интегрирована в СППР.

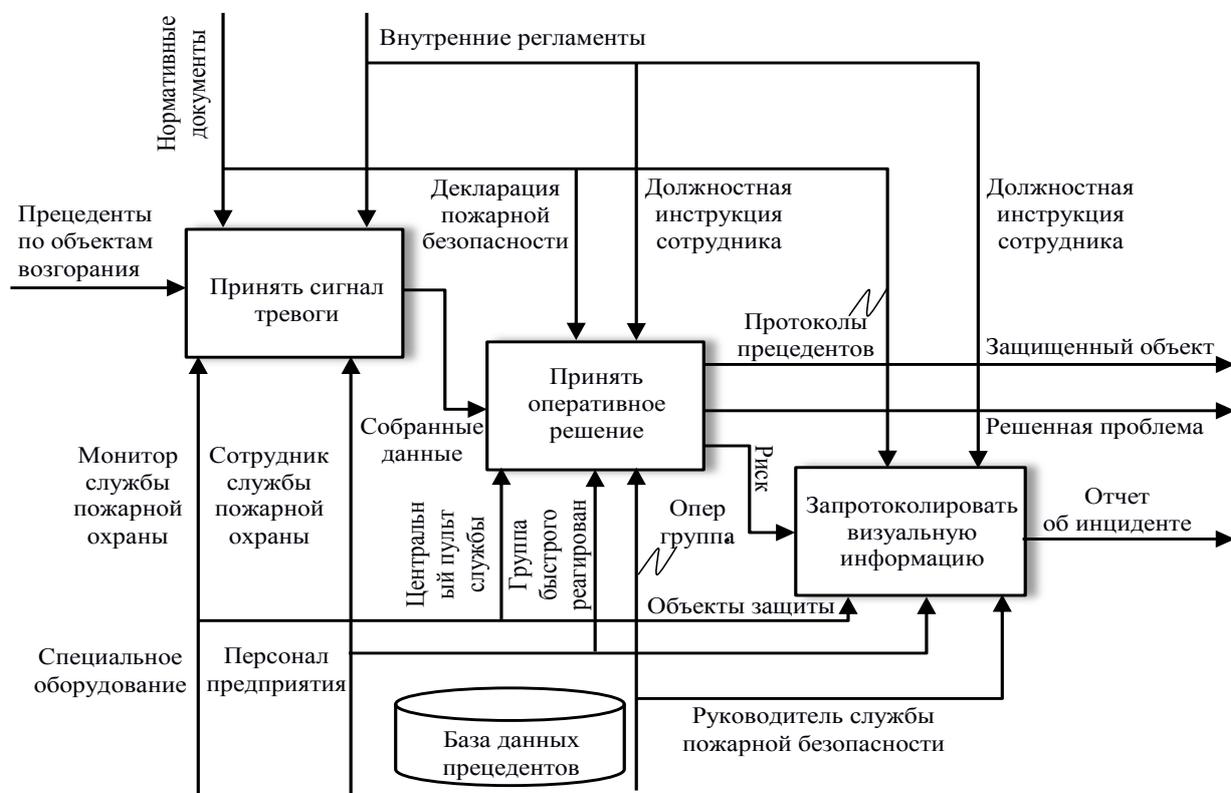


Рисунок 4 – Функциональная модель организации взаимодействия в системе управления пожарной безопасностью ОН в нотации IDEF0

Для структурирования данных в системе пожарной безопасности объектов нефтепереработки определена необходимость разработки информационной модели для применения прецедентного подхода в принятии решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки, которая осуществляет поиск прецедентов в структуре взаимосвязанных фреймов (рисунок 5).

Структура фрейма описывается следующим образом:

$$F: \{(N_i, Z_i)\}, \{C_i\}, \quad (1)$$

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

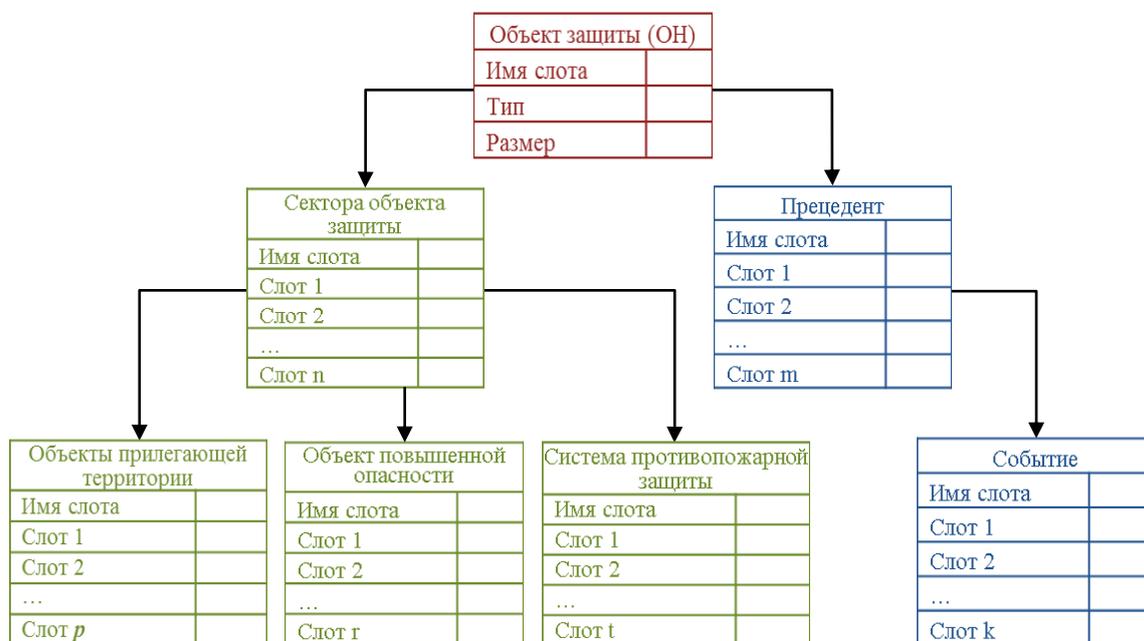


Рисунок 5 – Информационная модель описания прецедентов в виде фреймовой структуры

При поиске прецедентов в качестве расстояния между прецедентами принимается минимальное расстояние между кластерами, вычисляемое с помощью методики поиска одиночной связи, которая включает в себя поиск прецедентов в n -мерном пространстве по выбранным показателям. В качестве расстояния между объектами применено Евклидово расстояние:

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

где a и b – точки в n -мерном пространстве, i – порядковый номер показателя, x_{a_i} и x_{b_i} – 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 поиска одиночной связи определяются два кластера (P_r и P_m), расстояние между которыми будет равно наименьшему значению. В результате получаем иерархическую классификацию фреймов в базе знаний. Обобщенный алгоритм поиска и адаптации прецедентов из базы данных прецедентов представлен на рисунке 6.

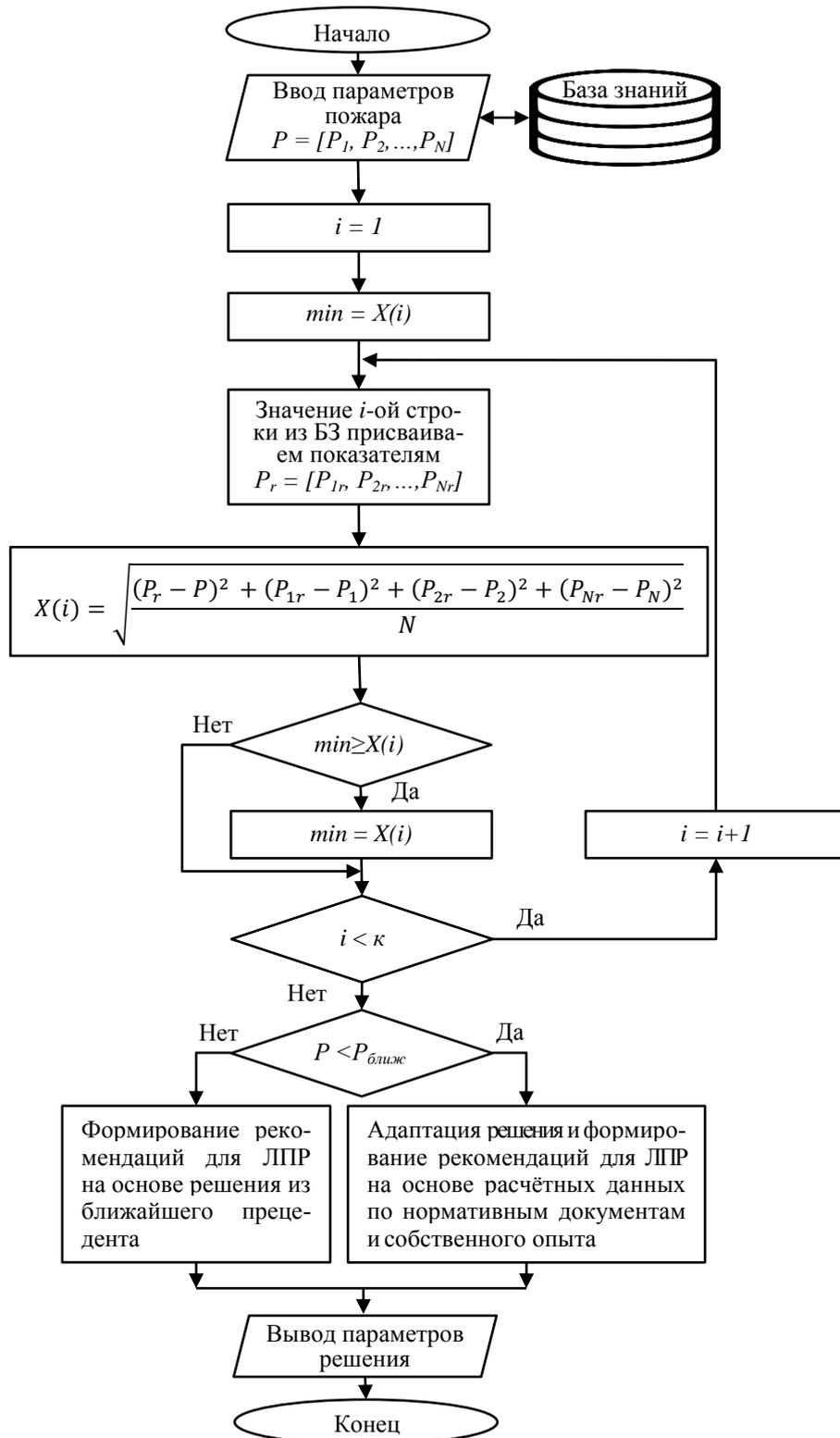


Рисунок 6 – Алгоритм поиска и адаптации прецедентов:

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

На основе разработанного алгоритма 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*. Интерфейс СПО для поддержки принятия решений представлен на рисунке 7.

Целью программы является поддержка принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары или ЧС на основе ретроспективных данных с использованием метода прецедентов и дискриминантного анализа.

Рисунок 7 – Интерфейс специального программного обеспечения системы поддержки принятия решений, диалоговая форма ввода данных по новому случаю

Главная диалоговая форма содержит список рассматриваемых параметров пожара (площадь объекта, площадь пожара, количество вещества и время горения). На основе введенных данных формируется выборка прецедентов с БДП по проценту сходимости с текущим пожаром, которая отображается на следующей диалоговой форме (рисунок 8).

Рисунок 8 – Интерфейс специального программного обеспечения системы поддержки принятия решений, диалоговая форма вывода и адаптации результата

Разработанное СПО может применяться для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений, необходимых для реагирования на пожары ОН, подготовке информационно-аналитической базы для принятия управленческих решений, направленных на повышение эффективности тушения пожаров на ОН.

Для оптимизации использования и повышения ценности имеющейся информации для совершенствования процедуры прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки ставится задача классификации для определения ранга пожара с использованием дискриминантного анализа.

Математическое описание процедуры дискриминантного анализа представлено в виде:

$$F(x) = \sum_{n=1}^k a_n X_n, \quad (3)$$

где $F(x)$ – дискриминантные переменные с их значениями, $a_0 \dots a_n$ – 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 путём выбора прецедентов из БДП $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$, где P_j – j -й прецедент с БДП 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 с объектов нефтепереработки, 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:

$$X_i = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{n1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1m} & \cdots & x_{nm} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

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 (рисунок 10).

Проведена классификация 180 фреймов из базы данных прецедентов по определению ранга пожара с использованием дискриминантного анализа, каждый фрейм характеризуется 4 параметрами, которые определены и обоснованы ранее в базе данных прецедентов и имеют численное значение:

- площадь объекта;
- площадь пожара;
- количество вещества;
- время свободного развития пожара.

Для обучения было взято 75 % данных из базы данных прецедентов, которые затем апробированы на оставшихся 25 %.

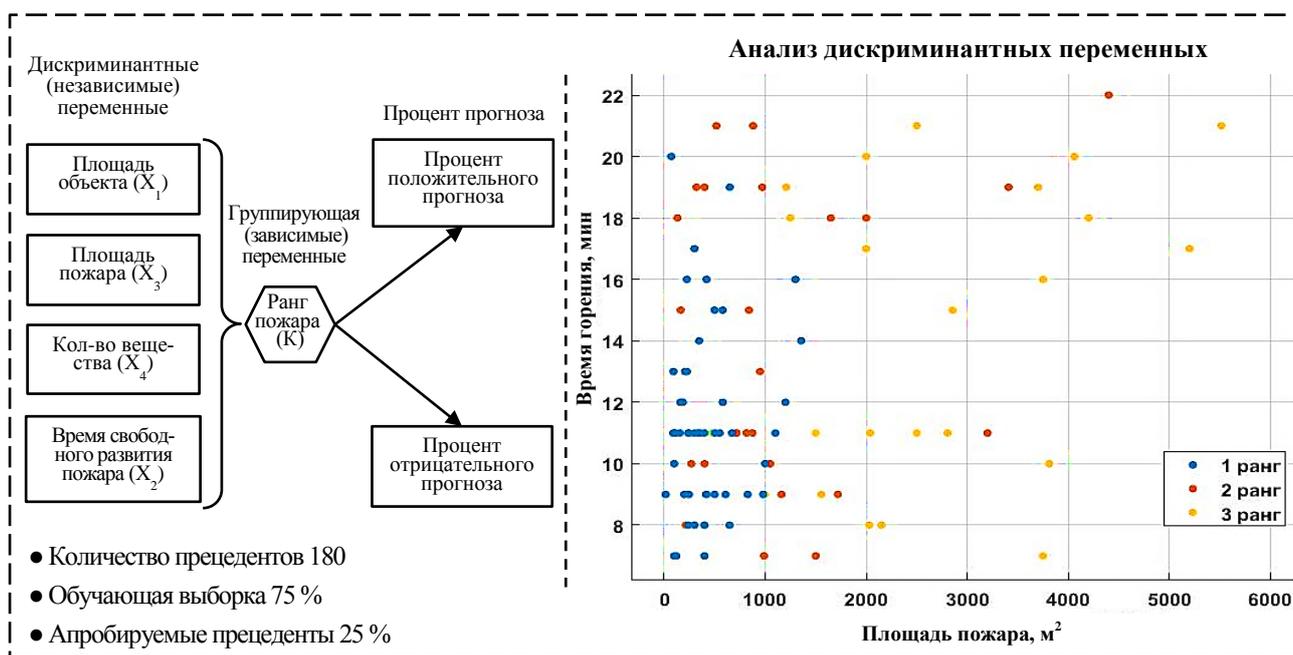
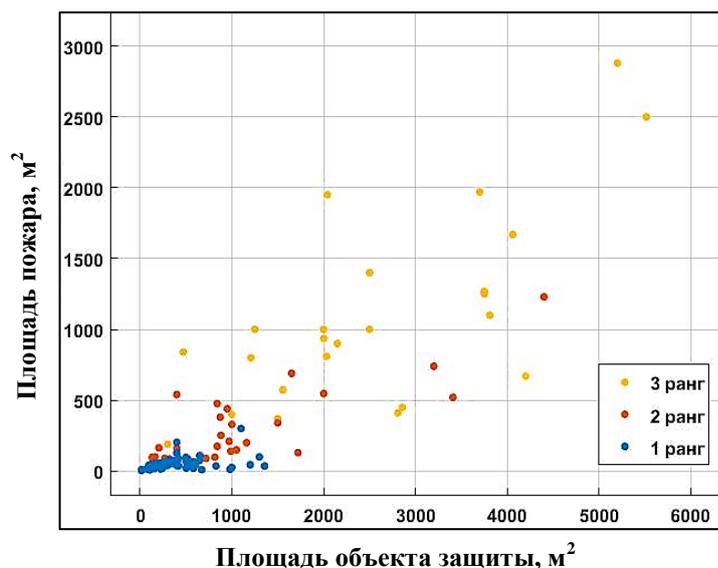


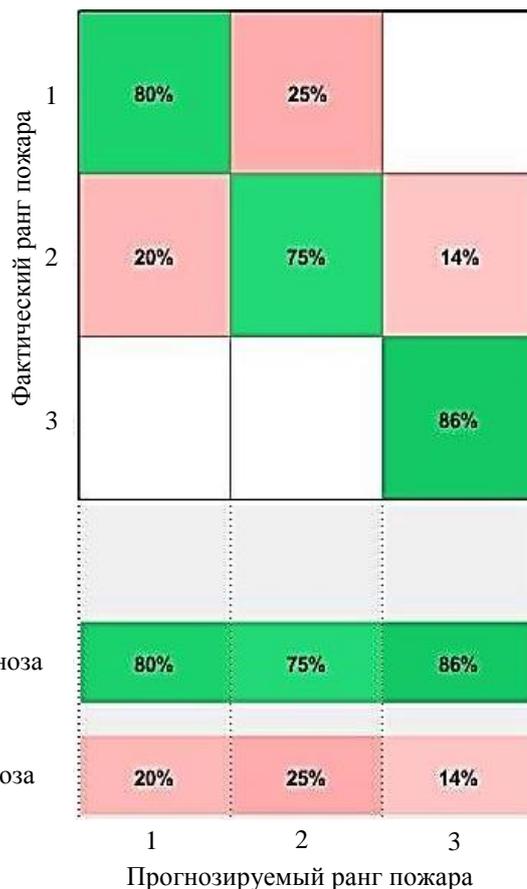
Рисунок 10 – Постановка задачи определения ключевых показателей для базы данных прецедентов с применением дискриминантного анализа

С помощью программно-математического комплекса *Matlab* проведена классификация каждого ранга пожара в виде матрицы с процентами точного прогнозирования (рисунок 11).

График исходных данных зависимости площади объекта защиты от площади пожара для 3 рангов пожара



Матрица оценки точности прогнозирования ранга пожара



Процент положительного прогноза

Процент отрицательного прогноза

$P1$ – количество вещества, т; $P2$ – площадь пожара, м²; $P3$ – площадь объекта, м²;
 $P4$ – время свободного развития пожара, мин.

Рисунок 11 – Матрица, демонстрирующая точность прогнозирования ранга пожара

По результатам проведённого дискриминантного анализа отобраны наиболее информативные показатели из обучающей выборки статистики пожаров на объектах нефтепереработки. В качестве результата для ЛПР определяется условный признак сложности пожара (ранг пожара) и прогнозируется количество необходимых ресурсов пожарно-спасательных подразделений для его тушения.

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.

В результате решения задачи классификации по определению ранга пожара с использованием дискриминантного анализа было выявлено, что данные из базы данных прецедентов, имеющие 1 и 3 ранг пожара, прогнозируются лучше, чем по 2 рангу пожара. Это можно объяснить

недостаточным количеством данных для обучающей выборки по 2 рангу пожара, большим разбросом данных и расплывчатостью границ между смежными рангами, т.е. возможную принадлежность данных по 2 рангу к различным рангам по каждому параметру.

В таблице 1 продемонстрирован результат тестирования СПО на примере 180 фреймов из БДП. Каждый фрейм характеризуется 5 параметрами.

Таблица 1 – Результаты поиска ближайшего прецедента

№	Показатели фреймов	<i>P1</i>	<i>P2</i>	<i>P3</i>	<i>P4</i>	<i>P5</i>	Среднее квадратичное отклонение %
		Площадь объекта, м ²	Площадь пожара, м ²	Кол-во вещества, т	Время свободного развития пожара, мин	Кол-во пострадавших на объекте	
0	Текущий случай	580	240	15,0	13	2	
1	Фрейм № 8	650	110	13,1	14	2	66,1
2	Фрейм № 13	400	204	8,6	8	4	53,2
3	Фрейм № 19	500	96	9,8	15	1	50,1
4	Фрейм № 28	950	440	24,1	13	1	43,4
5	Фрейм № 34	815	98	29,3	11	2	41,8
6	Фрейм № 45	840	175	23,1	15	1	40,6
7	Фрейм № 6	580	20	10,2	16	0	38,3
8	Фрейм № 98	645	500	25	18	2	33,7
9	Фрейм № 137	300	68	37,5	9	0	30,3
10	Фрейм № 3	170	11	2,8	8	0	24,5

В результате проведённого тестирования проведено ранжирование прецедентов, определён наиболее ближайший прецедент к текущему случаю.

Сформулированы 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;

3) предлагается с помощью СПО провести тест по 5 параметрам для определения сходимости прецедентов.

Проведён тест на сходимость, между текущей ситуацией по пожару и прецедентам из БДП, результаты которого представлены на рисунке 9.

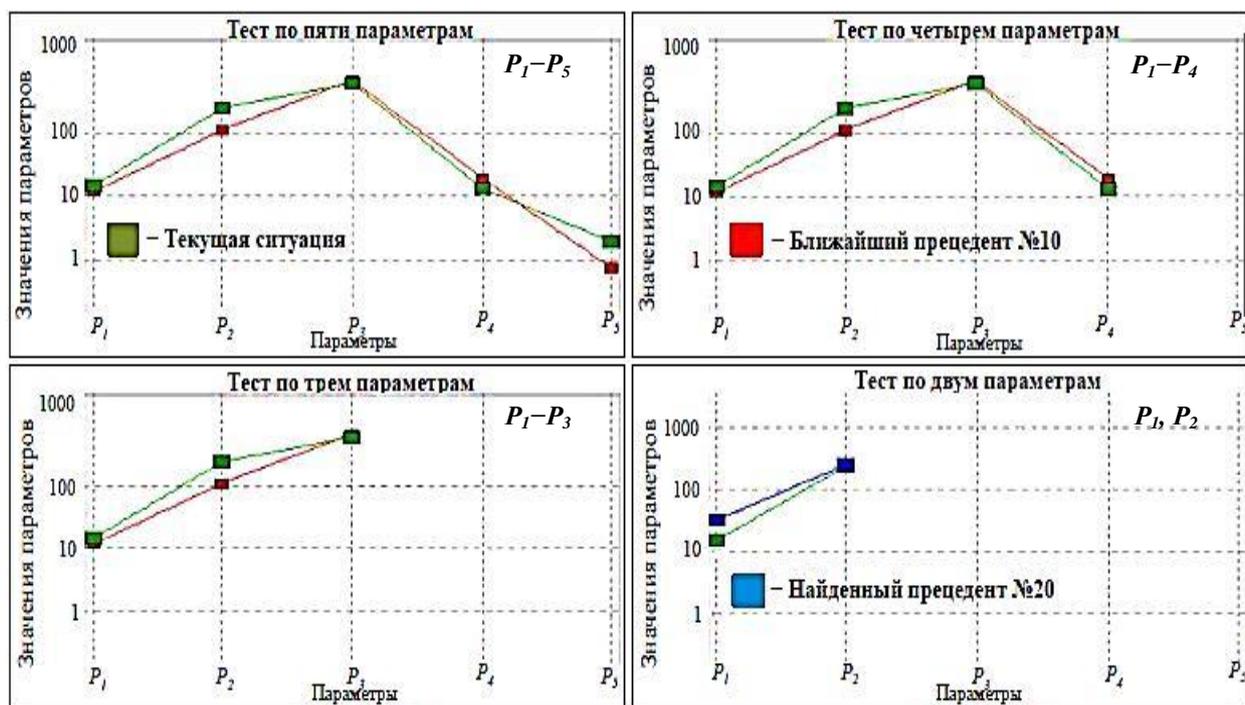


Рисунок 9 – Результаты тестирования на сходимость с помощью специального программного обеспечения

Результаты тестирования показали следующее:

- при тесте по двум параметрам «площадь пожара» и «количество вещества» выявляются разные по значениям прецеденты, совпадения между которыми невозможны;
- тест по трём параметрам определил, что для эффективного поиска прецедентов из базы данных прецедентов, необходимо использовать не менее трёх параметров;
- сделан вывод, что без двух из основных параметров («площадь пожара», «количество вещества», «площадь объекта защиты») среднее квадратичное отклонение между текущей ситуацией и найденным прецедентом будет отличаться в сотни и более раз.

В результате проведённого исследования выполнена компьютерная реализация теоретических положений прецедентного анализа в разрабатываемой системе поддержки принятия решений.

В третьей главе «Разработка и внедрение системы поддержки принятия решений для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки» разработана функциональная структура и алгоритм системы поддержки принятия решений, проведена практическая реализация и анализ эффективности разработанных моделей и алгоритмов.

По результатам проведённого исследования для представления механизма взаимодействия основных элементов системы поддержки принятия решений разработана её функциональная и алгоритмическая структура. На рисунке 12 представлена функциональная схема разработанной системы поддержки принятия решений.

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 направленно на решение целевой проблемы. 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 ЛПП» выдаётся допустимое решение, требующееся для достижения цели поддержки принятия решений.



Рисунок 12 – Функциональная схема системы поддержки управления для прогнозирования ресурсов пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки

Таким образом, целью системы поддержки принятия решений 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 на этой основе ресурсов

пожарно-спасательных подразделений при реагировании на пожары объектов нефтепереработки (рисунок 13).

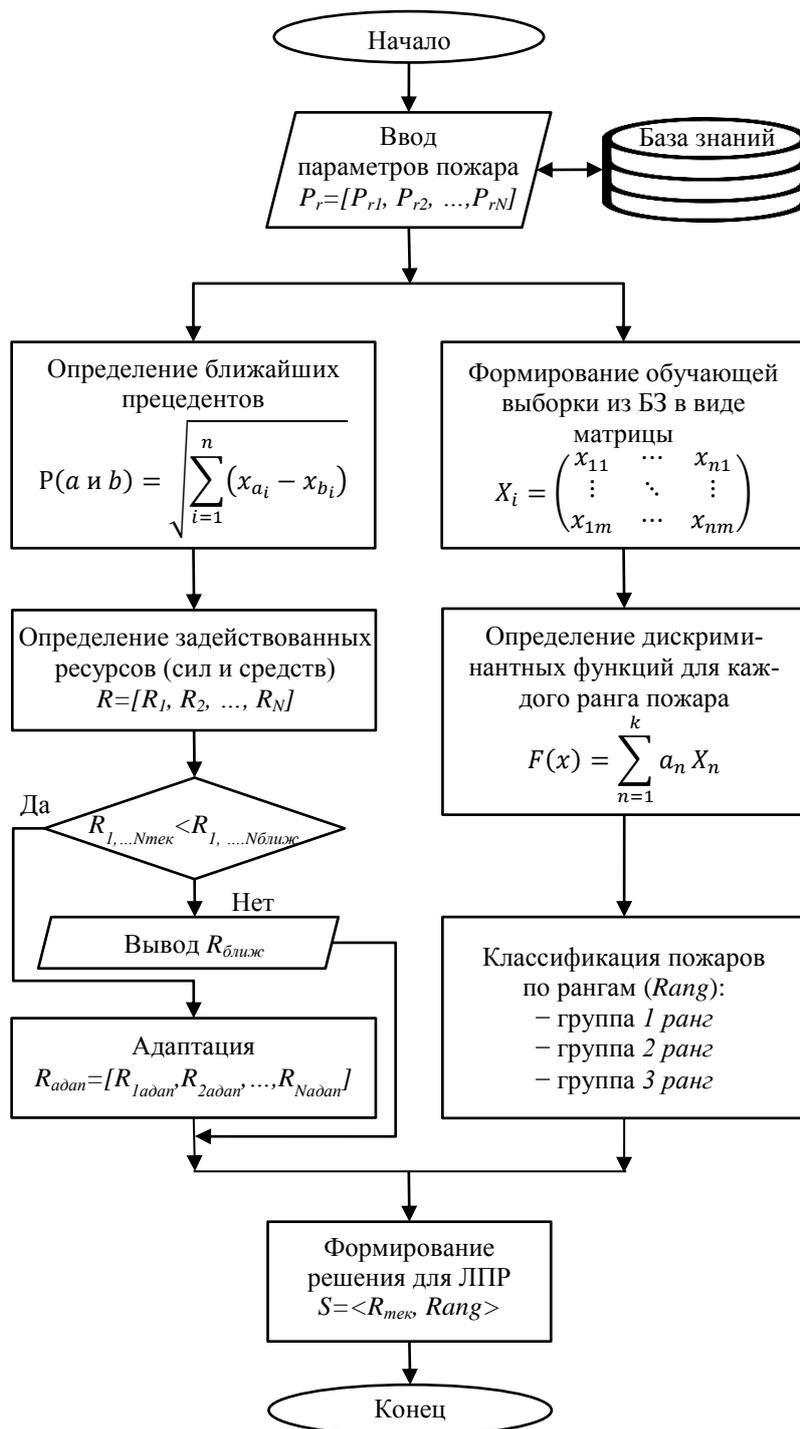
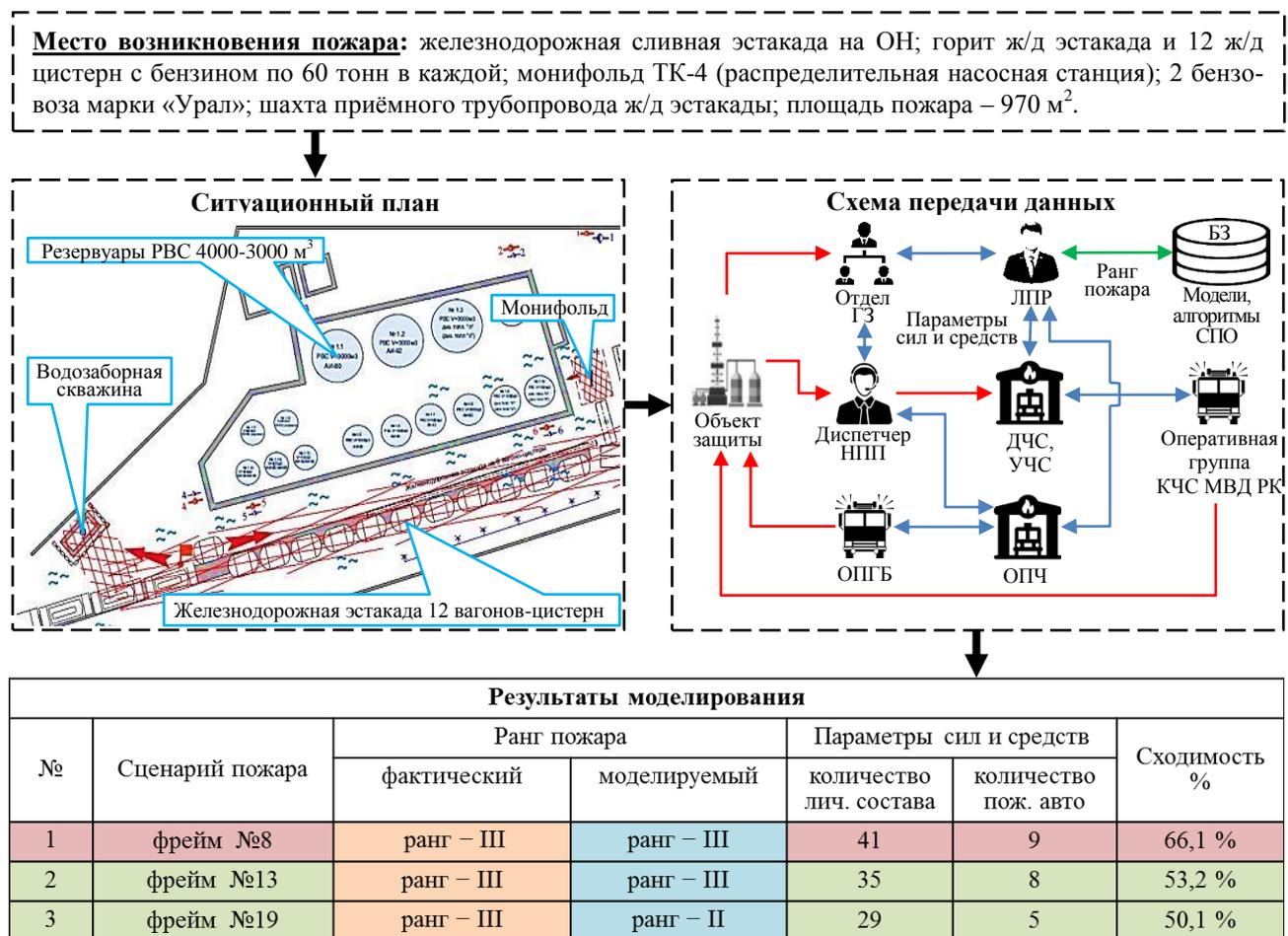


Рисунок 13 – Алгоритм интеграции моделей и процедур поддержки принятия решений по прогнозированию ресурсов пожарно-спасательных подразделений

На объектах нефтепереработки с учётом вероятного ущерба от пожаров данная система может работать в трёх режимах: при подготовке планирующей документации, в режиме реального времени и как средство при проведении учений пожарно-спасательных подразделений.

Показано практическое применение моделей, алгоритмов, специального программного обеспечения при поддержке принятия решений на объекте защиты. Рассмотрен пожар на объекте нефтепереработки, визуализировано место происшествия, схематично представлена взаимосвязь лица, принимающего решение, с участниками ликвидации пожара и разработанной базы знаний. 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 14, 15 и 16).



$P1$ – количество вещества, т; $P2$ – площадь пожара, м². $P3$ – площадь объекта, м²;
 $P4$ – время свободного развития пожара, мин.

Рисунок 14 – Практическое применение прецедентного подхода при поддержке принятия решений с использованием специального программного обеспечения

Как видно из рисунка 14, предложенная структура ориентирована для решения как прикладных, так и исследовательских задач, непосредственно связанных с процессами контроля и диагностирования, а именно:

- повышения производительности диагностирования за счёт использования накопленного опыта (ранее принятых решений по тушению пожаров);
- оценки эффективности различных управляющих воздействий и прогнозирование их последствий.

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

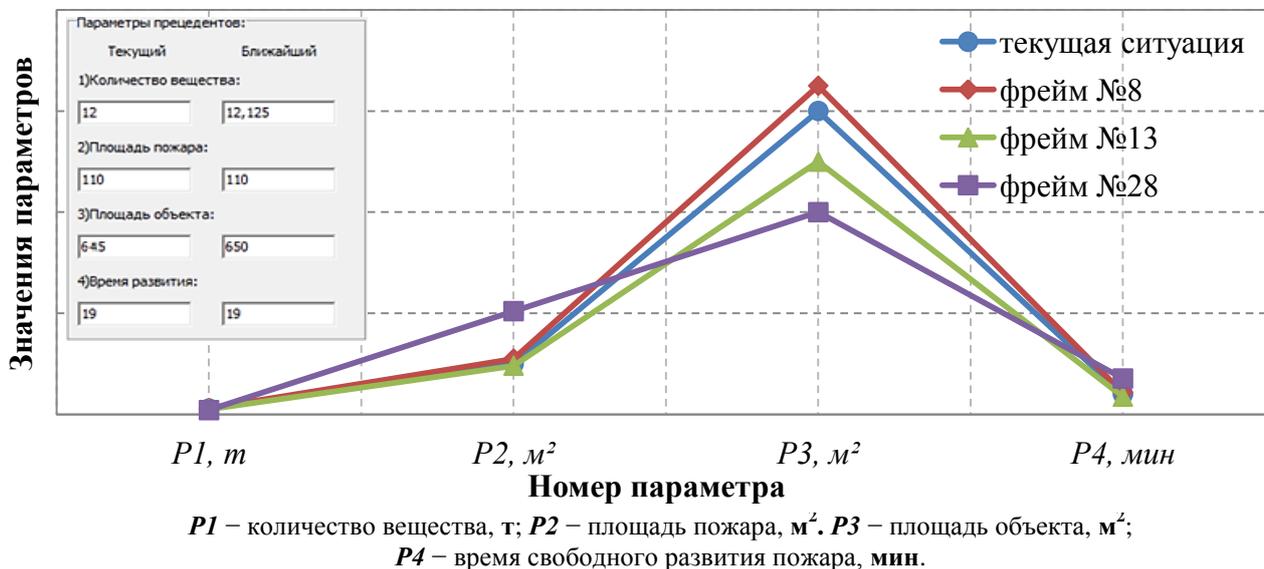


Рисунок 15 – Графический вывод результатов поиска прецедентов

Обоснованность принимаемых решений повышается за счёт применения функционирующей системы интеллектуальной поддержки принятия решений и соответствующей базы знаний, использующей собранные ретроспективные данные в области принятия решений при тушении пожаров на объектах нефтепереработки.

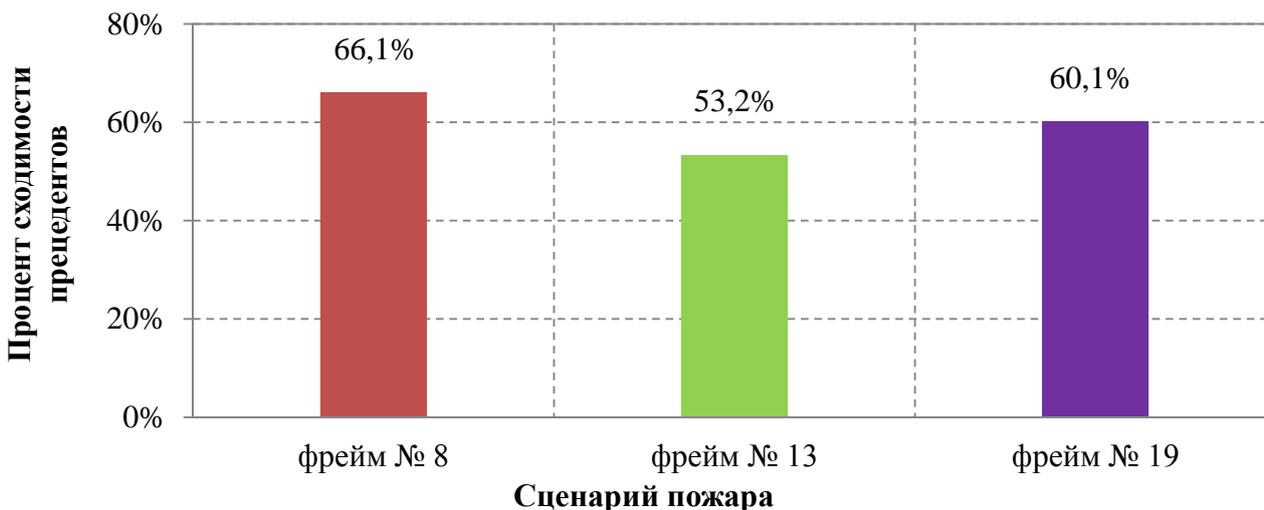


Рисунок 16 – Сравнение результатов моделирования на процент сходимости с текущей ситуацией

Для оценки эффективности применения разработанных моделей и алгоритма 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 объекта нефтепереработки был выявлен комплекс работ диспетчерской службы, отдела гражданской защиты и объектовой пожарной части. При помощи разработанного специального программного обеспечения, как инструмента интеллектуальной поддержки принятия решений, и на основе опроса специалистов были определены временные затраты на каждый рабочий этап, представленные в виде графиков Ганта. Были составлены графики для максимального и минимального по длительности вариантов выполнения работ.

На рисунке 17 представлены графики для оценки эффективности управления подразделениями на основе разработанной документации (с использованием и без использования СПО), требующих максимальных затрат времени на каждом этапе.

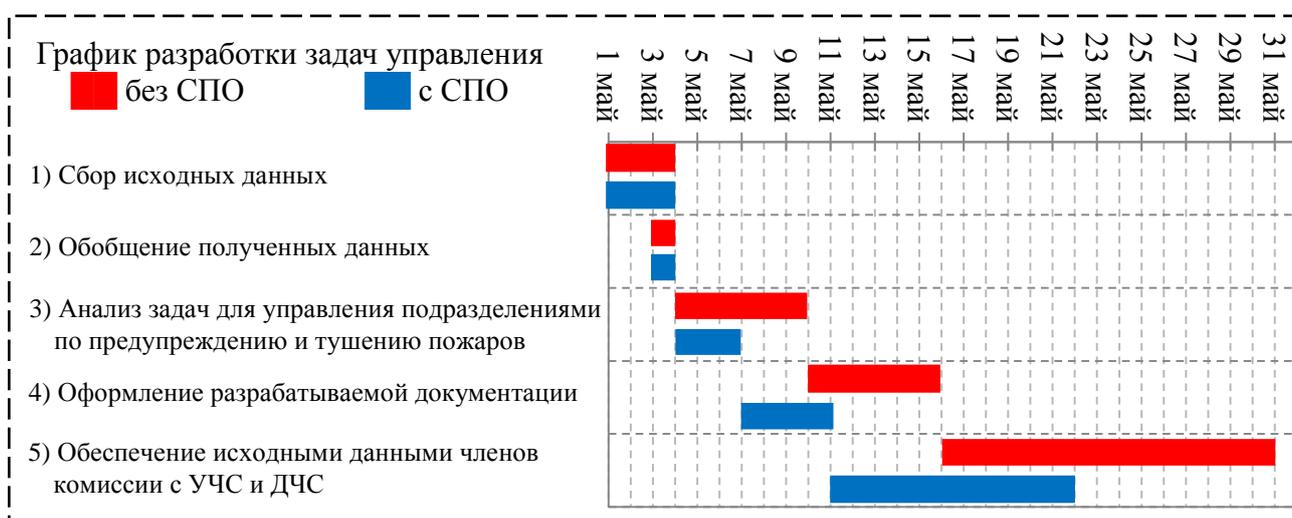


Рисунок 17 – Анализ эффективности precedentного подхода при поддержке принятия решений с использованием и без использования СПО

Проведённый анализ эффективности разработанного специального программного обеспечения показал следующее:

- затраты времени при составлении задач для управления подразделениями сократились 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.

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

В приложении приведены листинг коды разработанной программы для ЭВМ, свидетельство о государственной регистрации, акты внедрения результатов диссертационной работы.

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 путем 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 учетом 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. Определено, 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.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих периодических изданиях из перечня ВАК:

1. 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.

2. 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.

3. Мусайбеков, А.Г. Информационная система экспертной поддержки управления пожарной безопасностью производственных объектов [Текст] / Н.Ю. Зуев, Р.Ш. Хабибулин, Е.А. Мешалкин, Б.М. Пранов, В.В. Симаков, А.Г. Мусайбеков, А.В. Спиридонов, К.А. Белкин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 3. – С. 21–25.

4. 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 (Вестник Воронежского института ГПС МЧС России). – 2020. – № 1 (30). – С. 56–64.

Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ:

5. Мусайбеков, А.Г. Программное средство «АРМ системы поддержки принятия решений для специалиста пожарной безопасности НПЗ» / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин, В.С. Ухатов // Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ от 28.02.2020 №2020612655.

Остальные публикации по теме диссертационной работы:

6. Мусайбеков, А.Г. Решение оптимизационных задач в вопросах управления пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих предприятиях [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин // Проблемы техносферной безопасности – 2018: материалы VII международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 87–92.

7. Мусайбеков, А.Г. Современные проблемы и разработка концепции комплексного управления пожарной безопасностью на нефтеперерабатывающих предприятиях [Текст] / А.Г. Мусайбеков // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. – 2018. – № 4 (32). – С. 83–86.

8. Мусайбеков, А.Г. Разработка базы прецедентов типового нефтеперерабатывающего завода для формирования информационной системы управления пожарной безопасностью [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин // Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XVIII международной научно-методической конференции. – Воронеж: Научно-исследовательские публикации, 2019. – Т. 2. – С. 1779–1783.

9. 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 – 2019: материалы X международной научно-практической конференции. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2019. – С. 127–130.

10. Мусайбеков, А.Г. Технология ситуационного управления пожарной безопасностью нефтеперерабатывающего предприятия на основе метода прецедентов [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин // Проблемы техносферной безопасности – 2019: материалы VIII международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 69–75.

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

12. Мусайбеков, А.Г. Обработка базы данных прецедентов для определения решающих функций в задачах классификации [Текст] / А.Г. Мусайбеков // Вестник Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям МВД Республики Казахстан. – 2020. – № 2 (38). – С. 75–79.

13. Мусайбеков, А.Г. Решение задачи классификации для определения ранга пожара на основе дискриминантного анализа [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения: материалы международной научно-практической конференции. – СПб: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2020. – С. 149–155.

14. Мусайбеков, А.Г. О применении прецедентного подхода при поддержке принятия решений с использованием специального программного обеспечения на объекте защиты [Текст] / А.Г. Мусайбеков, Р.Ш. Хабибулин // Пожарная безопасность объектов хозяйствования: сборник материалов международного семинара. – Кокшетау: КТИ КЧС МВД РК, 2020. – С. 48–50.