

На правах рукописи

Смирнов Андрей Владимирович

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ
ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРЕДПРИЯТИЙ
ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

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 автоматизирован-
ных систем и информационных технологий
ФГБОУ ВО «Академия ГПС МЧС России»

Официальные оппоненты: **Порошин Александр Алексеевич,**
доктор технических наук, старший научный
сотрудник, начальник научно-
исследовательского центра организационно-
управленческих проблем пожарной безопасно-
сти ФГБУ ВНИИПО МЧС России

Щепкин Александр Васильевич,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник Института про-
блем управления им. В.А. Трапезникова Рос-
сийской академии наук

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

Защита диссертации состоится «22» апреля 2020 года в 14:00 на заседа-
нии диссертационного совета Д 205.002.01 в Академии Государственной про-
тивопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Га-
лушкина, 4, зал диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС
России и на сайте:
<https://academygps.ru/upload/iblock/20b/20b4ada27aec084b9091ad9324e4775.pdf>

Автореферат разослан «26» февраля 2020 г.

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

Учёный секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Химическая промышленность – одна из ведущих отраслей экономики, определяющих темпы и направление научно-технического развития. В настоящее время в Российской Федерации функционирует более 1000 крупных предприятий и организаций химической промышленности. Анализ статистических данных показал, что пожары на предприятиях химической промышленности характеризуются высокой степенью опасности, вызванной тяжкими последствиями социального, экологического и экономического характера. Средний материальный ущерб от одного пожара на предприятиях химической промышленности значительно выше, чем средний ущерб от общего количества пожаров, а крупные пожары на химических предприятиях носят масштабы катастроф. Так, при пожаре в г. Яньчэн (Китай) 21.03.2019 погибло 64 человека, а 28 человек числятся пропавшими без вести. Более 600 человек получили при взрыве ранения различной степени тяжести. К косвенным потерям относится повреждение более 1600 домов.

Проблема управления пожарной безопасностью на производственных предприятиях предусматривает в процессе принятия решений использование большого объема информации с существенным ограничением по времени ее обработки и одновременного достижения нескольких целей системой управления. Поэтому принятие оперативных, обоснованных и рациональных решений требует применения агентной системы поддержки принятия решений.

Необходимость разработки систем поддержки принятия решений, в том числе, обусловлена нормативными требованиями постоянного повышения уровня обеспечения безопасности промышленных систем. Здесь под безопасностью подразумевается не только прямое значение данного термина, но и совокупное взаимодействие элементов сложных систем и повышение эффективности их функционирования. Для предприятий химической промышленности в области обеспечения пожарной безопасности действует совокупность требований различных нормативных документов и нормативно-правовых актов (Федеральные законы: от 21.07.1997 №116-ФЗ, от 11.03.2013 №96-ФЗ, от 22.07.2008 №123-ФЗ; Указ Президента РФ от 01.01.2018 г. № 2 и др.).

Таким образом, актуальность проведенного исследования вызвана необходимостью разработки методов и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений при распределении ресурсов для обеспечения пожарной безопасности предприятий химической промышленности, а также их реализации в виде компьютерных информационных систем, позволяющих снизить время принятия решений в условиях большого количества исходной информации за счет применения интеллектуальных методов и риск-ориентированного подхода. Под ресурсами в рассматриваемой системе понимаются условные расходы для обеспечения пожарной безопасности объектов защиты, а именно для предотвращения и тушения пожаров, проведения организационно-технических мероприятий.

Степень разработанности темы. Проблемы повышения эффективности управления ресурсами для обеспечения пожарной безопасности с применением

информационных технологий и систем поддержки принятия решений (СППР) исследовались многими учеными:

1. Вопросы автоматизации и СППР: Брушлинский Н.Н., Бурков В.Н., Бутузов С.Ю., Галишев М.А., Демехин В.Н., Денисов А.Н., Коробко В.Б., Матвеев А.В., Мешалкин Е.А., Минаев В.А., Нефедьев С.А., Порошин А.А., Прус Ю.В., Сатин А.П., Седнев В.А., Соколов С.В., Станкевич Т.С., Таранцев А.А., Топольский Н.Г., Федоров А.В., Хабибулин Р.Ш., Членов А.Н., Щепкин А.В., David Caballero, Peter Moore и др.

2. Вопросы агентного подхода: Богатиков В.Н., Еременко Ю.И., Мутовкина Н.Ю., Основина О.Н., Скобелев П.О., Тараканов Д.В., Тарасов А.Д., Топольский Н.Г., Швецов А.Н., Yongcan Cao, Emilio Frazzoli, Shaun Howell и др.

Однако в рассмотренных работах не в полной мере решены проблемы повышения уровня эффективности управления ресурсами для целей пожарной безопасности с учетом опыта принятых ранее решений и мнения экспертов. За исключением небольшого количества работ многие исследования не дошли до практической реализации по причине трудоемкости компьютерных моделей, то есть, так и остались на теоретическом уровне, однако внесли существенный вклад в развитие теории агентного подхода. Во многом не отражены вопросы применения многоагентных систем (МАС) в области поддержки управления пожарной и промышленной безопасностью на производственных объектах с учетом риск-ориентированного подхода.

Объект исследования – система управления пожарной безопасностью предприятий химической промышленности.

Предмет исследования – информационно-аналитическая поддержка управления при распределении ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности.

Цель исследования – совершенствование управления пожарной безопасностью предприятий химической промышленности путем разработки и практического применения моделей и алгоритмов поддержки управления распределения ресурсов на основе агентного подхода.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- проведение анализа системы обеспечения пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности для формализации проблем принятия решений при распределении ресурсов;

- разработка модели и алгоритмов поддержки принятия решений при распределении ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности на основе агентного подхода;

- разработка специального программного обеспечения поддержки принятия решений при управлении ресурсами пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности;

- апробация, оценка эффективности специального программного обеспечения поддержки принятия решений при управлении ресурсами в целях обеспечения пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности.

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

- математическая модель, отличительной особенностью которой является описание распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности между агентами социально-экономической системы (предприятие химической промышленности) на основе моделирования закономерностей взаимодействия центра управления с агентами при одновременном учете опыта принятых ранее решений и мнения экспертов;

- алгоритмы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в агентной системе обеспечения пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности, новизна которых заключается в учете предпочтений центра управления при его взаимодействии с агентами системы в задачах планирования распределения ресурсов;

- функциональная структура системы поддержки принятия решений при управлении ресурсами для обеспечения пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности, позволяющая реализовать процедуры ранжирования вариантов относительно предпочтений центра управления, формализованных путем обобщения опыта ранее принятых решений и экспертных процедур.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методов агентного моделирования сложных социально-экономических систем управления за счет разработки алгоритмов поддержки принятия управленческих решений в системе управления ресурсами для обеспечения пожарной безопасности предприятий химической промышленности и моделей оценки эффективности их практического применения.

Практическая значимость работы заключается в создании информационной системы поддержки принятия решений при управлении ресурсами для обеспечения пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности, позволяющей при решении практических задач учесть активное влияние человека не только на процесс управления, но и выбора оптимального и экономически выгодного состава ресурсов с учётом минимизации параметров их применения на основе риск-ориентированных моделей обеспечения пожарной безопасности, повысить оперативность и эффективность процедур принятия решений.

Методология и методы исследования. В диссертации для решения задач исследования использованы методы агентного моделирования сложных социально-экономических систем управления; методы системного анализа и синтеза процедур поддержки принятия решений; методы теории вероятностей и математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

- математическая модель взаимодействия агентов и центра управления при распределении ресурсов в системе обеспечения пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности;

- алгоритмы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в агентной модели системы обеспечения пожарной безопасностью на предприятиях химической промышленности;

- система поддержки принятия решений при управлении ресурсами пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности;

- результаты оценки эффективности применения информационной системы при планировании распределения ресурсов пожарной безопасности на предприятии химической промышленности, подтверждающие целесообразность применения разработанной СППР.

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

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы доложены на международной научно-практической конференции «Чрезвычайные ситуации: Теория. Практика. Инновации» (Беларусь, г. Гомель 2016 г.), международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (Москва, 2017 – 2019 гг.), международной научно-технической конференции «Системы безопасности – 2017» (Москва, 2017 г.), XVIII международной научно-методической конференции «Информатика: проблемы, методология, технологии» (Воронеж, 2018 г.), V Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием «Информатика, управление и системный анализ» (Ростов-на-Дону, 2018 г.), 21-й международной научной конференции по прикладным информационным системам International Conference on Enterprise Information Systems ICEIS-2019 (Греция, г. Ираклион), Всероссийском совещании по проблемам управления, посвященном 80-летию Института проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН (Москва, 2019), научно-технических семинарах учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий Академии ГПС МЧС России (2016 – 2019 гг.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них 4 – в изданиях, рекомендованных ВАК России для публикации научных результатов на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук по специальности 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах, и 1 – в издании, индексируемом в базе данных Scopus. Получено 2 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Личный вклад автора. В совместных публикациях результаты, связанные с разработкой агентной модели управления при распределении ресурсов в системе обеспечения пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности (далее – объект защиты), алгоритмов поддержки принятия решений при управлении ресурсами в агентной модели, информационной системы поддержки принятия решений и процедур оценки эффективности информационной системы, получены автором лично.

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы нашли свое применение:

- на предприятии химической промышленности АО «ИВХИМПРОМ» для планирования распределения ресурсов при управлении пожарной безопасностью;

- на предприятии ООО «Туапсинский Балкерный Терминал», входящем в состав АО «МХК «ЕвроХим», для планирования распределения ресурсов при управлении пожарной безопасностью;

- в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при подготовке учебных пособий и методических рекомендаций по изучению дисциплин «Информационные технологии управления в РСЧС» и «Информационно-аналитические технологии в ГМУ»;

- в научно-исследовательской работе по теме «Разработка интеллектуальных методов оптимизации мероприятий по управлению пожарными рисками на нефтегазовых объектах» в части распределения ресурсов для управления пожарной безопасностью и снижения негативных последствий от реализации деструктивных событий (регистрационный номер НИОКТР – АААА-А17-117062010033-2).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 163 страницы. Работа иллюстрирована 41 рисунком и содержит 22 таблицы и 4 приложения. Список литературы включает в себя 111 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе «Проблемы принятия управленческих решений при обеспечении пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности» проведен статистический анализ данных о пожарах на объектах защиты, где показано, что средний общий ущерб от одного пожара значительно выше в сравнении с пожарами на других предприятиях страны. В свою очередь крупные пожары на объектах защиты носят катастрофический характер, что подтверждают результаты анализа крупных пожаров на объектах защиты за последние 50 лет как в России, так и за рубежом. Крупные пожары на подобных объектах несут большой материальный и экологический ущерб, являются наиболее сложными с точки зрения тактики тушения и требуют для локализации и ликвидации сосредоточения пожарных подразделений нескольких пожарно-спасательных гарнизонов, что определяет существенные затраты на борьбу с ними. Поэтому развитие системы пожарной безопасности объектов защиты является важной социально-экономической задачей, обеспечивающей профилактику химических угроз общественной безопасности Российской Федерации. В диссертации в качестве характерного для объектов защиты рассмотрен взрыв и последующий пожар на заводе ОАО «ИВХИМПРОМ», используемый в дальнейшем как объект апробации и внедрения научных результатов.

Анализ расходов указанного предприятия показал, что 5% составляют расходы, связанные с обеспечением пожарной безопасности (рисунок 1).

Одним из актуальных направлений обеспечения пожарной безопасности объектов защиты является внедрение современных систем пожаровзрывобезопасности, однако отсутствие формализованных процедур распределения ресурсов для этих целей является существенным препятствием на пути своевременного внедрения современных систем безопасности. На практике наблюдается конкуренция за ресурсы различных по функциональной и тематической направленности систем противопожарной защиты (агентов) объектов защиты. Анализ подходов к решению проблемы конкуренции при распределении ресурсов показал, что наиболее результативно при моделировании конфликтных ситуаций использовать многоагентный подход. Многоагентные технологии наиболее распространены применительно к решению задач автоматизации управления сложными социально-экономическими системами, широко применяются в управлении ресурсами в таких сферах, как проектирование объектов, безопасность жизнедеятельности, промышленное производство, финансовое планирование и анализ рисков, и решение других сложных проблем. Исследования специфики разработки и внедрения в практику системы поддержки принятия решений на базе многоагентных моделей определили необходимый перечень функций: 1 – возможность удаленного доступа центра управления; 2 – изменение визуализации процедур взаимодействия агентов в динамике; 3 – корректировка алгоритмов принятия решений в агентной модели. Система данных функций позволяет использовать многоагентный подход как теоретическую основу для распределения ресурсов пожарной безопасности объектов защиты.



Рисунок 1 – Анализ расходов предприятия

Сформулирована научная задача, состоящая в разработке теоретических основ управления ресурсами для обеспечения пожарной безопасности на объектах защиты с использованием агентного подхода. Для решения поставленной научной задачи необходимо: 1 – разработать агентную модель и оценить закономерности взаимодействия агентов и центра управления при распределении ресурсов в системе обеспечения пожарной безопасности; 2 – сформировать алгоритмы поддержки принятия решений при управлении ресурсами в агентной модели; 3 – реализовать модель и алгоритмы в виде информационной системы

поддержки принятия решений; 4 – разработать критерий и предложить процедуру оценки эффективности информационной системы при решении практических задач.

Во второй главе «Агентная модель и алгоритмы поддержки принятия решений при управлении ресурсами пожарной безопасности» разработана агентная модель задачи планирования распределения ресурсов на основе информации о предпочтениях центра управления с учётом минимизации параметров их применения на основе риск-ориентированных моделей обеспечения пожарной безопасности, получаемой с использованием анализа опыта принятых ранее решений и/или на основе мнения экспертов о важности агентов в системе. В отличие от известных, в модели производится распределение ресурсов между агентами сложной социально-экономической системы на основе определения закономерностей взаимодействия центра управления с агентами, учитывая опыт принятых ранее решений и мнения экспертов. Это позволяет рассматривать широкий класс задач планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности.

Общая структура агентной модели управления ресурсами с учетом результатов ее формализации представлена на рисунке 2.



Рисунок 2 – Структура агентной системы

Агентный подход заключается в ранжировании целей агентов по важности относительно общей цели центра управления, то есть назначении параметров важности целей – ω_i и исключении тех целей, для реализации которых отсутствуют ресурсы. В соответствии с данным подходом исключенные цели системы должны иметь наихудшие оценки по результатам их ранжирования, то

есть цели, для которых $\omega_i \rightarrow \min$. Для поиска целей с минимальными коэффициентами ранжирования в агентной системе целесообразно осуществить формальную постановку задачи, которая включает в себя: 1 – варианты распределения ресурсов в модели $x_i \in X$, $i = 1, \dots, n$; 2 – компонент-цели агентной системы $f_i \in F$, $s = 1, 2, \dots, m$. Целевая функция системы определяется по формуле:

$$\Phi = \sum_{s=1}^m \omega_s f_s, \sum_{s=1}^m \omega_s = 1. \quad (1)$$

Принимается, что в агентной постановке решение задачи распределения ресурсов сводится к определению долей ресурсов – коэффициентов ω_i .

На основе формальной постановки задачи распределения ресурсов разработана математическая модель поддержки принятия решений для управления ресурсами пожарной безопасности, позволяющая производить оценку показателей важности ω_i с использованием экспертного мнения и шкалы высказываний при парных сравнениях компонент целей агентной модели и формализации парных сравнений вариантов распределения ресурсов на основе опыта принятых ранее решений.

Математическая модель поддержки принятия решений для управления ресурсами пожарной безопасности состоит из трех основных частей.

В первую очередь производится распределение компонент-целей по группам важности A с номерами i и B с номерами j , расчет значений показателей важности компонент-целей.

Для случая применения шкалы высказываний при парных сравнениях компонент-целей агентной модели показатели важности K_{ij} определяются по формуле:

$$K_{ij} = \exp\left((-1)^n \cdot g \cdot Z_{ij}\right), i \in A, j \in B, \quad (2)$$

где g – параметр модели; Z_{ij} – балльные значения высказываний; n – направленность высказываний: $n = 1$, если высказывание «прямое», и $n = 2$, если высказывание «обратное». Предложено использовать для расчета показателей важности компонент-целей шкалу, предложенную Ф. Лутсма с областью допустимых значений Z : $\langle 0, 2, 4, 6, 8, 10 \rangle$ и параметром шкалы $g = 0,5$.

Для случая применения парных сравнений вариантов распределения ресурсов на основе опыта принятых ранее решений ($X_1 \approx X_2$) показатели важности составляют величину:

$$K_{ij} = S_i \cdot S_j^{-1}, i \in A, j \in B, \quad (3)$$

K_{ij} – показатель важности компонент-целей с номерами $i \in A$ и $j \in B$; $S_{i,j}$ – разности компонент-целей анализируемых вариантов управленческих решений. Здесь распределение компонент-целей агентной системы по группам важности производится, исходя из условий: $i \in A$: $S_i = f_i(X_1) - f_i(X_2) > 0$; $j \in B$:

$S_j = f_i(X_1) - f_i(X_2) < 0$, где X_1 и X_2 пара вариантов и их векторные оценки $F(X_1) = \{f_1(X_1); f_{\dots}(X_1); f_m(X_1)\}$; $F(X_2) = \{f_1(X_2); f_{\dots}(X_2); f_m(X_2)\}$.

Далее формируется матрица предпочтений центра управления агентной модели, в которой количество строк равно количеству компонент-целей из группы A , количество столбцов – количеству компонент-целей из группы B .

В таблице 1 обозначено: a – количество компонент-целей в группе A и b – количество компонент-целей в группе B соответственно. Элементами матрицы предпочтений являются показатели относительной важности, рассчитанные по формуле:

$$\theta_{ij} = (1 + K_{ij})^{-1}. \quad (4)$$

Таблица 1 – Матрица предпочтений показателей относительной важности

$i \backslash j$	1	...	b	Σ
1	θ_{11}	$\theta_{1\dots}$	θ_{1b}	$\sum_{j=1}^b \theta_{1j}$
...	$\theta_{\dots 1}$	$\theta_{\dots \dots}$	$\theta_{\dots b}$	$\sum_{j=1}^b \theta_{\dots j}$
a	θ_{a1}	$\theta_{a\dots}$	θ_{ab}	$\sum_{j=1}^b \theta_{aj}$
Σ	$\sum_{i=1}^a \theta_{i1}$	$\sum_{i=1}^a \theta_{i\dots}$	$\sum_{i=1}^a \theta_{ib}$	$\sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a \theta_{ij}$

В завершение производится расчет показателей важности функции (1) на основе показателей относительной важности:

для всех компонент-целей из группы A

$$\omega_i = \frac{\sum_{j=1}^b \theta_{ij}}{ab}, \quad (5)$$

для всех компонент-целей из группы B

$$\omega_j = \frac{a - \sum_{i=1}^a \theta_{ij}}{ab}. \quad (6)$$

Расчет параметров важности в функции (1) произведен путем формирования систем линейных уравнений и их решение методом Крамера $\omega_{i,j} = \frac{\Delta_{ij}}{\Delta}$,

где определители матриц составляют следующие величины $\Delta_i = \sum_{j=1}^b \theta_{ij}$; $\Delta_i = a -$

$\sum_{j=1}^a \theta_{ij}$ и $\Delta = b \sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a \theta_{ij} + b(a - \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \theta_{ij})$, а формулы (5) и (6) получены с учетом

свойства матрицы предпочтений, состоящей в том, что $\sum_{j=1}^b \sum_{i=1}^a \theta_{ij} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \theta_{ij}$.

Отличительная особенность разработанной математической модели заключается в большем количестве вариантов распределения компонент-целей агентов по группам важности A и B . Существующая модель распределения компонент-целей по группам важности определяет ситуацию, когда в группу A входят компонент-цели с коэффициентами $\omega_i > \omega_j$ для всех $i \in A$ и $j \in B$, в предложенной модели данные ограничения отсутствуют.

Для сравнения двух моделей распределения компонент-целей по группам важности использовался количественный критерий энтропии Шеннона. Обозначим Q – существующую модель распределения на основе предпочтения $X_1 > X_2$, тогда обозначим H – разработанную в диссертации модель на основе отношения предпочтения $X_1 \approx X_2$. Энтропия Шеннона для детерминированного случая зависит от количества состояний распределения компонент-целей по группам, которую обозначим N , и определяется по формуле $S = \log N$. Количество состояний N зависит количества агентов в системе m . Для существующего способа Q количество распределений линейно зависит от m и равно $N_Q = m - 1$.

Для разработанного алгоритма H количество распределений определяется комбинаторными зависимостями:

если m (количество агентов в системе) – нечетное, тогда:

$$N = \sum_{j=1}^k \left(\frac{m!}{(m-j)! j!} \right), \quad (7)$$

если m – четное, тогда:

$$N = \frac{m!}{2 \cdot (m-K)! K!} + \sum_{j=1}^{k-1} \left(\frac{m!}{(m-j)! j!} \right), \quad (8)$$

где:

$$K = \left\lfloor \left\lceil \frac{m}{2} \right\rceil \right\rfloor. \quad (9)$$

Результаты оценки количества вариантов распределений компонент-целей по группам A и B в бинарной системе при $m=2, \dots, 9$ представлено на рисунке 3.

Анализ данных показывает, что для известного алгоритма Q энтропия Шеннона линейно возрастает при увеличении агентов в модели, например, при наличии 9 агентов в системе энтропия Шеннона составляет величину, равную 0,90 (количество вариантов 8), а для предлагаемого алгоритма H данная зави-

симость не линейна, а энтропия равна 2,18 (количество вариантов 150). Следовательно, алгоритм H во всех случаях в сравнении со алгоритмом Q обладает большей степенью свободы, что позволяет предложить лицу принимающему решение (ЛПР) лучшие варианты распределения ресурсов.

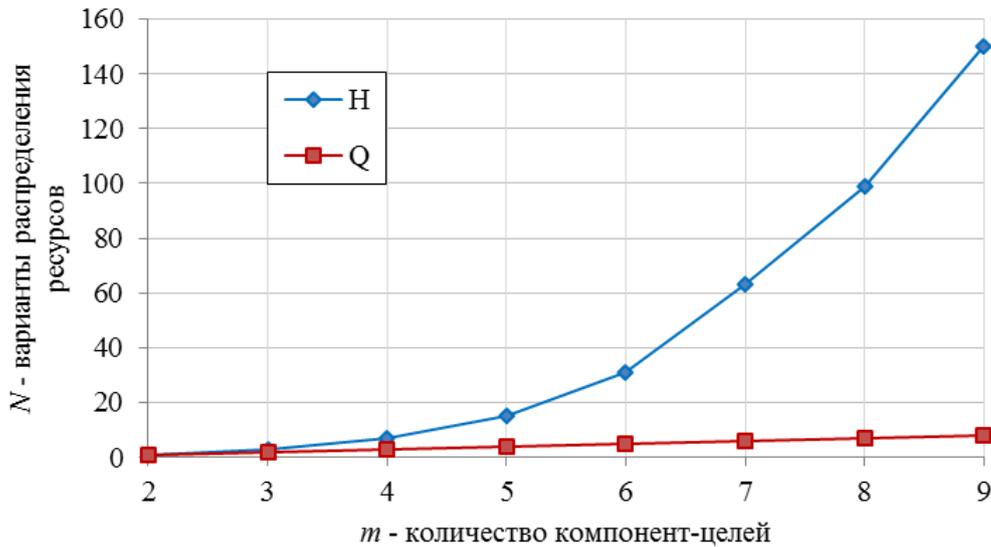


Рисунок 3 – Количество вариантов распределения компонент-целей в зависимости от их количества в МАС

Исследование алгоритма и агентной модели, с одной стороны, показывают наилучшие результаты для решения задачи оценки предпочтений центра управления, с другой стороны, в предложенной модели существенно увеличивается размерность решаемой задачи распределения ресурсов. Поэтому разработанная агентная модель и алгоритм на практике могут быть применены лишь в виде компьютерной информационной системы поддержки принятия решений для управления ресурсами пожарной безопасности.

В третьей главе «Информационная система поддержки принятия решений при управлении ресурсами пожарной безопасности» проведена алгоритмизация и компьютерная реализация теоретических положений агентного анализа вариантов распределения ресурсов в системе управления безопасностью объектов защиты. В результате исследования разработана функциональная структура и алгоритм информационной СППР. На рисунке 4 представлена функциональная схема разрабатываемой СППР.

В функциональной структуре СППР произведена систематизация и алгоритмизация процедур взаимодействия основных блоков. Блок ввода данных необходим для ввода данных исследуемого объекта. Блок парного сравнения вариантов, предназначен для сравнения вариантов распределения ресурсов и вывода результатов сравнения. В блоке определения коэффициентов важности для агентов по результатам парных сравнений производится распределение альтернатив по группам и определяются коэффициенты важности для данных групп. В блоке ранжирования вариантов относительно мнения экспертов параллельно с предыдущими действиями производится ранжирование вариантов относи-

тельно мнения эксперта и вычисляются количественные оценки альтернатив. В блоке вычисления векторных оценок альтернатив используются полученные коэффициенты важности. В блоке взвешивания критериев распределения ресурсов по важности производится взвешивание критериев по важности, производится расчёт коэффициентов, характеризующих отношение «избытков» и «недостатков». В блоке формирования массива показателей важности агентов на основании проведенных расчетов формируется массив показателей важности. В блоке предоставления результатов ранжирования полученные результаты отображаются на диаграмме, варианты распределения – от более предпочтительных к менее предпочтительным.

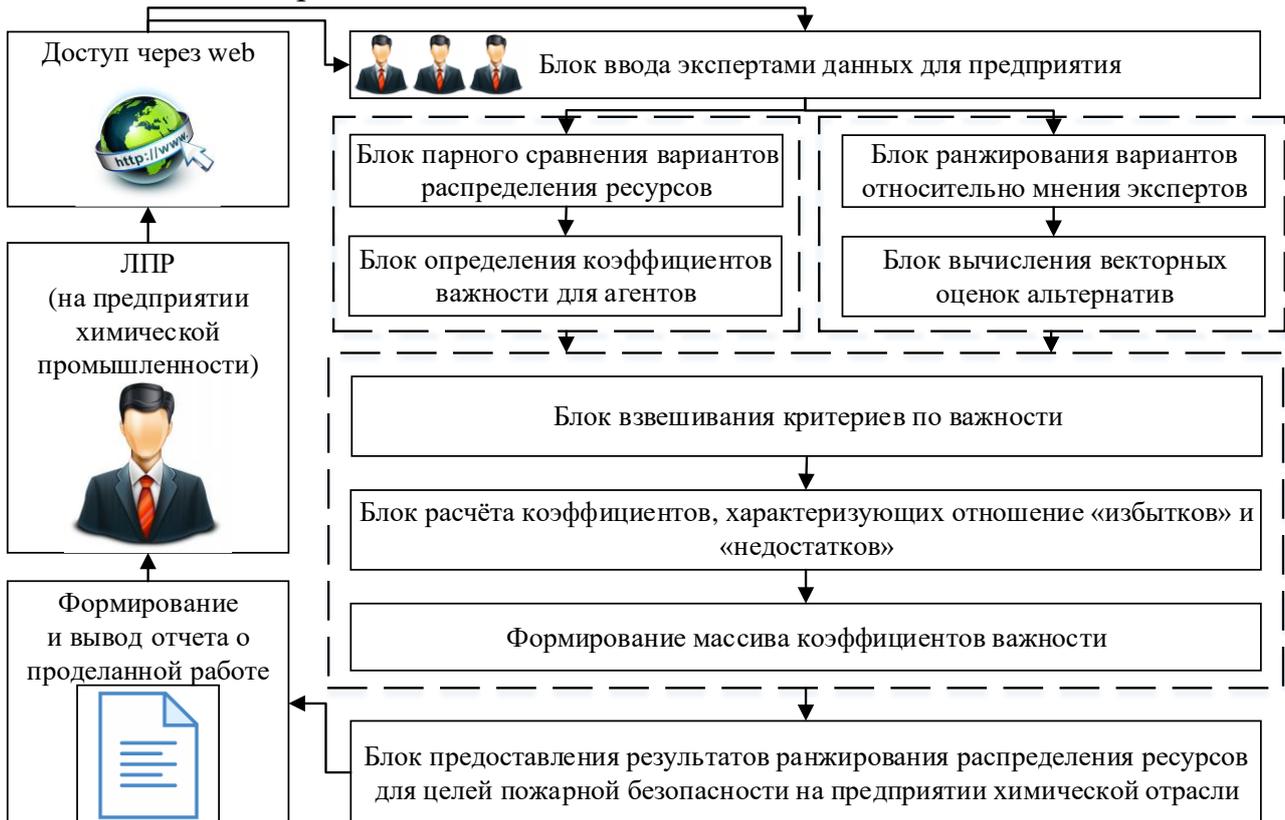


Рисунок 4 – Функциональная схема системы поддержки принятия решений при распределении ресурсов для целей пожарной безопасности

Алгоритм для ранжирования вариантов распределения ресурсов в рамках разработанной информационной СППР представлена на рисунке 5.

На основе разработанного алгоритма созданы программы для ЭВМ, зарегистрированные в Роспатенте. Программы, на правах автономных подсистем, взаимодействуют в единой информационной системе поддержки принятия решений.

При разработке информационной системы использовался язык программирования высокого уровня РНР, который позволяет удаленно взаимодействовать с приложением неограниченному количеству пользователей. Язык РНР разработан для создания web-приложений, поэтому содержит в себе функции, необходимые для работы на веб-сервере.

Интерфейс информационной СППР представлен на рисунке 6.

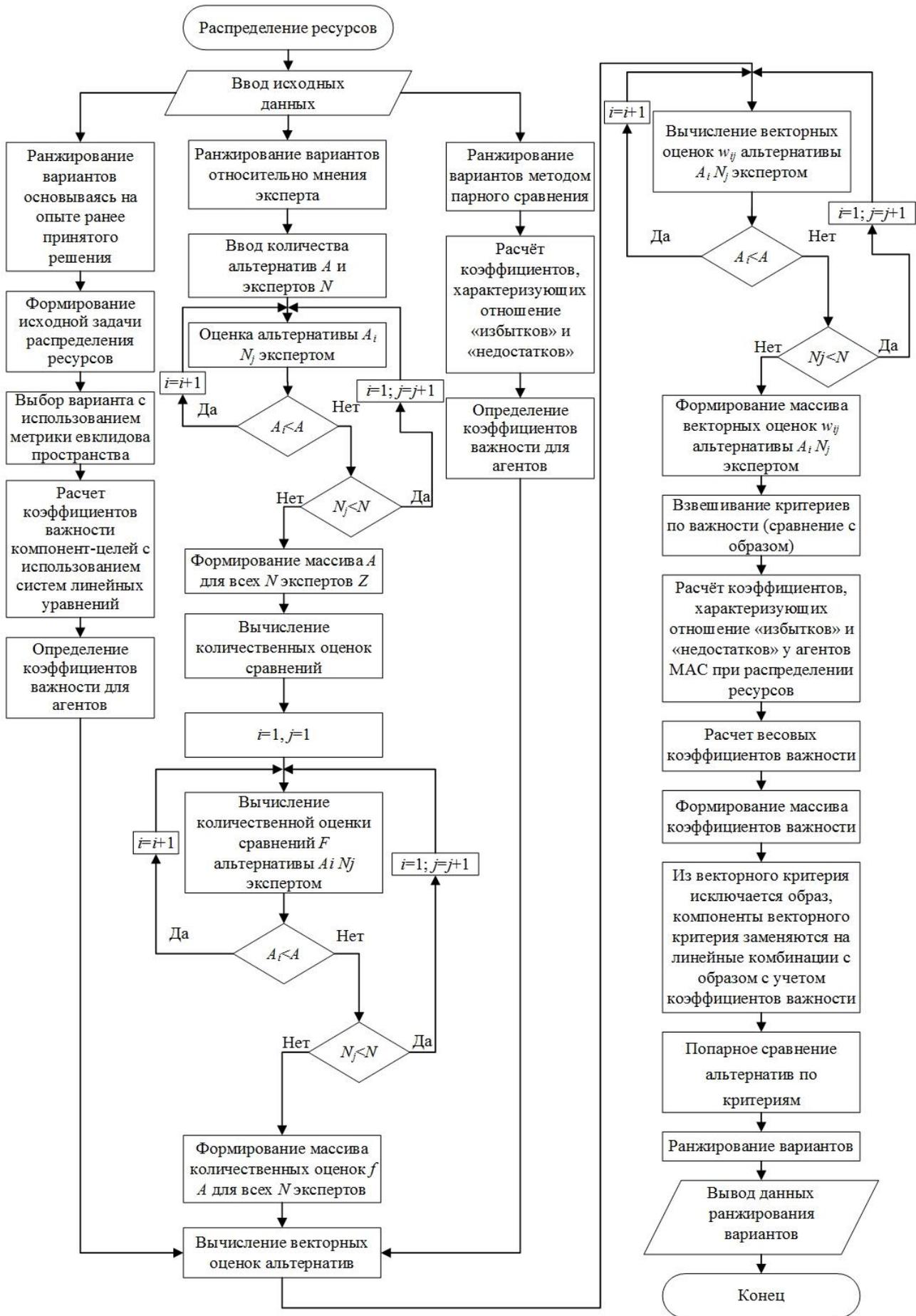


Рисунок 5 – Алгоритм ранжирования вариантов распределения ресурсов

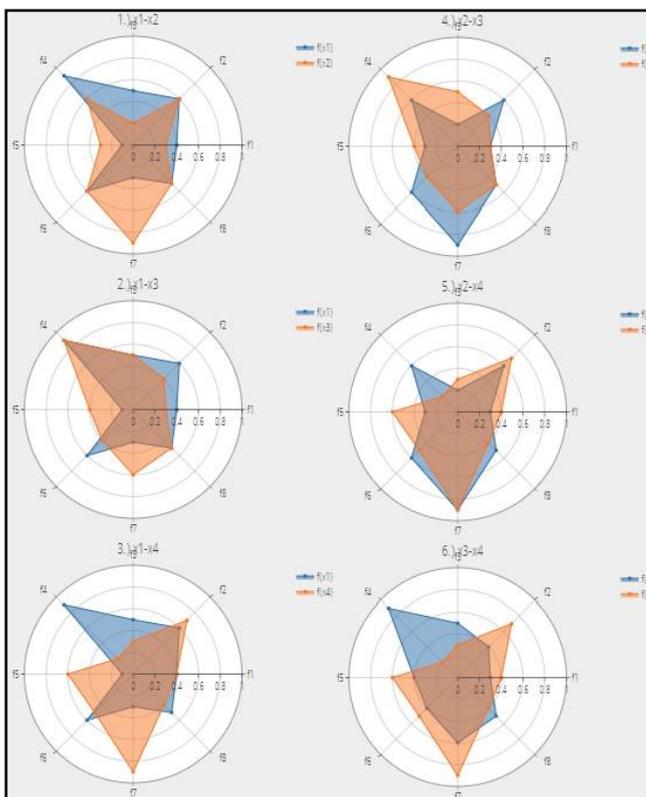
Количество вариантов: 4

Количество целей: 8

Обновить таблицу

F\X	x1	x2	x3	x4
f1	0,4	0,3	0,3	0,4
f2	0,6	0,6	0,4	0,7
f3	0,5	0,2	0,5	0,3
f4	0,9	0,6	0,9	0,2
f5	0,1	0,3	0,4	0,6
f6	0,6	0,6	0,4	0,5
f7	0,3	0,9	0,6	0,9
f8	0,5	0,5	0,5	0,4

F- критерии, цели;
X - варианты распределения.



Матрица Z:

B\A	f2	f3	f6	f7
f1	f1 и f2 равны по важности (обратное)	f1 и f3 равны по важности (прямое)	f1 много важнее f6 (прямое)	f1 немного важнее f7 (прямое)
f4	f4 немного важнее f2 (обратное)	f4 немного важнее f3 (прямое)	f4 и f6 равны по важности (обратное)	f4 немного важнее f7 (обратное)
f5	f5 важнее f2 (прямое)	f5 существенно важнее f3 (обратное)	f5 немного важнее f6 (обратное)	f5 немного важнее f7 (прямое)
f8	f8 немного важнее f2 (обратное)	f8 важнее f3 (прямое)	f8 важнее f6 (прямое)	f8 существенно важнее f7 (обратное)

Матрица K:

B\A	f2	f3	f6	f7
f1	1	1	0.02	0.37
f4	2.72	0.37	1	2.72
f5	0.14	20.09	2.72	0.37
f8	2.72	0.14	0.14	20.09

Матрица θ

B\A	f2	f3	f6	f7	
f1	0.5	0.5	0.98	0.73	$\theta_1=2.71$
f4	0.27	0.73	0.5	0.27	$\theta_4=1.77$
f5	0.88	0.05	0.27	0.73	$\theta_5=1.92$
f8	0.27	0.88	0.88	0.05	$\theta_8=2.07$
	$\theta_2=1.91$	$\theta_3=2.15$	$\theta_6=2.63$	$\theta_7=1.78$	

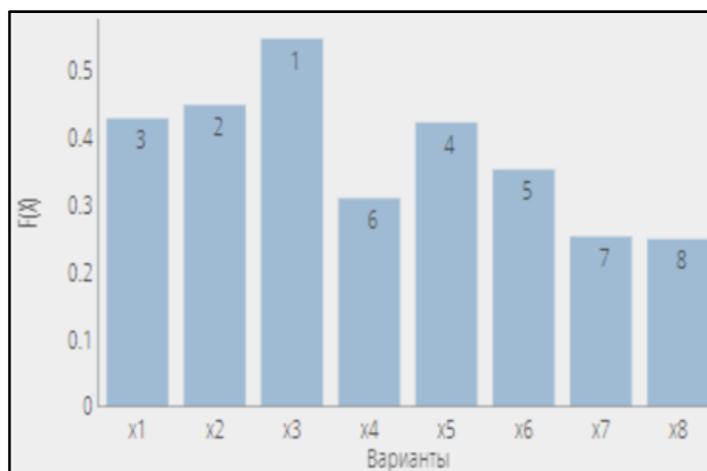


Рисунок 6 – Интерфейс специального программного обеспечения системы поддержки принятия решений

Разработанная алгоритмическая структура информационной СППР при управлении ресурсами для обеспечения пожарной безопасности на объектах защиты позволяет в едином комплексе реализовать процедуры ранжирования вариантов распределения ресурсов относительно предпочтений центра управления. При этом обеспечивается решение проблемы конкуренции агентов за ресурсы в агентной модели с использованием формализации опыта принятых ранее решений и/или процедур учета экспертного мнения. Учет экспертного мнения осуществляется путем парных сравнений агентов или вариантов по важности, принимая во внимание минимизацию параметров их применения на основе риск-ориентированных моделей обеспечения пожарной безопасности.

Применение разработанной модели и алгоритма поддержки принятия решений при распределении ресурсов рассмотрено для обеспечения пожарной безопасности «АО ИВХИМПРОМ». Поставлена задача распределения ресурсов на проектирование системы противодымной защиты и проектирование системы пожаротушения, которой соответствует модель, состоящая из трех агентов: 1 – цех окиси цинка; 2 – склад аварийно химически опасных веществ; 3 – участок плавления ядовитых и агрессивных веществ (склад №1), и 8-ми вариантов распределения ресурсов.

Определены доли уменьшения затрат на проектирование системы противодымной защиты цеха окиси цинка и увеличения затрат на проектирование системы пожаротушения склада аварийно химически опасных веществ.

На предприятии в предыдущем году для обеспечения пожарной безопасности было израсходовано R_1 количества ресурса, и его распределили между проектированием системы противодымной защиты цеха окиси цинка $0,3R_1$ и проектированием системы пожаротушения склада аварийно химически опасных веществ $0,7R_1$. В текущем году бюджет увеличился в 1,7 раза, но развитие системы безопасности предусматривает необходимость проектирования системы противодымной защиты участка плавления ядовитых и агрессивных веществ (склад №1) стоимостью R_1 . Исходя из специфики реализации мероприятий системы безопасности объекта, всего может быть назначено $R_2=1,7R_1$, при этом ресурсы на проектирование СПДЗ цеха окиси цинка не могут быть уменьшены, то есть $0,3R_1$. $1,7R_1-0,3R_1=1,4R_1$ необходимо распределить между проектированием системы пожаротушения склада аварийно химически опасных веществ (АХОВ) и проектированием СПДЗ участка плавления ядовитых и агрессивных веществ (склад №1).

Этап 1. Распределение компонент-целей по группам важности.

Определяем коэффициенты важности между складом АХОВ и участком плавления ядовитых и агрессивных веществ (склад №1). Пусть в группу A входит компонент-цель, связанная с расходами на склад АХОВ с номером 1, то есть f_1 , тогда $a=1$. Оставшаяся компонент-цель f_2 , определяющая затраты на цех окиси цинка, будет отнесена к группе B , то есть $b=1$. Новую СПДЗ участка плавления ядовитых и агрессивных веществ (склад №1) отнесем к группе A , то есть f_3 принадлежит A и ($a=2$).

Этап 2. Расчет показателей относительной важности.

Исходные доли ресурсов определяем $\omega_1 = \frac{0,7R_1}{R_1} = 0,7$, аналогично

$$\omega_2 = 0,3.$$

Преобразуя формулу (5), определяем значение показателя относительной важности в 2018 году, и он составит значение:

$$\theta_{12} = \omega_1 \times a \times b = 0,7.$$

Так как затраты на СПДЗ цеха окиси цинка должны составить $0,3R_1$, т.е. 30%, то в настоящем году будет использовано $0,176R_2$. Значение получено по формуле:

$$\omega_1 = \frac{0,3R_1}{R_2} = \omega_1 = \frac{0,3R_1}{1,7R_1} = 0,176.$$

Определим значение суммы показателей важности в текущем году, исходя из условия, полученного с использованием формулы (6):

$$\omega_2 = \frac{a - (\theta_{12} + \theta_{32})}{ab} = 2 - (2 \cdot 1 \cdot 0,176) = 1,69.$$

Учитывая, что в 2018 году $\omega_1 = 0,7$, то показатель важности для новой системы составит $\theta_{32} = 1,69 - 0,7 = 0,94$.

Таким образом, в результате реализации данного этапа получены два показателя относительной важности $\theta_{12} = 0,7$ и $\theta_{32} = 0,94$.

Этап 3. Определение долей ресурсов.

Определяем коэффициенты важности: в группе *A* находится компонент-цель номер 1 и 3, тогда получаем:

$$\omega_1 = \frac{0,7}{2 \cdot 1} = \frac{\theta_{12}}{ab} = 0,35;$$

$$\omega_3 = \frac{\theta_{32}}{ab} = \frac{0,94}{2 \cdot 1} = 0,47.$$

Для компонент-цели с номером 2 из группы *B* получим:

$$\omega_2 = \frac{a - (\theta_{12} + \theta_{32})}{ab} = \frac{2 - (0,7 + 0,94)}{2 \cdot 1} = 0,18.$$

Таким образом, предпочтение центра управления на основе формализованного опыта принятия решений будет состоять в следующем утверждении: оптимальным распределением ресурса в задаче будет склад АХОВ – 0,35; цех окиси цинка – 0,18; участок плавления ядовитых и агрессивных веществ (склад №1) – 0,47. В соответствии с содержательной постановкой задачи исследования введем матрицу распределения ресурсов для восьми вариантов в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица распределения ресурсов

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8
f_1	0,1	0,9	0,2	0,4	0,5	0,3	0,1	0,3
f_2	0,5	0,2	0,9	0,1	0,4	0,5	0,1	0,2
f_3	0,9	0,1	0,4	0,6	0,3	0,1	0,9	0,25

$$F(V) = \omega_1 f_1(V) + \omega_2 f_2(V) + \omega_3 f_3(V),$$

где V – множество вариантов распределения ресурсов; ω_i – предпочтения центра управления, полученные путем формализации опыта решений на основе показателей относительной важности θ . Результаты оценки вариантов с использованием функции $F(V)$ представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты ранжирования вариантов

	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7	V_8
$F(V)$	0,432	0,427	0,565	0,295	0,417	0,358	0,244	0,244
R	2	3	1	6	4	5	7	8

Вывод: в соответствии с предпочтениями центра управления выбранным вариантом распределения ресурсов является вариант V_3 .

Для более объективной оценки вариантов при распределении ресурсов используются следующие алгоритмы:

Алгоритм 1. На основе опыта принятых ранее решений рассмотренный подробно для данной задачи именуемый «Опыт». Для алгоритма «Опыт» коэффициенты относительной важности $\theta_{12} = 0,70$ и $\theta_{32} = 0,94$, тогда предпочтения центра управления составляют: $\omega_2=0,18$; $\omega_1=0,35$; $\omega_3=0,47$.

Алгоритм 2. Результаты решения задачи распределения ресурсов на основе экспертного мнения, формализованного путем анализа двух вариантов $V_7 \approx V_8$ по предпочтению, далее именуемый «Варианты». Для метода «Варианты» коэффициенты относительной важности $\theta_{12} = 0,76$ и $\theta_{32} = 0,86$, тогда предпочтения центра управления составляют: $\omega_2=0,19$ $\omega_1=0,38$ $\omega_3=0,44$.

Алгоритм 3. Результаты решения задачи распределения ресурсов на основе экспертного мнения с использованием матрицы парных сравнений и высказываний что агент 1 немного важнее агента 2 и агент 1 важнее агента 3, далее метод будем именовать «Агенты». Для метода «Агенты» коэффициенты относительной важности $\theta_{12} = 0,73$ и $\theta_{32} = 0,88$, тогда предпочтения центра управления составляют: $\omega_2=0,19$ $\omega_1=0,37$ $\omega_3=0,44$.

Результаты применения алгоритмов управления ресурсами пожарной безопасности АО «ИВХИМПРОМ» представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Результаты распределения ресурсов АО «ИВХИМПРОМ»

Алгоритмы управления ресурсами	Агент 1 и Агент 2 (θ_{12})	Агент 1 и Агент 3 (θ_{13})	Доли ресурсов в модели		
			Агент 1 (ω_1), %	Агент 2 (ω_2), %	Агент 3 (ω_3), %
Опыт	0,70	0,94	18	35	47
Варианты	0,76	0,86	19	38	43
Агенты	0,73	0,88	19	37	44

Сравнение результатов решения задачи планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности произведено с использованием критерия Пирсона (χ^2) и вероятности ошибочного ранжирования (ρ). Произведено попарное сравнение алгоритмов управления. Результаты показывают, что

в паре методов «Опыт» – «Варианты» критерий Пирсона $\chi^2 = 2,81 \cdot 10^{-3}$ ошибка ранжирования составляет $\nu = 1,41 \cdot 10^{-3}$ в паре «Опыт» – «Агенты» $\chi^2 = 2,02 \cdot 10^{-3}$ и $\nu = 1,01 \cdot 10^{-3}$; в паре «Варианты» – «Агенты» $\chi^2 = 0,23 \cdot 10^{-3}$ и $\nu = 0,11 \cdot 10^{-3}$.

Анализ полученных данных показывает, что вероятность ошибочного ранжирования вариантов распределения ресурсов пренебрежимо мала. Однако данные показывают, что для сочетания двух экспертных процедур «Варианты» – «Агенты» ошибка на порядок меньше. Наличие ошибки в результатах ранжирования определяет необходимость разработки процедуры оценки эффективности применения системы поддержки принятия решений в практических задачах с различным количеством вариантов и агентов на основе вероятностного подхода.

В четвёртой главе «Оценка эффективности информационной системы поддержки принятия решений при управлении ресурсами пожарной безопасности» предложена процедура оценки эффективности информационной системы поддержки принятия решений при управлении ресурсами пожарной безопасности на объектах защиты. Для оценки эффективности СППР в задачах планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности выбран вероятностный подход. Разработана теоретическая модель исследования, заключающаяся в возможном одновременном изменении количества агентов и вариантов в анализируемой системе. По результатам опытно-теоретического исследования разработана экспоненциальная модель показателя эффективности СППР:

$$Sab = A \cdot \exp\left(\frac{Var}{B}\right), \quad (10)$$

где A и B – коэффициенты модели при фиксированном количестве агентов и заданной вероятности; Var – количество вариантов в агентной модели.

В рамках опытно-теоретического анализа с применением регрессионных моделей получены коэффициенты моделей A и B , значения которых представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Параметры модели

Количество агентов		3	4	5	6	7	8	9	10
Вероятность $P=0,50$	A	4	5	5	6	6	6	7	7
	B	10	10	9	9	8	7	7	6
Вероятность $P=0,90$	A	5	5	6	6	6	7	7	7
	B	10	9	9	8	7	7	6	5
Вероятность $P=0,99$	A	6	6	6	7	7	7	7	8
	B	10	9	8	8	7	6	5	5

Для решения задачи нормализации показателя эффективности Sab применен критерий Колмогорова. Эффективность применения СППР в задачах планирования распределения ресурсов определена следующим образом:

$$\mathcal{E} = 100 \left[1 - \exp\left(-2 \left(\frac{Sab}{100}\right)^2\right) \right]. \quad (11)$$

Разработана процедура оценки эффективности применения информационной системы при планировании распределения ресурсов пожарной безопасности на объекте защиты АО «ИВХИМПРОМ». В качестве исходных данных используются фиксированные значения количества вариантов распределения ресурсов Var и количества агентов-отделов, конкурирующих за ресурсы. Результаты оценки эффективности применения СППР при планировании распределения ресурсов пожарной безопасности на предприятии АО «ИВХИМПРОМ» представлены на рисунке 7.

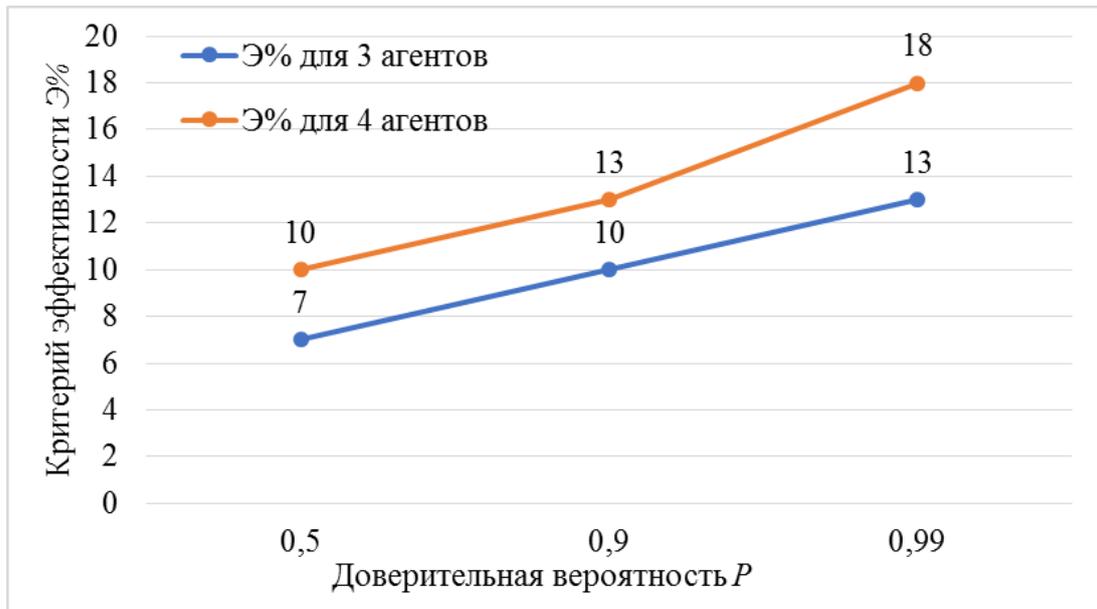


Рисунок 7 – Результаты оценки эффективности применения СППР

Результаты расчёта необходимого количества вариантов в агентной модели распределения ресурсов при $\mathcal{E}_{mp} = 10; 30; 50\%$ и $P=0,9$ представлены на рисунке 8.

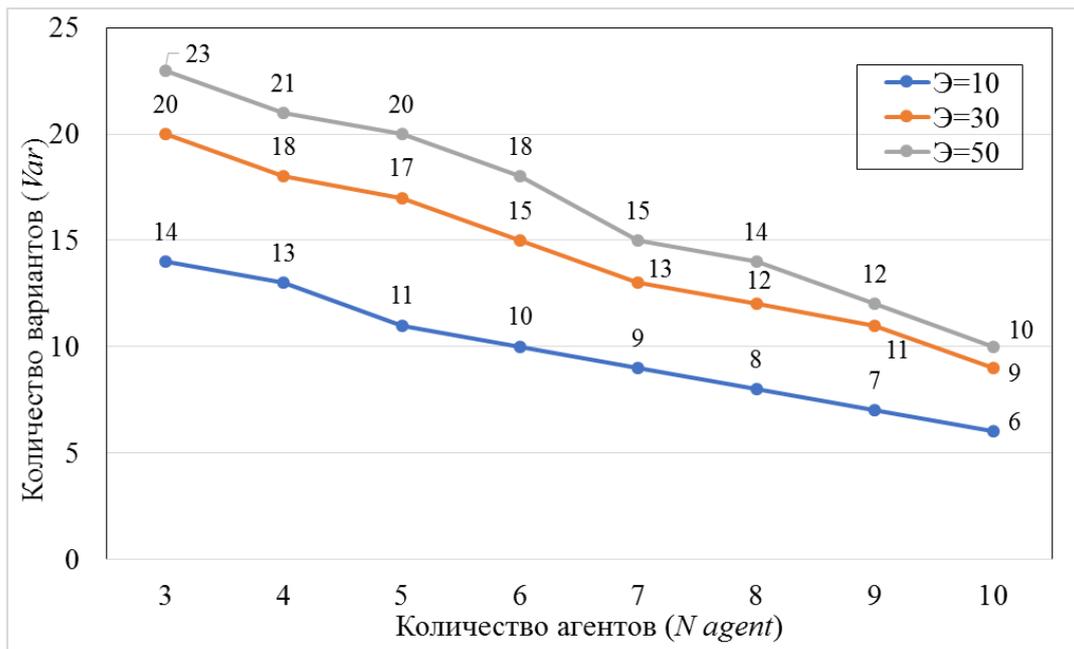


Рисунок 8 – Динамика эффективности в зависимости от количества агентов-вариантов в МАС

Разработанный критерий и процедура оценки эффективности информационной системы поддержки принятия решений при управлении ресурсами пожарной безопасности на объектах защиты позволили сделать вывод, что эффективность их практического применения составляет 13 % при доверительной вероятности $P=0,9$ и 18 % при $P=0,99$, допустимый уровень эффективности применения информационных систем 10%. Таким образом, предложенные в диссертации модели и алгоритмы управления целесообразны к практическому применению в задачах планирования распределения ресурсов.

В приложении приведены листинг кода разработанных программ для ЭВМ, свидетельства о государственной регистрации, акты внедрения результатов диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований получены следующие основные научные и практические результаты:

1. Анализ пожаров на предприятиях химической промышленности показал, что крупные пожары на подобных объектах наносят значительный материальный и экологический ущерб, являются сложными с точки зрения тактики тушения и требуют для локализации и ликвидации сосредоточения пожарных подразделений нескольких пожарно-спасательных гарнизонов, что определяет существенные затраты на борьбу с ними. Проведен анализ существующих агентных систем поддержки управления, применяемых для решения задач обеспечения пожарной безопасности. Показано, что большинство систем носят теоретический характер (75%). Определено, что недостаточная практическая реализация агентных систем связана, в первую очередь, с отсутствием унифицированной, гармонизированной модели, основанной одновременно на нескольких практических способах решения задачи планирования распределения ресурсов, а также с ограничением степени свободы при анализе дополнительной информации о важности агентов в задаче управления.

2. Разработана математическая модель для решения задачи планирования распределения ресурсов на основе информации о предпочтениях центра управления, получаемой с использованием анализа опыта принятых ранее решений и/или на основе мнения экспертов о важности агентов в системе. Модель основана на теории сравнения объектов с образом и предназначена для решения широкого класса задач планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности, в том числе с учетом риск-ориентированного подхода.

3. Созданы алгоритмы в виде многоуровневой процедуры анализа вариантов распределения ресурсов в задачах планирования на основе созданной с применением агентного моделирования модели управления. Проведена алгоритмизация и компьютерная реализация модели в виде специального программного обеспечения для ЛПР. Разработанная СППР апробирована при ре-

шении задач распределения ресурсов обеспечения пожарной безопасности на объектах защиты.

4. Сформулирован показатель эффективности применения информационно-аналитической системы в задачах распределения ресурсов. Проведена вероятностная оценка её эффективности при решении задач распределения ресурсов. Показано, что значения оценки эффективности зависят от количества агентов и вариантов в системе распределения ресурсов. Для обеспечения повышения эффективности принятия решений на 10% с вероятностью 0,95 необходимо, чтобы в анализируемой модели было не менее 3-х агентов (отделов, подразделений) и 5-ти вариантов (варианты распределения ресурсов).

5. Совокупность полученных результатов позволила сформировать рекомендации по применению созданной в диссертации информационно-аналитической системы в практике ресурсного обеспечения химических предприятий для решения задач пожарной безопасности

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

в научных изданиях, рекомендованных ВАК России для публикации основных результатов диссертационного исследования:

1. Смирнов, А.В. Хабибулин, Р.Ш. Статистика пожаров на объектах химической и нефтехимической промышленности // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. – 2016. – № 5 (69). – С. 1–5.

2. Смирнов, А.В. Хабибулин, Р.Ш. Тараканов, Д.В. Применение многоагентного подхода для поддержки управления безопасностью в техносфере // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2018. – Т. 22. – № 1. – С. 118–133. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-1-118-133.

3. Смирнов, А.В. Хабибулин, Р.Ш. Тараканов, Д.В. Многоагентный метод анализа вариантов распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности // Системы управления и информационные технологии. – 2018. – №4 (74). – С. 83–88.

4. Смирнов, А.В. Оценка эффективности агентной системы распределения ресурсов для управления пожарной безопасностью предприятий химической отрасли // Современные проблемы гражданской защиты (Вестник Воронежского института ГПС МЧС России). – 2019. – №1(30). – С. 24–29.

в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus:

5. Smirnov A., Khabibulin R., Topolski N., Tarakanov D. Multi-Agent Analysis Model of Resource Allocation Variants To Ensure Fire Safety // Proceedings of the 21 International Conference on Enterprise Information Systems, Heraklion, Greece, May 3-5, 2019. P. 379-386. DOI: 10.5220/0007716403910398.

свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ:

6. Смирнов А.В., Хабибулин Р.Ш., Тараканов Д.В. Свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018660019. Программа для рационального распределения ресурсов в агентной системе управ-

ления пожарной безопасности на производственных объектах химической отрасли. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 15.08.2018 г.

7. Смирнов А.В., Хабибулин Р.Ш., Тараканов Д.В. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018661985. Программа для многопараметрического анализа вариантов распределения ресурсов в многоагентных системах. Дата государственной регистрации в Реестре программ для ЭВМ 25.09.2018 г.

в других научных изданиях:

8. Смирнов, А.В. Хабибулин, Р.Ш. Особенности возникновения и развития пожаров на объектах химической отрасли // Чрезвычайные ситуации: образование и наука: Международный научно-практический журнал. – Гомель: ГИИ МЧС Республики Беларусь. – 2016. – № 2. – С. 143–145.

9. Смирнов, А.В. О структуре управления пожарной безопасностью на типовом объекте химической промышленности // Проблемы техносферной безопасности – 2017: материалы VI международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 426–430.

10. Смирнов, А.В. Хабибулин, Р.Ш. Формализация участников межфункциональных конфликтов по вопросам пожарной безопасности на объектах химической промышленности // Системы безопасности – 2017: материалы XXVI международной научно-технической конференции. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 15–19.

11. Смирнов, А.В. Хабибулин, Р.Ш. Тараканов, Д.В. О многопараметрической задаче управления пожарной безопасностью на предприятии химической промышленности // Информатика: проблемы, методология, технологии: сборник материалов XVIII международной научно-методической конференции, Воронеж, 8–9 февраля 2018 г. – Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации», 2018. – Т. 5. – С. 328–332.

12. Смирнов, А.В. Ранжирование вариантов распределения ресурсов для целей пожарной безопасности химических и нефтехимических предприятий // Проблемы техносферной безопасности – 2018: материалы VII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 204–210.

13. Смирнов, А.В. Хабибулин, Р.Ш. Тараканов, Д.В. Информационная технология рационального распределения ресурсов в многоагентных системах управления пожарной безопасностью // Информатика, управление и системный анализ: труды V Всероссийской научной конференции молодых ученых с международным участием. – Ростов-на-Дону, 2018. – С. 109–116.

14. Смирнов, А.В. Система управления распределением ресурсов при управлении пожарной безопасностью на предприятиях промышленности // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области обеспечения пожарной безопасности: сборник

тезисов докладов международной научно-практической конференции. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 603–606.

15. Смирнов, А.В. Компьютерная программа для рационального распределения ресурсов в агентной системе управления пожарной безопасностью на объектах химической отрасли // Проблемы техносферной безопасности – 2019: материалы VIII международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2019. – С. 49–52.

16. Смирнов, А.В. Хабибулин, Р.Ш. Тараканов Д.В. Показатель эффективности агентной системы управления пожарной безопасностью на промышленных объектах // XIII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2019. – М.: ИПУ РАН, 2019. – С. 3075–3079.