

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

**Академия Государственной противопожарной службы**



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

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук, доцент  
Хабибулин Ренат Шамильевич

Москва – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	12
1.1. Анализ пожаров на предприятиях химической промышленности .....	12
1.2. Проблемы управления пожарной безопасностью на предприятиях химической промышленности .....	17
1.3. Анализ информационных систем, направленных на поддержку принятия управленческих решений в области пожарной безопасности .....	21
1.4. Степень разработанности проблемы управления безопасностью с использованием многоагентного подхода .....	26
1.5. Обзор научных работ по вопросам распределения ресурсов.....	48
1.6. Выводы по первой главе.....	53
ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ .....	55
2.1. Формализация предпочтений участников межфункциональных конфликтов по вопросам пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности.....	55
2.2. Математическая модель и алгоритмы решения задачи управления ресурсами пожарной безопасности на предприятии химической промышленности.....	62
2.3. Решение задачи моделирования предпочтений центра управления.....	72
2.4. Пример применения математической модели и алгоритма при решении задачи управления ресурсами пожарной безопасности на предприятии химической промышленности.....	77
2.5. Выводы по второй главе.....	83

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	85
3.1. Определение требований к системе планирования распределения ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности.....	85
3.2. Программная реализация специального программного обеспечения поддержки управления распределением ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности .....	88
3.3. Пример применения специального программного обеспечения поддержки управления распределением ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности .....	96
3.4. Выводы по третьей главе.....	100
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.....	101
4.1. Общие положения оценки эффективности агентной системы.....	102
4.2. Опытнo-теоретическая модель исследования эффективности агентной системы.....	103
4.2.1. Цель и схема исследования эффективности.....	104
4.2.2. Структура опытнo-теоретической модели оценки эффективности.....	106
4.3. Разработка показателя эффективности агентной системы .....	108
4.3.1. Статистический анализ показателя эффективности.....	109
4.3.2. Модель показателя эффективности агентной системы.....	115
4.4. Критерий и результаты оценки эффективности агентной системы .....	121
4.4.1. Разработка критерия эффективности агентной системы .....	121
4.4.2. Результаты оценки эффективности агентной системы .....	122
4.5. Выводы по четвертой главе.....	130
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	131

Список литературы .....	133
Приложение А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа для рационального распределения ресурсов в многоагентной системе управления пожарной безопасности на производственных объектах химической отрасли ...	147
Приложение Б. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа для многопараметрического анализа вариантов распределения ресурсов в многоагентных системах .....	148
Приложение В. Листинг программного кода .....	149
Приложение Г. Акты внедрения .....	160

## ВВЕДЕНИЕ

**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 много-агентных 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 системы поддержки принятия решений.

**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, 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.

# **ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМЫ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

## **1.1. Анализ пожаров на предприятиях химической промышленности**

Обеспечение пожарной безопасности является одной из важнейших функций государства, которая осуществляется системой обеспечения пожарной безопасности, объединяющей различные структуры для выполнения определенных функций. Пожары на объектах химической промышленности характеризуются высокой степенью опасности, вызванной тяжкими последствиями социального, экологического и экономического характера. Во многих случаях аварийная утечка и взрывное сгорание взрывоопасных веществ в атмосфере являются основными причинами разрушений, убытков, последующих обширных пожаров. Химические вещества, имеющиеся на объекте или синтезирующиеся в ходе неконтролируемых химических реакций, способны при аварии образовать токсические поражающие поля на больших площадях.

По статистическим данным был проведён анализ количества пожаров на объектах химической промышленности за 2011–2018 гг. Результаты анализа показывают, что ежегодное количество пожаров находится в диапазоне от 26 до 120 пожаров в год. Согласно проведенному анализу за 2011–2018 гг. произошло 349 пожаров (рисунок 1.1). С 2016 года происходит рост количества пожаров.

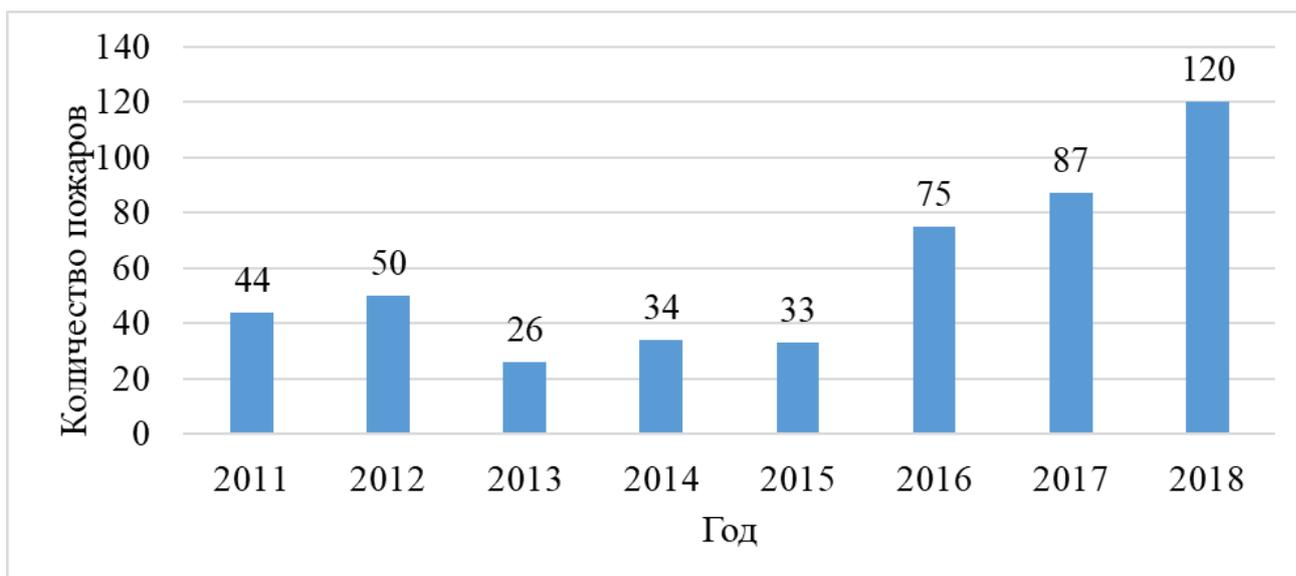


Рисунок 1.1 – Количество пожаров на объектах химической промышленности

Из данных, представленных на рисунке 1.2, следует, что средний материальный ущерб от одного пожара на объектах химической промышленности превышает 1 млн. руб., что значительно выше, чем средний ущерб от общего количества пожаров, а крупные пожары на таких предприятиях несут ущерб еще в несколько раз выше. Средний ущерб – это ожидаемый ущерб, то есть наиболее вероятный, а максимальный ущерб – это ущерб при самом плохом сценарии развития ситуации. Существенное отличие ожидаемого ущерба от максимального говорит о том, что необходимо совершенствовать систему управления пожарной безопасности (ПБ) подобных объектов.

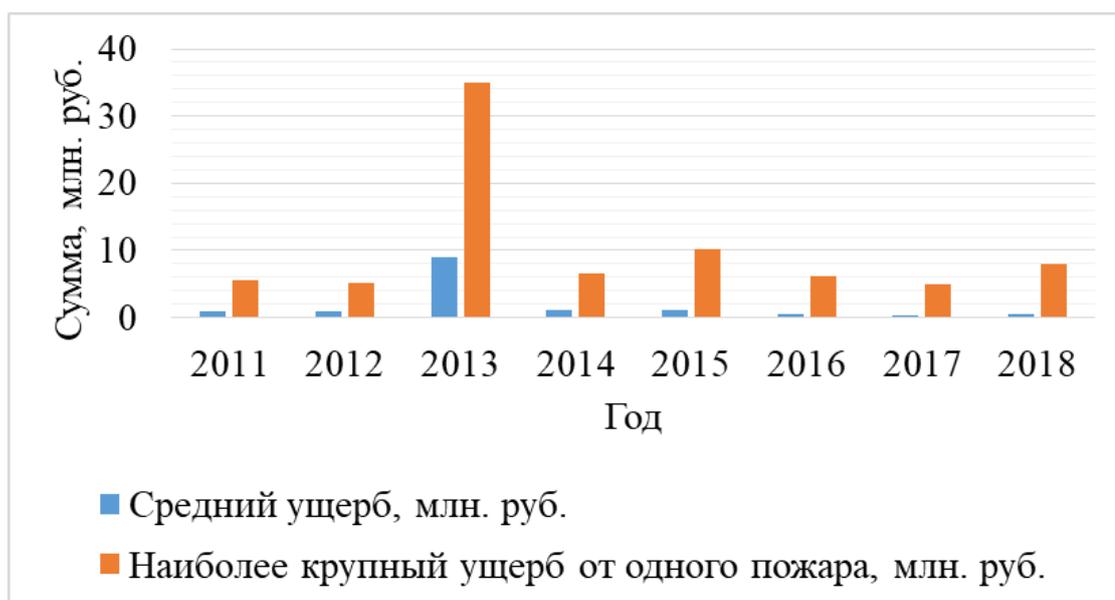


Рисунок 1.2 – Ущерб от пожаров на объектах химической промышленности

В таблице 1.1 представлены статистические данные по опасным событиям на объектах химической промышленности за 2011–2018 гг.

Таблица 1.1 – Причины пожаров на объектах химической промышленности

Причины пожаров	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Всего
Нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования	14	6	9	4	3	55	59	80	230
Нарушение правил устройства и эксплуатации печей	1	0	0	0	0	0	1	1	3
Нарушение устройства и эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и установок	19	11	22	11	15	0	5	2	85
Неосторожное обращение с огнем	1	2	1	0	2	6	6	12	30
Другие причины	9	11	18	11	14	14	16	25	118
Всего	44	30	50	26	34	75	87	120	349

Анализ причин пожаров на объектах химической промышленности (таблица 1.1) показал, что основными причинами возникновения и развития пожаров являются: нарушение устройства и эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и установок; неудовлетворительное состояние технических устройств, зданий и сооружений; а также несовершенство технологий или конструктивные недостатки.

Причины пожаров на объектах химической промышленности можно классифицировать на следующие основные группы:

1. Нарушение правил устройства и эксплуатации электрооборудования.
2. Нарушение правил устройства и эксплуатации печей.
3. Нарушение устройства и эксплуатации теплогенерирующих агрегатов и установок.
4. Неосторожное обращение с огнем.

В таблице 1.2 представлен обзор ряда крупных пожаров на предприятиях химической промышленности.

Таблица 1.2 — Крупные пожары на предприятиях химической промышленности

Место пожара	Дата	Последствия
г. Фликсборо (Великобритания)	1 июня 1974 года	В районе предприятия 59 человек получили серьезные ранения, а сотни – незначительные травмы. От взрыва и последующего пожара погибло 28 человек, 36 человек на предприятии и 53 вне его получили травмы различной степени тяжести.
г. Ионава (Литва)	20 марта 1989 года	В результате аварии 7 человек погибли, 64 получили токсическое поражение.
ОАО «Московский шинный завод» г. Москва (Россия)	25 февраля 1996 года	В горящем здании погиб один человек. Была реальная угроза экологической катастрофы и отравления людей.
ООО «Ставролен» г. Буденновск (Россия)	16 декабря 2011 года	В результате пожара пострадало 9 человек, в течение суток город был «укрыт» густой белой дымкой. Площадь пожара на момент локализации составила 1000 м <sup>2</sup> .
ОАО «Черкасское химволокно» г. Черкасск (Россия)	10 февраля 2015 года	При попытке самостоятельного тушения пожара пострадало 9 человек, которые в состоянии средней и легкой степеней тяжести госпитализированы.
ЗАО «Можхим» г. Можга (Россия)	03 апреля 2015 года	Обошлось без жертв, но из-за возгорания на Можгинском химзаводе был эвакуирован весь район Леспромхоз.
г. Тяньцзинь (Китай)	12 августа 2015 года	Инцидент унес жизни 117 человек. Более 400 человек пострадали.
Провинция Цинхай (Китай)	18 сентября 2016 года	Взрыв произошел в пылеуловительной установке на линии по производству цемента. Шесть работников погибли, 12 человек получили ранения.
г. Шаньдун (Китай)	20 сентября 2016 года	Во время планового техосмотра оборудования на предприятии взорвался ресивер (резервуар для хранения газов под давлением). Погибли 4 человека.
Людвигсхафен (Германия).	17 октября 2016 года	На химическом концерне BASF загорелся трубопровод для транспортировки жидких реактивов, после чего произошел взрыв. Этот завод считается самым большим химическим комплексом в мире. Двое сотрудников пожарной охраны предприятия погибли, еще 25 человек получили ранения, из них 8 – тяжелые. Была зафиксирована утечка аммиака, поэтому нахождение в восьми районах города было опасно для здоровья.
г. Тунлин (Китай)	07 февраля 2017 года	В результате взрыва пострадали два сотрудника, которые находились на дежурстве.
г. Кралупи-над-Влтавоу (Чехия)	22 марта 2018 года	При взрыве на химическом заводе в Чехии погибли шесть человек еще двое получили тяжелые ранения.
г. Яньчэн (Китай)	21 марта 2019 года	Число погибших в результате аварии выросло до 64, а 28 человек числятся пропавшими без вести. Более 600 человек получили при взрыве ранения различной степени тяжести. Более 1600 домов получили повреждения. После случившегося сейсмологи зарегистрировали землетрясение магнитудой 2,2.

На рисунках 1.3 и 1.4 показаны последствия взрыва на Ивановском химическом заводе ОАО «ИВХИМПРОМ» и на объекте химической промышленности в г. Тяньцзин (Китай).



Рисунок 1.3 – Взрыв на ОАО «ИВХИМПРОМ»



Рисунок 1.4 – Пожар на объекте химической промышленности в г. Тяньцзин Китай

Анализ причин аварий на предприятиях химической промышленности показывает, что за исследуемый период большинство (95 %) связано со взрывами различных химических веществ, причем 54 % – внутри аппаратуры, а 46 % – в производственных помещениях и на наружных технологических установках. Во многих

случаях аварийная утечка и взрывное сгорание взрывоопасных веществ в атмосфере являются основными причинами разрушений, убытков, последующих обширных пожаров. Химические вещества, имеющиеся на объекте или синтезирующиеся в ходе неконтролируемых химических реакций, способны при аварии образовать токсические поражающие поля на больших площадях.

## **1.2. Проблемы управления пожарной безопасностью на предприятиях химической промышленности**

Проблема поддержки принятия управленческих решений на предприятиях химической промышленности заключается в необходимости ЛПР принять решение в кратчайшие сроки, в условиях существования большого объема информации. Принятие решений происходит в меняющейся обстановке, при изменяющемся уровне пожарного риска в условиях неопределенности и высокой динамике. Информационной технологией, снижающей нагрузку лица принимающего решения (ЛПР), является система поддержки принятия решений (СППР). Проблема принятия решений состоит в отсутствии возможности ЛПР принять решение в сжатые сроки и без соответствующей информационно-аналитической поддержки.

Система поддержки принятия решений – это человеко-машинная система, целью которой является помощь ЛПР с использованием данных, знаний и моделей для анализа и решения слабоструктурированных задач [2].

Системный подход к решению данной проблемы включает в себя анализ всех аспектов рассматриваемой задачи, моделирование полного технологического цикла обработки информации, начиная от ввода и получения информации до принятия решения.

Для создания системы управления пожарной безопасностью на предприятиях химической промышленности недостаточно создание модели, описывающей процессы отдельно, необходимо использование методов и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений на основе многоагентных технологий.

Многоагентная система – это система, образованная несколькими взаимодействующими интеллектуальными агентами. Многоагентные системы могут быть использованы для решения таких проблем, которые сложно или невозможно решить с помощью одного агента или монолитной системы [10].

Выделяют три типа задач, в зависимости от их структурированности для которых создаются информационные системы: структурированные, слабоструктурированные и неструктурированные.

Структурированная задача – задача, где известны все ее элементы и взаимосвязи между ними. В задачах такого типа удастся выразить содержание в форме математической модели, имеющей точный алгоритм решения. Целью использования информационной системы для решения структурированных задач является полная автоматизация их решения.

Слабоструктурированная задача – задача, где известны лишь часть ее элементов и взаимосвязей между ними. В этих условиях возможно создание информационной системы. Получаемая в ней информация анализируется ЛПР, который играет определяющую роль.

Неструктурированная задача – задача, в которой невозможно выделить элементы и установить между ними связи. Решение неструктурированных задач связано с большими трудностями в связи с невозможностью разработки алгоритма и создания математического описания. Решение в таких случаях принимается человеком из эвристических соображений на основе своего опыта и, возможно, косвенной информации из разных источников.

Для детализированного анализа проблем принятия решений при управлении пожарной безопасностью на предприятиях химической промышленности была построена причинно-следственная диаграмма Ишикавы (рисунок 1.5). Диаграмма Ишикавы используется как аналитический инструмент для просмотра воздействия возможных факторов и выделения наиболее важных причин, которые поддаются управлению [4].

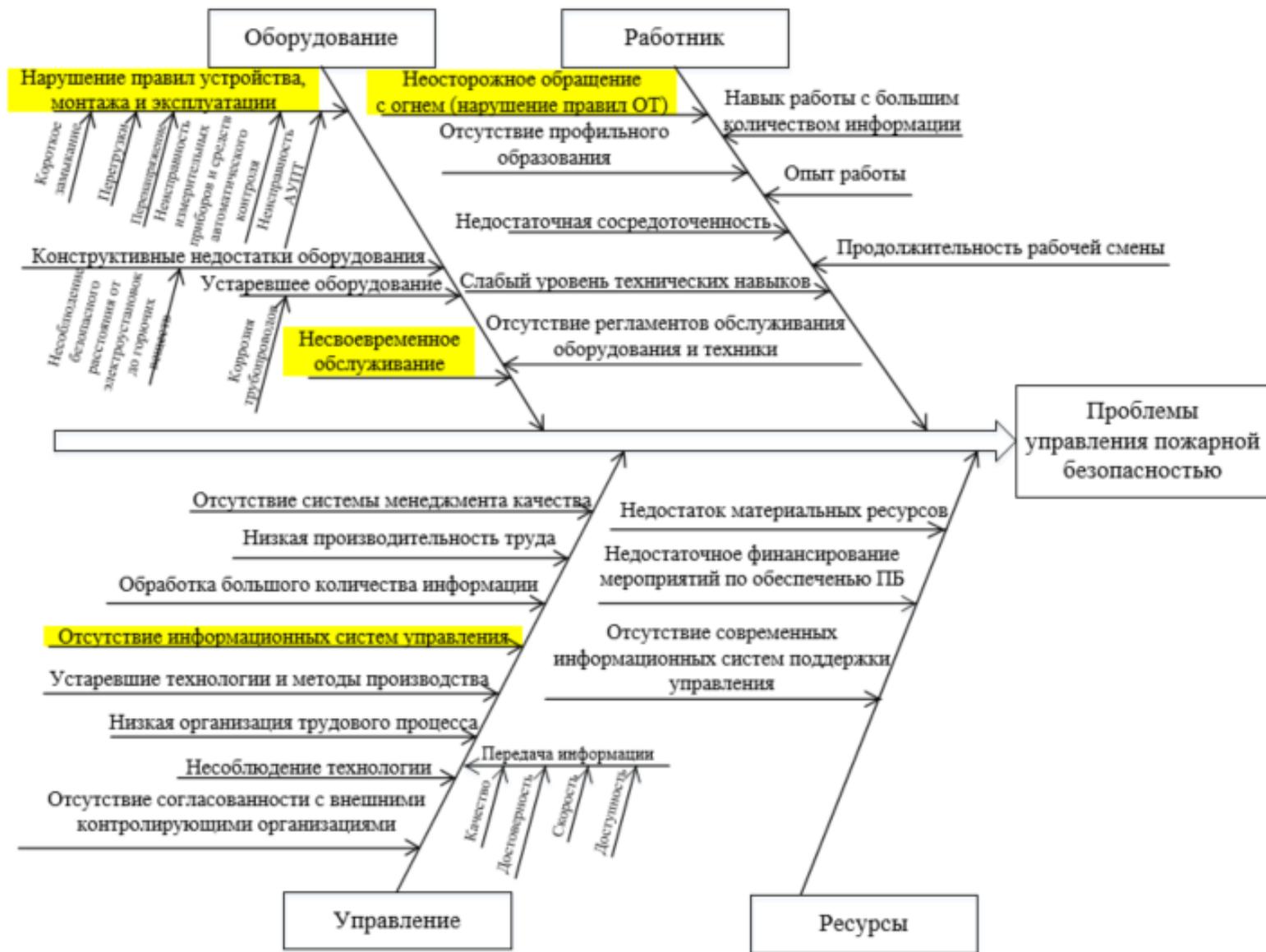


Рисунок 1.5. – Причинно-следственная связь управления пожарной безопасностью на предприятиях химической промышленности, основанная на диаграмме Ишикавы

Исходя из разработанной диаграммы (рисунок 1.5), можно сделать вывод, что важными проблемами принятия решений при управлении пожарной безопасностью на предприятиях химической промышленности, являются:

- 1) нарушение правил устройства, монтажа и эксплуатации оборудования на производственном объекте;
- 2) значительное количество возможных сценариев развития пожароопасных ситуаций;
- 3) разнообразная номенклатура веществ и материалов, образующих технологические среды.

Для эффективного решения задач, возникающих в таких фундаментальных науках, как физика, химия и молекулярная биология, а также во многих прикладных науках, поиск решения сводится к вопросам непрерывной глобальной оптимизации. Особенности таких задач часто являются нелинейность, недифференцируемость, многоэкстремальность, овражность, отсутствие аналитического выражения и высокая вычислительная сложность оптимизируемых функций, высокая размерность пространства поиска, сложная топология области допустимых значений. Для решения таких задач интенсивно разрабатываются стохастические поисковые алгоритмы оптимизации. В работе [5] предложена следующая классификация таких алгоритмов (рисунок 1.6):

- эволюционные алгоритмы, включая генетические алгоритмы;
- популяционные алгоритмы вдохновленные живой природой;
- алгоритмы вдохновленные неживой природой;
- алгоритмы, инспирированные человеческим обществом;
- прочие алгоритмы.

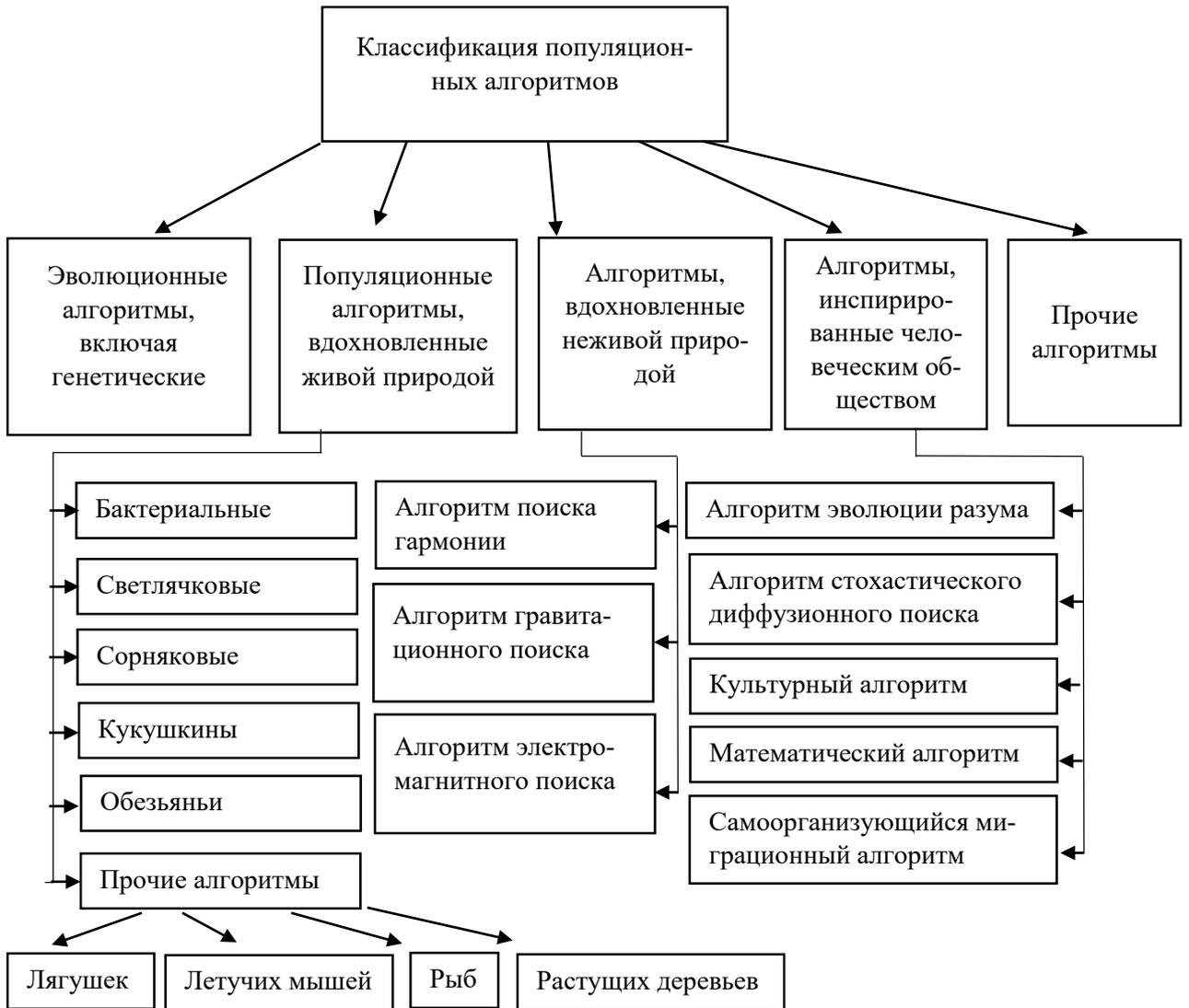


Рисунок 1.6 — Классификация популяционных алгоритмов

В дальнейшем планируется провести обзор применения данных алгоритмов, для управления пожарной безопасностью на предприятиях химической промышленности.

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

Применение различных информационных систем, направленных на поддержку принятия управленческих решений в области пожарной безопасности необходимо при создании МАС. К таким системам относятся: геоинформационная система (ГИС); компьютерные системы расчета риска, компьютерные СППР.

Геоинформационная система – это программно-аппаратный комплекс, решающий совокупность задач по хранению, отображению, обновлению и анализу пространственной и атрибутивной информации по объектам территории [6].

Для непрерывного сбора, обработки и анализа информации в режиме реального времени необходимо использование ГИС. Благодаря ГИС информация о пожаре в кратчайшие сроки передается со спутника на пункт обработки информации и далее в оперативные подразделения пожарной охраны. То есть, ГИС позволяют существенно снизить время реагирования пожарных подразделений на пожар.

При решении задач оперативного управления пожарными подразделениями требуется вовлечение разноплановой информации, также координатно привязанной к местности. Такая информация должна показываться в понятной для анализа форме и обеспечивать принятие оптимальных в данной ситуации управленческих решений.

ГИС обеспечивает возможность прогнозирования и моделирования развития чрезвычайной ситуации с привязкой на местности, анализ последствий и путей предотвращения чрезвычайной ситуации. ГИС дают возможность работать с большим количеством информации, что позволяет оценить возможную степень воздействия уже существующего или проектируемого объекта на окружающую среду.

Для обеспечения органов управления РСЧС федерального и территориального уровней оперативной информацией о состоянии территорий, находящихся в зонах повышенного риска возникновения ЧС, фактах возникновения ЧС, параметрах обстановки в районах ЧС и динамики ее дальнейшего развития предусмотрена система космического мониторинга чрезвычайных ситуаций МЧС России «Каскад» [7].

Одна из широко используемых ГИС – MapInfo Professional, разработанная фирмой MapInfo Corporation (США). MapInfo Professional – это ГИС, позволяющая создавать и анализировать карты территорий, стран, городов, районов и всего, что может рассматриваться как карта или план. MapInfo позволяет решать задачи гео-

графического анализа на основе реализации запросов и создания различных тематических карт, осуществлять связь с удаленными базами данных, экспортировать географические объекты и другие программные продукты [8].

Также распространенной ГИС является ArcGIS — семейство геоинформационных программных продуктов компании ESRI (США). ArcGIS позволяет работать с разнородными данными и базами геоданных большого объема. Широкий функционал возможностей данного программного обеспечения (ПО) позволяет самостоятельно решать множество задач [9].

В практике решения задач противопожарной защиты зданий и сооружений используются компьютерные системы расчета риска, которые в своей работе, в основном, опираются на зонные и полевые модели динамики опасных факторов пожара (ОФП).

Наиболее известные программные продукты реализующие зонную модель пожара, это: SMKFLW (Япония), ASET (ASET-B) (США), BRANZFIRE (Новая Зеландия), ARGOS (Дания), CFAST/FAST (США), NRCC1 и NRCC2 (Канада), CFIRE-X (Германия), CiFi (Франция), FIREWIND (Австрия), DSLAY V (Швеция), SmokePro (Австралия), HUSLAV (Швеция), IMFE (Польша), Ozone (Бельгия), POGAR (Россия), FIGARO-II (Германия).

Программные комплексы для реализации полевых моделей пожара представляют собой комплексы программных библиотек, позволяющих строить различные схемы взаимодействия при осуществлении вычислительных процедур. Примеры программных комплексов, реализующих полевую модель пожара, это: ANES (Россия), ALOFT-FT (США), CFX (Великобритания), FDS (США), FIRE (Австралия), FLUENT (США), JASMINE (Великобритания), KAMELEON FireEx (Норвегия), KOBRA-3D (Германия), MEFE (Португалия), RMFIRE (Канада), SOFIE (США/Швеция), UNDSAFE (США/Япония), VESTA (Франция).

Рассматривая существующие программные продукты для расчета пожарных рисков (таблица 1.3), такие как РУСЬ, ТОКСИ+Risk, Фогард, Феникс, Ситис, FireRisks, PyroSim или Pathfinder, с точки зрения наличия таких функций, как: наличие удаленного доступа (28,6%), изменение визуализации в динамике (57,1%),

такие функции используются менее чем в 60% рассмотренных систем, а возможность корректировки математических моделей (14,3%) и наличие СППР (14,3%) практически отсутствуют (рисунок 1.7).

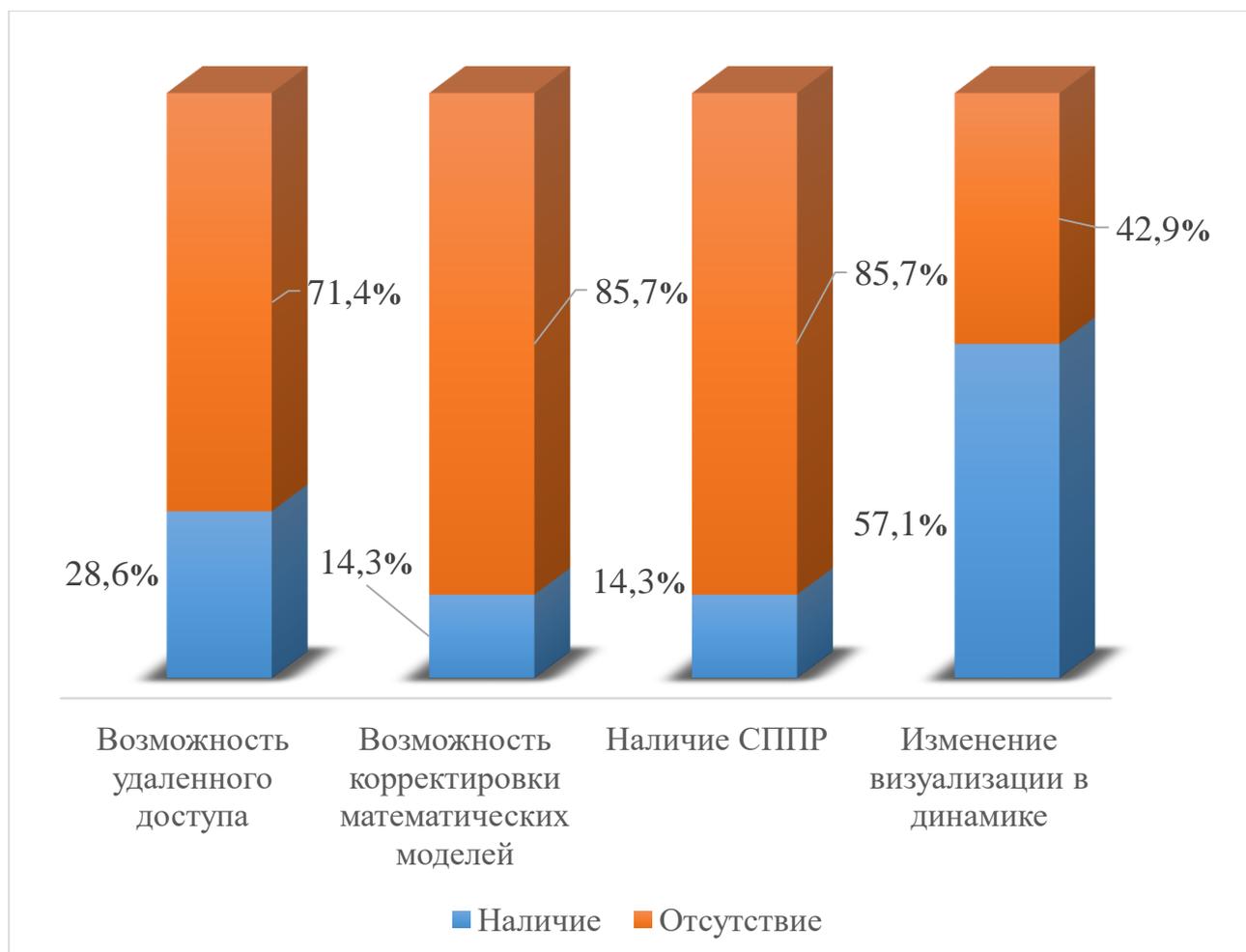


Рисунок 1.7 – Процентное распределение наличия/отсутствия реализуемых функций в программных продуктах для расчета риска

Таблица 1.3 — Анализ программных продуктов расчета величины пожарного риска

№	Наименование программного продукта	Производитель	Функции								
			Наличие моделей расчета	Возможность удаленного доступа	Возможность корректировки математических моделей	Наличие СППР	Структура оболочки модульная(+) /локальная(-)	Наличие подложки	Визуализация результатов расчета	Изменение визуализации в динамике	Формирование расчета в Word
1.	Русь	ООО НПФ "АВИАИН-СТРУМЕНТ" Россия, Киров	ОФП, риск	+	-	-	-	+	+	-	+
2.	ТОКСИ+Risk	ЗАО «НТЦ исследований проблем промышленной безопасности», Россия, Москва	ОФП, риск	-	-	-	-	+	+	-	+
3.	Феникс	ЗАО «Современные программные технологии» Россия, Нижний Новгород	ОФП, риск	-	-	-	-	+	+	+	+
4.	Фогард	ООО «Интернэкс» Россия, Москва	ОФП, риск	+	-	-	-	+	+	-	+
5.	Ситис	ООО "СИТИС" Россия, Екатеринбург	ОФП, риск	-	-	-	+	+	+	+	+
6.	FireRisks	Россия, Москва	ОФП, риск	-	+	+	-	+	+	+	+
7.	PyroSim или Pathfinder	США	ОФП	-	-	-	-	-	+	+	+

#### **1.4. Степень разработанности проблемы управления безопасностью с использованием многоагентного подхода**

За последние годы проведено множество исследований, посвященных применению многоагентного подхода. Мультиагентные системы (МАС) применяются в самых различных сферах: логистика, информационный поиск, здравоохранение и т.д. Однако, несмотря на возрастающее распространение МАС, трудоемкость процесса их разработки остается чрезвычайно высокой, что и порождает проблему создания универсального средства проектирования МАС, сочетающего теоретически обоснованную методологию проектирования и эффективную реализацию в объектно-ориентированной среде [10].

В публикации [10] речь идет о реализации инструментального программного комплекса DISIT для построения мультиагентных систем. Показано, из чего состоит этот комплекс, описан процесс проектирования.

В работе [11] говорится о применении многоагентного подхода при построении систем физической защиты, в частности, систем контроля доступа; нечеткой логике в принятии решений на основе приближенных рассуждений. Предложена модель системы контроля доступа.

В статье [12] рассматриваются основные способы применения интеллектуальных методов и алгоритмов, синтезированных на их основе, представления данных сетевого мониторинга для управления рисками информационной безопасности защищенных мультисервисных сетей. В качестве основных способов повышения оперативности управления в данной работе предлагаются способы уменьшения времени анализа исходных данных и способы уменьшения времени выработки и принятия управленческих решений. При этом качество управления, а именно, значения целевых функций, которые подлежат оптимизации, должны оставаться в области парето-оптимальных значений. Для решения данной проблемы в работе предлагается применение классификации и ранжирования, а также методов нечеткой кластеризации. Проведенные исследования предложенных методов показали

возможность их функционирования в режиме, близком к режиму реального времени.

Публикация [13] посвящена процессу развития агентно-ориентированных систем, возникших в результате технической эволюции информационных и программно-аппаратных средств современной инфосферы. Подробно рассмотрены такие понятия, как интеллектуальный агент (ИА), мультиагентная система (МАС), агентно-ориентированная система. Рассмотрены также инструментальные средства создания агентно-ориентированных приложений, приведены примеры использования интеллектуальных агентов в промышленных информационно-телекоммуникационных системах.

В работе [14] идет речь о повышении эффективности управления информационной безопасностью предприятия за счет сочетания централизованного (автоматизированного рабочего места администратора) и децентрализованного (комплекс интеллектуальных агентов) мониторинга и аудита управления информационной безопасностью предприятия.

В статье [15] рассмотрены методы согласованного управления в многоагентных системах (МАС) на основе нечеткой логики. Главная задача исследования – разработка универсальных методов, позволяющих сбалансировать и уравновесить взаимоотношения агентов в процессе их информационного взаимодействия.

В публикации [16] описана структура системы для поддержки принятия решения с применением агентно-ориентированного подхода. Во введении обозначены факторы, замедляющие процесс принятия решения. В основной части рассмотрена предлагаемая структура информационной системы. В заключении сделан вывод о том, что предложенная структура не только позволит решить обозначенные проблемы, но и проводить автоматизированное исследование данных и осуществлять мониторинг конкретных ситуаций в отсроченном режиме.

В работе [17] представлена структура МАС управления экологической безопасностью, отличительной особенностью которой является распределенный подход к управлению эколого-экономической системой, интеграция больших масси-

вов информации и оперативная обработка результатов. Разработанные модели поведения агентов обеспечивают взаимодействие экологических органов и предприятий, самостоятельно находят и применяют индивидуальные решения для всех факторов, обладающих большим количеством персональных особенностей, создавая предложения по индивидуальным схемам управления. Предложенная модель дает возможность прогнозировать результат, сравнивать прогноз и результат, принимать определенную стратегию действия и в случае необходимости корректировать ее при изменениях среды.

В статье [18] показана применимость агентных технологий для управления группой летательных аппаратов, осуществляющих мониторинг районов чрезвычайных ситуаций. Особенностью этих технологий является выработка коллективной стратегии функционирования летательных аппаратов.

В работе [19] описана технология оценки состояния промышленных систем на основе нечёткой Марковской модели, узлами которой являются интегральные показатели безопасности. Разработаны алгоритм поиска центра технологической безопасности и технология оценки состояний многоагентных информационных систем технологических процессов. Узлы графа могут быть образованы и на основе риск-показателей. В этом состоит основное отличие рассматриваемой в работе цепи от общепринятой цепи Маркова.

В статье [20] показана возможность и перспективность введения многоагентных систем в структуру систем поддержки принятия решения. Представленная возможность классификации задач по отдельным признакам позволяет добиться ранжирования поставленных задач в зависимости от актуальности, эффективности и затраченных средств. Данный подход позволяет выделить именно те задачи, которые с наибольшей эффективностью, минимумом затраченных средств и в ограниченные промежутки времени приведут к выполнению поставленных целей. Однако стоит сказать, что существующие многоагентные системы при рассмотрении их в рамках систем поддержки принятия решений (СППР) не в полной мере удовлетворяют требованиям по эффективному и спрогнозированному принятию решения.

Исходя из вышесказанного, можно сделать вывод о необходимости создания математической модели СППР способной решать задачи самоупорядочности и самоорганизации агентов, исходя из сложившихся условий.

В публикации [21] рассмотрены бизнес-процессы планирования технического обслуживания и ремонта оборудования иерархического многофилиального предприятия на примере распределительных сетевых компаний электроэнергетики. Предложен способ организации системы информационной поддержки данных бизнес-процессов на основе агентно-ориентированного подхода с использованием программного комплекса DISIT.

В работе [22] рассмотрена система имитационного моделирования динамики состояния сложных технических систем, имеющих в своем составе уникальные механические системы. Представлена модель агента, классы состояний, отражающие стадии (этапы) процесса изменения технического состояния: от состояния исходной дефектности до отказа. Представлен детерминированный подход к прогнозированию технического состояния. Отказ рассмотрен не как случайное событие, для которого осуществляется оценка вероятности наступления, а как процесс, обусловленный деградацией уникальных механических систем. Подробное описание данного процесса обеспечивает возможность получения более точных результатов прогнозирования динамики технического состояния. Результаты имитационного моделирования являются основой поддержки принятия решений при обеспечении безопасности на всех стадиях жизненного цикла промышленных объектов. Результаты имитационного моделирования могут быть использованы и для задач анализа и оценки риска аварийных ситуаций и аварий.

В статье [23] говорится о программной среде AgentITS. Инструментарий AgentITS, состоящий из интерактивных мастеров и панелей свойств, формирует среду, оптимизированную для создания распределенных интеллектуальных систем учебного назначения, которые должны формировать ответы на запросы пользователей посредством выполнения специализированных процедур поиска и распределенной обработки знаний, а также осуществлять адаптивное обучение с использо-

ванием персональных обучающих агентов. Инструментарий AgentITS включает такие группы программных средств, как среда выполнения МАС и инструментальная среда разработки многоагентных банков знаний. Агентская платформа отвечает за обеспечение жизнедеятельности агентов в составе МАС и представляет собой систему промежуточного уровня (middleware), которая находится между агентами и операционной системой. Основные функции агентной платформы состоят в управлении агентами, обеспечении передачи сообщений между агентами, в поиске агентов и данных о них внутри системы, поддержке онтологий. Инструментальная проблемно-ориентированная среда AgentITS упрощает процесс создания персональных интеллектуальных агентов, а также агентов обучающих ресурсов, осуществляющих доступ к учебным материалам с удаленных компьютеров.

В публикации [24] дана строгая формулировка понятия причинно-следственной модели сложного явления и сформулированы правила представления подобных моделей в виде причинно-следственных диаграмм. Проанализировано соотношение между причинно-следственным моделированием и традиционными методами математического моделирования. Приведены примеры причинно-следственных моделей (диаграмм) явлений различной физической природы и продемонстрировано использование подобных моделей при исследовании некоторых конкретных задач. В частности, рассмотрен механизм перенормировки констант скоростей химических реакций в рамках явления диссипативного резонанса.

В работе [25] на основе многоагентного подхода предложены: методика оценки совместной реализации проектов; алгоритм повышения вероятности успешной реализации проекта в зависимости от средств, выделенных на устранение рисков, и алгоритм согласованного выбора проектов при заданных критериях оценок проекта для различных участников. Разработана и апробирована многоагентная модель развития территориальной системы и модель концессионных отношений государства и частного сектора при реализации крупных проектов. Предложен гибридный подход на базе аппарата нейронных сетей и марковских цепей

для прогнозирования значений заданных показателей многоагентной среды в будущем. Разработан программный инструмент aMoSe для планирования и моделирования хода выполнения государственно-частных проектов.

В статье [26] обосновывается необходимость использования для управления сложными системами интеллектуальных информационных технологий и систем поддержки принятия решений. Анализируются понятия «система гибридного интеллекта», «разумные управляющие системы», «генетический алгоритм». Рассмотрены методы и схемы эволюционных вычислений, основные положения направления «роевого интеллекта», способы организации коллективной работы специалистов в компьютерных сетях, особенности и преимущества метода генетического консилиума. Рассмотрены подходы к созданию теории сетевых систем коллективного интеллекта.

В публикации [27] предлагается способ описания и анализа поведения интеллектуальных агентов в команде. Рассмотрены некоторые особенности агентного взаимодействия, представление знаний о которых затруднено, и сделан вывод о необходимости разработки нового языка представления знаний. Разработан синтаксис языка представления знаний, рассмотрены его отличительные особенности. Предложен концепт программного инструмента анализа поведения команд агентов, основанных на знаниях.

В работе [28] обосновывается необходимость интеллектуализации информационных и организационных процессов в управлении социально-экономическими системами, необходимость построения и внедрения методов и систем искусственного интеллекта (ИИ) и интеллектуальных технологий поддержки принятия решений. Приведены составляющие информационных технологий бизнес-интеллекта и управления знаниями. Рассмотрены понятия «интеллект», «интеллектуальная система», их свойства и особенности, направления моделирования мышления. Рассмотрены цели и задачи, которые ставятся перед теорией ИИ, основные подсистемы, входящие в систему ИИ. Приведены основные принципы построения нечетких интеллектуальных систем поддержки принятия управленческих решений.

В статье [29] проанализированы особенности агентных технологий и перспективы их использования для разработки сложных многопользовательских программных систем. Предложен агентный подход к созданию компьютерной системы поддержки дистанционного обучения. Описано использование инструментария (JADE) для создания прототипа такой системы.

В публикации [30] на примере многоагентной системы рассмотрено создание интеллектуальной компьютерной системы поддержки принятия решений с самоорганизацией на основе анализа взаимодействия участников. Представлена универсальная структура системы, реализующей данный подход. Приведены результаты тестирования различных типов архитектур на предмет вероятности возникновения синергетического эффекта и оценки его влияния на качество решения сложных задач. Показано, что именно эффект самоорганизации в системах поддержки принятия решений обуславливает высокое качество решений, предлагаемых такими системами. Представлен алгоритм определения типа архитектуры МАС по степени согласованности взаимодействия агентов, а также многоагентная система с самоорганизацией.

В работе [31] формулируются задачи компьютерных систем поддержки принятия решений, рассматриваются факторы, влияющие на возможности таких систем, и трудности, возникающие при их реализации и применении. Обсуждаются методы компьютерного анализа ситуаций, компьютерной генерации и оценки возможных решений, моделирования принимаемых решений и компьютерной поддержки согласования групповых решений. Показываются возможности этих систем.

В статье [32] обсуждаются основания субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах. Первое основание строится на субъективности любого управления в социальных и экономических системах, поскольку все подобные системы управляются людьми, служат людям или затрагивают их интересы. Второе основание исходит из того, что своей эффективности управление обязано феномену ментальной деятельности субъекта управления, заключающейся в способности видеть будущее окружающего мира через множество

целей, осуществлять ранжирование и осознанный выбор целей и способов их достижения в соответствии со своими предпочтениями, коммуникативного общения на естественном языке для развития эмерджентности организационных систем. Третье основание предусматривает развитие особых свойств человека, составляющих феномен его субъективной деятельности, на основе перехода от описательных моделей поведения человека к формальным моделям в задачах формирования целей управления и от формальных моделей к описательным – в задачах выбора действий субъекта управления. Четвертое основание заключается в необходимости устранения сложившегося разрыва между описательными и математическими теориями управления, субъектно-ориентированным обоснованием целей управления и выбора действий. Пятое основание в пользу развития новой математической управленческой дисциплины предполагает возможности исследования достаточно широкого спектра управленческих явлений в социальных и экономических системах, конструктивно оперируя базовыми понятиями и объектами субъектно-ориентированного управления, что соответствует построению нового раздела математики – исчислению моделей предпочтений.

В публикации [33] разработана методика, позволяющая оценить влияние различных факторов на состояние условий и охрану труда в организации и на этой основе осуществлять поддержку принятия решений для формирования эффективного управляющего воздействия. Разработанная методика позволяет оценивать влияние различных факторов на состояние условий и охрану труда в организации, что позволяет производить научно обоснованную поддержку принятия управленческих решений в системе управления охраной труда и вырабатывать эффективное управляющее воздействие в случае выявления нарушений.

В работе [34] рассматривается применение специально интегрируемых в традиционные системы автоматизированного проектирования или используемых автономно в виде многоагентной системы экспертной критики агентов экспертной критики (АЭК), основанных на формализованных знаниях проектировщиков и многоагентной технологии. АЭК как согласованная система агентов принадлежит к данному классу многоагентных систем. Они получают на входе описание задачи

и (или) предложенный проектировщиком вариант решения или действия, а в качестве результата генерируют критику решений и действий. Подобная критика воздействует на проектировщиков с целью интенсификации их творческих возможностей, что позволяет направлять их последующие действия, ограждать от совершения ошибок в рассуждениях или действиях и реализовать корректировку неверных (нерациональных) решений. АЭК в большей степени ориентированы на поддержку работы проектировщиков-экспертов.

В статье [35] для информационной поддержки принятия решений и повышения уровня координации субъектов региональной безопасности разработан прототип сетцентрической мультиагентной информационно-аналитической среды поддержки управления региональной безопасностью «Безопасный виртуальный регион» с унифицированной точкой доступа на основе веб-технологий. Ядро и компоненты распределенной информационной среды образуют иерархическое виртуальное пространство региона как интеграционную площадку для проблемно-ориентированных ситуационно-коалиционных мультиагентных систем поддержки управления рискоустойчивым региональным развитием.

В публикации [36] рассмотрена задача анализа и оптимизации функционирования предприятия. Предложено в качестве инструментария моделирования и поддержки принятия решений использовать мультиагентные технологии. Определены проблемы, которые сопровождают процесс моделирования, построены модели с использованием продукционных правил и разработан метод оптимизации на основе изменения множества задач, структуры производства и стратегии управления предприятием.

В статье [37] рассмотрены основные принципы построения открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений, базирующиеся на механизмах самоорганизации и эволюции. Рассмотрены особенности применяемого холистического подхода к построению указанных систем, представлена структура разработанных инструментальных средств для их реализации, а также показаны примеры применения указанных систем в области управления предприятиями, логистики и электронной коммерции.

Работа [38] посвящается рассмотрению проблем и состоянию моделей представления знаний в системах принятия решений. Предлагаются способы организации моделей представления предметных знаний в интегрированных системах поддержки управленческих решений. Рассмотрены модели и подходы к организации знаний, показано, что процесс проектирования ИСППР требует применения различных моделей знаний, поэтому при создании архитектуры информационных систем необходимо обеспечить эффективное использование всех имеющихся в системе видов знаний для поддержки управления процессами принятия решений. Разделение знаний по уровням представления обеспечивает расширение области применимости системы и позволяет:

- ускорить процесс в целом за счет уменьшения времени принятия решения на трудноформализуемых этапах;
- улучшить качество принятия решений за счет использования накопленного опыта;
- уменьшить влияние субъекта (пользователя) на процесс принятия решений.

В публикации [39] описаны нечеткие генетические алгоритмы в информационных технологиях. При применении генетических алгоритмов все переменные задачи оптимизации должны быть определенным образом закодированы. Сущность кодирования заключается в преобразовании любого числового значения в некоторую последовательность символов конечного алфавита, состоящего обычно из небольшого числа элементов. Показана модель нечеткого генетического алгоритма.

Структура каждого агента может быть условно обозначена следующей формулой: Агент = Архитектура + Программа.

Применение принципов построения многоагентных систем к задаче синтеза архитектуры прикладной подсистемы оптимизации позволяет организовать параллелизацию основных технологических процессов при поиске и выборе решений и предложить архитектуру подсистемы оптимизации.

В работе [40] описывается предлагаемая авторами методика построения многоагентных систем для решения энергетических задач, в частности, задачу оценивания состояний электроэнергетических систем. Методика включает в себя использование агентных сценариев для формирования пользователем последовательности вызова тех или иных агентов. Для описания сценариев применяются событийные модели на основе Joiner-сетей, в которых процессы функционирования каждого агента являются узлами сети, а события являются сигналами о прекращении выполнения процессов. В статье описывается разработка многоагентной системы оценивания состояний электроэнергетических систем с использованием предлагаемой методики. На данном этапе выполнена реализация агента декомпозиции исходной схемы электроэнергетических систем по уровням напряжения. Проведено сравнение расчетов общей схемы сети с расчетами получившихся подсистем. Результаты вычислительного эксперимента представлены в статье для демонстрации корректной работы системы. Новизна работы заключается в применении многоагентного подхода для решения задач в области энергетики и использовании событийного моделирования на основе Joiner-сетей для описания сценариев.

В статье [41] рассматриваются особенности реализации многоагентной системы, связывающей интеллектуальных агентов научно-образовательной деятельности с репозиторием научно-образовательных объектов и сервисов. Представлена интеграция распределенных в вычислительной сети разнородных источников знаний и сервисов для реализации коллективного доступа к нему различных категорий участников научно-образовательных процессов на основе многоагентного и онтологического подходов. Предлагаемая в работе организация информационно-образовательного пространства на основе многоагентного и онтологического подходов позволяет осуществлять интенсивное и динамичное наращивание научно-образовательного контента и создаст условия для развития виртуальной академической мобильности преподавателей, научных работников и обучающихся.

В публикации [42] предлагается формальный способ представления желаний и намерений интеллектуального агента и выбора решения в группе таких агентов

при возникновении новой задачи на основе использования понятия решетки. В данной работе рассматривается вопрос об изменении задачи интеллектуального агента, принадлежащего группе одного типа объектов, в случае, когда намерения разных агентов этой группы ранжируются в соответствии с разными критериями. Для того чтобы сравнивать предпочтения, характеризующиеся разными критериями, и выбирать объект для решения новой задачи, предлагается использовать аппарат теории решеток.

В работе [43] рассматривается проблема управления взаимодействием персонала в интеллектуальных организациях при решении ими творческих задач в условиях неопределенности внешней среды и риска. Показано, что рост суверенности субъектов управления при этом, требует особых форм управления со стороны менеджеров верхнего уровня, основанных на дальновидных формах развития мотивации, креативности агентов.

В статье [44] предложено семейство многоагентных систем, в которое входят важные модели, применяемые в естественных науках; эвристические оптимизационные алгоритмы, такие как генетические алгоритмы и алгоритмы «роя частиц»; модели типа «хищник-жертва»; модели распространения вирусов и др. Показана связь систем данного семейства с Марковскими процессами. Исследован ряд конкретных моделей и алгоритмов: модель сегрегации Шеллинга, игра с логлинейным правилом принятия решения, алгоритм имитации отжига. Показана возможность их формального представления в виде однородной цепи Маркова, построены альтернативные доказательства вероятностных оценок их поведения, что позволило объяснить ряд закономерностей, определяющих различные аспекты поведения такого рода моделей. Реализован программный комплекс, который предоставляет возможность легко создавать программные модели многоагентных систем, описанных в терминах рассматриваемого в диссертации семейства, содержит средства управления системами и средства исследования процессов их функционирования. Проведено сравнение с рядом известных многоагентных программных платформ. Построена многоагентная модель развития транспортной сети в условиях изменяющихся грузопотоков и конкуренции между операторами перевозок. Реализован

комплекс программ, предназначенный для моделирования возможных путей развития Мировой хозяйственной системы, анализа и визуализации исходных статистических данных и полученных результатов.

В публикации [45] рассматриваются принципы построения агентно-ориентированной системы имитационного моделирования. Известно, что агентные модели расширяют возможности применения метода имитационного моделирования при решении ряда задач, которые методами системной динамики или событийно-ориентированного моделирования решены быть не могли. Особое внимание при проектировании агентно-ориентированной системы имитации авторы уделяют проблемам реализации распределенного моделирования, реализации интеллектуальных агентов и использованию онтологий на всех этапах имитационного моделирования.

В работе [46] разработаны теоретические модели, объединенные в многоагентную систему для моделирования действий оперативных подразделений пожарной охраны при тушении пожаров в социальных зданиях, оснащенных системами и средствами мониторинга состояния пожара. Отношение количества когнитивных и реактивных агентов, совокупность правил их взаимодействия определяют, что по общей классификации созданная МАС является «интеллектуальной многоагентной системой», в которой процессы управления реализуются по принципу «искусственная жизнь». Выбор модульной структуры построения МАС позволяет наращивать ее возможности путем внедрения новых математических моделей и реализующих их программных модулей.

В статье [47] рассматриваются подходы к определению типа интеллектуальных агентов и состояния многоагентной системы, основанные на теории нечетких множеств и нечеткой логике. Описываемые в работе понятия и методы иллюстрируются на примерах определения типа агентов и приведения многоагентной системы в состояние компромисса. Также в статье сформулированы производные от названных задач, актуальные при разработке моделей межагентного взаимодействия. Нечеткая логика является удобным средством обучения и мониторинга

МАС. Управление на основе нечеткой логики позволяет сформировать базу нечетких правил для осуществления оптимальных управляющих воздействий на ИА с целью разрешения конфликтов и противоречий, возникающих в МАС. При этом оптимальным решением является внедрение формулы управления в антропоморфную сущность ИА с тем, чтобы ее действие было неявным: «Мне никто не дает команд, но мое поведение управляется моей собственной концепцией Я, содержащей принципы, согласно которым я должен вести себя именно так, а не иначе».

В публикации [48] рассмотрены методы управления конфликтом в МАС. Показано что несмотря на то, что выбор метода зависит от типа конфликта, все же используется совокупность всех методов. Описанные методы имеют общие черты, такие как: последовательные уступки, итерационность и косвенное или прямое вмешательство в конфликт третьей стороны, которая исключает его путем согласования поведенческих стратегий агентов к компромиссу.

В работе [49] показаны модели конфликта, в которых агенты рассмотрены различными описаниями собственных знаний о ситуации в целом, формализованными в виде линейных когнитивных карт. Также продемонстрированы эффекты, которые возникают при работе агентов с несогласованными представлениями. Это позволило решать задачи информационного управления на когнитивных картах, управление может осуществляться как агентами, так и внешними сторонами для достижения собственных целей.

В статье [50] рассмотрен подход к созданию интеллектуальных агентных систем для решения задач, возникающих при управлении территорией муниципального уровня. Основной особенностью работы является использование ГИС при построении МАС для осуществления интеллектуального анализа данных.

В публикации [51] показано использование МАС для обеспечения безопасности крупномасштабных военных и транспортных систем. Рассматриваются аспекты обеспечения процесса безопасного функционирования МАС, в частности, анализа рисков: определение различных причинно-следственных связей, в результате чего функционирование системы может привести к опасным последствиям.

Показаны проблемы анализа опасностей МАС и описываются требования, предъявляемые к любому методу, направленному на решение определенных задач.

Создано программное средство SimHAZAN, представляющее автоматизированный подход анализа опасностей для МАС, позволяющий избежать некоторых проблем, связанных с существующими методами (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Обзор научных работ по проблемам управления пожарной безопасностью с использованием многоагентного подхода

Наименование	Авторы	Анализ МАС Есть /нет	Мат модель МАС Есть /нет	Компьютерная реализация Есть/нет	Примечание
1	2	3	4	5	6
Реализация инструментального комплекса DISIT для построения мультиагентных систем	Швецов А.Н., Сергушичева М.А., Сорокин С.И.	Есть	Нет	Есть	
Система физической защиты на основе агентно-ориентированного подхода и нечеткой логики	Тарасов А.Д.	Есть	Есть	Есть	
Применение интеллектуальных методов представления информации для управления рисками информационной безопасности в защищённых мульти-сервисных сетях специального назначения	Агеев С.А.	Есть	Есть	Нет	
Агентно-ориентированные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям	Швецов А.Н.	Есть	Есть	Есть	

1	2	3	4	5	6
Подход к построению автоматизированной системы управления информационной безопасностью предприятия	Цыбулин А.М.	Нет	Нет	Нет	
Нечеткие методы согласованного управления в многоагентных системах	Мутовкина Н. Ю., Кузнецов В. Н., Клюшин А. Ю., Палюх Б. В.	Есть	Есть	Нет	
Структура системы информационной поддержки управленческих решений на основе агентно-ориентированного подхода	Козьминых Н.М.	Есть	Есть	Нет	
Модель адаптивного поведения агентом мультиагентной системы управления экологической безопасностью	Еременко Ю.И., Доронина Е.Г.	Есть	Есть	Нет	
Агентные технологии мониторинга районов чрезвычайных ситуаций	Абросимов В.К., Гончаренко В.И.	Есть	Нет	Нет	
Разработка технологии оценки состояния промышленных систем на основе показателя безопасности и принятие решений целеустремлённого поведения агента	Богатилов В.Н., Маслов А.А., Власов А.В., Кайчёнов А.В., Пискарева А.Д.	Есть	Есть	Нет	
Многоагентные системы как возможность реализации СППР	Вяткин А.Ю., Смирнов Д.В., Кочетов И.А.	Есть	Нет	Нет	
Иерархическая распределенная система поддержки управления техническим обслуживанием и ремонтом энергооборудования	Сергушичева М.А., Швецов А.Н.	Есть	Есть	Есть	

1	2	3	4	5	6
Агентная система моделирования динамики состояний сложных технических систем	Берман А.Ф., Николайчук О.А., Павлов А.И.	Есть	Есть	Нет	Использована система имитационного моделирования динамики состояния сложных технических систем
Агентно-ориентированная технология разработки распределенных интеллектуальных систем	Зайцев Е.И.	Есть	Нет	Нет	Использование инструментальная проблемно-ориентированная среда AgentITS. (Интересный анализ МАС)
Причинно-следственное моделирование как общий метод описания и исследования явлений в сложных иерархически организованных системах	Карнаухов А.В.	Нет	Нет	Нет	Описан метод причинно-следственного моделирования (выделен как отдельный, а не как вспомогательный)
Мультиагентный подход и моделирование поведения взаимодействующих иерархических систем экономической природы	Чиркунов К.С.	Есть	Нет	Нет	Разработан программный инструментальный аМоSe для планирования и моделирования хода выполнения государственно-частных проектов
Эволюционно-генетические и бионические методы моделирования коллективного интеллекта в системах управления и поддержки принятия решений	Карелин В.П., Протасов В.И.	Нет	Нет	Нет	МАС рассматривается с точки зрения направления «роевого интеллекта»
Инструментарий исследования команд интеллектуальных агентов	Никляев И.Ю.	Есть	Нет	Нет	Предложена концепция программного продукта.
Интеллектуальные технологии и системы искусственного интеллекта для поддержки принятия решений	Карелин В.П.	Есть	Нет	Нет	Обосновывается необходимость создания СППР с использованием новейших технологий.
Использование jade (java agent development environment) для разработки компьютерных систем поддержки дистанционного обучения агентного типа	Глибовец Н.Н.	Есть	Есть	Есть	Предложен агентный подход к созданию компьютерной системы поддержки дистанционного обучения.

1	2	3	4	5	6
Исследование эффекта самоорганизации в компьютерных системах поддержки принятия решения на примере многоагентных систем	Кириков И.А., Колесников А.В., Листопад С.В.	Есть	Есть	Нет	Самоорганизация в МАС
Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений	Трахтенгерц Э.А.	Нет	Нет	Нет	Показана актуальность применения компьютерных систем для СППР
Концепция субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах	Харитонов В.А., Алексеев А.О.	Нет	Нет	Нет	Представлена концепции субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах
Методика поддержки принятия управленческих решений в системе управления охраной труда	Яговкин Н.Г., Кривова М.А.	Нет	Нет	Нет	Методика прошла апробацию на ряде крупных энергетических и нефтегазовых предприятий
Многоагентная технология экспертной критики для интеллектуальной поддержки принятия решений	Котенко И.В., Лихванцев Н.А.	Нет	Есть	Нет	Использование автономно в виде многоагентной системы экспертной критики – агентов экспертной критики. Показаны функции и требования к таким агентам
Мультиагентная информационно-аналитическая среда поддержки управления региональной безопасностью «безопасный виртуальный регион»	Маслобоев А.В.	Нет	Есть	Нет	Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект №12-07-00138)
Мультиагентные технологии анализа и оптимизации функционирования предприятий отрасли	Мысник Б.В., Снитюк В.Е.	Есть	Есть	Нет	МАС для предприятия
Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями	Скобелев П.О.	Есть	Нет	Нет	Рассмотрены основные принципы построения открытых мультиагентных систем, базирующихся на механизмах самоорганизации и эволюции

1	2	3	4	5	6	7
10.	Проблемы представления знаний в интегрированных системах поддержки управленческих решений	Бова В.В., Курейчик В.В., Нужнов Е.В.	Нет	Нет	Нет	Работа выполнена при поддержке: РФФИ (гранты № 09-07-00318, № 10-01-00115), г/б № 2.1.2.1652.
11.	Решение задач поиска и оптимизации решений на основе нечетких генетических алгоритмов и многоагентных подходов	Гладков Л.А.	Есть	Есть	Нет	Применение нечетких генетических алгоритмов и МАС. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 04 – 01 – 00174 и программы развития научного потенциала высшей школы 2006-2008 гг. (РНП.2.1.2.3193)
12.	Разработка многоагентной системы оценивания состояний электроэнергетических систем с использованием событийных моделей	Массель Л.В., Гальперов В.И.	Есть	Есть	Нет	Новизна работы заключается в применении многоагентного подхода для решения задач в области энергетики и использовании событийного моделирования. Тестируется на практике при создании многоагентной системы оценивания состояний
13.	Многоагентная система реализации информационно-образовательного пространства высшего учебного заведения	Тельнов Ю.Ф., Трембач В.М.	Нет	Есть	Нет	Показана технология взаимодействия агентов в информационно-образовательном пространстве
14.	Принятие решений в группе интеллектуальных агентов	Легович Ю.С., Максимов Д.Ю.	Есть	Нет	Нет	Рассмотрен способ сравнения намерений интеллектуальных агентов при возникновении новой задачи в группе однотипных агентов
15.	Постнеклассический подход к проблеме построения модели поведения интеллектуального агента	Виноградов Г.П., Кузнецов В.Н.	Есть	Есть	Нет	Рассмотрена модель поведения в виде нечеткого описания модели ситуации выбора

1	2	3	4	5	6	7
16.	Многоагентные системы в моделировании социально-экономических отношений: исследование поведения и верификация свойств с помощью цепей Маркова	Зайцев И. Д.	Есть	Есть	Есть	Использованы оптимизационные алгоритмы, такие как: генетические алгоритмы и алгоритмы «роя частиц»; модели типа «хищник-жертва»; модели распространения вирусов и другие
17.	Архитектура агентно-ориентированной системы имитации с агентами, основанными на нейронных сетях	Замятина Е.Б., Каримов Д.Ф., Митраков А.А.	Есть	Есть	Есть	В работе представлен обзор существующих программных систем агентного моделирования
18.	Многоагентная система для моделирования действий по тушению пожаров в социальных зданиях	Тараканов Д.В.	Есть	Есть	Есть	Создан программный модуль для моделирования действий оперативных подразделений пожарной охраны при тушении пожаров в социальных зданиях
19.	Семантическое определение типа агента в многоагентной системе. Проблема межагентного взаимодействия	Мутовкина Н.Ю., Клюшин А.Ю., Кузнецов В.Н.	Есть	Нет	Нет	Определение типа ИА и состояния МАС, основанные на нечеткой логике
20.	Методы согласованного управления конфликтом в многоагентной системе	Мутовкина Н.Ю., Кузнецов В.Н., Клюшкин А.Ю.	Есть	Есть	Нет	Актуальность работы состоит в том, что, как показывает практика не всегда возможно обходиться без конфликтов в системе, особенно когда речь идет о взаимодействии нескольких агентов, имеющих индивидуальные особенности, при решении общей задачи
21.	Моделирование конфликтных ситуаций с несогласованными представлениями у агентов на основе игр на линейных когнитивных картах	Куливец С.Г.	Есть	Есть	Нет	Рассмотрены две теоретико-игровые модели конфликтов между агентами в слабоструктурированной ситуации

1	2	3	4	5	6	7
22.	Создание интеллектуальных программных агентов поиска градостроительных конфликтов (нарушений)	Лазарев Е.М., Аксенов К.А.	Есть	Есть	Нет	На базе данной системы разработано несколько интеллектуальных программных агентов, в том числе: агент Гражданской обороны и Чрезвычайных ситуаций (ГО и ЧС), позволяющий моделировать последствия ЧС для планирования ГО и мер предотвращения ЧС, такие как прорывы плотин, аварии на заводах и электростанциях и катастрофы
23.	Supporting systems of systems hazard analysis using multi-agent simulation	Rob Alexander, Tim Kelly.	Есть	Есть	Есть	

Проанализировав предметную область, можно сделать вывод что:

1. Многоагентные технологии наиболее распространены применительно к решению задач автоматизации управления сложными системами, для сбора и обработки информации, в играх. Многоагентные технологии применяются в управлении мобильными ресурсами, а также в таких сферах, как проектирование объектов, безопасность жизнедеятельности, промышленное производство, финансовое планирование и анализ рисков, распознавание образов, извлечение знаний из данных, понимание текста и решение других сложных проблем.

2. Основными средствами разработки многоагентных систем являются (таблица 1.5):

Таблица 1.5 – Основные средства разработки многоагентных систем

№	Наименование программного продукта	Описание
1.	JADE (Java Agent Development Framework).	Программная среда разработки МАС и приложений, поддерживает FIPA-стандарты для интеллектуальных агентов.
2.	JACK Intelligent Agents.	Java платформа для создания МАС, применяющая модель логики агентов, основанную на убеждениях-желаниях-намерениях и встроенные формально-логические средства планирования работы интеллектуальных агентов.

№	Наименование программного продукта	Описание
3.	DISIT (Distributed Intellectual System Integrated Toolkit)	Средство проектирования распределенных интеллектуальных систем
4.	MATLAB	Пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений. Язык программирования позволяющий проектировать МАС
5.	MadKIT	Модульная и масштабируемая мультиагентная платформа, написанная на Java, поддерживает агентов на разных языках: Java, Python, Jess, Scheme, BeanSchell
6.	AgentBuilder	Коммерческий продукт, агенты общаются на языке KQML (Knowledge Query and Manipulation Language) и обладают ментальной моделью
7.	Cougaar (Cognitive Agent Architecture)	Для построения распределенных МАС с run-time engine и средствами для визуализации, управления данными и др
8.	NetLogo	Кроссплатформенное программируемое окружение для программирования МАС
9.	VisualBots	Бесплатный мультиагентный симулятор в Microsoft Excel с Visual Basic синтаксисом.
10.	MASON	Java библиотека для моделирования МАС
11.	REPAST	Набор инструментов для создания систем, основанных на агентах
12.	CogniTAO	C++ платформа разработки автономных МАС, ориентированная на реальных роботов и виртуальных существ

3. Основными тенденциями в области МАС являются искусственная жизнь и распределенный искусственный интеллект. При решении сложной задачи часто бывает необходимо разбить ее на подзадачи, которые поручаются отдельным агентам.

4. При анализе работ по МАС было выявлено, что анализ МАС присутствует в 77,5% работ, математическая модель МАС – в 60,0%, компьютерная реализация – в 20,0%. Исходя из этого можно сделать вывод, что результаты исследований, как правило, носят теоретический характер, до программной реализации работы не доводятся, и авторы часто не указывают математическую и алгоритмическую составляющую.

## 1.5. Обзор научных работ по вопросам распределения ресурсов

Распределение ресурсов часто является предметом научных исследований различных ученых. Проведено множество исследований в различных областях. Разработано большое количество алгоритмов для решения частных задач распределения ресурсов.

В публикации [78] разработан методический подход, обеспечивающий рациональный выбор в задачах распределения финансовых ресурсов на зарубежное патентование интеллектуальной деятельности. Данный подход обосновывает целесообразность использования финансовых ресурсов на зарубежное патентование результатов интеллектуальной деятельности оборонно-промышленного комплекса. С использованием данного подхода увеличивается объем выручки от продажи лицензий на запатентованные образцы.

В статье [79] рассмотрена задача распределения ресурсов при ограниченном финансировании на основании согласования интересов *агентов* (оптимальное распределение), в свою очередь, каждый агент наделен индивидуальными интересами в данной постановке задачи.

В работе [80] показаны модели и механизмы распределения ресурсов, в данной постановке задачи интерпретируются либо как задачи распределения затрат на реализацию общего проекта между участниками, принимающими участие в этом проекте, либо как задачи распределения дохода, полученного от совместной деятельности участников. В качестве агентов могут выступать физические и юридические лица, а также федеральные и местные органы управления.

В публикации [81] показаны возможные подходы к разработке интеллектуальных СППР по управлению распределением ресурсов, обоснована возможность ее реализации с использованием МАС.

В статье [82] авторами проанализированы возможности применения много-агентного подхода для решения задачи распределения ресурсов группы предприятий.

В работе [83] сформировано понятие механизма планирования распределения финансовых ресурсов в активных системах. Доказана актуальность перехода от двухуровневых структур активных систем к многоуровневым.

В публикации [84] разработаны модели и алгоритмы для задачи распределения ресурсов между центрами финансовой ответственности децентрализованного машиностроительного предприятия (оборонно-промышленного комплекса) при управлении инновациями.

В статье [85] предложены модели оптимального распределения финансовых ресурсов и оптимального соотношения между объемом их накопления и объемом потребления в рамках региональной экономической системы. Данный механизм сформирован на базе существующих моделей оптимального управления, для реализации указанного механизма применен модифицированный метод исследования пространства параметров Соболя.

В работе [86] предлагаются методы повышения эффективности использования ресурсов в здравоохранении, направленные на поиск альтернативных и более эффективных стратегий распределения ресурсов. Проведен эксперимент по внедрению результатов работы в систему здравоохранения Могилевской области Республики Беларусь.

В публикации [87] рассматривается проблема эффективности распределения финансовых ресурсов в организациях, включающих в себя подразделения, функционирующие в отраслях, отличных по видам деятельности. Для выбора конгломератных слияний использовалась модель Максимовича и Филиппа.

В работе [88] представлена модель, решающая задачу оптимального распределения ресурсов в конгломерате. Модель прогнозирует, как конгломератные фирмы будут распределять ресурсы между подразделениями в течение делового цикла, также показано отличие реакций конгломератных фирм от компаний, включающих в себя один сегмент. Приведен пример использования разработанной модели на предприятии, доказано, что рост конгломерата и компаний одного сегмента связан с фундаментальными факторами в отрасли и производительностью на уровне отдельных сегментов. Большая часть конгломератных фирм показывает

прогнозируемый рост по всем отраслевым сегментам, что согласуется с оптимальным поведением.

В работе [89] рассмотрен подход к задаче распределения ресурсов при управлении экологической безопасностью по критерию максимизации минимального уровня, когда стандартные способы, связанные с введением стимулирования, не обеспечивают достоверности сообщаемой информации и оптимального распределения ресурсов.

В статье [90] представлены модели многопараметрической оптимизации при решении задач распределения ресурсов для планирования развития нанотехнологий. Для проведения автоматической оптимизации предложены целевые функции. Эффективность разработанной методики представлена на примерах при различных условиях.

В публикации [91] рассмотрен алгоритм отображения запросов на физические ресурсы. Обоснованы области эффективного применения алгоритма.

В работе [92] предложен алгоритм для решения задач оптимального распределения ресурсов. Эффективность применения данного алгоритма достигается при использовании в задачах большой размерности (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – Обзор научных работ по распределению ресурсов

№ статьи	Наименование	Авторы	Анализ	Мат модель Есть/нет	Компьютерная реализация Есть/нет	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
78.	Методический подход к выбору рационального варианта распределения финансовых ресурсов на зарубежное патентование результатов интеллектуальной деятельности	Подольский А.Г., Трущенко В.В.	Да	Да	Нет	Статья подготовлена в рамках проекта РФФИ № 17-06-00452.

1	2	3	4	5	6	7
79.	Механизмы распределения ресурсов на основе неманипулируемых симметричных анонимных процедур голосования с делегированием	Бондарик В.Н., Коргин Н.А	Да	Да	Нет	Отличается от «традиционной» постановки задачи, при которой каждое лицо заинтересовано в обеспечении финансирования только своего проекта. Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ, проект № 12-07-00365-а
80.	Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике	Бурков В.Н., Горгидзе И.И. Новиков Д.А., Юсупов Б.С.	Нет	Да	Нет	Описаны механизмы распределения ресурсов в условиях неопределенности. Многие задачи только поставлены
81.	Интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению финансовыми потоками	Куликовский К.Л., Вейс А.А., Вейс Ю.В., Ангельцев А.А	Да	Нет	Нет	Показаны недостатки существующих систем распределения ресурсов
82.	Использование открытых мультиагентных систем в распределении финансовых потоков группы предприятий	Вейс А.А., Ангельцев А.А.	Да	Нет	Нет	
83.	Математическая модель поведения активного элемента в сетевых структурах планирования распределения финансовых ресурсов	Гайсин, В.Ф.				Объектом исследования являются сетевые структуры с различной иерархией
84.	Модели и алгоритмы распределения общих ресурсов при управлении инновациями реструктурированного машиностроительного предприятия	Семенкин Е.С., Клешков В.М.	Нет	Да	Нет	При решении задачи оптимизации использовались генетические алгоритмы

1	2	3	4	5	6	7
85.	Модели и методы поддержки процесса оптимального использования финансовых ресурсов региональной экономической системы	Баева Н.Б., Лихачёва Е. А.	Да	Да	Да	Для решения задачи был реализован метод исследования пространства параметров на языке Python
86.	Совершенствование механизмов распределения финансовых ресурсов: апробация и ожидаемые результаты эксперимента	Новик И.И., Русенчик А.И., Ясюля Т.В., Карканица Е.А., Хавратович В.М.	Да	Нет	Нет	
87.	Численное моделирование и эмпирический анализ распределения финансовых ресурсов в конгломератах	Макаров А.С., Кузьмичева Е.Е., Пузырева М.С.	Да	Да	Нет	Проведено численное моделирование и эмпирическое тестирование эффективности
88.	Do Conglomerate Firms Allocate Resources Inefficiently Across Industries? Theory and Evidence	Maksimovic V., Phillips G.	Да	Да	Нет	
89.	Минимаксное распределение ресурса в активной системе	Бурков В.Н., Опойцев С.В.	Да	Да	Нет	Предложены «нестандартные» целевые функции активных элементов
90.	Многопараметрическая оптимизация задач распределения ресурса для планирования развития нанотехнологий	Авдеенко Т.В., Жмудь В.А., Ляпидевский А.В.	Да	Да	Нет	Задача решалась с помощью сетевых графиков и графиков Ганта
91.	Алгоритм распределения ресурсов в центрах обработки данных с отдельными планировщиками для различных типов ресурсов	Вдовин П. М., Костенко В. А.	Нет	Да	Нет	Разработанный алгоритм позволяет выбирать требуемый баланс между вычислительной сложностью и качеством получаемых отображений путем ограничения максимально допустимой глубины перебора

1	2	3	4	5	6	7
92.	Новые алгоритмы оптимального распределения ресурса	Струченков В. И.	Да	Да	Нет	Разработанный алгоритм позволяет снизить время расчета в задачах большой размерности за счет отбрасывания не перспективных вариантов

Анализ работ, посвященных распределению ресурсов, показал, что целью работ исследователей является решение частных задач, отсутствуют работы, посвященные распределению ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности с использованием многоагентного подхода.

### 1.6. Выводы по первой главе

1. Анализируя пожарную опасность объектов химической промышленности, можно сделать вывод, что пожары на данных объектах являются наиболее сложными для тушения и несут значительный материальный и экологический ущерб. Особенности возникновения и развития пожаров на таких объектах защиты говорят о том, что для уменьшения количества пожаров и последствий от них необходимо совершенствовать вопросы управления пожарной безопасностью на данных объектах.

2. Проблема управления пожарной безопасностью на производственных объектах предусматривает в процессе принятия решений использование большого объема информации с существенными ограничениями 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.

3. Анализ существующих систем поддержки управления ПБ показал, что система с точки зрения наличия таких функций управления, как возможность удаленного доступа (28,6%), изменение визуализации в динамике (57,1%), возможность

корректировки математических моделей (14,3%), и поддержка принятия решений (14,3%) требуют совершенствования в части оперативного учета изменения информационного обеспечения.

4. При анализе работ по МАС было выявлено, что анализ МАС присутствует в 77,5% работ, математическая модель МАС – в 60,0%, компьютерная реализация – в 20,0%. Исходя из этого, можно сделать вывод, что результаты исследований, как правило, носят теоретический характер, до программной реализации работы не доводятся, и авторы часто не указывают математическую и алгоритмическую составляющую. Недостаточная практическая реализация многоагентных систем связана, в первую очередь, с отсутствием унифицированной, гармонизированной модели.

## **ГЛАВА 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

### **2.1. Формализация предпочтений участников межфункциональных конфликтов по вопросам пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности**

В соответствии с проведенным анализом в первой главе диссертации [52] определены направления дальнейшей работы по математическому описанию проблемы многоагентного управления ресурсами пожарной безопасности на объектах химической промышленности. Системы безопасности и противопожарной защиты многих химических предприятий нуждаются в совершенствовании, которое определяется не только необходимостью выполнения законных требований и норм безопасности, но также и развитием научно-технического прогресса в части разработки и внедрения новых технологий безопасности. Однако совершенствование системы безопасности требует значительных ресурсов, распределение которых должно производиться рационально. Поэтому задача рационального распределения ресурсов для целей безопасности на предприятиях химической промышленности является актуальной научной задачей, требующей развития теоретических основ, существующих методов управления ресурсами предприятий. Необходимо отметить, что использование многопараметрической оптимизации при математическом моделировании работы различных предприятий неоднократно являлось предметом научных исследований [53–55], но задача распределения ресурсов на обеспечение пожарной безопасности в рамках данных работ не рассматривалась.

Для управления пожарной безопасностью подобных объектов предлагается использовать агентные системы и технологии, так как МАС являются перспективным направлением в области управления активными системами [56–58]. Использование МАС позволяет смоделировать взаимодействие в социальной системе под-

разделений предприятия (агентов), влияющих на уровень пожарного риска и распределение ресурсов в рассматриваемой социально-экономической системе (СЭС) [59].

Определена постановка задачи: проанализировать конфликты, возникающие между подразделениями предприятий химической промышленности, в части, касающейся обеспечения пожарной безопасности, и разработать математическую модель, алгоритм решения многопараметрической задачи.

Для построения МАС управления пожарной безопасностью наиболее целесообразно использовать принцип распределенного искусственного интеллекта, так как в такой системе каждый агент рассматривается как система, основанная на знаниях с добавлением элементов, обеспечивающих мобильность, безопасность и взаимодействие с другими агентами. В этом случае интеллектуальное взаимодействие основано на индивидуальных интеллектуальных поведениях.

Для решения этой задачи определены следующие основные этапы:

- сформулировать назначение разработки МАС;
- определить состав агентов, распределить роли и порядок взаимодействия между ними в агентной системе;
- определить индивидуальные функции агентов, создать модель обработки информации агентов каждого типа;
- провести анализ возможных конфликтов, возникающих между агентами в части, касающейся обеспечения пожарной безопасности на объектах химической промышленности;
- разработать математическую модель и алгоритмы разрешения конфликтов в системе управления ресурсами пожарной безопасности;
- разработать программный комплекс сбора и обработки информации для решения многопараметрической задачи для обеспечения пожарной безопасности на объектах химической промышленности.

При организации деятельности предприятий химической промышленности в сфере обеспечения пожарной безопасности возникают конфликтные ситуации

между структурными подразделениями этих объектов, ключевым образом влияющие на значение уровня пожарного риска, экономику и финансы. Каждое структурное подразделение можно представить в виде агента, а систему управления пожарной безопасностью в виде агентной системы.

При обеспечении пожарной безопасности предприятие сталкивается с рядом проблем (ненадлежащее состояние систем обеспечения пожарной безопасности, невыполнение норм пожарной безопасности на объекте защиты, ненадлежащее состояние электросетей и электробезопасности и т.д.). Проблемы такого характера не представляется возможным решить с помощью работы одного подразделения (агента), необходимо задействовать ряд подразделений.

Для устранения возможности возникновения конфликтных ситуаций требуется решить задачу многопараметрической оптимизации. Необходимо предложить алгоритм решения возможных конфликтных ситуаций.

Система управления пожарной безопасностью включает в себя множество агентов, которые можно разделить на две группы – основные и вспомогательные (Рисунок 2.1).

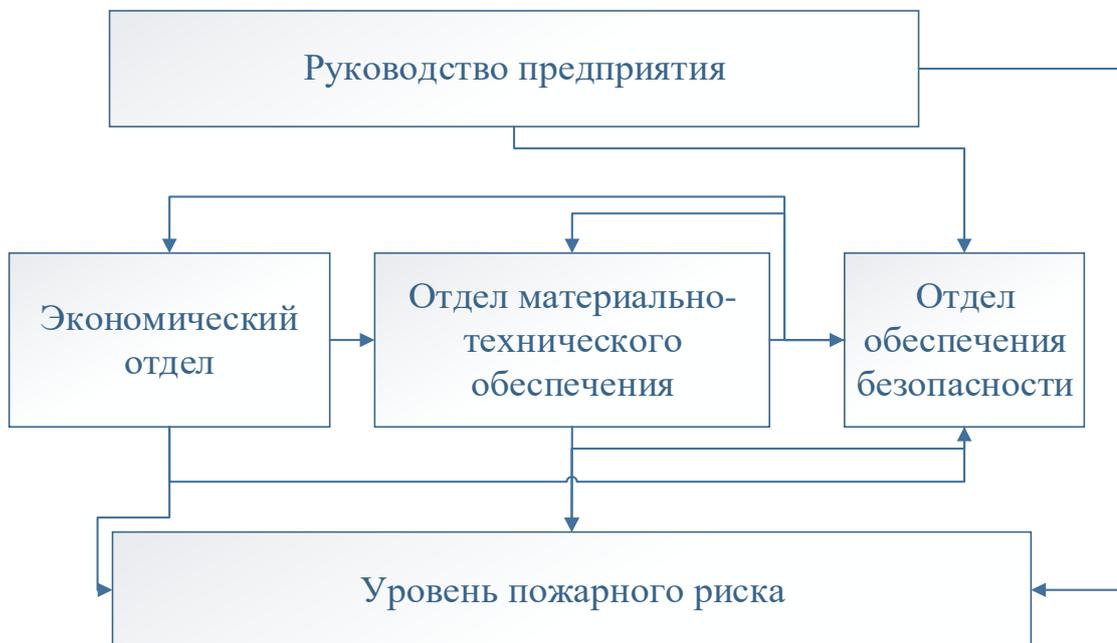


Рисунок 2.1 – Модель взаимодействия агентов в системе обеспечения пожарной безопасности на объектах химической промышленности

К основным агентам относятся:

- отдел обеспечения безопасности;

- экономический отдел;
- руководство предприятия.

К вспомогательным: начальник цеха, отдел выполнения эксплуатационных мероприятий, которые в свою очередь взаимодействуют с агентами основной группы, тем самым косвенно влияя на пожарную безопасность предприятия.

Взаимоотношения в такой системе выстраиваются следующим образом: начальник производства взаимодействует с отделом обеспечения безопасности, отдел обеспечения безопасности взаимодействует с экономическим отделом, а экономический отдел с отделом обеспечения безопасности влияет на финансы и экономику.

Для создания полноценной системы управления необходимо предварительно определить ее функции и разделить их между подразделениями (агентами), показав их место в агентной среде, а также взаимоотношения друг с другом. Распределение задач подразумевает определение ролей каждого из агентов, указание зоны его ответственности. Агентам необходимо выполнять свои функции в соответствии с законами среды, воспринимая ее посредством своих рецепторов, поэтому все взаимоотношения в МАС взаимозависимы и должны рассматриваться в совокупности. Агенты совместно работают для достижения общей цели, которую решить индивидуально затруднительно, а иногда не представляется возможным. Каждый агент должен иметь возможность перестраивать ход работы в зависимости от обстоятельств.

Структура МАС управления пожарной безопасностью предприятия химической промышленности должна реализоваться через этапы сбора, анализа информации, определения ситуации и принятия решений для эффективного управления. Нужно отметить, что состав и количество агентов в зависимости от возникшей задачи и ее особенностей может варьироваться.

В таблице 2.1 представлены виды агентов, их функции, критерии и показатели.

Таблица 2.1 – Виды интеллектуальных агентов и критерии важности для агентов

№	Агент	Функции	Критерии $f_i$	Показатель (единица измерения)
1.	Руководство предприятия (A1)	Организация безопасной деятельности предприятия (Ф1)	Экономический рост ( $f_1$ )	Рентабельность предприятия (ROA)
2.	Начальник цеха (участка) (A2)	Поддержание работоспособности оборудования, (Ф2) организация безопасного трудового процесса (Ф3)	Выполнение плана выпуска продукции ( $f_2$ )	Время необходимое для выполнение плана ( $t_{плана}$ )
3.	Отдел выполнения эксплуатационных мероприятий (A3)	Своевременное обслуживание оборудования (Ф4)	Работоспособность технологического оборудования ( $f_2$ )	Время, необходимое на обслуживание оборудования ( $t_{раб.об.}$ )
4.	Экономический отдел (A4)	Выделение финансирования для обеспечения безопасного функционирования предприятия (Ф5)	Экономический рост; отсутствие обоснованных претензий к отделу закупок со стороны других подразделений предприятия ( $f_3$ )	Рентабельность предприятия (P)
5.	Отдел обеспечения безопасности (A5)	Поддержание функционирования систем пожарной безопасности; (Ф6)	Обеспечение безопасного функционирования предприятия ( $f_4$ )	Пожарный риск индивидуальный (Rs) Пожарный социальный риск (Rn). Время, необходимое на обслуживание систем пожарной безопасности ( $t_{раб.сист.ПБ}$ )
6.	Отдел материально-технического обеспечения (A6)	Распределение материально-технического обеспечения для безопасного функционирования предприятия (Ф7)	Экономический рост	Рентабельность предприятия (P)

В таблице 2.2 рассмотрены возможные конфликтные ситуации, возникающие между подразделениями предприятий химической промышленности, отрицательно влияющие на уровень пожарного риска.

Таблица 2.2 – Конфликтные ситуации между агентами в агентной системе

№	Конфликт	Агенты	Описание
1	Высокая вероятность возникновения риска на предприятии	1. Отдел обеспечения безопасности 2. Экономический отдел 3. Начальник производства	1. Ненадлежащее состояние систем обеспечения пожарной безопасности. (Исправность (наличие) первичных средств пожаротушения. Исправность (наличие) средств противопожарной автоматики: пожарной сигнализации, оповещения, пожаротушения, дымоудаления
2		1. Отдел обеспечения безопасности 2. Экономический отдел 3. Начальник производства	2. Невыполнение норм ПБ на объекте защиты. $N_{мероп} = 1$ – выполнено $= 0$ – не выполнено
3		1. Отдел обеспечения безопасности 2. Экономический отдел 3. Начальник производства	3. Ненадлежащее состояние электросетей и электробезопасности. $I_{сети} = 1$ – рабочее состояние; $= 2$ – не рабочее состояние

Рассматриваются конфликтные ситуации, возникающие при распределении ресурсов на предприятии химической промышленности. Как правило, общий ресурс, выделяемый для функционирования всей системы, не покрывает все необходимые потребности предприятия. В связи с этим возникают конфликтные ситуации между подразделениями предприятия (Рисунок 2.2).

В первом случае конфликт между агентами заключается в ненадлежащем состоянии систем обеспечения пожарной безопасности:

- отдел обеспечения безопасности несвоевременно обслуживает системы обеспечения безопасности (*траб. сист. ПБ*);
- начальник цеха (участка) допустил нарушение технологического процесса, что привело к выходу из строя систем обеспечения пожарной безопасности, которое повлияло на увеличение значения пожарного риска на предприятии (*R*);
- экономический отдел не обеспечил выделение ресурсов отделу обеспечения безопасности для обеспечения ПБ в необходимом объеме (*P*).

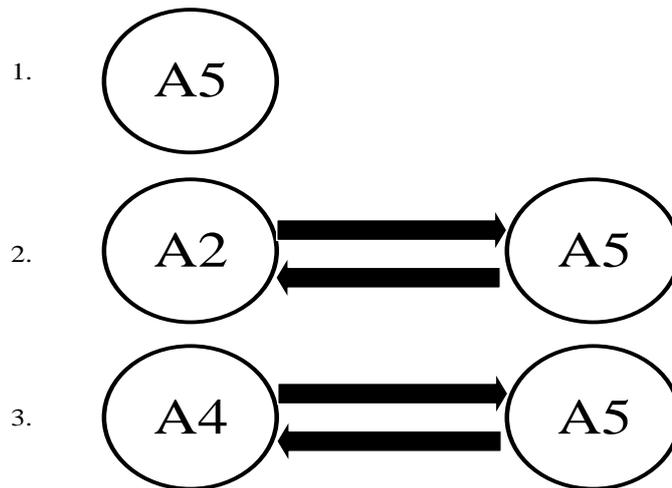


Рисунок 2.2 – Взаимодействие между подразделениями в случае ненадлежащего состояния систем обеспечения пожарной безопасности

Во втором случае конфликт между агентами заключается в невыполнении норм ПБ на объекте защиты (Рисунок 2.3):

– экономический отдел не обеспечил выделение ресурсов на выполнение мероприятий, предписанных нормативными документами: сводами правил (СП), строительными нормами и правилами (СНиП) (применение компенсирующих мероприятий и специальных технических условий);

– отдел обеспечения безопасности не выполнил нормы ПБ в соответствии с требованиями.

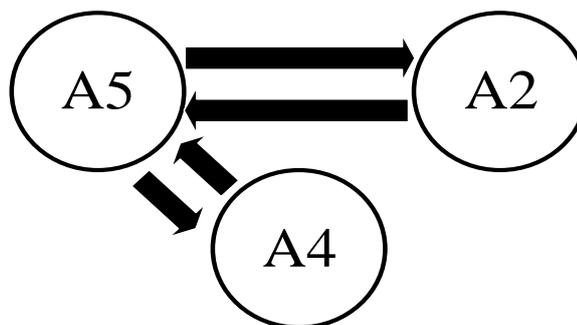


Рисунок 2.3 – Взаимодействие между подразделениями в случае невыполнения норм ПБ на объекте защиты

В третьем случае конфликт между агентами заключается в ненадлежащем состоянии электросетей и электробезопасности:

– отдел обеспечения безопасности не выполнил проверку электросетей и электробезопасности;

– начальник цеха (участка) не сообщил отделу обеспечения безопасности о существующих угрозах;

– экономический отдел не обеспечил выделение ресурсов на выполнение мероприятий по замене и переоборудованию электросетей и электрооборудования.

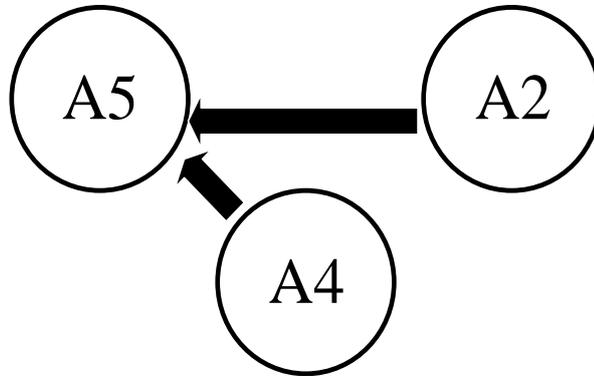


Рисунок 2.4 – Взаимодействие между подразделениями в случае ненадлежащего состояния электросетей и электробезопасности

Получив критерии важности и рассмотрев конфликты, возникающие между подразделениями предприятий химической промышленности, в части, касающейся обеспечения пожарной безопасности, необходимо разработать математическую модель решения многопараметрической задачи. В частности, необходимо составить целевую функцию, учитывающую сформулированные критерии функций каждого агента в рассматриваемой системе.

Для создания полноценной системы управления ресурсами пожарной безопасности на предприятии химической промышленности необходимо разработать математическую модель решения многопараметрической задачи.

## **2.2. Математическая модель и алгоритмы решения задачи управления ресурсами пожарной безопасности на предприятии химической промышленности**

Управление пожарной безопасностью в контексте диссертации сведено к задаче планирования распределения ресурсов, для решения которой предложен агентный подход. В соответствии с данным подходом вводится целевая функция  $\Phi$ ,

характеризующая предпочтения центра управления и зависящие переменные факторы модели  $f$  – агенты модели. Таким образом, справедливо заключить, что существует целевая функция –  $\Phi$ , которую необходимо оптимизировать, также существуют переменные  $f_1, f_2, f_3, f_4$  (критерии важности для агентов). Задача состоит в поиске значений весовых коэффициентов важности компонент целевой функции. В отличие от известных «экспертных» процедур, в нашем случае предлагается искусственное создание двух равных (в известном значении слова  $\approx$ ) компромиссных вариантов. В общем смысле в классическом подходе эксперт сравнивает критерии распределения ресурсов по важности, мы предлагаем сравнивать по важности не цели, а варианты. Это позволяет на основе опыта ранее принятых решений сравнивать варианты с мнением экспертов.

$$\Phi = \sum_{s=1}^m \omega_s f_s, \sum_{s=1}^m \omega_s = 1 \quad (2.1)$$

где  $\Phi$  – целевая функция;  $f_i$  – критерии важности для агентов;  $\omega_i$  – весовые коэффициенты.

В соответствии с общими подходами агентного моделирования можно сделать вывод, что перед системой одновременно стоит множество целей, каждую из которых реализует определённый агент – отдел, линейное подразделение или конкретное должностное лицо. Управление агентами осуществляет центр управления. Агент в многоагентной системе наделяется рядом свойств, позволяющих описать его взаимодействие с центром управления. Рассматривая агента в задаче распределения ресурсов на предприятии химической промышленности, помимо общих свойств агентов в многоагентной системе, здесь следует добавить рациональное поведение при распределении ресурсов. Рациональное поведение агента определяет ситуацию, когда агент не заинтересован в завышении потребности в ресурсах, то есть, рациональный агент системы через свойство коммутативности обращается к центру управления для надления его таким количеством ресурса, которое необходимо и достаточно для реализации агентом порученной ему цели. Еще одним немаловажным свойством рационального поведения агента является ситуация, когда он полностью израсходует запрошенное им у центра управления количество

ресурсов, и все ресурсы будут израсходованы только на порученные агенту цели управления и никуда больше.

Общее количество целей системы можно декомпозировать на группы целей в соответствии с их содержанием. Очевидно, что помимо целей, направленных на реализацию действий по предназначению, например, реализацию трудовых процессов с целью извлечения выгоды, имеют место цели направленные:

- на достижение нормальных условий труда;
- на социальную защищённость сотрудников;
- на обеспечение требуемого уровня пожарной безопасности, выражаемого вероятностными величинами, которые не должны превышать установленных значений пожарного риска.

Последние цели в более общем понимании могут быть именованы как цели, необходимые для нормального функционирования таких объектов. При этом каждая из целей независимо от назначения подразумевает для своей реализации необходимое количество ресурса, которым располагает или не располагает система. Общая структура агентной модели управления ресурсами с учетом результатов ее формализации представлена на рисунке 2.5.

Поясним элементы рисунка 2.5. Задача распределения ресурсов в системе является задачей планирования и решается путем назначения необходимого количества ресурса для реализации каждой своей цели, поэтому обозначим множество ресурса сложной системы как  $R$ . Элементом множества  $R$  является ресурс  $r_i$ , необходимый для реализации  $i$ -ой цели системы. Исходя из общего представления о ресурсах сложной системы, можно заключить, что общее количество ресурса, необходимого для нормального функционирования системы, будет определяться суммой ресурсов для реализации всех целей системы, то есть:

$$R = \sum_{i=1}^k r_i, \quad i=1,2, \dots, k. \quad (2.2)$$

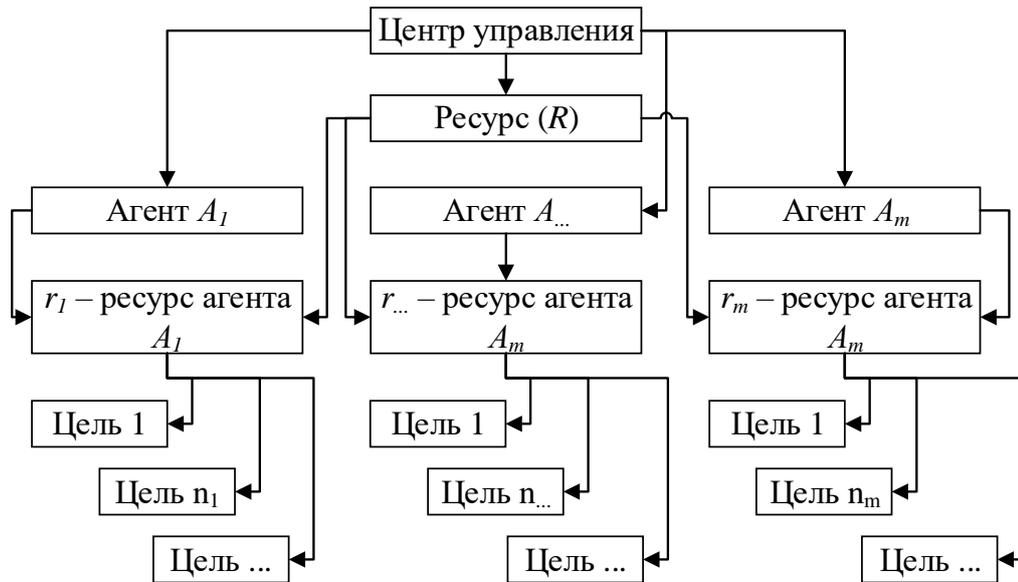


Рисунок 2.5 – Общее описание агентной системы

Обозначим общий ресурс системы, который она может назначить на реализацию целей нормального функционирования через  $Q$ . В случае если  $Q > R$ , то все цели системы будут удовлетворены и система продолжит нормально функционировать, однако такая ситуация редко наблюдается на практике.

Тогда для каждой цели назначается определенная доля ресурса, которую обозначим  $g$  и  $g_i = \frac{r_i}{R}$ , при этом общая сумма долей ресурсов для реализации всех целей будет равна единице, то есть:

$$G = \sum_{i=1}^k g_i = 1. \quad (2.3)$$

Задача распределения ресурса может быть предоставлена в безразмерном виде как определение необходимого количества ресурса  $R$  и его распределение по долям  $G$ .

Однако в практике функционирования сложных систем ситуация с распределением ресурса определяется ресурсным кризисом или ресурсным ограничением, когда  $Q < R$ . В этой деструктивной ситуации решить задачу тривиальным способом не представляется возможным, и необходим более детальный анализ ресурсов системы для определения оптимальных вариантов распределения ресурсов.

Из всей совокупности подходов к распределению ресурсов системы можно выделить два: подход, основанный на стратегии исключения, и подход, основанный на стратегии компенсации [60].

Исключение заключается в ранжировании целей по важности, то есть назначении коэффициентов важности целей –  $\omega_i$  и исключении тех целей, для реализации которых отсутствуют ресурсы, и, одновременно, исключенные цели системы должны иметь наихудшие оценки по результатам ранжирования, то есть, цели, для которых  $\omega_i \rightarrow \min$ . Тогда безразмерная задача сводится к анализу аддитивной функции полезности целей:

$$\bar{G} = \sum_{i=1}^k \omega_i g_i, \quad (2.4)$$

где  $g_i$  – доля ресурса по ограничению;

$\omega_i$  – коэффициент важности компонент-целей.

Для этого все цели системы делят по двум группам важности:  $A$  – более важные цели и  $B$  – менее важные цели. Количество элементов (целей) в группах  $\text{card}A=a$ ,  $\text{card}B=b$ . Вводим множество номеров целей в группах  $A$  и  $B$  –  $i \in I_A$  и  $j \in I_B$ . При этом коэффициенты важности для целей из группы  $A$  всегда больше коэффициентов важности для целей из группы  $B$ , то есть:

$$\omega_i > \omega_j, \quad \forall i \in I_A, j \in I_B. \quad (2.5)$$

Распределение целей по группам важности продолжается до тех пор, пока не будет достигнуто условие:

$$R_a = \sum_{i=1}^a r_i \leq Q. \quad (2.6)$$

Такой подход в общей методологии распределения ресурсов именуют стратегией исключения, подразумевающей исключение маловажных целей и необходимых для их реализации ресурсов. В свою очередь, данный подход не всегда уместен, а именно в практике функционирования сложных систем возникают ситуации, когда система обязана назначить ресурсы на каждый вид целей (ситуация с планированием смет и статьями расходов).

Поэтому в теории распределения ресурсов широкое распространение получил подход, основанный на стратегии компенсации, когда центр управления сложной системой находится в условиях компромисса распределения имеющегося общего ресурса  $Q$  пропорционально важности целей системы. Поэтому в данном подходе в качестве безразмерной доли  $f$  и  $f_i = \frac{r_i}{Q}$ , при этом общая сумма долей ресурсов для реализации всех целей будет равна единице, то есть:

$$F = \sum_{i=1}^k f_i = 1. \quad (2.7)$$

Здесь, аналогично стратегии исключения, цели системы делят по группам важности  $A$  и  $B$ , а затем расчетным способом получают весовые коэффициенты важности  $\omega_i$  для всех  $i \in I_A$  и  $\omega_j$  для всех  $j \in I_B$ . Аналогично первому подходу для коэффициентов важности целей системы из групп  $A$  и  $B$  должно выполняться условие (2.7).

Условие (2.7) является существенным ограничением при агентном моделировании предприятия химической промышленности, так как накладывает ограничения на процесс формализованного описания объекта химической промышленности. Покажем это на примере. Пусть на предприятии химической промышленности существует три цели и для каждой из них назначены коэффициенты важности  $\omega_1=0,5$ ,  $\omega_2=0,2$ ; и  $\omega_3=0,3$ , с целью формализованного описания необходимо, чтобы цель с номером 3 была бы единственной в своей группе  $A$  или  $B$ .

Если поместить цель с номером 3 в группу  $A$ , тогда  $\omega_3 > \omega_2$ , но одновременно с этим  $\omega_3 < \omega_1$ . Данная ситуация определяет ограничение по количеству целей в группах  $A$  и  $B$  и применима только при возможности образования коалиций целей. Данная ситуация не является определяющей в том смысле, если нет необходимости формировать базу данных принятых решений, но если использовать данный подход в совокупности с использованием опыта принятых ранее решений, то ограничение (2.7) является определяющим.

Для исключения ограничений при формализованном описании распределения ресурсов в агентной системе моделирования предприятия химической промышленности ставится задача определения коэффициентов важности целей, стоящих перед центром управления объекта.

Математической моделью распределения ресурсов в агентной системе будем считать феноменологическое понятие, включающее в себя:

- множество вариантов  $x_i \in X$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n \geq 2$ ;
- множество целей моделируемой системы, используемых для оценки вариантов  $f_i \in F$ ,  $s = 1, 2, \dots, m$ ,  $m \geq 3$ ;
- множество оценок распределения ресурсов

$$F(X) = f_1(X) \times f_2(X) \times \dots \times f_m(X), \quad (2.8)$$

где  $f_i(X)$  – множество значений компоненты цели с номером  $i$  на множестве вариантов  $x_i \in X$ ;

$F(x_i) = (f_1(x_i), f_2(x_i), \dots, f_m(x_i))$  – оценка варианта  $x_i$ , тогда  $f_i(x_i)$  – оценка варианта  $x_i$  по цели системы  $f_i$ . При этом центр управления своим выбором желает максимизировать значение каждой компоненты цели, то есть  $f(x) \rightarrow \max$ ;

предпочтение ЛПП выражаемое двумя высказываниями:

$x' \succ x''$  вариант  $x'$  предпочтительнее варианта  $x''$ ;

$x' \approx x''$  вариант  $x'$  равен по предпочтению варианту  $x''$ .

Допустимое преобразование для компонент цели является:

$$\phi(F(x_i)) = \alpha_i F(x_i) + c_i, \quad (2.9)$$

где  $\alpha_i > 0$  и  $c_i$  – фиксированные числа.

Итак, известно, что в модели А весовые коэффициенты характеризуют степень влияния компоненты цели  $f_i$  на результирующую функцию  $\Phi$  следующим образом:

$$\Phi = \sum_{k=1}^m \omega_k f_k, \quad \sum_{k=1}^m \omega_k = 1. \quad (2.10)$$

Итак, разделим набор целей  $F$  по группам  $A, B$ . В группу  $A$  входят цели  $f$  из  $F$ , множество номеров целей из группы  $A$  обозначим как  $I_A$ , а количество целей во

множестве  $card(I_A) = a$ . В группу  $B$  входят цели  $f$  из  $F$ , множество номеров целей из группы  $B$  обозначим –  $I_B$ , а количество целей во множестве  $card(I_B) = b$ .

Для удобства дальнейших рассуждений введем новую нумерацию целей, вошедших в группу,  $A$  и  $B$  соответственно. Для группы  $A$  номера будут обозначены индексом  $A_i$ , где  $i=1, \dots, a$ , а в группе  $B$  соответственно  $B_j$ , где  $j=1, \dots, b$ .

Заменим каждую функцию целей из группы  $A$  линейной комбинацией с каждой целью группы  $B$  по критерию Ногина:  $c_{A_i} = G(f_{A_i}; f_{A_j}): (1 - \theta_{ij}) \cdot f_{B_j} + \theta_{ij} \cdot f_{A_i}$ , аналогичное справедливо и для целей из групп  $B$ .

Количество новых целей системы из множества  $C$  очевидно равно  $c = a \cdot b$ . Тогда номер новой цели  $c_l$  ( $l=1$ ) будет соответствовать номеру  $f_{A_1 B_1}$ , для цели  $c_2$  ( $l=2$ ) номер  $f_{A_1 B_2}$ , и так далее.

Пусть  $C_A = \sum_{i=1}^a f_{A_i}$  – сумма новых компонент цели с номерами из множества  $I_A$ , тогда  $C_C = \sum_{l=1}^c f_l$ .

Сумма всех компонент цели записывается следующим образом:

$$C = G_A + G_B = \sum_{i=1}^a \omega_i f_i + \sum_{j=1}^b \omega_j f_j. \quad (2.11)$$

Таким образом в прямой задаче необходимо отыскать значения  $\omega_i, \omega_j$  весовые коэффициенты целей  $F$  из групп  $A, B$  соответственно.

Тогда новые компонент-цели с использованием преобразования  $\Delta$  будут являться элементами матрицы  $C$ :

$$\left( \begin{array}{cccc} (1 - \theta_{11}) \cdot f_{B_1} + \theta_{11} \cdot f_{A_1} & \dots & (1 - \theta_{1j}) \cdot f_{B_j} + \theta_{j1} \cdot f_{A_1} & \dots & (1 - \theta_{1b}) \cdot f_{B_b} + \theta_{1b} \cdot f_{A_1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (1 - \theta_{i1}) \cdot f_{B_1} + \theta_{i1} \cdot f_{A_i} & \dots & (1 - \theta_{ij}) \cdot f_{B_j} + \theta_{ij} \cdot f_{A_i} & \dots & (1 - \theta_{ib}) \cdot f_{B_b} + \theta_{ib} \cdot f_{A_i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (1 - \theta_{a1}) \cdot f_{B_1} + \theta_{a1} \cdot f_{A_a} & \dots & (1 - \theta_{aj}) \cdot f_{B_j} + \theta_{aj} \cdot f_{A_a} & \dots & (1 - \theta_{ab}) \cdot f_{B_b} + \theta_{ab} \cdot f_{A_a} \end{array} \right).$$

Получим следующее матричное уравнение для расчета новых компонент-целей системы –  $C$ , с номерами  $A_i B_j$ .

$$\begin{pmatrix} (1-\theta_{11}) & \dots & (1-\theta_{1j}) & \dots & (1-\theta_{1b}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (1-\theta_{i1}) & \dots & (1-\theta_{ij}) & \dots & (1-\theta_{ib}) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ (1-\theta_{a1}) & \dots & (1-\theta_{aj}) & \dots & (1-\theta_{ab}) \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} f_{B1} \\ \dots \\ f_{Bj} \\ \dots \\ f_{Bb} \end{pmatrix}^T + \begin{pmatrix} \theta_{11} & \dots & \theta_{j1} & \dots & \theta_{1b} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_{i1} & \dots & \theta_{ij} & \dots & \theta_{ib} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_{a1} & \dots & \theta_{aj} & \dots & \theta_{ab} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} f_{A1} \\ \dots \\ f_{Ai} \\ \dots \\ f_{Aa} \end{pmatrix}^T.$$

В матричной записи новые компонент-цели  $C$  с номерами  $A_i B_j$  для всех  $A_i \in I_A$  и всех  $B_j \in I_B$  являются элементами матрицы  $C_{AB}$ , получаемой путем решения матричного уравнения:

$$C_{AB} = (E - \Theta) \times F_B + \Theta \times F_A, \quad (2.12)$$

$$\text{где } \Theta = \begin{pmatrix} \theta_{11} & \dots & \theta_{j1} & \dots & \theta_{1b} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_{i1} & \dots & \theta_{ij} & \dots & \theta_{ib} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \theta_{a1} & \dots & \theta_{aj} & \dots & \theta_{ab} \end{pmatrix}; F_B = \begin{pmatrix} f_{B1} \\ \dots \\ f_{Bj} \\ \dots \\ f_{Bb} \end{pmatrix}^T; F_A = \begin{pmatrix} f_{A1} \\ \dots \\ f_{Ai} \\ \dots \\ f_{Aa} \end{pmatrix}^T;$$

$\Theta$  – квадратная матрица предпочтений центра управления в задаче распределения ресурсов;

$F_A$  и  $F_B$  – матрицы строки элементами которых являются цели системы  $F$ ;

$E$  – единичная матрица.

Обозначим сумму всех коэффициентов с номерами  $i$  как  $\Theta_i = \sum_{j=1}^b \theta_{ij}$ , то есть,

сумма элементов строки с номером  $i$  матрицы  $\Theta$  и  $\Theta_j = \sum_{i=1}^a \theta_{ij}$ , то есть, сумма элементов столбца с номером  $j$  матрицы  $\Theta$ .

Весовые коэффициенты исходных компонент-целей  $\omega_i, \omega_j, \omega_s$  рассчитываются по формулам:

- для всех компонент цели из группы  $A$ :

$$\omega_i = \frac{D_{Ai}}{D}, \text{ для всех } i \in I_A; \quad (2.13)$$

$$\omega_j = \frac{D_{Bj}}{D}, \text{ для всех } j \in I_B. \quad (2.14)$$

Тогда на основании анализа равенства (2.12) с учетом (2.13) получаем, что перед каждой целью  $F$  из группы  $A$  в сумме (2.11) будет находиться коэффициент:

$$D_i = \Theta_i, \text{ для всех } i \in I_A. \quad (2.15)$$

А для каждой цели  $F$  из группы  $B$  соответственно:

$$D_j = a - \Theta_j, \text{ для всех } j \in I_B. \quad (2.16)$$

Знаменатель дроби  $D$  рассчитывается по формуле:

$$D = ab. \quad (2.17)$$

Вернувшись к изначальной нумерации целей системы  $F$  с использованием (2.15)...(2.17), получим следующие формулы для расчета коэффициентов важности целей системы из группы  $A, B$  ( $\omega_i, \omega_j$ ):

для всех компонент цели с номерами  $i \in I_A$ :

$$\omega_i = \frac{\Theta_i}{ab}; \quad (2.18)$$

для всех компонент цели с номерами  $j \in I_B$ :

$$\omega_j = \frac{a - \Theta_j}{ab}, \quad (2.19)$$

где  $\Theta_i = \sum_{j=1}^b \theta_{ij}, \forall j \in I_B$  и  $\Theta_j = \sum_{i=1}^a \theta_{ij}, \forall i \in I_A$ .

Предложенный метод решения задачи распределения ресурсов является теоретическим продолжением многомерного использования критерия Ногина [61].

Итак, пусть перед системой стоят две цели  $f_1$  и  $f_2$  и задан коэффициент Ногина  $\theta_{12}$ . Разделим цели системы по группам единственным способом: в группу  $A$  входит компонент-цель  $f_1$ , и в группу  $B$  входит компонент-цель  $f_2$ , количество компонент-целей в группе  $A$  равно  $a=1$  и в группе  $B$  равно  $b=1$ . Тогда весовые коэффициенты  $\omega_1$  и  $\omega_2$  равны значениям критерия Ногина:

$$\omega_1 = \frac{\theta_{12}}{ab} = \frac{\theta_{12}}{1 \cdot 1} = \theta_{12} \text{ и } \omega_2 = \frac{a - \theta_{12}}{ab} = \frac{1 - \theta_{12}}{1 \cdot 1} = 1 - \theta_{12}.$$

Таким образом, предложенный метод имеет методологическое отличие от критерия Ногина только при количестве целей в системе 3 и более.

### 2.3. Решение задачи моделирования предпочтений центра управления

Значения коэффициента Ногина в обычной ситуации центру управления предлагается назначить самостоятельно. Однако центру управления во многих практических случаях необходимо иметь дополнительную информацию об управлении, которая может быть выражена на основе анализа опыта принятых ранее решений и/или на основе экспертного мнения. В этой ситуации будем полагать, что центру управления известен только вариант, выбранный центром из имеющихся вариантов, следовательно, стоит задача в определении значений коэффициентов Ногина по значению весовых коэффициентов  $\omega_i$ .

Тогда новые компонент-цели с использованием преобразования  $\Delta$  будут являться элементами матрицы  $C$ :

$$\begin{pmatrix} k_{11} \cdot f_{B1} + f_{A1} & \dots & k_{1j} \cdot f_{Bj} + f_{A1} & \dots & k_{1b} \cdot f_{Bb} + f_{A1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{i1} \cdot f_{B1} + f_{Ai} & \dots & k_{ij} \cdot f_{Bj} + f_{Ai} & \dots & k_{ib} f_{Bb} + \theta_{ib} \cdot f_{Ai} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{a1} \cdot f_{B1} + f_{Aa} & \dots & k_{aj} \cdot f_{Bj} + f_{Aa} & \dots & k_{ab} f_{Bb} + f_{Aa} \end{pmatrix}.$$

Получим следующее матричное уравнение для расчета новых компонент-целей системы –  $C$ , с номерами  $A_i B_j$ :

$$\begin{pmatrix} k_{11} & \dots & k_{1j} & \dots & k_{1b} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{i1} & \dots & k_{ij} & \dots & k_{ib} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{a1} & \dots & k_{aj} & \dots & k_{ab} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} f_{B1} \\ \dots \\ f_{Bj} \\ \dots \\ f_{Bb} \end{pmatrix}^T + \begin{pmatrix} 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \dots & 1 & \dots & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} f_{A1} \\ \dots \\ f_{Ai} \\ \dots \\ f_{Aa} \end{pmatrix}^T.$$

В матричной записи новые компонент-цели  $C$  с номерами  $A_i B_j$  для всех  $A_i \in I_A$  и всех  $B_j \in I_B$  являются элементами матрицы  $C_{AB}$ , получаемой путем решения матричного уравнения:

$$C_{AB} = K \times F_B + E \times F_A, \quad (2.20)$$

$$\text{где } K = \begin{pmatrix} k_{11} & \dots & k_{1j} & \dots & k_{1b} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{i1} & \dots & k_{ij} & \dots & k_{ib} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{a1} & \dots & k_{aj} & \dots & k_{ab} \end{pmatrix}; F_B = \begin{pmatrix} f_{B1} \\ \dots \\ f_{Bj} \\ \dots \\ f_{Bb} \end{pmatrix}^T; F_A = \begin{pmatrix} f_{A1} \\ \dots \\ f_{Ai} \\ \dots \\ f_{Aa} \end{pmatrix}^T;$$

$K$  – усеченная матрица предпочтений центра управления в задаче распределения ресурсов;

$F_A$  и  $F_B$  – матрицы строки элементами которых являются цели системы  $F$ ;

$E$  – единичная матрица.

Обозначим сумму всех коэффициентов с номерами  $i$  как  $K_j = \sum_{i=1}^a k_{ij}$ , то есть

сумма элементов столбца с номером  $j$  матрицы  $K$ .

Весовые коэффициенты исходных компонент-целей  $\omega_i, \omega_j, \omega_s$  рассчитываются по формулам:

для всех компонент цели из группы  $A$ :

$$\omega_i = \frac{D_{Ai}}{D}, \text{ для всех } i \in I_A; \quad (2.21)$$

$$\omega_j = \frac{D_{Bj}}{D}, \text{ для всех } j \in I_B. \quad (2.22)$$

Тогда на основании анализа равенства (2.1) с учетом (2.3) получаем, что перед каждой целью  $F$  из группы  $A$  в сумме (2.1) будет находиться коэффициент:

$$D_i = b, \text{ для всех } i \in I_A. \quad (2.23)$$

А для каждой цели  $F$  из группы  $B$  соответственно:

$$D_j = K_j, \text{ для всех } j \in I_B. \quad (2.24)$$

Знаменатель дроби  $D$  рассчитывается по формуле:

$$D = ab + \sum_{j=1}^b K_j \quad (2.25)$$

Вернувшись к изначальной нумерации целей системы  $F$  с использованием (2.24)...(2.26), получим следующие формулы для расчета коэффициентов важности целей системы из группы  $A, B$  ( $\omega_i, \omega_j$ ):

для всех компонент цели с номерами  $i \in I_A$ :

$$\omega_i = \frac{b}{ab + \sum_{j=1}^b K_j}; \quad (2.26)$$

для всех компонент цели с номерами  $j \in I_B$ :

$$\omega_j = \frac{K_j}{ab + \sum_{j=1}^b K_j}, \quad (2.27)$$

где  $K_j = \sum_{i=1}^a k_{ij}, \forall I_B$ .

Стоит отметить, что использование усеченной матрицы предпочтений центра управления  $K$  приводит к ситуации, когда у любой компонент-цели системы из группы  $A$  коэффициенты важности равны между собой. Поэтому для моделирования предпочтений центра управления в общем случае может быть использована только полная матрица предпочтений  $\theta$ . Однако усеченная матрица предпочтений полезна при решении обратной задачи расчета весовых коэффициентов для ситуации, когда из всех целей системы только одна цель входит в группу  $A$  – пусть это будет цель расходования ресурсов на реализацию мероприятий, направленных на обеспечение пожарной безопасности.

Итак, пусть в группу  $A$  входит только одна вектор-цель  $F$ , то есть  $a=1$ , тогда все остальные компонент-цели  $F$  входят в группу  $B$ , то есть,  $m=1+b$ . Тогда усеченная матрица предпочтений центра управления задана набором коэффициентов  $k_{ij}$ , и, так как в группе  $A$  только одна компонент-цель, то индекс  $i$  может быть упущен

из дальнейшего рассмотрения, соответственно,  $K_j = k_{ij}, \forall I_B$ . Компонент-цели с номерами  $j \in I_B$  рассчитываются по формуле:

$$\omega_j = \frac{K_j}{ab + \sum_{j=1}^b K_j}. \quad (2.28)$$

И так как  $a=1$ , то окончательно получаем:

$$\omega_j = \frac{K_j}{b + \sum_{j=1}^b K_j}. \quad (2.29)$$

Тогда для расчета конкретных значений  $K_j$  на основе набора значений весовых коэффициентов  $\omega_k, \sum_{k=1}^m \omega_k = 1$  составим систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} \omega_1 b + \omega_1 K_1 + \dots + \omega_1 K_j + \dots + \omega_1 K_b = K_1 \\ \dots \\ \omega_j b + \omega_j K_1 + \dots + \omega_j K_j + \dots + \omega_j K_b = K_j \\ \dots \\ \omega_b b + \omega_b K_1 + \dots + \omega_b K_j + \dots + \omega_b K_b = K_b \end{cases} \quad (2.30)$$

Произведем преобразование над системой уравнений (2.25) получим:

$$\begin{cases} (\omega_1 - 1)K_1 + \dots + \omega_1 K_j + \dots + \omega_1 K_b = -b\omega_1 \\ \dots \\ \omega_j K_1 + \dots + (1 - \omega_j)K_j + \dots + \omega_j K_b = -b\omega_j \\ \dots \\ \omega_b K_1 + \dots + \omega_b K_j + \dots + (1 - \omega_b)K_a = -b\omega_b \end{cases} \quad (2.31)$$

Запишем систему уравнений (2.31) в матричной форме:

$$\theta A = B, \quad (2.32)$$

$$\text{где } K = \begin{pmatrix} K_1 \\ \dots \\ K_j \\ \dots \\ K_b \end{pmatrix}, A = \begin{pmatrix} (\omega_1 - 1) & \dots & \omega_1 & \dots & \omega_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_j & \dots & (\omega_j - 1) & \dots & \omega_j \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \omega_b & \dots & \omega_b & \dots & (\omega_b - 1) \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} -b\omega_1 \\ \dots \\ -b\omega_j \\ \dots \\ -b\omega_b \end{pmatrix}.$$

Решим данную систему уравнений методом Крамера, тогда значения обратных коэффициентов относительной важности рассчитываются по формулам:

$$K_l = \frac{\Delta_l}{\Delta}, \quad (2.33)$$

где  $\Delta = \det A$  – определитель матрицы  $A$ ;

$\Delta_l = \det A_l$  – определитель матрицы  $A_l$ .

Матрица  $A_l$  получается путем замены в матрице  $A$   $j$ -го столбца вектор-столбцом  $B$  свободных членов.

Определитель матрицы  $A$  равен:

$$\Delta = \det A = (-1)^b \left( 1 - \sum_{j=1}^b \omega_j \right). \quad (2.34)$$

Определитель матрицы  $A_l$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta_j = \det A_l = (-1)^b b \omega_j. \quad (2.35)$$

Тогда рассчитаем значения обратных коэффициентов относительной важности с использованием формулы (2.35), получим:

$$\theta_l = \frac{\Delta_l}{\Delta} = \frac{(-1)^b b \omega_j}{(-1)^b \left( 1 - \sum_{l=1}^b \omega_l \right)} = \frac{b \omega_j}{1 - \sum_{l=1}^b \omega_j} \quad (2.36)$$

Так как в изначальной агентной модели  $\sum_{k=1}^m \omega_k = 1$  получаем следующую формулу для расчета коэффициентов усеченной матрицы предпочтений:

$$K_j = (m-1) \frac{\omega_j}{\omega_i}, \quad (2.37)$$

где  $a$  – количество компонент цели  $F$  в группе  $A$ .

Коэффициенты полной матрицы предпочтений  $\theta$  будут определяться по формуле:

$$\theta_j = \frac{1}{1 + K_j} = \frac{1}{1 + (m-1) \frac{\omega_j}{\omega_i}}. \quad (2.38)$$

Поэтому обратный коэффициент относительной важности критериев, представляющий собой величину, обратную степени превосходства критерия с номером  $i$  над критерием с номером  $j$ , рассчитанный на основе весовых коэффициентов важности критерия с номером  $i$  и критерия с номером  $j$  модели аддитивной полезности, является разностью дроби, числитель которой является произведением количества компонент-цели из группы более важных и весового коэффициента с номером  $i$ , знаменатель равен весовому коэффициенту с номером  $j$  и единицей.

Таким образом, на основе разработанной модели предложен алгоритм оптимального распределения ресурсов в задачах обеспечения безопасности с учетом опыта ранее принятых решений. Показано применение теории относительной важности в задаче моделирования предпочтений центра управления на основе анализа опыта принятых ранее решений и/или на основе экспертного мнения.

#### **2.4. Пример применения математическая модели и алгоритма при решении задачи управления ресурсами пожарной безопасности на предприятии химической промышленности**

Рассмотрим практический пример распределения ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности.

Применение разработанной модели и алгоритмов поддержки управления при распределении ресурсов для обеспечения пожарной безопасности «АО ИВХИМ-ПРОМ» представлено на рисунке 2.6. 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.

На предприятии в предыдущем году для обеспечения пожарной безопасности было израсходовано  $R_i$  количества ресурса, и его распределили между проектиро-



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  $\omega_2 = 0,3$ .

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:

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

Учитывая, что в 2018 году  $\theta_{12} = 0,7$ , 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 2.3.

Таблица 2.3 – 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;  $\omega_i$  – предпочтения центра управления, полученные путем формализации опыта решений на основе показателей относительной важности  $\theta$ . Результаты оценки вариантов с использованием функции  $F(V)$  представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – 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  $V_3$ .*

Важным практическим аспектом разработанной методики распределения ресурсов является возможность учета результатов реализации экспертных процедур принятия решений в совокупности с процедурами формализации опыта принятых ранее решений. В этой связи стоит отметить, что разработанный алгоритм расчета показателей относительной важности компонент-функций агентов отличается от

существующего более высоким уровнем аппроксимации экспертных высказываний, что определяется большим количеством вариантов распределения компонент-целей агентов по группам важности  $A$  и  $B$ . Существующий алгоритм распределения компонент-целей по группам важности, основанный на отношении предпочтения  $X_1 > X_2$ , определяет ситуацию, когда в группу  $A$  входят компонент-цели с коэффициентами  $\omega_i > \omega_j$  для всех  $i \in A$  и  $j \in B$ . Предложенный в работе алгоритм, основанный на отношении предпочтения  $X_1 \approx X_2$ , свободен от данного ограничения.

Для количественной оценки степени аппроксимации экспертного мнения с использованием двух алгоритмов воспользуемся понятием и количественным критерием энтропии Шеннона [66]. Обозначим существующий алгоритм аппроксимации экспертного мнения на основе предпочтения  $X_1 > X_2$  через  $Q$ , тогда предлагаемый в работе алгоритм на основе отношения предпочтения  $X_1 \approx X_2$  –  $H$ . 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 достаточно сложными комбинаторными зависимостями, которые получены в результате численного анализа распределения компонент-целей для количества агентов, измеряемых в десятичной системе исчисления первого порядка. Для удобства восприятия результатов численного анализа целесообразно рассматривать комбинаторные зависимости \* и \*\* (четно и нечетно):

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

$$N = \sum_{j=1}^k \left( \frac{m!}{(m-j)! \cdot j!} \right) \quad (3.1)$$

если  $m$  – четное, тогда:

$$N = \frac{m!}{2 \cdot (m-K)! \cdot K!} + \sum_{j=1}^{k-1} \left( \frac{m!}{(m-j)! \cdot j!} \right) \quad (3.2)$$

где

$$K = \left\lfloor \left( \frac{m}{2} \right) \right\rfloor \quad (3.3)$$

Результаты оценки количества вариантов распределений компонент-целей по группам  $A$  и  $B$  в бинарной системе при  $m = 2, \dots, 9$  представлено на рисунке 2.7.

Соответствующие значения энтропии Шеннона представлены на рисунке 2.8, где от 1 до 9 указано количество компонент-целей, а от 0 до 2,5 значения энтропии Шеннона.

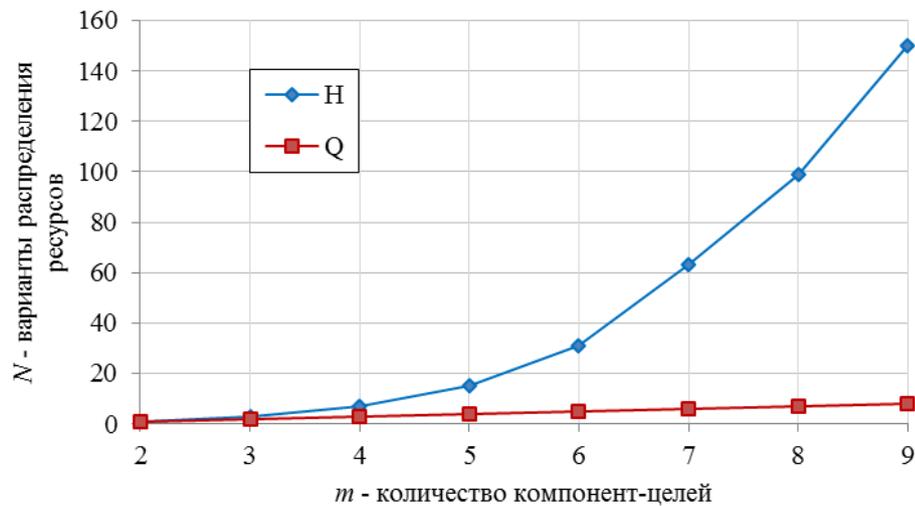


Рисунок 2.7 – Количество вариантов распределения компонент-целей в зависимости от их количества в МАС

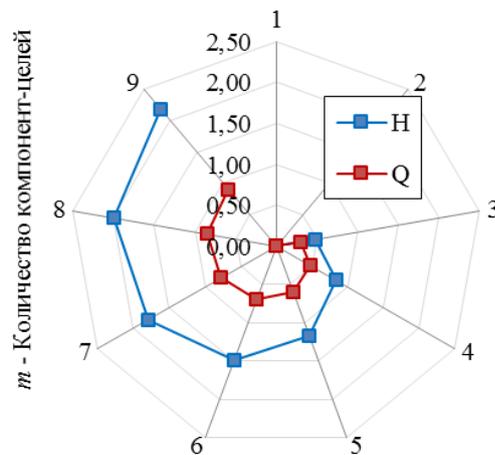


Рисунок 2.8 – Оценка энтропии Шеннона для способов распределения компонент-целей в МАС

Анализируя полученные данные можно сделать следующие выводы:

- для известного алгоритма  $Q$  энтропия Шеннона линейно возрастает при увеличении агентов в МАС;
- для предлагаемого алгоритма  $H$  данная зависимость не линейна и во всех случаях кроме ( $m=2$ ) превышает значения для алгоритма  $Q$ .

Следовательно, алгоритма  $H$  во всех случаях является более выгодным в сравнении со алгоритмом  $Q$  для применения в практике решения задач распределения ресурсов в МАС, так как повышается степень свободы системы, что позволяет предложить ЛПР лучшие варианты распределения ресурсов.

Численный анализ данных представленных на рисунках 2.6 и 2.7, показывает, что для известного алгоритма  $Q$  энтропия Шеннона линейно возрастает при увеличении агентов в МАС, например, при наличии 9 агентов в системе энтропия Шеннона составляет величину равную 0,90 (количество вариантов распределения 8), а для предлагаемого алгоритма  $H$  данная зависимость нелинейна, а энтропия равна 2,18 (количество вариантов распределения 150).

Исследование алгоритма оптимального распределения ресурсов в агентной модели и его сравнение с существующим алгоритмом на основе энтропии Шеннона с одной стороны показывают наилучшие результаты для решения задачи аппроксимации предпочтений центра управления, с другой стороны, в предложенном алгоритме 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.

## 2.5. Выводы по второй главе

Во второй главе диссертации в терминах многоагентного моделирования сложных систем управления проведена формализация конфликтных ситуаций, возникающих в процессе принятия управленческих решений по распределению ресурсов для обеспечения пожарной безопасности химических предприятий.

В результате проведенного исследования получены основные выводы:

1. Разработана теоретическая агентная модель 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.

2. Предложены процедуры, позволяющие осуществлять парные сравнения вариантов на основе предпочтений центра управления для их ранжирования в задаче распределения ресурсов агентной модели.

3. Разработан алгоритм решения задачи планирования распределения ресурсов на основе моделирования предпочтений центра управления с использованием подходов, основанных на опыте принятых ранее решений и/или на основе мнения экспертов. В отличие от известных, алгоритм основан на теории сравнения объектов с образом и предназначен для решения широкого класса задач распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности. Рассмотрен пример применения алгоритма при решении задачи распределения ресурса между тремя агентами с учетом опыта принятых ранее решений.

4. Доказано преимущество разработанного алгоритма в части аппроксимации предпочтений центра управления в сравнении с известным алгоритмом анализа вариантов в задачах планирования распределения ресурсов для целей обеспечения пожарной безопасности химических предприятий. Для доказательства данного утверждения в диссертации использован количественный критерий эффективности сложных информационных систем – энтропия Шеннона.

Исследование алгоритма оптимального распределения ресурсов в агентной модели и его сравнение с существующим алгоритмом на основе энтропии Шеннона показало, что улучшение качества аппроксимация предпочтений ЛППР привело к существенному увеличению размерности решаемой задачи распределения ресурсов, что является побудительным мотивом для алгоритмизации и программной реализации разработанной агентной модели.

### **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СПЕЦИАЛЬНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

#### **3.1. Определение требований к системе планирования распределения ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности**

Конфликтные ситуации, возникающие при распределении ресурсов на предприятиях химической промышленности, определяют необходимость систематизировать цели и задачи системы управления пожарной безопасностью данных объектов.

На основе разработанной модели предложена программная реализация алгоритмов, позволяющих осуществлять ранжирование вариантов распределения ресурсов в агентной системе, а также алгоритмов для реализации методов теоретико-множественного анализа вариантов на основе понятия оптимальности управления в агентной системе. На рисунке 3.1 представлена функциональная схема разрабатываемой СППР.

В предлагаемой функциональной схеме можно выделить следующие блоки:

1. Блок ввода данных (ввод данных исследуемого объекта);
2. Блок парного сравнения вариантов. В данном блоке производится парное сравнение вариантов распределения ресурсов для реализации мероприятий и выводятся результаты сравнения;
3. Блок определения коэффициентов важности для агентов. По результатам парных сравнений производится распределение альтернатив по группам. Определяются коэффициенты важности для данных групп;
4. Блок ранжирования вариантов относительно мнения экспертов. В системе параллельно с предыдущими действиями производится ранжирование вариантов относительно мнения эксперта. Вычисляются количественные оценки альтернатив.

В блоке вычисления векторных оценок альтернатив используются полученные коэффициенты важности;

5. Блок взвешивания критериев распределения ресурсов по важности. Здесь производится взвешивание критериев по важности, производится расчёт коэффициентов, характеризующих отношение «избытков» и «недостатков»;

6. Блок формирования массива коэффициентов важности критериев. На основании проведенных расчетов формируется массив коэффициентов важности;

7. Блок предоставления результатов ранжирования. Полученные результаты отображаются на диаграмме. Варианты распределения от более предпочтительных к менее предпочтительным.



Рисунок 3.1 – Функциональная схема системы поддержки принятия решений при распределении ресурсов для целей пожарной безопасности

Алгоритм ранжирования вариантов распределения ресурсов представлен на рисунке 3.2.

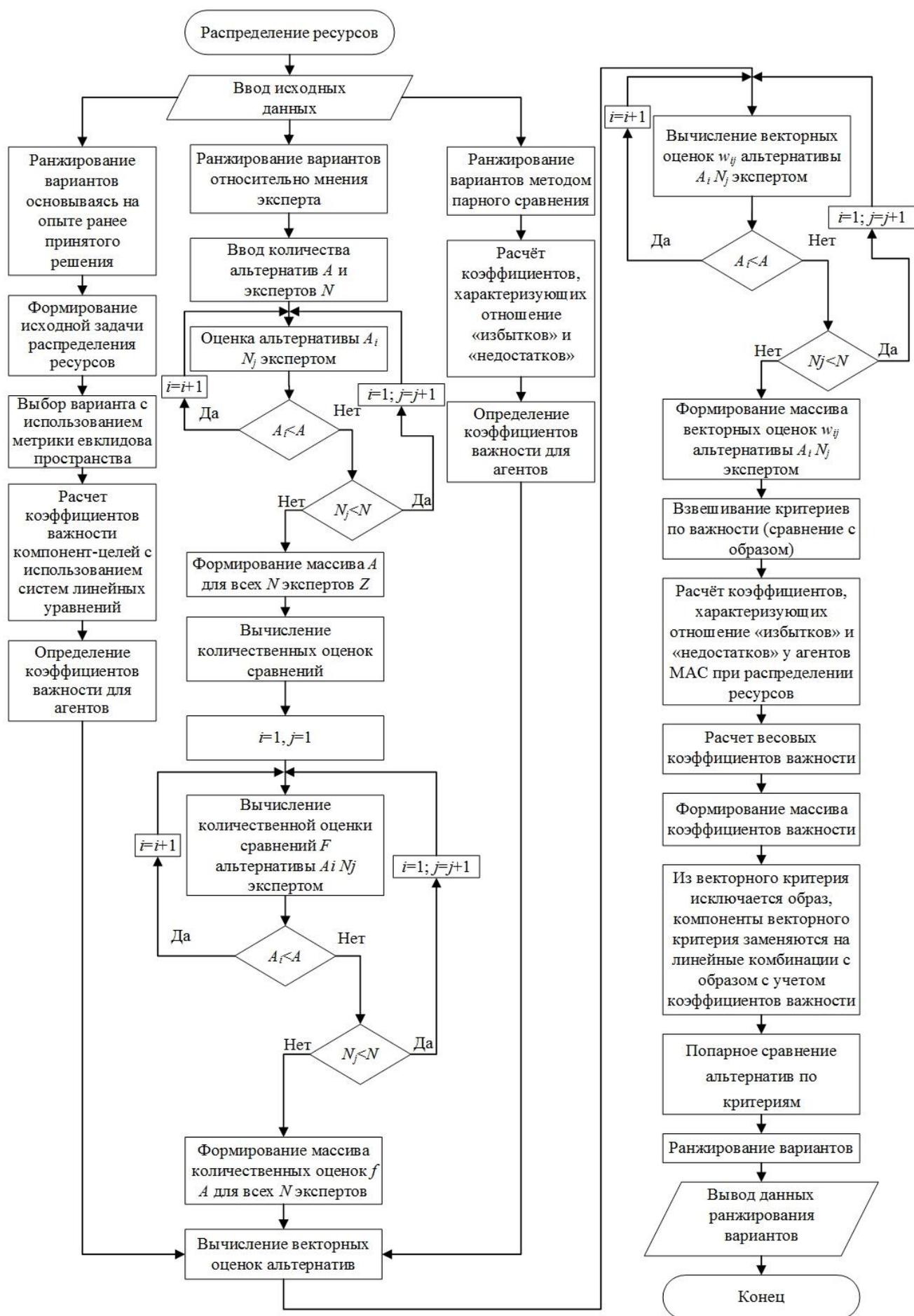


Рисунок 3.2 – Алгоритм ранжирования вариантов распределения ресурсов

### 3.2. Программная реализация специального программного обеспечения поддержки управления распределением ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности

При разработке информационной системы использовался язык программирования PHP, который позволяет удаленно взаимодействовать с приложением неограниченному количеству пользователей. Язык PHP разработан для создания web-приложений, поэтому содержит в себе функции, необходимые для работы на веб-сервере [62].

PHP поддерживается многими интернет-технологиями. Взаимодействует с большим количеством баз данных (MySQL, MySQLi, SQLite, PostgreSQL и др.) и веб-протоколов (HTTP, FTP, IMAP и др.)

PHP за короткие сроки позволяет создавать web-приложения, в которых в дальнейшем легко вносить изменения. PHP предоставляет программисту средства для быстрого и эффективного решения поставленных задач [63].

#### ***Блок ввода данных.***

ЛПР вводит количество вариантов и количество целей (рисунок 3.3), представленных на исследуемом объекте.

Рассматриваются только компромиссные варианты, не должно быть так, чтобы один вариант по всем критериям был больше, чем любой другой.

Математическая модель принятия решений:

- множество вариантов  $x_i \in X$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n \geq 2$ ;
- множество целей моделируемой системы, используемых для оценки вариантов  $f_i \in F$ ,  $s = 1, 2, \dots, m$ ,  $m \geq 3$ ;
- множество оценок распределения ресурсов:

$$F(X) = f_1(X) \times f_2(X) \times \dots \times f_m(X), \quad (3.1)$$

где  $f_i(X)$  – множество значений компоненты цели с номером  $i$  на множестве вариантов  $x_i \in X$ ;

$F(x_i)=(f_1(x_i), f_2(x_i), \dots, f_m(x_i))$  – оценка варианта  $x_i$ , тогда  $f_i(x_i)$  – оценка варианта  $x_i$  по цели системы  $f_i$ . При этом центр управления своим выбором желает максимизировать значение каждой компоненты цели, то есть  $f_i(x) \rightarrow \max$ .

Программным средством проверяется принадлежность вариантов множеству Парето (Рисунок 3.3). Система проверяет нет ли такого варианта, который был бы заведомо хуже, чем все остальные варианты, проводя анализ двух условий [64]:

1. Грани многогранников имеют пересечения, тогда варианты распределения являются парето-оптимальными;
2. Пересечения граней многогранников отсутствуют, тогда вариант распределения, которому соответствует фигура с большей площадью, исключает из дальнейшего анализа вариант распределения с фигурой меньшей площади.

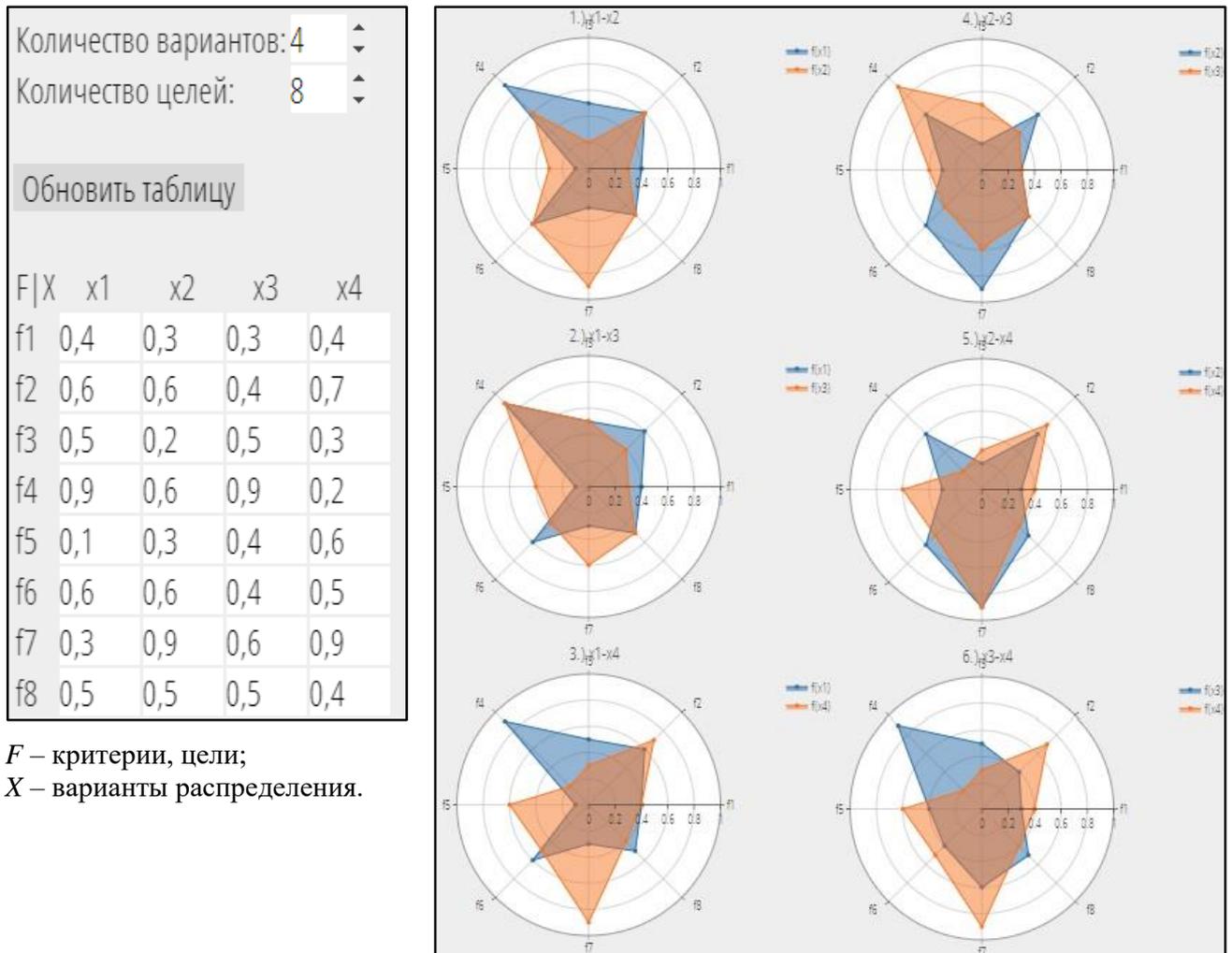


Рисунок 3.3 – Проверка вариантов принадлежности к множеству Парето

Парное сравнение вариантов. Строится матрица предпочтений. На первом этапе критерии следует разделить по двум группам  $A$  и  $B$ , количество критериев в группах соответственно равно  $a$  и  $b$ .

Тождественное предпочтение предусматривает сравнение двух вариантов  $x^* \approx x^{**}$ , что означает: вариант  $x^*$  равен по предпочтению варианту  $x^{**}$ .

В соответствии с формальной постановкой задачи распределения ресурсов все компонент-цели будут распределены по группам  $A$ ,  $B$  и  $C$ , исходя из условия:

$$S_k = f_k(x^*) - f_k(x^{**}) > 0, \text{ то } k=i \text{ и } f_i \in A \quad (3.2)$$

$$S_k = f_k(x^*) - f_k(x^{**}) < 0, \text{ то } k=j \text{ и } f_j \in B \quad (3.3)$$

$$S_k = f_k(x^*) - f_k(x^{**}) = 0, \text{ то } k=c \text{ и } f_c \in C \quad (3.4)$$

S	Группа	W
1.) -0.1	B ▼	0.15
2.) -0.1	B ▼	0.15
3.) -0.1	B ▼	0.15
4.) 0.4	A ▼	0.09
5.) -0.3	B ▼	0.09
6.) 0.1	A ▼	0.19
7.) 0	C ▼	
8.) 0.1	A ▼	0.19

$S$  – номера критериев;  
 $W$  – коэффициенты важности;  
 $A, B$  – группы распределения.

Рисунок 3.4 – Матрица предпочтений

Формируется матрица предпочтений (Рисунок 3.5), для этого рассматриваются комбинации компонент-целей с номерами  $i$  и  $j$  и определяются значения коэффициентов  $K_{ij}$  по формуле:

$$K_{ij} = -\frac{S_i}{S_j}, \quad \forall i \in I_A, \forall j \in I_B. \quad (3.5)$$

Матрица K:			
B A	f4	f6	f8
f1	4	1	1
f2	4	1	1
f3	4	1	1
f5	1.33	0.33	0.33

Рисунок 3.5 – Ненормализованная матрица предпочтений коэффициентов  $K_{ij}$

Затем строится нормализованная матрица предпочтений (Рисунок 3.6). В ячейках матриц указываются коэффициенты относительной важности критериев, которые рассчитываются по формуле:

$$\theta_{ij} = \frac{1}{1 + K_{ij}}. \quad (3.6)$$

Коэффициенты  $K_{ij}$  рассчитываются двумя способами: сравнение вариантов (векторных оценок) или сравнением критериев.

Матрица $\theta$ :				
B A	f4	f6	f8	
f1	0.2	0.5	0.5	$\theta_1=1.2$
f2	0.2	0.5	0.5	$\theta_2=1.2$
f3	0.2	0.5	0.5	$\theta_3=1.2$
f5	0.43	0.75	0.75	$\theta_5=1.93$
	$\theta_4=1.03$	$\theta_6=2.25$	$\theta_8=2.25$	

Рисунок 3.6 – Нормализованная матрица предпочтений коэффициентов

Расчет весовых коэффициентов (Рисунок 3.7). Весовые коэффициенты для функции ранжирования будут определяться по формулам:

- для всех критериев из группы  $A$ :

$$\omega_i = \frac{\theta_i}{ab}; \quad (3.7)$$

- для всех критериев из группы  $B$ :

$$\omega_j = \frac{a - \theta_j}{ab}. \quad (3.8)$$

Параметры  $\theta_i$  и  $\theta_j$  – это суммы коэффициентов из матрицы предпочтений.

Группа $W$		
1.)	B ▼	0.08
2.)	A ▼	0.12
3.)	A ▼	0.13
4.)	B ▼	0.14
5.)	B ▼	0.13
6.)	A ▼	0.16
7.)	A ▼	0.11
8.)	B ▼	0.12

$S$  – номера критериев;  
 $W$  – коэффициенты важности;  
 $A, B$  – группы распределения.

Рисунок 3.7 – Матрица предпочтений коэффициентов

Ранжирование вариантов распределения ресурсов (рисунок 3.8). Выполняется расчет векторных оценок вариантов и функции  $\Phi$  по формуле:

$$\Phi = \sum_{k=1}^m \omega_k f_k, \quad \sum_{k=1}^m \omega_k = 1. \quad (3.9)$$

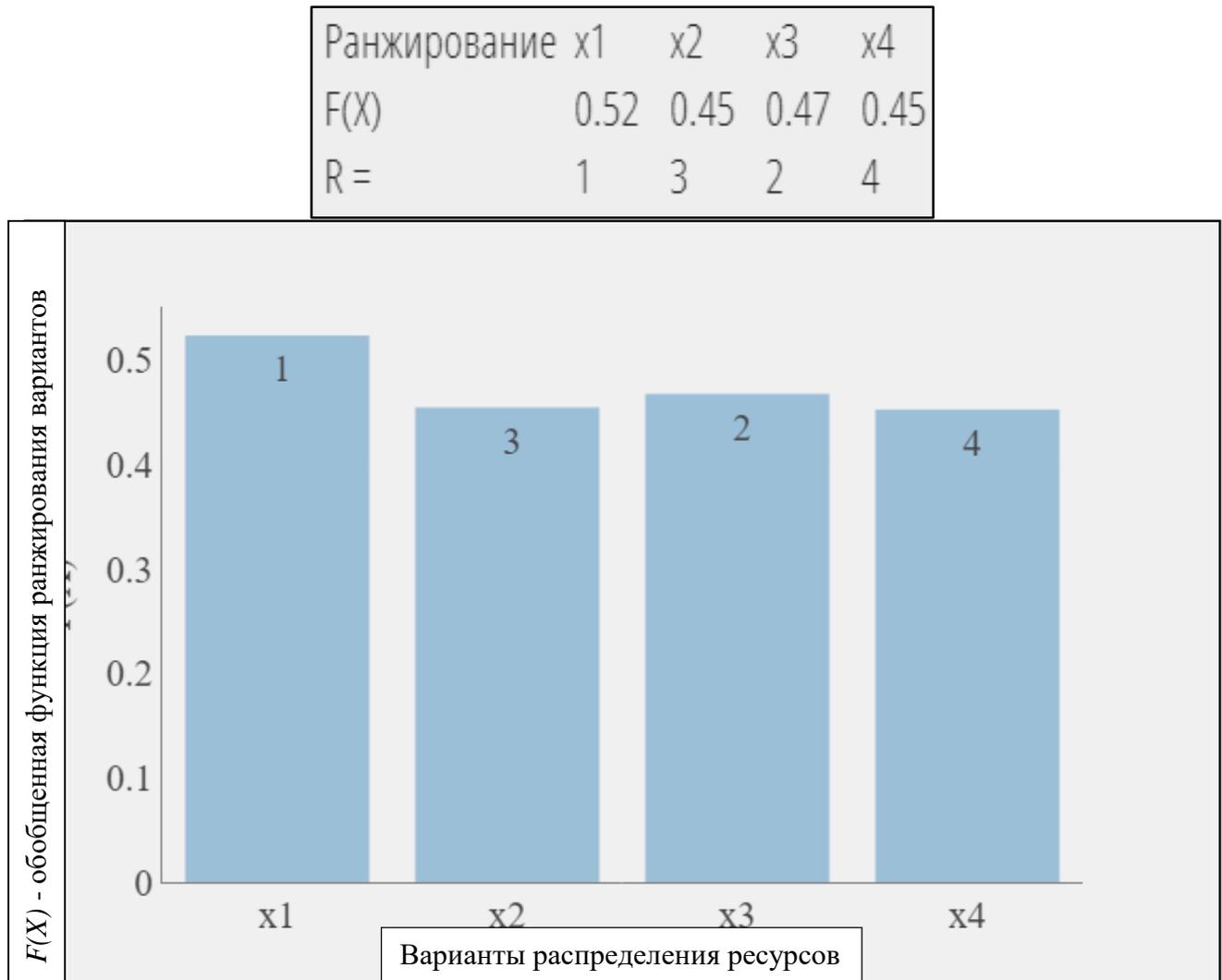


Рис. 3.8 – Ранжирование вариантов

Сравнение критериев. Для реализации данного подхода эксперту необходимо самостоятельно распределить компонент-цели по группам  $A$  и  $B$  и произвести сравнение каждой компонент-цели из группы  $A$  с каждой компонент-целью из группы  $B$  по вербальной шкале.

Строится матрица экспертных высказываний  $Z$  (Рисунок 3.9) на основе шкалы бальных высказываний (Таблица 3.1), где  $Z$  принимает свои значения из множества целых чисел в соответствии с подходом, раскрытым в работе [65].

Таблица 3.1. – Вербальная шкала высказываний эксперта  $Z_{ij}$  при сравнении объектов агентной системы управления

Высказывания	Прямое	Обратное
$O_i$ равны по важности $O_j$	0	0
$O_i$ немного важнее $O_j$	2	-2
$O_i$ важнее $O_j$	4	-4
$O_i$ существенно важнее $O_j$	6	-6
$O_i$ много важнее $O_j$	8	-8
$O_i$ бесконечно важнее $O_j$	10	-10

Матрица Z:		Z – матрица экспертных высказываний.				f7
B\A	f2					
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) ▾		

f8 и f3 равны по важности (прямое)
f8 и f3 равны по важности (обратное)
f8 немного важнее f3 (прямое)
f8 немного важнее f3 (обратное)
<b>f8 важнее f3 (прямое)</b>
f8 важнее f3 (обратное)
f8 существенно важнее f3 (прямое)
f8 существенно важнее f3 (обратное)
f8 много важнее f3 (прямое)
f8 много важнее f3 (обратное)
f8 бесконечно важнее f3 (прямое)
f8 бесконечно важнее f3 (обратное)

Рисунок 3.9 – Таблица экспертных высказываний

Формируется ненормализованная матрица предпочтений  $K$  (Рисунок 3.10).

Значения коэффициентов  $K_{ij}$  рассчитываются по формуле:

$$K_{ij} = \exp(-gZ_{ij}) \quad (3.10)$$

где  $g$  – параметр модели,  $g$  в нашем случае всегда равен 0,5;

$Z_{ij}$  – бальные значения высказываний.

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

Рисунок 3.10 – Ненормализованная матрица предпочтений коэффициентов  $K_{ij}$

Строится нормализованная матрица предпочтений  $\theta$  (Рисунок 3.11), значения в которой определены по формуле 3.5.

Матрица $\theta$					
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 3.11 – Нормализованная матрица предпочтений коэффициентов

На основе формулы (3.9) производится ранжирование вариантов распределения ресурсов. Результат ранжирования представляется в виде диаграммы (Рисунок 3.12).

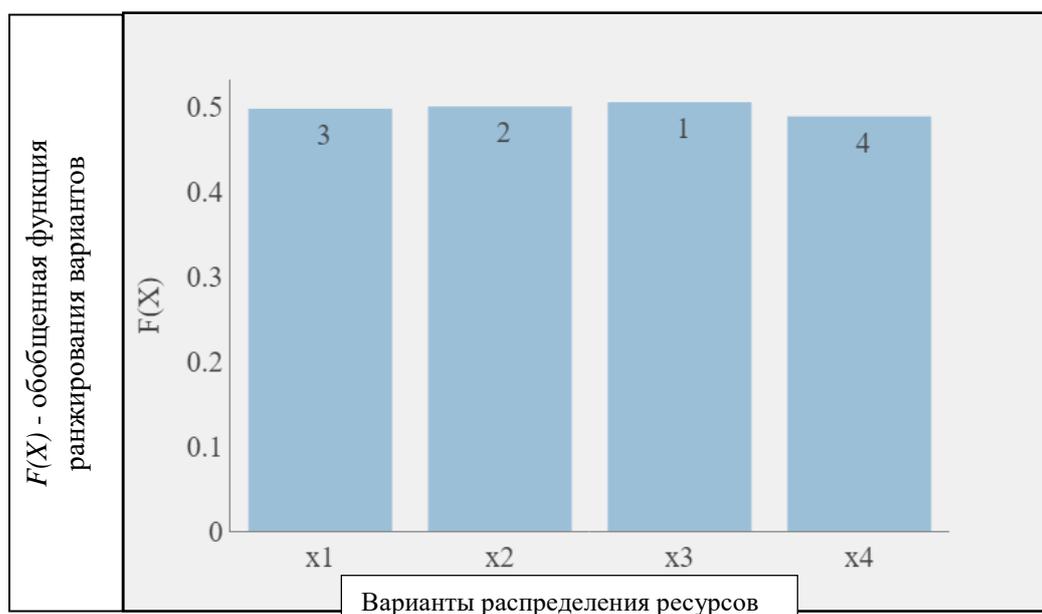


Рисунок 3.12 – Блок предоставления результатов ранжирования.

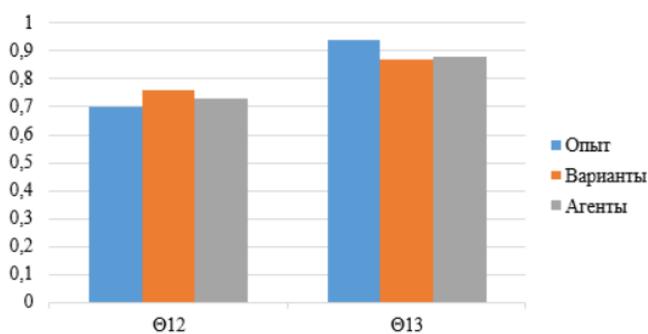
### 3.3. Пример применения специального программного обеспечения поддержки управления распределением ресурсов для целей пожарной безопасности на предприятиях химической промышленности

Обсуждение решения задачи распределения ресурсов.

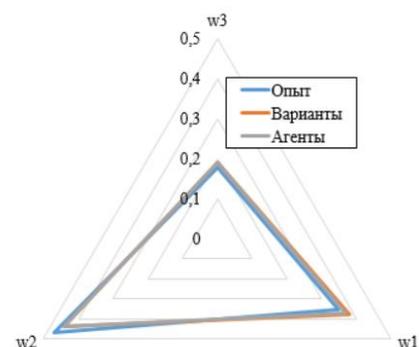
Метод 1. На основе опыта принятых ранее решений рассмотренный подробно для данной задачи в параграфе 2.4 диссертации, в дальнейшем будет именоваться «Опыт». Для метода «Опыт» коэффициентов относительной важности  $\theta = 0,70$  и  $\theta = 0,94$ , тогда предпочтения ЛПР составляют:  $\omega=0,18$ ;  $\omega=0,35$ ;  $\omega=0,47$ .

Метод 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  $\theta = 0,76$  и  $\theta = 0,86$ , тогда предпочтения ЛПР составляют:  $\omega=0,19$ ;  $\omega=0,38$ ;  $\omega=0,44$ .

Метод 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, результаты анализа высказываний представлены на рисунках 3.15. и 3.16, далее метод будем именовать «Агенты». Для метода «Агенты» коэффициенты относительной важности  $\theta = 0,73$  и  $\theta = 0,88$ , тогда предпочтения ЛПР составляют:  $\omega=0,19$ ;  $\omega=0,37$ ;  $\omega=0,44$ . Сопоставление результатов анализа показателей важности в задаче распределения ресурсов представлено на рисунке 3.13.



А - Коэффициенты относительной важности



В - Предпочтения центра управления

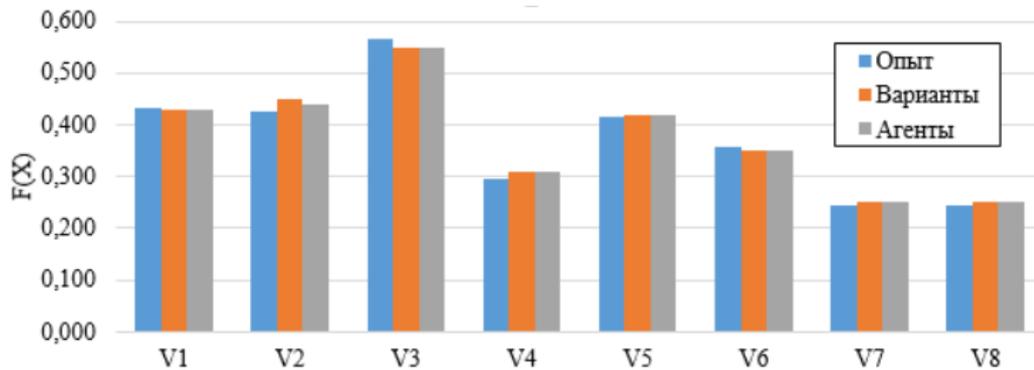
Рисунок 3.13 – Анализ показателей важности агентов в задаче

Отклонение показателей важности определяет необходимость проведения анализа результатов ранжирования вариантов распределения ресурсов. Для этого сформируем таблицу 3.2, в которой сведены результаты решения задачи распределения ресурсов с использованием предложенных в диссертации методов.

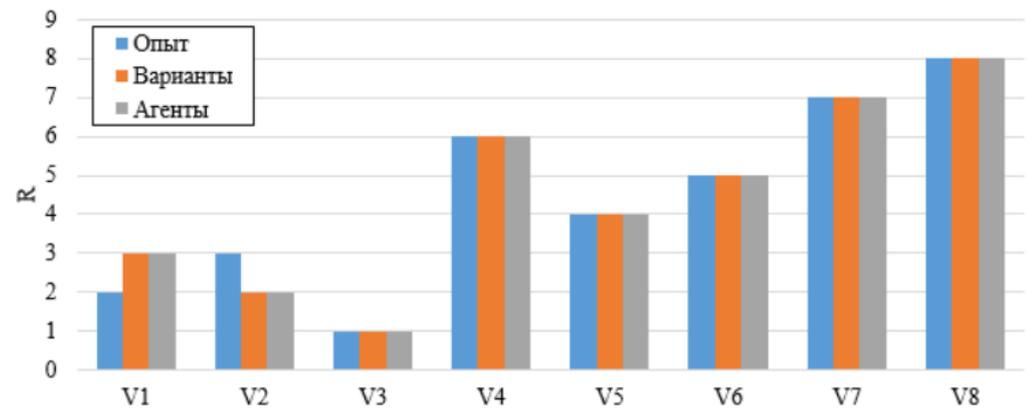
Таблица 3.2 – Результаты ранжирования вариантов различными методами

Показатели		$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$	$V_7$	$V_8$
Опыт	$F(V)$	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
Варианты	$F(V)$	0,43	0,45	0,55	0,31	0,42	0,35	0,25	0,25
	$R$	3	2	1	6	4	5	7	8
Агенты	$F(V)$	0,43	0,44	0,55	0,31	0,42	0,35	0,25	0,25
	$R$	3	2	1	6	4	5	7	8

Сопоставление результатов ранжирования вариантов распределения ресурсов различными методами представлены на рисунке 3.14.



А – значения целевой функции для вариантов



В – результаты ранжирования вариантов распределения ресурсов

Рисунок 3.14 – Анализ ранжирования вариантов распределения ресурсов

Решение задачи анализ с использованием разработанной информационной системы представлены на рисунке 3.15.

[Проверка компромисса](#) | [Парное сравнение вариантов](#) | Сравнение критериев

F\X	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
f1	0,9	0,1	0,4	0,6	0,3	0,1	0,9	0,25
f2	0,1	0,9	0,2	0,4	0,5	0,3	0,1	0,3
f3	0,5	0,2	0,9	0,1	0,4	0,5	0,1	0,2

Группа W

1.) В ▾ 0.19  
 2.) A ▾ 0.37  
 3.) A ▾ 0.44

Нормировка: 1

Создать

Матрица Z:

V|A f2 f3  
 f1 f1 немного важнее f2 (прямое) ▾ f1 важнее f3 (прямое) ▾

S    Группа W

1.) -0.65 В ▾ 0.19  
 2.) 0.2 A ▾ 0.38  
 3.) 0.1 A ▾ 0.44

Нормировка: 1

Матрица K:

V|A f2 f3  
 f1 0.31 0.15

Матрица  $\theta$ :

V|A f2 f3  
 f1 0.76 0.87  $\theta_1=1.63$   
 $\theta_2=0.76$   $\theta_3=0.87$

Ранжирование

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
F(X)	0.43	0.45	0.55	0.31	0.42	0.35	0.25	0.25
R =	3	2	1	6	4	5	7	8

Матрица Z:

V|A f2 f3  
 f1 2 4

Матрица K:

V|A f2 f3  
 f1 0.37 0.14

Матрица  $\theta$

V|A f2 f3  
 f1 0.73 0.88  $\theta_1=1.61$   
 $\theta_2=0.73$   $\theta_3=0.88$

Ранжирование

	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8
F(X)	0.43	0.44	0.55	0.31	0.42	0.35	0.25	0.25
R =	3	2	1	6	4	5	7	8

Рисунок 3.15 – Решение задачи анализа

Анализируя результаты ранжирования вариантов в задаче распределения ресурсов, обнаружено несоответствие экспертной процедуры и опыта принятых ранее решений для вариантов  $V_1$  и  $V_2$ , следовательно, необходимо провести более детальный анализ результатов решения задач предложенными методами.

Предположим, что существует вероятность принятия правильного решения в контексте исследования правильного ранжирования вариантов, которые дает метод, основанный на опыте принятых ранее решений («Опыт»), тогда необходимо оценить вероятность ошибочного ранжирования вариантов с применением экспертных процедур «Варианты» и «Агенты». Для этого воспользуемся критерием Пирсона  $\chi^2$ , рассчитываемого для каждого сочетания вариантов по формуле:

$$\chi_i^2 = \frac{(F(V)_{ik} - F(V)_{ij})^2}{F(V)_{ik}}. \quad (3.11)$$

Общее значение критерия получим, суммируя частные его значения для каждого варианта:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^8 \chi_i^2. \quad (3.12)$$

Тогда при количестве степеней свободы  $s = 2$  (сопоставляя пары методов) оценим вероятность ошибочного ранжирования для различных сочетаний методов. Результаты анализа представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 Результаты ранжирования вариантов различными методами

	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$
<b>О и В</b>	0,00001	0,00118	0,00041	0,00073	0,00002	0,00018
<b>О и А</b>	0,00001	0,00038	0,00041	0,00073	0,00002	0,00018
<b>В и А</b>	0,00000	0,00023	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
	$V_7$	$V_8$	$\chi^2$	Верно	Ошибка	
<b>О и В</b>	0,00014	0,00014	<b>0,00281</b>	<b>0,99859</b>	<b>0,00141</b>	
<b>О и А</b>	0,00014	0,00014	<b>0,00202</b>	<b>0,99899</b>	<b>0,00101</b>	
<b>В и А</b>	0,00000	0,00000	<b>0,00023</b>	<b>0,99989</b>	<b>0,00011</b>	

Таким образом, в паре методов «Опыт» «Варианты» ошибка результатов ранжирования составляет  $\nu = 0,00141$ , в паре «Опыт» «Агенты» ошибка составляет величину равную  $\nu = 0,00101$ , и в паре «Варианты» «Агенты»  $\nu = 0,00011$ .

Анализируя полученные данные, можно заключить, что вероятность ошибочного ранжирования вариантов распределения ресурсов пренебрежимо мала. Однако, данные показывают, что для сочетания двух экспертных процедур «Варранты» - «Агенты» ошибка на порядок меньше. Наличие ошибки в результатах ранжирования определяет необходимость разработки процедуры оценки эффективности применения агентной системы поддержки принятия решений.

### **3.4. Выводы по третьей главе**

1. Проведена алгоритмизация и программная реализация теоретических положений агентного анализа вариантов распределения ресурсов в системе управления безопасностью объектов химической промышленности.

2. Разработана структура поддержки принятия решений при управлении безопасностью на объектах химической промышленности, учитывающая возможность формирования многоуровневой процедуры агентного анализа вариантов в терминах «агент» «компонент-цель».

3. Предложена процедура анализа вариантов распределения ресурсов в агентных системах, включающая в себя два основных этапа: на первом этапе компонент-цели распределяются по множествам; на втором этапе ранжируются (упорядочиваются) в соответствии с предпочтениями центра управления.

4. Разработана компьютерная информационная система поддержки принятия решений, в рамках которой предложены алгоритмы распределения ресурсов в агентной системе управления.

5. Проведено сравнение применения различных методов решения задачи распределения ресурсов путем ранжирования вариантов относительно предпочтений центра управления, формализованных путем обобщения опыта ранее принятых решений и экспертных процедур, основанных на сопоставлении вариантов и матрицы парных сравнений. Показано, что существует вероятность ошибочного ранжирования вариантов решений, оценить которую предлагается с использованием выростных процедур, основанных на анализе значений критерия Пирсона.

## ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Исследование эффективности применения МАС проводится для определения границ ее применения в задачах планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности химических предприятий, что является необходимым условием для формирования практических рекомендаций по внедрению разработанных теоретических положений в процесс управления ресурсами социально-экономических систем.

Определение границ применения МАС является теоретической задачей исследования, для решения которой необходимо провести обоснованный выбор подхода к оценке эффективности агентной системы, сформулировать систему принципов, на основе которой применение МАС при решении практических задач будет считаться обоснованным; разработать количественный показатель для оценки эффективности МАС.

Оценка эффективности проведена опытно-теоретическим методом с учетом иерархии количественной оценки, предусматривающей:

- высший уровень – выбор критерия эффективности ( $\mathcal{E}\%$ );
- средний уровень оценки – показатель эффективности ( $Sab$ );
- низовой уровень оценки МАС – параметры показателя эффективности ( $NAgent$  и  $NVar$ ).

Количественная оценка эффективности МАС возможна лишь на основе усеченного массива исходных данных, сгенерированных в рамках опытно-теоретической модели исследования, поэтому для индукции полученных результатов в методике количественной оценки МАС необходимо разработать модель показателя эффективности в зависимости от исходных параметров агентной системы поддержки принятия решений.

#### 4.1. Общие положения оценки эффективности агентной системы

Общие положения оценки эффективности применения агентных систем в задачах планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности химических предприятий включают в себя совокупность рекомендаций практического характера для принятия решений о применении агентной технологии и ее предпочтительности в сравнении с другими подходами к решению подобных задач. Поэтому методическая составляющая процедуры оценки эффективности МАС базируется на принципах сравнения имеющихся вариантов принятия решений с учетом дуалистической природы рассматриваемой управленческой задачи, заключающейся в возможном одновременном изменении количества агентов и вариантов распределения ресурсов в анализируемой системе. Оценки эффективности могут быть получены различными способами, поэтому при анализе МАС воспользуемся подходами, обоснованными в работе [76]: 1 – мнение экспертов (специалистов конкретного предприятия химической промышленности); 2 – анализ опыта принятия решений; 3 – математическое (численное) моделирование. Общая структура оценки эффективности МАС представлена на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Структурная схема оценки эффективности применения МАС

Оценка эффективности проводится в соответствии с иерархией, представленной на рисунке 4.2.

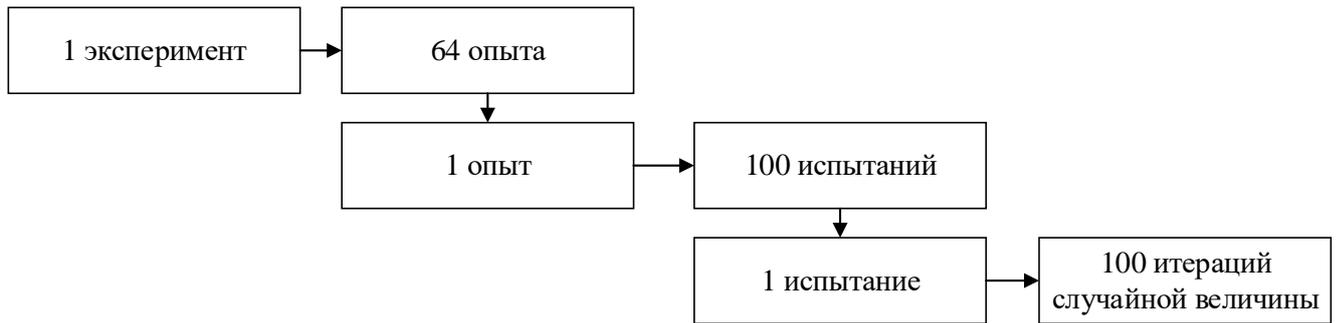


Рисунок 4.2 – Иерархия оценки эффективности

Применение подходов к оценке эффективности МАС проблематично. Это связано с тем, что экспертное мнение в рассматриваемой задаче сравнения вариантов сложно формализуемо, так как на практике достаточно проблематично отыскать такого эксперта, который имел бы опыт применения всей номенклатуры методов теории управления и принятия решений к задачам планирования распределения ресурсов. Поэтому единственным подходом к оценке эффективности МАС остается применение математического моделирования с элементами численного исследования эффективности МАС в рамках опытно-теоретического метода [96].

#### 4.2. Опытнo-теоретическая модель исследования эффективности агентной системы

При постановке задачи оценки эффективности МАС необходимо учитывать дуалистическую природу задач планирования принятия решений при распределении ресурсов, заключающуюся в наличии прямой и обратной задач исследования. Исходя из содержательной постановки задачи оценки эффективности, будем считать, что прямой задачей исследования является определение целесообразности применения МАС при принятии решений в задачах планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности; в свою очередь, обратной задачей исследования является количественная оценка выигрыша в эффективности, получаемого в процессе применения МАС при решении практических задач.

#### 4.2.1. Цель и схема исследования эффективности

Разработанная МАС предназначена для идентификации верного варианта решений из имеющихся на основе векторных оценок вариантов решений, образованных оцениванием каждого из агентов в отдельности – исходные данные для принятия решений, и показателей относительной важности каждого из агентов, рассматриваемых в виде единой системы распределения ресурсов – дополнительная информация об предпочтениях центра управления. Поэтому сравнивать необходимо два способа принятия решений по распределению ресурсов:

1 – базовый способ: в распоряжении центра управления имеются варианты и их векторные оценки. Центр управления проводит выбор варианта, имеющего максимальное значение суммы векторных оценок по «стратегии аддитивной полезности» [2], и производит выбор варианта решения с максимальным значением суммы. В случае, если несколько вариантов имеют одинаковые суммы, то выбор производится случайно;

2 – предлагаемый способ: у центра управления имеются исходные данные для принятия решений, то есть, векторные оценки вариантов, а также дополнительная информация о предпочтениях, полученная с использованием МАС. Выбор варианта производится центром управления на основе результатов ранжирования вариантов.

В исследовании будем считать, что вариант решения, выбранный с использованием МАС, является оптимальным. Тогда для оценки эффективности применения МАС необходимо провести подсчет случаев решения задачи планирования распределения ресурсов, состоящих в том, что варианты, выбранные по способу принятия решений 1 и способу принятия решений 2, совпадают. Данные случаи будут описывать ситуации, при которых разработанная МАС неэффективна, так как для принятия оптимального решения можно было бы использовать любые другие системы анализа векторных оценок вариантов решений. В свою очередь, случаи, когда результаты выбора по способу 1 и 2 не совпадают, это означает, что применение МАС в данных случаях необходимо. Реализация данной схемы на

практике с использованием опыта решения практических задач невозможна, так как необходима достаточно обширная база случаев применения МАС, поэтому предлагается реализовать предложенную схему с применением опытно-теоретического подхода, базирующегося на теории вероятностей и математической статистике.

Для реализации схемы исследования эффективности МАС в задачах распределения ресурсов для обеспечения управления пожарной безопасностью химических предприятий на основе опытно-теоретического метода необходимо:

- сформировать систему принципов, на основе которой формируется количественный показатель. В общем случае рассматривается стандартная теоретическая гипотеза о нормальности данных, полученных с применением опытно-теоретического метода исследования задач принятия решений;

- доказать теоретическую гипотезу с использованием существующих формализованных процедур и апробированных методов. Из всей совокупности методов в работе целесообразно применять графические методы доказательства теоретической гипотезы по гистограмме и полигону частот в совокупности с методом оценки ошибки первого рода при принятии гипотезы по критерию Пирсона [74];

- разработать модель количественного показателя эффективности для прогнозирования его значений с частного усеченного набора данных на более общий случай применения МАС в практике принятия решений. На данном этапе исследования используется экспоненциальная модель и коэффициент регрессии  $R^2$  для обоснования параметров модели;

- сформировать методики оценки эффективности МАС для решения задач определения границ применения МАС в задачах планирования и количественной оценки прогнозируемого выигрыша в эффективности от применения МАС на практике управления ресурсами в системе обеспечения пожарной безопасности.

В соответствии с требованиями качественной реализации опытно-теоретического метода исследования необходима модель численного испытания при исследовании эффективности МАС.

#### 4.2.2. Структура опытно-теоретической модели оценки эффективности

Структура опытно-теоретической модели построена по модульному принципу для ее трансформации в соответствии с дуалистической природой задачи планирования, а именно, прямой и обратной задачами исследования. В общей совокупности рассматривается пять укрупнённых модулей, состоящих из совокупности нескольких блоков. Общая структура опытно-теоретической модели исследования представлена на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Структура модели численного испытания

Опытно-теоретическая модель исследования эффективности применения МАС при решении задач планирования состоит из подсистем и пяти укрупнённых модулей.

Подсистема поддержки принятия решений, включает в себя три укрупнённых модуля:

– модуль «Исходные данные численного испытания» основан на дуалистической структуре задачи планирования распределения ресурсов, состоит из двух блоков «Количество агентов в задаче распределения ресурсов» и «Варианты распределения ресурсов и их векторные оценки». В данном модуле формируется задача планирования распределения ресурсов и ее агентный аналог. Рассматривается задача агенты-варианты (*Agent-Var*) *Agent*: 3,4, ..., 10 и *Var*: 3,4, ..., 10, то есть, рассматривается допустимое множество, состоящее из 64 комбинаций. Векторные оценки для каждой комбинации *Agent-Var* генерируются случайным образом с помощью равномерно-распределённой функции *Random*;

– модуль «Базовый способ принятия решений» построен в соответствии с выбранной при постановке задач исследования стратегией аддитивной полезности при принятии решений. Для реализации аддитивной полезности на практике необходимо, чтобы в распоряжении центра управления находились векторные оценки вариантов распределения ресурсов, поэтому данный укрупненный модуль опытно-теоретической модели связан только с блоком «Варианты распределения ресурсов и их векторные оценки». Сама же структура укрупнённого модуля представляет собой взаимодействие блоков «Реализации стратегии аддитивной полезности» и «Вариант решения без использования МАС». Взаимодействие данных блоков позволяет проводить выбор варианта распределения ресурсов в случае невозможности реализации стратегии аддитивной полезности при окончательном выборе варианта решения, то есть, в тех случаях, когда несколько вариантов имеют равные суммы;

– модуль «Предлагаемый способ принятия решений» реализует предложенную в диссертации процедуру принятия решений и включает в себя три блока: 1 – «Система предпочтений центра управления» представляет собой совокупность показателей важности агентов в системе с учетом реализации предложенных способов; 2 – «Вариант решения с использованием МАС» реализует процедуру упорядочивания вариантов в соответствии с аддитивной сверткой показателей важности и векторных оценок вариантов распределения ресурсов, сохраняет вариант распределения ресурсов, определенный с использованием предложенной процедуры, данный вариант в соответствии с постановкой задачей является оптимальным.

Стоит отметить, что для реализации разработанной в диссертации процедуры принятия решений необходимо одновременно использование и векторных оценок вариантов и показателей важности агентов в агентной системе, поэтому укрупненный модуль «Предлагаемый способ принятия решений» взаимодействует одновременно с двумя блоками укрупненного модуля «Исходные данные численного испытания».

Подсистема анализа результатов численного испытания эффективности МАС включает в себя укрупнённые модули «Система анализа» и «Результаты численного испытания». В данной подсистеме производится анализ вариантов распределения ресурсов, выбранных с использованием МАС и на основе стратегии аддитивной полезности. Вариант решения, выбранный с использованием МАС, в соответствии с постановкой задачи исследования считается оптимальным и выступает в роли «образа» при реализации парных сравнений. В общей системе исследования эффективности МАС предложенная модель представляет собой один вычислительный цикл, который в дальнейшем будем считать одним испытанием. Для каждой комбинации агентов-вариантов (всего их 64) проводится один вычислительный эксперимент, предусматривающий 100 опытов по 100 испытаний с использованием разработанной теоретико-множественной модели.

### **4.3. Разработка показателя эффективности агентной системы**

Результатом опытно-теоретического метода исследования эффективности МАС в задачах планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности является совокупность чисел  $N_+$  – случаи, когда применение МАС было обоснованным, и  $N_-$  – случаи когда применение МАС не дало необходимого результата. Поэтому рассмотрим количественный показатель  $Sab = N_+$ , который будет определен как общее количество случаев положительного применения МАС в одном теоретическом опыте. Тогда исходя из постановки задачи исследования следует, что область допустимых значений показателя  $Sab \in [0; 100]$ . Значение  $Sab=0$

наблюдается в тех случаях, когда из  $N$  испытаний количество положительных испытаний равно нулю  $N_+ = 0$ , в свою очередь, количество отрицательных испытаний  $N_- = N = 100$ . Значение  $Sab=100$  определяет обратную ситуацию, когда среди испытаний  $N$  все они были положительными, то есть,  $N_+ = N$ , а  $N_-=0$ .

Рассмотрим дискретную случайную величину  $\rho$  – количество случаев ошибочного принятия решений по распределению ресурсов в агентной системе без учета ранжирования вариантов на основе показателей относительной важности агентов. Данная случайная величина принимает свои значения из множества натуральных чисел, то есть, 1, 2, 3 ... Тогда при исследовании данной случайной величины необходимо определить ее непрерывный аналог в соответствии с теоретической гипотезой о выбранном законе ее распределения. Для доказательства данной гипотезы будем использовать классический подход теории вероятностей и математической статистики, предусматривающий применение критерия статистического согласия Пирсона.

#### 4.3.1. Статистический анализ показателя эффективности

Количество случаев ошибочного принятия решений на 100 случаев имитации будем считать показателем результативности применения количественного показателя  $Sab$  в агентной системе. В рамках моделирования проводилось 10000 имитационных испытаний для каждого из сочетаний случаев 3, 4, ..., 10 агентов и 3, 4, ..., 10 вариантов распределения ресурса, каждое сочетание агентов и вариантов испытывалось 100 раз. Для прогнозирования значения показателя  $Sab$  введем допущение, состоящее в том, что количество случаев ошибочного принятия решений может быть рассмотрено как непрерывная случайная величина, подчиняющаяся нормальному закону распределения.

Выдвинем нулевую гипотезу  $H_0$  – показатель  $Sab$  подчиняется нормальному закону распределения;  $H_1$  – показатель  $Sab$  не подчиняется нормальному закону распределения.

Пример доказательства гипотезы  $H_0$  покажем на сочетании агенты-варианты как 10 на 10. Результаты опыта для задачи размерностью 10 на 10 в рамках вычислительного эксперимента представлены в таблице 4.1, где  $N_+$  – количество испытаний в которых был произведен верный выбор решения без применения разработанной МАС;  $N_-$  – количество испытаний с неверным выбором решения в задаче распределения ресурсов, то есть, верный выбор возможен только с применением МАС;  $N = N_+ + N_-$  – общее количество испытаний.

Таблица 4.1 – Результаты вычислительного опыта для размерности 10 на 10

<i>Исход</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>Номера испытаний</i>
N-	3	5	5	5	6	6	6	9	9	9	<b>1</b>
N+	97	95	95	95	94	94	94	91	91	91	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
N-	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	<b>2</b>
N+	91	91	91	91	91	91	90	90	90	90	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
N-	11	11	11	11	11	11	12	12	12	13	<b>3</b>
N+	89	89	89	89	89	89	88	88	88	87	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
N-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	<b>4</b>
N+	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
N-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	<b>5</b>
N+	87	87	87	87	87	87	87	87	87	87	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
N-	13	13	13	13	13	13	13	13	13	14	<b>6</b>
N+	87	87	87	87	87	87	87	87	87	86	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
N-	14	14	14	14	15	15	15	15	15	16	<b>7</b>
N+	86	86	86	86	85	85	85	85	85	84	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
N-	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	<b>8</b>
N+	84	84	83	83	83	83	83	83	83	83	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
N-	17	17	17	18	18	18	18	18	18	18	<b>9</b>
N+	83	83	83	82	82	82	82	82	82	82	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
N-	19	20	21	21	21	22	22	23	23	24	<b>10</b>
N+	81	80	79	79	79	78	78	77	77	76	
N	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Данные для анализа случайной величины ( $\rho_i$ ) представлены в таблице 4.2.



Теоретическая (нормальная) модель данных при  $n \rightarrow \infty$ , эмпирическая модель данных при  $n = 10000$  испытаний.

Определим числовые характеристики результатов исследования:

– среднее значение случайной величины (СВ):

$$\rho_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n=100} \rho_i = \frac{1}{100} \cdot 1371 = 13,71 \rightarrow 14; \quad (4.1)$$

– дисперсия СВ:

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n=100} (\rho_i - \rho_{cp})^2 = \frac{1}{100-1} \cdot 1767 = 17,8; \quad (4.2)$$

– стандартное отклонение СВ:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{17,8} = 4,2 \rightarrow 4; \quad (4.3)$$

– вариация СВ:

$$V = \frac{\sigma}{\rho_{cp}} 100\% = \frac{4}{14} 100\% = 28\%. \quad (4.4)$$

Близость вариации случайной величины к 25 % и достаточно хорошая сходимость теоретической и эмпирической модели данных и квадратов остатков данных от среднего, иллюстрируемые на рисунках 4.4 и 4.5, позволяют приступить к формальной проверке гипотезы  $H_0$  о нормальном распределении результатов вычислительного опыта.

Для проверки гипотезы  $H_0$  воспользуемся критерием согласия Пирсона  $\chi^2$ .

Образуем вариационный интервальный ряд случайной величины  $\rho$ . Для этого определим число интервалов по рекомендациям ВНИИ Метрологии России: при  $N$  до 100 включительно рекомендуется  $7 \div 9$  интервалов [70]. Принимаем число интервалов  $L=7$ .

Тогда величину интервала определим по формуле:

$$\Delta\rho = \frac{\rho_{\max} - \rho_{\min}}{L-1} = \frac{24-3}{7-1} = 3,5 \rightarrow 4. \quad (4.5)$$

Заметим и еще раз подчеркнем верный выбор количества интервалов  $L=7$  так как полученное значение величины интервала численно равно стандартному отклонению исследуемой случайной величины  $\Delta\rho = \sigma$ .

Нормальная модель случайной величины имеет плотность распределения:

$$p(\rho) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) \rightarrow z = \frac{\rho_i - \rho_{cp}}{\sigma} \quad (4.6)$$

Интеграл плотности распределения случайной величины табулирован и представляет собой известную Функцию Лапласа  $\Phi$  поэтому теоретическое значение случайной величины определялось по формуле:

$$N_{теор} = N[\Phi(\alpha) - \Phi(\beta)], \rightarrow \alpha = \frac{\rho_{i\max} - \rho_{cp}}{\sigma}; \beta = \frac{\rho_{i\min} - \rho_{cp}}{\sigma}. \quad (4.7)$$

В свою очередь, функцию Лапласа представляется возможным заменить ее аналогом функцией ошибок, при этом используется следующее соотношение:

$$\Phi(z) = \frac{1}{2} \left( 1 + \operatorname{erf} \left( \frac{z}{\sqrt{2}} \right) \right). \quad (4.8)$$

Тогда теоретическое распределение можно задать соотношением:

$$N_{теор} = \frac{N}{2} \left[ \operatorname{erf} \left( \frac{\alpha}{\sqrt{2}} \right) - \operatorname{erf} \left( \frac{\beta}{\sqrt{2}} \right) \right]. \quad (4.9)$$

Результаты расчета теоретического распределения случайной величины  $\rho$  представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Расчет теоретического распределения случайной величины

$L$	$\rho_{min}$	$\rho_{max}$	$\alpha$	$\beta$	$A = \operatorname{erf} \left( \frac{\alpha}{\sqrt{2}} \right)$	$B = \operatorname{erf} \left( \frac{\beta}{\sqrt{2}} \right)$	$N_{теор}$
1	0	4	-2,5	-3,5	-0,99	-1,00	0,60
2	4	8	-1,5	-2,5	-0,87	-0,99	6,06
3	8	12	-0,5	-1,5	-0,38	-0,87	24,17
4	12	16	0,5	-0,5	0,38	-0,38	38,29
5	16	20	1,5	0,5	0,87	0,38	24,17
6	20	24	2,5	1,5	0,99	0,87	6,06
7	24	28	3,5	2,5	1,00	0,99	0,60

Результаты расчета эмпирического распределения случайной величины  $\rho$  представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Расчет эмпирического распределения случайной величины

$L$	$\rho_{min}$	$\rho_{max}$	$\rho_i$	$N_{эмпир}$
1	0	4	3	1
2	4	8	5; 5; 5; 6; 6; 6	6
3	8	12	9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 9; 10; 10; 10; 10; 11; 11; 11; 11; 11; 11; 12; 12; 12	22
4	12	16	13; 14; 14; 14; 14; 14; 15; 15; 15; 15; 15; 16; 16; 16	43
5	16	20	17; 17; 17; 17; 17; 17; 17; 17; 17; 17; 17; 17; 18; 18; 18; 18; 18; 18; 18; 19; 20	20
6	20	24	21; 21; 21; 22; 22; 23; 23; 24	8
7	24	28	-	0

Представим данные в виде интервального вариационного ряда и определим для каждого интервала значения критерия Пирсона по формуле:

$$\chi_i^2 = \frac{(N_{iэмпир} - N_{iтеор})^2}{N_{iтеор}}. \quad (4.10)$$

Общее значение критерия Пирсона определим по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^7 \chi_i^2. \quad (4.11)$$

Сгруппируем данные в виде вариационного ряда (Таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Вариационный ряд случайной величины  $\rho$ 

$L$	1	2	3	4	5	6	7	Сумма ( $\Sigma$ )
$\rho_{imin}$	0	4	8	12	16	20	24	
$\rho_{imax}$	4	8	12	16	20	24	28	
$\rho_{icp}$	2	6	10	14	18	22	26	
$N_{эмпир}$	1	6	22	43	20	8	0	100
$N_{теор}$	0,60	6,06	24,17	38,29	24,17	6,06	0,60	100
$\chi_i^2$	0,27	0,00	0,20	0,58	0,72	0,62	0,60	2,98

Для наглядности сходимости эмпирических и теоретических данных по средним значениям интервалов случайной величины построим ее гистограмму, иллюстрируемую на рисунке 4.6.

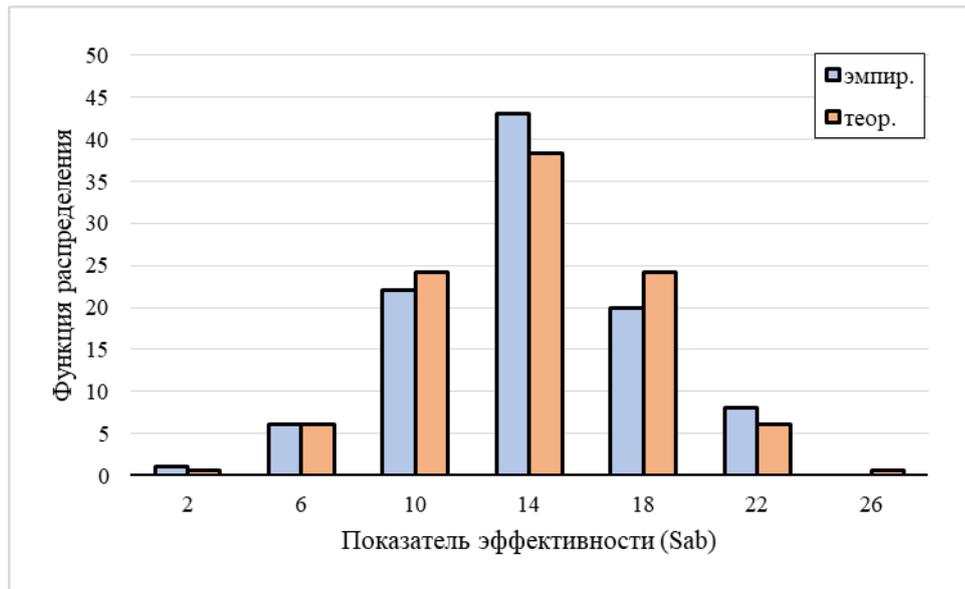


Рисунок 4.6 – Гистограмма исследуемой случайной величины

По таблице квантилей нормального распределения Пирсона при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и количестве степеней свободы  $s=5$  определяем требуемое значение критерия Пирсона для подтверждения гипотезы  $H_0$   $\chi^2_{табл} = 11,1$ ; так как полученное значение  $\chi^2 = 2,98$  не превышает табличное, то оснований отвергать нулевую гипотезу нет. Поэтому в дальнейшем будем считать, что исследуемая случайная величина  $\rho$  распределена нормально.

Вывод: проведен статистический анализ случайной величины  $\rho$  – количество случаев ошибочного принятия решений без применения МАС, являющейся вероятностным аналогом показателя  $Sab$ . Выдвинута нулевая гипотеза  $H_0$  – показатель  $Sab$  подчиняется нормальному закону распределения. Гипотеза доказана с использованием критерия Пирсона: при уровне значимости  $\alpha=0,05$  требуемое значение критерия Пирсона  $\chi^2_{табл} = 11,1$ , полученное в ходе исследования значение  $\chi^2 = 2,98$  не превышает требуемого.

#### 4.3.2. Модель показателя эффективности агентной системы

В ходе комплексной оценки эффективности применения МАС в планировании распределения ресурсов необходимо осуществлять прогнозирование значений введенного показателя эффективности  $Sab$ .

Доказанная в ходе исследования нулевая гипотеза  $H_0$  о нормальности случайной величины  $\rho$ , являющейся статистическим прообразом введенного в диссертации количественного показателя  $Sab$ , позволяет использовать свойства нормальной модели распределения в совокупности с теоретическим распределением Стьюдента [75] для количественной оценки эффективности применения МАС в задачах распределения ресурсов.

Полученные результаты представляется возможным использовать для получения вероятностной оценки при постановке задачи эффективности применения МАС при распределении ресурсов.

Нормальность случайной величины и теоретическое распределение Стьюдента в совокупности представляют собой линейную модель количественного показателя  $Sab$ , которая при заданной вероятности  $p$  будет иметь вид:

$$Sab(p) = \rho_{cp} + t_{cm}(p) \cdot \sigma, \quad (4.12)$$

где  $t_{cm}(p)$  – коэффициент Стьюдента при заданной вероятности  $p$ .

Воспользуемся вероятностной моделью для оценки значений показателя  $Sab$  для ситуации моделирования 7 агентов 7 вариантов ( $\rho_{cp} = 14$ ,  $\sigma = 4$ ), тогда

при доверительной вероятности  $P=0,50$ :

$$t_{cm}=0 \quad Sab(p=0,5)=14 + 0 \cdot 4=14;$$

при доверительной вероятности  $P=0,90$ :

$$t_{cm}=1,6 \quad Sab(p=0,9)=14 + 1,6 \cdot 4=20;$$

при доверительной вероятности  $P=0,99$ :

$$t_{cm}=2,6 \quad Sab(p=0,99)=14 + 2,6 \cdot 4=24.$$

Для всех остальных сочетаний агентов вариантов в МАС исследование проведено аналогичным образом, результаты представлены в таблицах 4.6 – 4.8.

Эмпирические результаты исследования аппроксимированы экспоненциальными функциями, параметры которых выбраны на основе коэффициента детерминации  $R^2$ , результаты представлены на рисунке 4.7.

Таблица 4.6 – Эмпирические данные исследования при  $P=0,50$ 

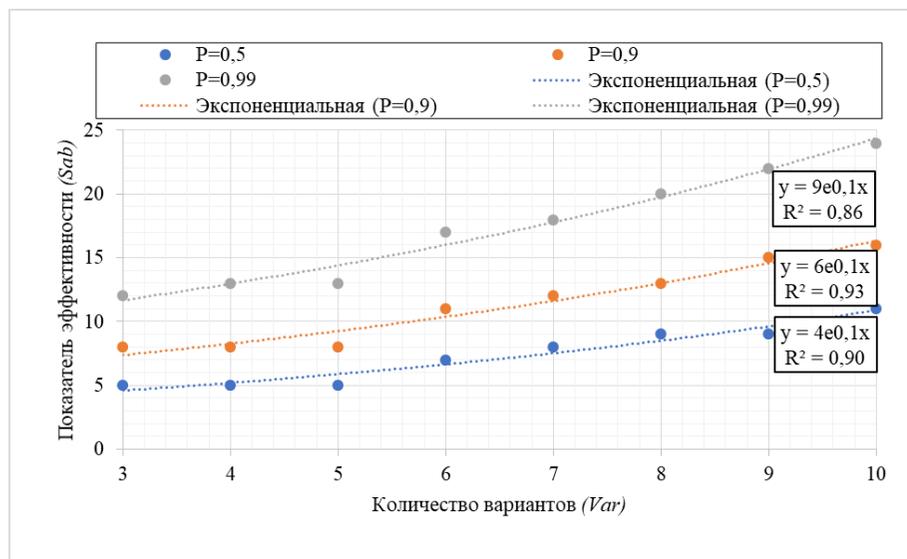
<i>Sab</i>		Агенты (Nagent)							
		<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Варианты Var	<b>3</b>	5	6	6	8	8	9	10	11
	<b>4</b>	5	7	7	9	9	10	12	13
	<b>5</b>	5	8	8	10	11	12	14	16
	<b>6</b>	7	9	9	11	12	14	16	17
	<b>7</b>	8	10	10	13	14	16	19	22
	<b>8</b>	9	11	12	14	16	18	21	26
	<b>9</b>	9	12	13	16	18	21	25	28
	<b>10</b>	11	13	15	18	20	25	29	40

Таблица 4.7 – Эмпирические данные исследования при  $P=0,90$ 

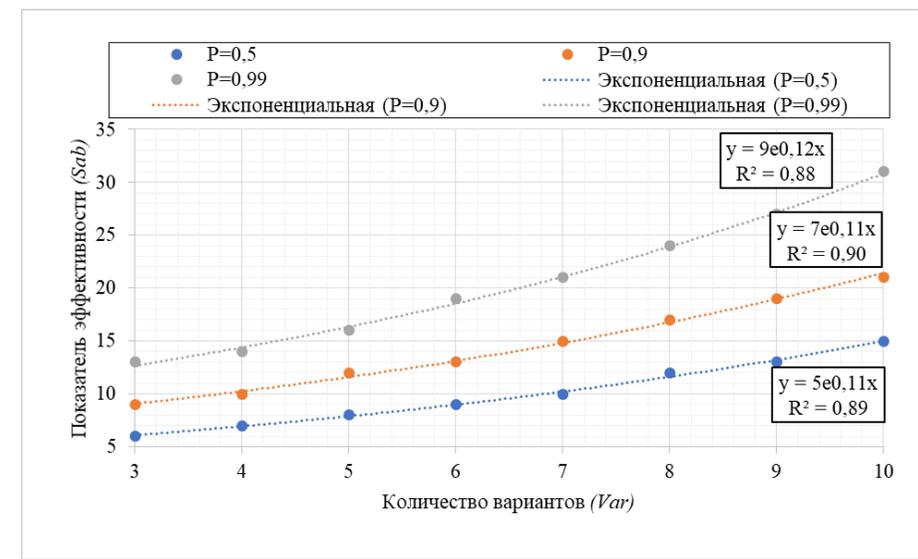
<i>Sab</i>		Агенты (Nagent)							
		<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Варианты Var	<b>3</b>	8	8	9	10	10	12	13	14
	<b>4</b>	8	9	10	11	12	14	15	17
	<b>5</b>	8	10	12	13	14	16	18	21
	<b>6</b>	11	11	13	14	16	18	21	26
	<b>7</b>	12	13	15	16	20	21	25	32
	<b>8</b>	13	14	17	19	21	25	30	39
	<b>9</b>	15	16	19	21	25	28	35	48
	<b>10</b>	16	18	21	24	29	33	42	65

Таблица 4.8 – Эмпирические данные исследования при  $P=0,99$ 

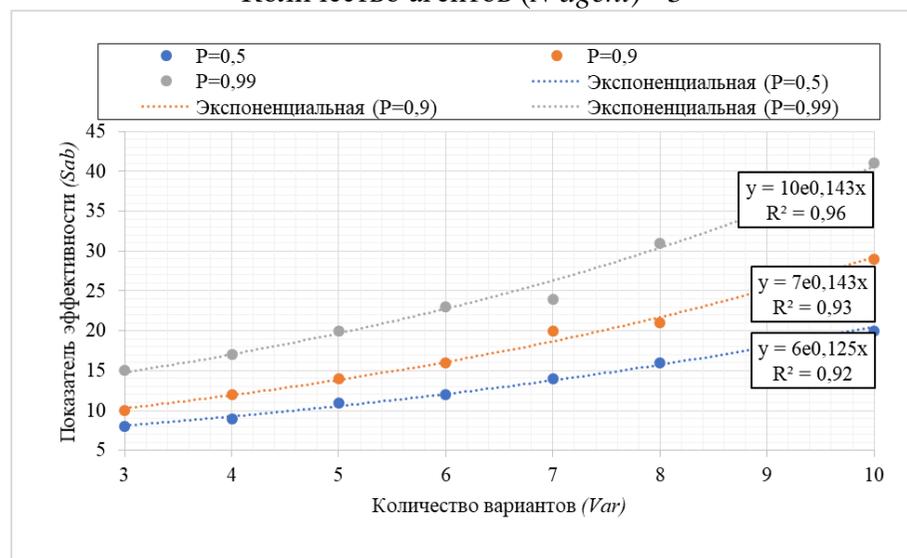
<i>Sab</i>		Агенты (Nagent)							
		<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Варианты Var	<b>3</b>	12	12	13	14	15	16	18	21
	<b>4</b>	13	14	14	16	17	19	22	27
	<b>5</b>	13	15	16	18	20	23	27	34
	<b>6</b>	17	17	19	21	23	27	33	44
	<b>7</b>	18	19	21	23	24	32	40	55
	<b>8</b>	20	21	24	27	31	37	49	73
	<b>9</b>	22	24	27	30	36	44	60	94
	<b>10</b>	24	27	31	34	41	52	73	126



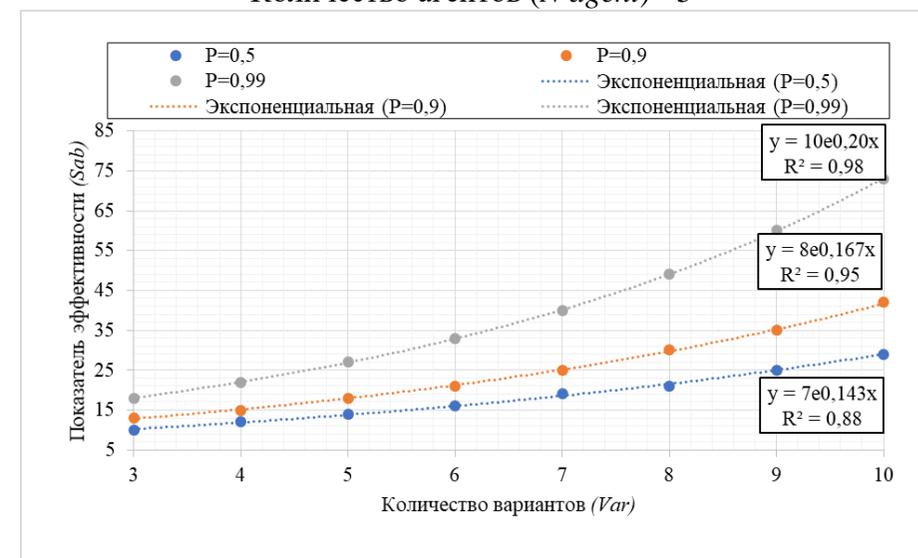
Количество агентов ( $N_{agent}$ ) = 3



Количество агентов ( $N_{agent}$ ) = 5



Количество агентов ( $N_{agent}$ ) = 7



Количество агентов ( $N_{agent}$ ) = 9

Рисунок 4.7 – Аппроксимация результатов исследования экспоненциальными моделями

В соответствии с принятой в диссертации иерархии исследования эффективности МАС, предусматривающей на низшем уровне параметры агентной модели, на среднем уровне показатель эффективности  $Sab$  и на высшем уровне – критерий эффективности, необходимо рассмотреть полученную зависимость показателя  $Sab$  от параметров агентной модели.

Анализируя результаты опытно-теоретического исследования, иллюстрируемые на рисунке 4.7, можно сделать вывод, что достаточно высокие значения коэффициента детерминации  $R^2$  позволяют сформировать экспоненциальную модель, определяющую количественную связь значений показателя  $Sab$  от количества вариантов  $Var$  при фиксированном количестве агентов и заданной вероятностью:

$$Sab = A \cdot \exp\left(\frac{Var}{B}\right), \quad (4.13)$$

где  $A$  и  $B$  – коэффициенты модели при фиксированном количестве агентов и заданной вероятности.

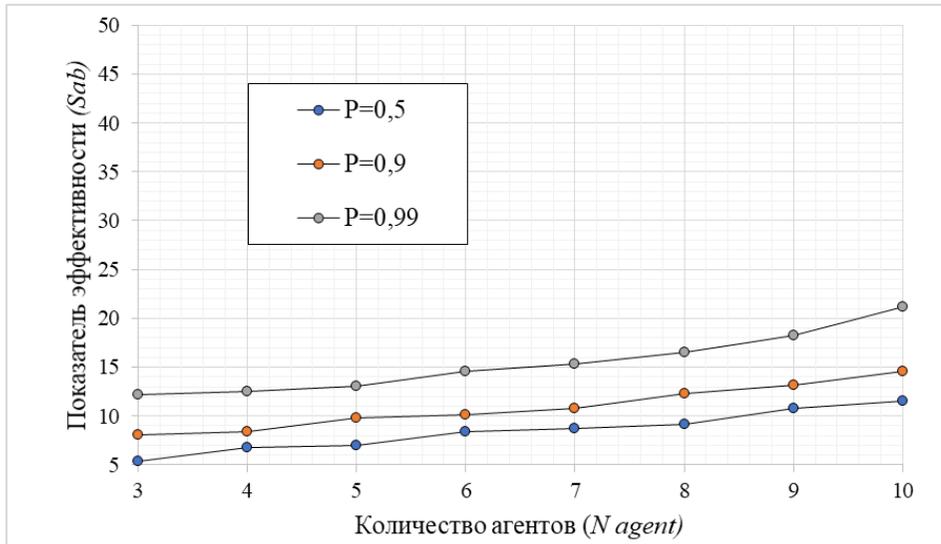
Дуалистическая природа процедуры планирования предусматривает обратную задачу, в которой необходимо определить границы применения МАС, тогда обратная зависимость количества вариантов  $Var$  от показателя  $Sab$  представляет логарифмическую функцию вида:

$$Var = B \cdot \ln\left(\frac{Sab}{A}\right). \quad (4.14)$$

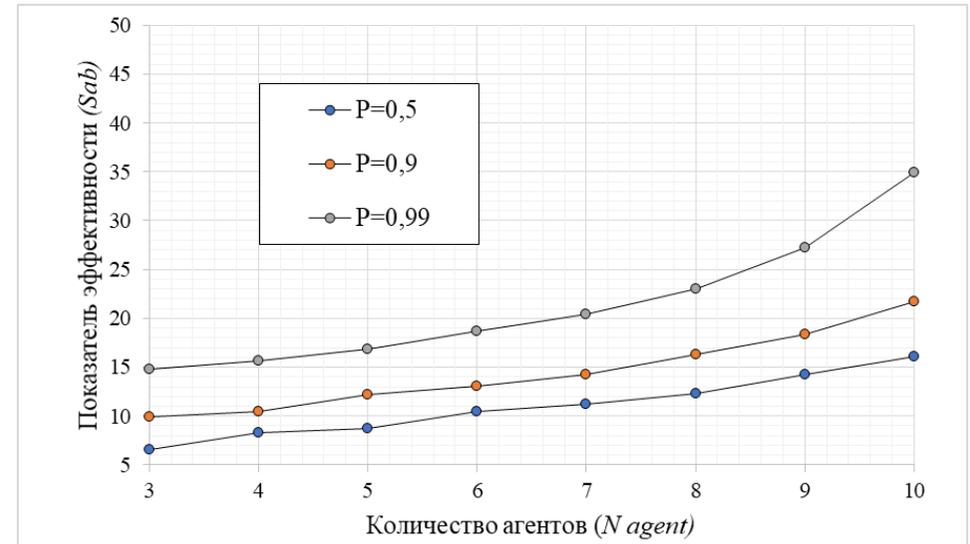
Значения коэффициентов моделей  $A$  и  $B$  получены с применением процедур регрессионного анализа и представлены в таблице 4.9. и на рисунке 4.8.

Таблица 4.9 – Параметры модели

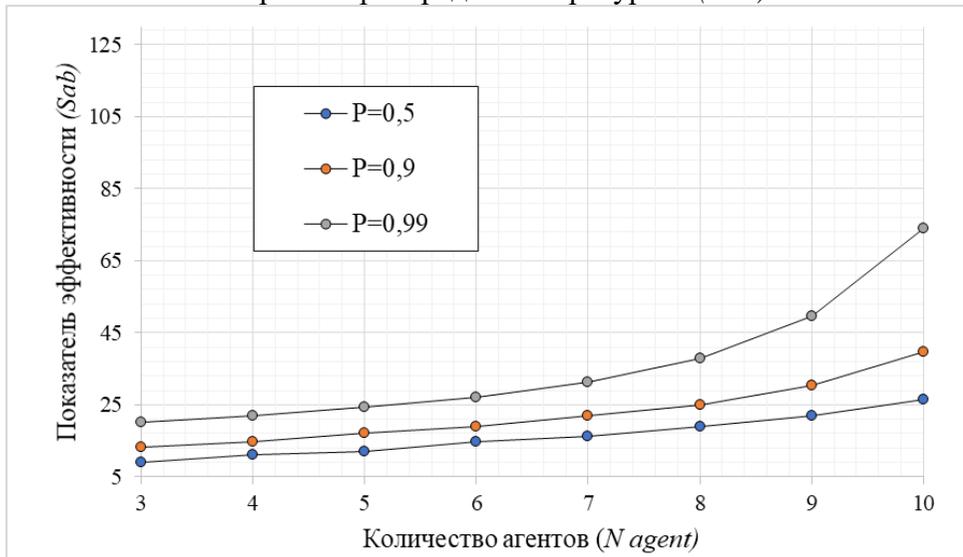
<i>Агенты</i>		<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
$P=0,50$	<i>A</i>	4	5	5	6	6	6	7	7
	<i>B</i>	10	10	9	9	8	7	7	6
$P=0,90$	<i>A</i>	5	5	6	6	6	7	7	7
	<i>B</i>	10	9	9	8	7	7	6	5
$P=0,99$	<i>A</i>	6	6	6	7	7	7	7	8
	<i>B</i>	10	9	8	8	7	6	5	5



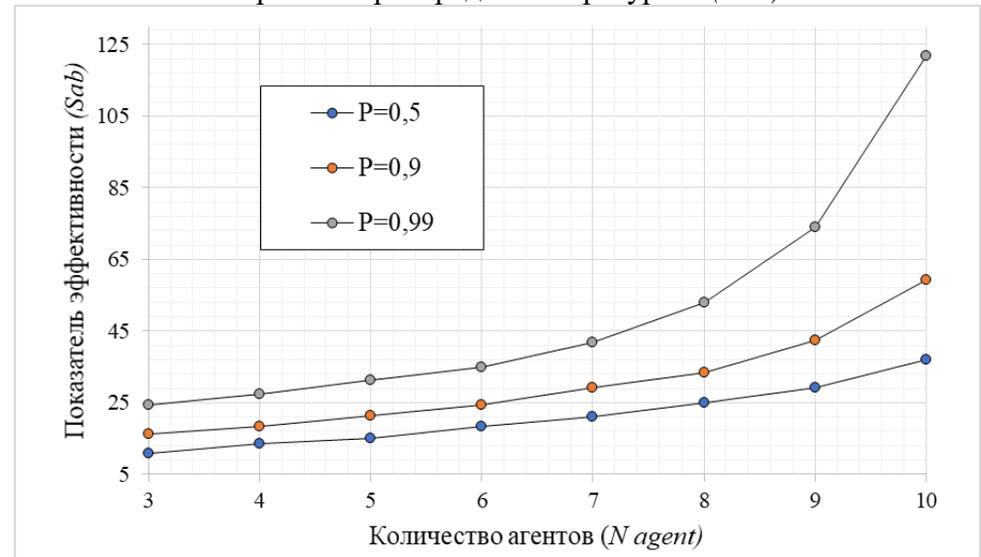
3 варианта распределения ресурсов (Var)



5 вариантов распределения ресурсов (Var)



8 вариантов распределения ресурсов (Var)



10 вариантов распределения ресурсов (Var)

Рисунок 4.8 – Динамика показателя  $Sab$  в зависимости от количества агентов-вариантов в МАС и вероятности  $P$

#### 4.4. Критерий и результаты оценки эффективности агентной системы

В соответствии с выбранной схемой исследования после разработки модели показателя эффективности необходимо провести рациональный выбор критерия для оценки эффективности МАС в процессе решения практических задач.

##### 4.4.1. Разработка критерия эффективности агентной системы

Анализ результатов расчета значений показателя  $Sab$  при различной вероятности и различных комбинациях агентов-вариантов, представленных на рисунке 4.8, показывает, что для сочетания 10 агентов 10 вариантов при вероятности  $P=0,99$  показатель  $Sab$  превышает область допустимых значений  $Sab \in [0; 100]$ . Данная ситуация не является ошибочной, так как еще раз подчеркнем особенность применения усеченного количества данных при реализации опытно-теоретического метода исследования эффективности управленческих задач и необходимости экстраполяции полученных результатов на более широкие массы данных, которые, очевидно, можно было бы получить реализовав не 100 ( $Sab \in [0; 100]$ ), а например 200 ( $Sab \in [0; 200]$ ) теоретических испытаний в рамках одного опыта. Поэтому разработанный показатель эффективности  $Sab$  необходимо нормализовать для обеспечения оценки эффективности в рамках 0 – 100 %. Для решения задачи нормализации воспользуемся общеизвестным критерием Колмогорова [71], который записывается следующим образом:

$$K_{\alpha} = \sqrt{-\frac{1}{2} \ln(1 - \alpha)}. \quad (4.15)$$

В свою очередь, параметр критерия Колмогорова  $\alpha$  является прообразом эффективности, так как принимает значения  $\alpha \in [0, 1]$ :

$$\alpha = 1 - \exp(-2K^2) \Rightarrow \alpha = 100 \cdot \alpha. \quad (4.16)$$

Параметр  $K$  при заданном значении  $\alpha$  представляет собой прообраз показателя  $Sab$ , то есть,  $K = \frac{Sab}{100}$ .

Тогда критерий эффективности будет иметь вид:

$$\mathcal{E} = 100 \left( 1 - \exp(-2K^2) \right); \quad (4.17)$$

или окончательно:

$$\mathcal{E} = 100 \left[ 1 - \exp \left( -2 \left( \frac{Sab}{100} \right)^2 \right) \right]. \quad (4.18)$$

Сформировав критерий эффективности, представляется возможным перейти к разработке методик исследования эффективности МАС в задачах планирования распределения ресурсов для целей обеспечения пожарной безопасности. Сформулированные прямая и обратная задача оценки эффективности МАС определяют необходимость:

1 – оценки эффективности МАС для принятия решений о целесообразности ее применения в задачах планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности;

2 – исследование эффективности МАС для оценки выигрыша в эффективности, получаемого от применения МАС в задачах планирования.

#### 4.4.2. Результаты оценки эффективности агентной системы

Для решения первой задачи, состоящей в оценке эффективности МАС для принятия решений о целесообразности ее применения в задачах планирования распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности, воспользуемся следующим алгоритмом.

Суть алгоритма сводится к определению необходимого количества вариантов в задаче распределения ресурсов при фиксированном количестве агентов, алгоритм включает в себя два этапа.

Выбор исходных данных: в качестве исходных данных для оценки целесообразности применения МАС в задачах планирования распределения ресурсов применяются  $\mathcal{E}_{mp}$  и  $N_{Agent}$ .

На первом этапе определяется требуемое значение показателя  $Sab_{mp}$ , то есть, такое значение показателя  $Sab_{mp}$ , при котором эффективность применения МАС будет удовлетворять заданному значению с условной вероятностью. Для определения требуемого значения показателя  $Sab_{mp}$  используется формула:

$$Sab_{mp} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{1}{1 - \frac{\mathcal{E}_{mp}}{100}} \right)}. \quad (4.19)$$

На втором этапе при заданном значении  $N_{Agent}$  из таблицы 4.9 производится выбор констант  $A$  и  $B$  и определяется требуемое количество вариантов, при котором с условной вероятностью при фиксированном количестве агентов применение МАС обеспечит требуемое значение эффективности. Для оценки необходимого количества вариантов используется следующая формула:

$$Var_{mp} = B \cdot \ln \left( \frac{Sab_{mp}}{A} \right). \quad (4.20)$$

В результате принимается решение о том, при каком количестве вариантов в задаче распределения ресурсов применение МАС целесообразно.

Пример расчета.

Зададимся требуемой эффективностью  $\mathcal{E}=10\%$  и  $N_{Agent}=5$ .

1. Определим требуемое значение показателя эффективности  $Sab$  по формуле (4.19).

$$Sab_{mp} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{1}{1 - \frac{\mathcal{E}_{mp}}{100}} \right)} = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \ln \left( \frac{1}{1 - \frac{10}{100}} \right)} = 23$$

2. Определим требуемое количество вариантов в задаче распределения ресурсов, если количество агентов  $N_{Agent}=5$ . Из таблицы 4.9 принимаем для рассматриваемого случая константы модели:

$$p=0,5 (A=5, B=9); p=0,9 (A=6, B=9); p=0,99 (A=5, B=8).$$

Таким образом, в результате получаем следующие значения:

– при доверительной вероятности  $P=0,50$ :

$$Var_{mp} = B \cdot \ln\left(\frac{Sab}{A}\right) = 9 \cdot \ln\left(\frac{23}{5}\right) = 13,7 \rightarrow Var_{mp}=14;$$

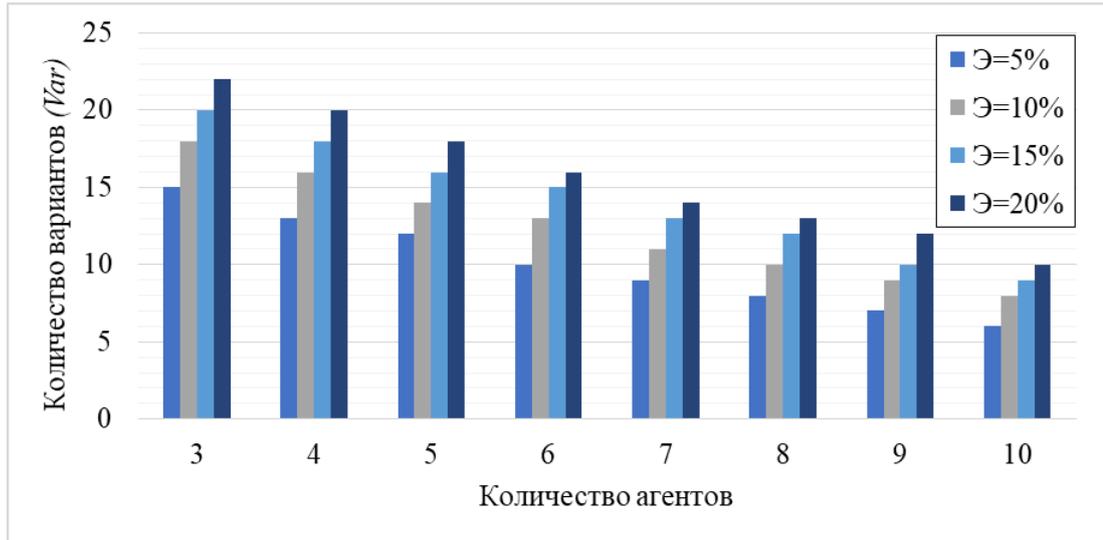
– при доверительной вероятности  $P=0,90$ :

$$Var_{mp} = B \cdot \ln\left(\frac{Sab}{A}\right) = 9 \cdot \ln\left(\frac{23}{6}\right) = 12,07 \rightarrow Var_{mp}=13;$$

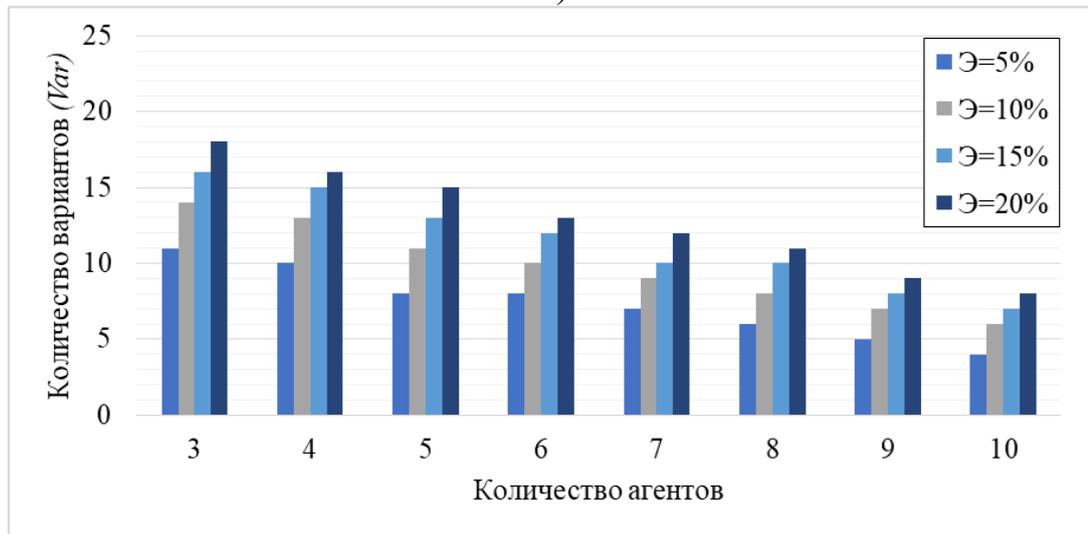
– при доверительной вероятности  $P=0,99$ :

$$Var_{mp} = B \cdot \ln\left(\frac{Sab}{A}\right) = 8 \cdot \ln\left(\frac{23}{6}\right) = 10,7 \rightarrow Var_{mp}=11.$$

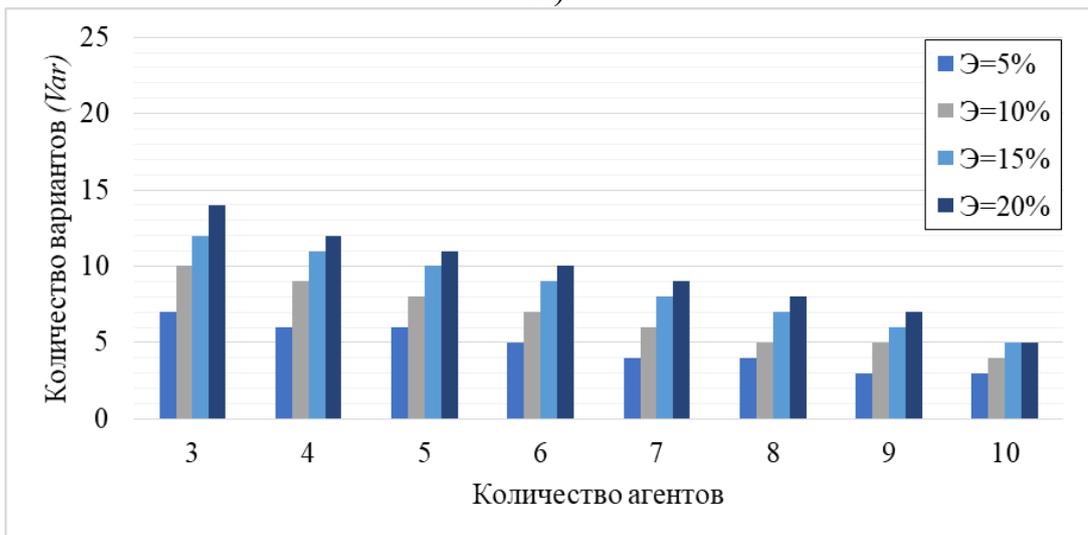
Вывод: таким образом, в результате применения предложенного алгоритма оценки эффективности применения МАС для принятия решений о целесообразности ее применения при эффективности 10% (снижение вероятности принять неверное решение более чем на 10%) в задаче распределения ресурсов при пяти агентах определено, что при вероятности  $P=0,5$  (в каждом втором случае применения МАС) количество вариантов в задаче должно составлять величину не менее, чем 14. Для других вероятностей  $P=0,9$  и  $P=0,99$  значения составляют соответственно  $Var_{mp}=13$  и  $Var_{mp}=11$ . Результаты оценки эффективности применения МАС для различных ситуаций получены аналогично и представлены на рисунках 4.9 и 4.10.



А)

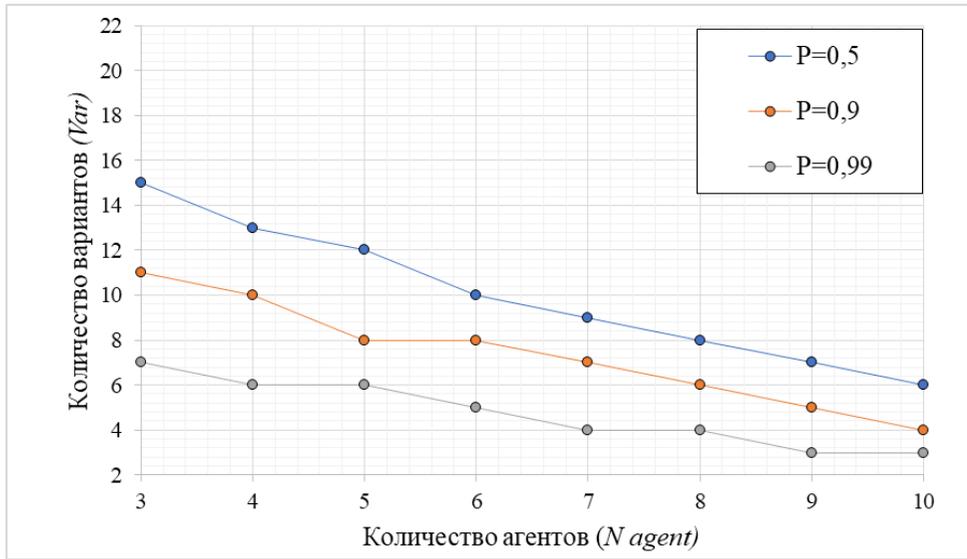


Б)

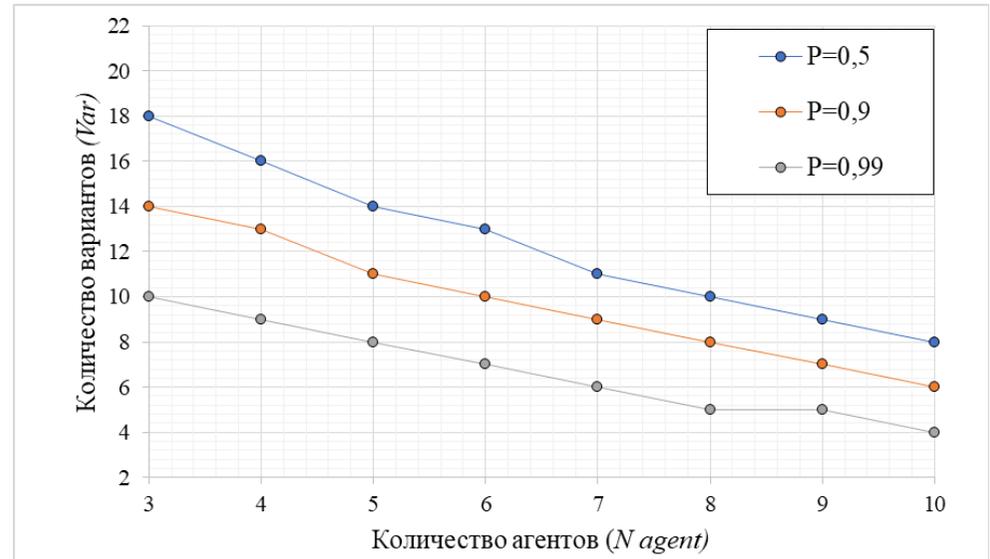


В)

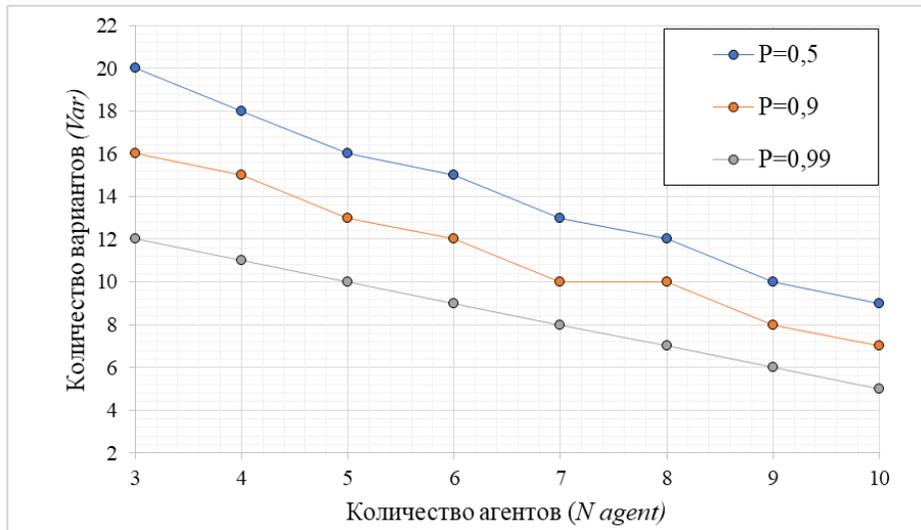
Рисунок 4.9 – Зависимость «Варианты-Агенты» при эффективности МАС  
 А) –  $P=0,50$ ; Б) –  $P=0,90$ ; В) –  $P=0,99$



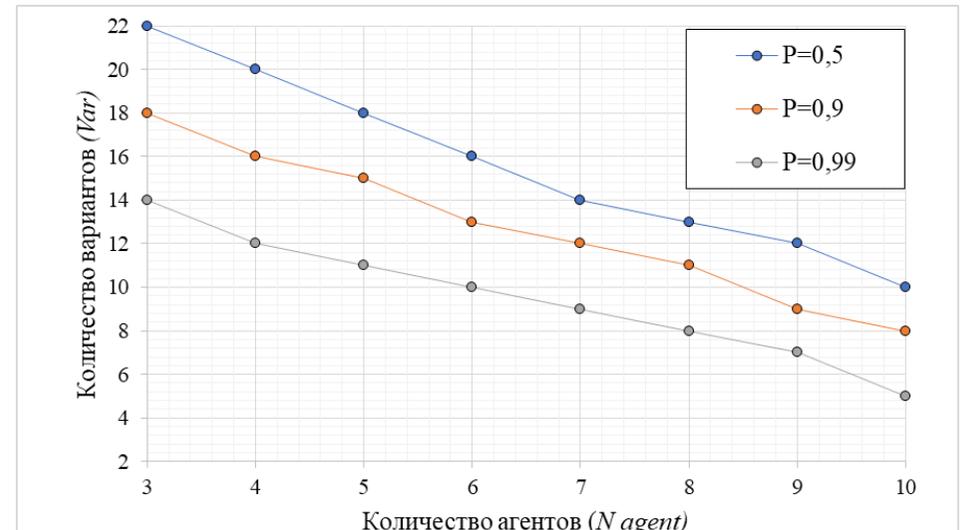
$\Theta=5\%$



$\Theta=10\%$



$\Theta=15\%$



$\Theta=20\%$

Рисунок 4.10 – Динамика показателя  $Sab$  в зависимости от количества агентов-вариантов в МАС и вероятности  $P$

Количественная оценка выигрыша в эффективности, получаемого от применения МАС в рамках исследования задач планирования распределения ресурсов, проводится для прогнозирования эффективности применения МАС в конкретных управленческих задачах.

Прогнозная оценка эффективности проводится по следующему алгоритму.

В качестве исходных данных для оценки эффективности используются фиксированные значения количества вариантов  $Var$  и количества агентов  $N_{agent}$ .

На первом этапе алгоритма определяется прогнозное значение показателя эффективности при  $Var$  вариантах и  $N_{agent}$  агентах по формуле:

$$Sab_{N_{agent}}^{Var} = A \exp\left(\frac{Var}{B}\right). \quad (4.21)$$

Константы модели  $A$  и  $B$  определяются по таблице 4.9. в соответствии с выбранным количеством агентов  $N_{agent}$  и условной вероятностью  $P$ .

На втором этапе определяется прогнозное значение эффективности применения МАС в практике решения управленческой задачи:

$$\mathcal{E}_{N_{agent}}^{Var} = 100 \left[ 1 - \exp\left(-2 \left(\frac{Sab_{N_{agent}}^{Var}}{100}\right)^2\right) \right], \%. \quad (4.22)$$

По полученному прогнозному значению делаются выводы об эффективности применения МАС в рассматриваемой управленческой задаче.

Для оценки эффективности применения МАС в практике решения задачи распределения ресурсов для целей обеспечения пожарной безопасности химического предприятия воспользуемся условиями примера, рассмотренного в третьей главе исследования. В задаче требовалось оценить ресурсы для реализации автоматизированной информационной системы пожаровзрывобезопасности. Решение задачи предусматривало применение трех агентов: агент подготовки кадров для решения задач безопасности; агент, управляющий системой первоочередных аварийно-спасательных работ; агент, управляющий информационной системой пожаровзрывобезопасности.

Возможна ситуация, когда при эволюции системы безопасности может появиться и четвертый агент, на данный момент скрытый. Таким образом, оценим эффективность применения МАС при решении задачи распределения ресурсов при  $Var=15$  и  $Nagent=3$  (текущая ситуация);  $Nagent=4$  (эволюция системы).

1. Определяем значение показателя  $Sab$  при вероятностях  $P=0,5; 0,9; 0,99$ .

Рассчитаем прогнозное значение показателя эффективности МАС:

при доверительной вероятности  $P=0,50$ :

$$Sab_3^{15} = A \exp\left(\frac{Var}{B}\right) = 4 \exp\left(\frac{15}{10}\right) = 17,9 \quad Sab_4^{15} = A \exp\left(\frac{Var}{B}\right) = 5 \exp\left(\frac{15}{10}\right) = 22,4;$$

при доверительной вероятности  $P=0,90$ :

$$Sab_3^{15} = A \exp\left(\frac{Var}{B}\right) = 5 \exp\left(\frac{15}{10}\right) = 22,4 \quad Sab_4^{15} = A \exp\left(\frac{Var}{B}\right) = 5 \exp\left(\frac{15}{9}\right) = 26,5;$$

при доверительной вероятности  $P=0,99$ :

$$Sab_3^{15} = A \exp\left(\frac{Var}{B}\right) = 6 \exp\left(\frac{15}{10}\right) = 26,9 \quad Sab_4^{15} = A \exp\left(\frac{Var}{B}\right) = 6 \exp\left(\frac{15}{9}\right) = 31,7.$$

2. Определяем прогнозное значение эффективности применения МАС:

при доверительной вероятности  $P=0,5$ :

$$\mathfrak{E}_3^{15} = 100 \left[ 1 - \exp\left(-2\left(\frac{17,9}{100}\right)^2\right) \right] = 7\%; \quad \mathfrak{E}_4^{15} = 100 \left[ 1 - \exp\left(-2\left(\frac{22,4}{100}\right)^2\right) \right] = 10\%;$$

при доверительной вероятности  $P=0,9$ :

$$\mathfrak{E}_3^{15} = 100 \left[ 1 - \exp\left(-2\left(\frac{22,4}{100}\right)^2\right) \right] = 10\%; \quad \mathfrak{E}_4^{15} = 100 \left[ 1 - \exp\left(-2\left(\frac{26,4}{100}\right)^2\right) \right] = 13\%;$$

при доверительной вероятности  $P=0,99$ :

$$\mathfrak{E}_3^{15} = 100 \left[ 1 - \exp\left(-2\left(\frac{26,9}{100}\right)^2\right) \right] = 13\%; \quad \mathfrak{E}_4^{15} = 100 \left[ 1 - \exp\left(-2\left(\frac{31,7}{100}\right)^2\right) \right] = 18\%.$$

Результаты оценки эффективности представлены на рисунке 4.11.

Применение в предложенном подходе вероятностной модели  $Sab$  позволяет проводить оценку эффективности в числовом и одновременно интервальном выражении.

Числовые значения прогнозной оценки эффективности МАС в задаче распределения ресурсов для целей безопасности химического предприятия представлены на рисунке 4.11.

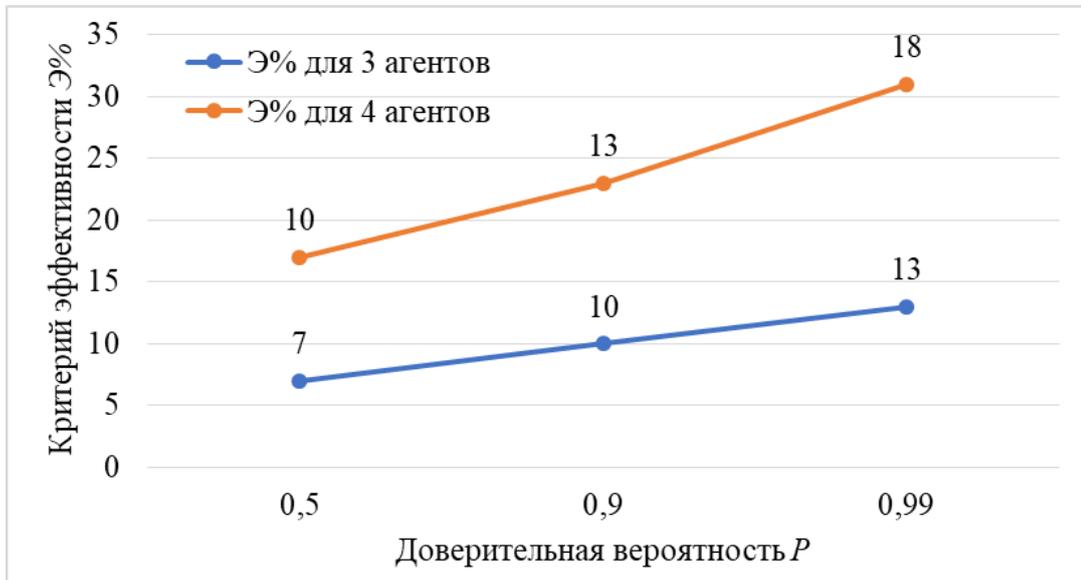


Рисунок 4.11 – Результаты прогнозной оценки эффективности МАС

Для иллюстрации возможности интервального оценивания определим интервалы эффективности при доверительной вероятности для текущей ситуации применения МАС:

$$\Delta_p = \mathcal{E}_p - \mathcal{E}_{0,5}; \quad \mathcal{E}_{\min p} = \mathcal{E}_{0,5} - \Delta_p \quad (\text{если } \mathcal{E}_{\min} < 0, \text{ то } \mathcal{E}_{\min} = 0);$$

$$\mathcal{E}_{\max p} = \mathcal{E}_{0,5} + \Delta_p \quad (\text{если } \mathcal{E}_{\max} > 100, \text{ то } \mathcal{E}_{\max} = 100).$$

Так, например, при доверительной вероятности  $P=0,9$  можно утверждать, что прогнозное значение эффективности применения МАС в текущей ситуации распределения ресурсов ( $Var=15; N_{agent}=3$ ) будет находиться в интервале  $\mathcal{E} (\%) \in [4; 10]$  ( $\Delta_{0,9} = 10 - 7 = 3; \mathcal{E}_{\min p} = 7 - 3 = 4; \mathcal{E}_{\max p} = 7 + 3 = 10$ ), а для эволюции системы ( $Var=15; N_{agent}=4$ )  $\mathcal{E} (\%) \in [7; 13]$  ( $\Delta_{0,9} = 13 - 10 = 3; \mathcal{E}_{\min p} = 10 - 3 = 7; \mathcal{E}_{\max p} = 10 + 3 = 13$ ).

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет проводить как численную, так и интервальную оценку эффективности применения МАС в задачах распределения ресурсов.

#### 4.5. Выводы по четвертой главе

В данной главе диссертации проведено исследование эффективности разработанной информационной системы для принятия решений по распределению ресурсов обеспечения пожарной безопасности химических предприятий. Проведенное исследование позволило определить эффективность МАС с целью принятия решений о целесообразности ее применения в задачах планирования распределения ресурсов и позволило оценить выигрыш в эффективности, получаемый от применения МАС, в задачах планирования.

В результате проведенного исследования получены следующие научные и практические результаты:

– разработана модель численного исследования эффективности МАС при решении практических задач управления. Модель разработана в рамках опытно-теоретического метода исследования сложных систем управления и принятия решений. Для исследования эффективности МАС проведен численный эксперимент при соотношении агентов-вариантов от 7 до 10, то есть, 64 серии опытов по 10000 численных испытаний;

– разработан и исследован показатель эффективности применения МАС в задачах распределения ресурсов. Показатель представляет собой случайную величину, нормально распределенную на множестве значений. Гипотеза о нормальности распределения показателя эффективности доказана с использованием критерия статистического согласия Пирсона ( $\chi^2$ ) при уровне значимости  $\alpha=0,05$ , в свою очередь, для нормализации показателя эффективности использован критерий Колмогорова.

– проведена оценка эффективности МАС в задачах распределения ресурсов химических предприятий. Даны рекомендации по практическому применению МАС в соответствии с поставленными целями исследования.

## 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 образцом 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 решении

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.

### Список литературы

1. Смирнов, А.В. Статистика пожаров на объектах химической и нефтехимической промышленности [Текст] / А.В. Смирнов, Р.Ш. Хабибуллин // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 5 (69). – С. 94–98.
2. Ларичев, О.И. Теория и методы принятия решений [Текст] / О.И. Ларичев. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 392 с.
3. Боровский, А.С. Интегрированный подход к разработке общей математической модели функционирования систем физической защиты объектов [Текст] / А.С. Боровский, А.Д. Тарасов // Информационные системы и технологии. – 2011. – № 1 (63). – С. 111–127.
4. Исикава, К. Японские методы управления качеством [Текст] / К. Исикава; сокр.пер. с англ.; под. Ред. А. В. Гличева. – М: Экономика, 1988. – С. 214.
5. Карпенко, А.П. Популяционные алгоритмы глобальной поисковой оптимизации. Обзор новых и малоизвестных алгоритмов [Текст] / А.П. Карпенко // Информационные технологии. – 2012. – № 7. – С. 1–32
6. Турусинова, Е.О. Геоинформационные технологии в области обеспечения безопасности при чрезвычайных ситуациях [Текст] / Е.О. Турусинова // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 1 (3). – С. 393–396.
7. Кобыжакова, С.В. Сравнение результатов мониторинга природных пожаров в Красноярском крае системами ИСДМ-РОСЛЕСХОЗ и КАСКАД [Текст] / С.В. Кобыжакова // Сибирский пожарно-спасательный вестник. – 2016. – № 1 (1). – С. 45–48.
8. Белоненко, Е.В. MAPINFO PROFESSIONAL и GEOMEDIA PROFESSIONAL: оценка точности проекционных преобразований в ГИС [Текст] / Е.В. Белоненко // Известия российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2013. – № 163. – С. 113–120.
9. Котиков, Ю.Г. Геоинформационная система ARCGIS как интегратор в моделях планирования транспортных систем мегаполисов [Текст] / Ю.Г. Котиков // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2. – С. 214–222.

10. Швецов, А.Н. Реализация инструментального комплекса DISIT для построения мультиагентных систем [Текст] / А.Н. Швецов, М.А. Сергушичева, С.И. Сорокин // Алгоритмы, методы и системы обработки данных. – 2006. – № 11. – С. 126–137.

11. Тарасов, А.Д. Система физической защиты на основе агентно-ориентированного подхода и нечеткой логики [Текст] / А.Д. Тарасов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: материалы XII Международной конференции. – Самара: ООО «Офорт», 2010. – С. 650–656.

12. Агеев, С.А. Применение интеллектуальных методов представления информации для управления рисками информационной безопасности в защищённых мультисервисных сетях специального назначения [Текст] / С.А. Агеев // СПИ-ИРАН. – 2015. – № 4(41). – С. 149–162.

13. Швецов А.Н., Агентно-ориентированные системы: от формальных моделей к промышленным приложениям [Текст] / А.Н. Швецов // Всероссийский конкурсный отбор обзорно-аналитических статей по приоритетному направлению «Информационно-телекоммуникационные системы». – М.: ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика", 2008. – С. 1–101.

14. Цыбулин, А.М. Подход к построению автоматизированной системы управления информационной безопасностью предприятия [Текст] / А.М. Цыбулин // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 10: Инновационная деятельность. – 2011. – № 5. – С. 86–89.

15. Мутовкина, Н.Ю. Нечеткие методы согласованного управления в многоагентных системах [Текст] / Н.Ю. Мутовкина, В.Н. Кузнецов, А.Ю. Ключин [и др.] // Вестник ТГТУ. – 2013. – Т. 19. – № 4. – С. 740–750.

16. Козьминых, Н.М. Структура системы информационной поддержки управленческих решений на основе агентно-ориентированного подхода [Текст] / Н.М. Козьминых // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 2. – С. 205–212.

17. Еременко, Ю.И. Модель адаптивного поведения агентом мультиагентной системы управления экологической безопасностью [Текст] / Ю.И. Еременко, Е.Г. Доронина // Прикладная информатика. – 2010. – № 2 (26). – С. 71–82.

18. Абросимов, В.К. Агентные технологии мониторинга районов чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс] / В.К. Абросимов, В.И. Гончаренко // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 3 (61). – С. 188–196. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-3/27-03-15.ttb.pdf> (дата обращения 03.02.2020).

19. Богатиков, В.Н. Разработка технологии оценки состояния промышленных систем на основе показателя безопасности и принятие решений целеустремлённого поведения агента [Текст] / В.Н. Богатиков, А.А. Маслов, А.В. Власов [и др.] // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2013. – Т. 16. – № 4. – С. 654–662.

20. Вяткин, А.Ю. Многоагентные системы как возможность реализации систем поддержки принятия решений [Текст] / А.Ю. Вяткин, Д.В. Смирнов, И.А. Кочетов // Электронные средства и системы управления. – 2015. – № 1–2. – С. 234–238.

21. Сергушичева, М.А. Иерархическая распределенная система поддержки управления техническим обслуживанием и ремонтом энергооборудования [Текст] / М.А. Сергушичева, А.Н. Швецов // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2009. – № 3. – С. 14–19.

22. Берман, А.Ф. Агентная система моделирования динамики состояний сложных технических систем [Текст] / А.Ф. Берман, О.А. Николайчук, А.И. Павлов // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014 Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН: сборник трудов конференции – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 8925–8933.

23. Зайцев, Е.И. Агентно-ориентированная технология разработки распределенных интеллектуальных систем [Текст] / Е.И. Зайцев // Объектные системы. – 2011. – № 3 (3). – С. 109–114.

24. Карнаухов, А.В. Причинно-следственное моделирование как общий метод описания и исследования явлений в сложных иерархически организованных системах [Текст] / А.В. Карнаухов // Биофизика. – 2006. – Т. 51. – № 2. – С. 373–381.

25. Чиркунов, К.С. Агентное моделирование развития территориальной системы [Текст] / К.С. Чиркунов // Информатика и ее применения. – 2011. – Т. 5. – Вып. 1. – С. 58–64.

26. Карелин, В.П. Эволюционно-генетические и бионические методы моделирования коллективного интеллекта в системах управления и поддержки принятия решений [Текст] В.П. Карелин, В.И. Протасов // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2012. – № 1. – С. 71–76.

27. Никляев, И.Ю. Инструментарий исследования команд интеллектуальных агентов [Текст] / И.Ю. Никляев // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2009. – № 12 (60). – С. 86–88.

28. Карелин, В.П. Интеллектуальные технологии и системы искусственного интеллекта для поддержки принятия решений [Текст] / В.П. Карелин // Вестник Таганрогского института управления и экономики. – 2011. – № 2. – С. 79–84.

29. Глибовец, Н.Н. Использование JADE (JAVA AGENT DEVELOPMENT ENVIRONMENT) для разработки компьютерных систем поддержки дистанционного обучения агентного типа [Текст] / Н.Н. Глибовец // Образовательные технологии и общество. – 2005. – Т. 8. – № 3. – С. 325–345.

30. Кириков, И.А. Исследование эффекта самоорганизации в компьютерных системах поддержки принятия решения на примере многоагентных систем [Текст] / И.А. Кириков, А.В. Колесников, С.В. Листопад // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Физико-математические и технические науки. – 2010. – № 10. – С. 79–90.

31. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерные системы поддержки принятия управленческих решений [Текст] / Э.А. Трахтенгерц // Проблемы управления. – 2003. – № 1. – С. 13–28.

32. Харитонов, В.А. Концепция субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах [Текст] / В.А. Харитонов, А.О. Алексеев // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 109. – С. 690–706.
33. Яговкин, Н.Г. Методика поддержки принятия управленческих решений в системе управления охраной труда [Текст] / Н.Г. Яговкин, М.А. Кривова // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. – 2011. – № 2. – С. 368–370.
34. Котенко, И.В. Многоагентная технология экспертной критики для интеллектуальной поддержки принятия решений [Текст] / И.В. Котенко, Н.А. Лихванцев // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2001. – № 4 (22). – С. 17–25.
35. Маслобоев, А.В. Мультиагентная информационно-аналитическая среда поддержки управления региональной безопасностью «безопасный виртуальный регион» [Текст] / А.В. Маслобоев // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – № 4 (86). – С. 128–138.
36. Мысник, Б.В. Мультиагентные технологии анализа и оптимизации функционирования предприятий отрасли [Текст] / Б.В. Мысник, В.Е. Снитюк // Математические машины и системы. – 2015. – № 2. – С. 139–146.
37. Скобелев, П.О. Открытые мультиагентные системы для поддержки процессов принятия решений при управлении предприятиями [Текст] / П.О. Скобелев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2001. – Т. 3. – № 1. – С. 71–79.
38. Бова, В.В. Проблемы представления знаний в интегрированных системах поддержки управленческих решений [Текст] / В.В. Бова, В.В. Курейчик, Е.В. Нужнов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2010. – № 7 (108). – С. 107–113.
39. Гладков, Л.А. Решение задач поиска и оптимизации решений на основе нечетких генетических алгоритмов и многоагентных подходов [Текст] / Л.А. Гладков // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2006. – № 8 (63). – С. 82–87.
40. Массель, Л.В. Разработка многоагентной системы оценивания состояний электроэнергетических систем с использованием событийных моделей [Текст]

/ Л.В. Массель, В.И. Гальперов, В.И. // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2015. – № 9. – С. 200–214.

41. Тельнов, Ю.Ф. Многоагентная система реализации информационно-образовательного пространства высшего учебного заведения [Текст] / Ю.Ф. Тельнов, В.М. Трембач // Теория активных систем: материалы международной научно-практической конференции; под общ. ред. В.Н. Буркова. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 280–282.

42. Легович, Ю.С. Принятие решений в группе интеллектуальных агентов [Текст] / Ю.С. Легович, Д.Ю. Максимов // Теория активных систем: материалы международной научно-практической конференции; под общ. ред. В.Н. Буркова. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 206–208.

43. Виноградов, Г.П. Постнеклассический подход к проблеме построения модели поведения интеллектуального агента [Текст] / Г.П. Виноградов, В.Н. Кузнецов // Теория активных систем: материалы международной научно-практической конференции; под общ. ред. В.Н. Буркова. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 23–24.

44. Зайцев, И.Д. Верификация мультиагентных систем с помощью цепей Маркова: оценка вероятности нахождения агентами оптимального решения [Текст] / И.Д. Зайцев // Программные продукты и системы. – 2013. Т. 4. – С. 89–93.

45. Замятина, Е.Б. Архитектура агентно-ориентированной системы имитации с агентами, основанными на нейронных сетях [Текст] / Е.Б. Замятина, Д.Ф. Каримов, А.А. Митраков // Информатизация и связь. – 2014. – № 2. – С. 89–97.

46. Тараканов, Д.В. Многоагентная система для моделирования действий по тушению пожаров в социальных зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 5 (69). – С. 118–125. Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/39-05-16.ttb.pdf> (дата обращения 03.02.2020).

47. Мутовкина, Н.Ю. Семантическое определение типа агента в многоагентной системе. Проблема межагентного взаимодействия [Текст] / Н.Ю. Мутовкина,

А.Ю. Ключин, В.Н. Кузнецов // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем 2013. – Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2013. – С. 309–316.

48. Мутовкина, Н.Ю. Методы согласованного управления конфликтом в многоагентной системе [Текст] / Н.Ю. Мутовкина, В.Н. Кузнецов, А.Ю. Ключин // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 3-2(57). – С. 255–261.

49. Куливец, С.Г. Моделирование конфликтных ситуаций с несогласованными представлениями у агентов на основе игр на линейных когнитивных картах [Текст] / С.Г. Куливец // Проблемы управления. – 2010. – №4. – С. 42–48.

50. Лазарев, Е.М. Создание интеллектуальных программных агентов поиска градостроительных конфликтов (нарушений) [Текст] / Е.М. Лазарев, К.А. Аксёнов // Автоматизация. Современные технологии. – 2012. – № 2. – С. 41–44.

51. Alexander, R. Kelly, T. Supporting systems of systems hazard analysis using multi-agent simulation. Safety Science. – (2013). – № 51. – P. 302–318.

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

53. Бурков, В.Н. Основы математической теории активных систем [Текст] / В.Н. Бурков. – М.: Наука, 1977. – 255 с.

54. Ермошин, Н.А. Многокритериальная оптимизация в задачах транспортного планирования [Текст] / Н.А. Ермошин, Ю.Г. Лазарев // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2017. – № 1 (39). – С. 58–62.

55. Бондаренко, Ю.В. Многокритериальная модель оптимизации финансовых результатов производственной деятельности предприятия [Текст] / Ю.В. Бондаренко, И.Л. Каширина // Экономическое прогнозирование: модели и методы: ма-

териалы XII международной научно-практической конференции. – Воронеж: Воронежский Центральный научно-технический институт - филиал ФГБУ "РЭА" Минэнерго России, 2016. – С. 309–314.

56. Yongcan Cao ; Wenwu Yu ; Wei Ren ; Guanrong Chen An Overview of Recent Progress in the Study of Distributed Multi-Agent Coordination, Volume: 9, Issue: 1, Feb. 2013, Pages: 427–438, DOI: 10.1109/TII.2012.2219061.

57. Dimos V. Dimarogonas, Emilio Frazzoli, Karl H. Johansson Distributed Event-Triggered Control for Multi-Agent Systems, Volume: 57, Issue: 5, May 2012, Pages 1291–1297, DOI: 10.1109/TAC.2011.2174666.

58. Ferber J., Gutknecht O., Michel F. (2004) From Agents to Organizations: An Organizational View of Multi-agent Systems. In: Giorgini P., Müller J.P., Odell J. (eds) Agent-Oriented Software Engineering IV. AOSE 2003. Lecture Notes in Computer Science, vol 2935. Springer, Berlin, Heidelberg.

59. Shaun Howell, Yacine Rezgui, Jean-Laurent Hippolyte, Bejay Jayan, Haijiang Li, Towards the next generation of smart grids: Semantic and holonic multi-agent management of distributed energy resources, Volume 77, September 2017, Pages 193–214, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.03.107>.

60. Трахтенгерц, Э.А. Компьютерные технологии информационного управления в конфликтных ситуациях [Текст] / Э.А. Трахтенгерц // Информационные технологии. – 2009. – S1 – С. 1–32.

61. Noghin V.D. A logical justification of the edgeworth-pareto principle // Computational Mathematics and Mathematical Physics. 2002. Т. 42. № 7. С. 915–920.

62. Шлоссейгл, Дж. Профессиональное программирование на PHP [Текст] / Дж. Шлоссейгл, [пер. с англ. и ред. Валериян Швец]. – Вильямс, 2006. – 624 с.

63. Веллинг, Л. Разработка веб-приложений с помощью PHP и MySQL [Текст] / Л. Веллинг, Л. Томсон; [перевод с английского Ю. Н. Артеменко]. – 5-е изд. – М.: Диалектика, 2017. – 768 с.

64. Ногин, В.Д. Проблема сужения множества Парето: подходы к решению [Текст] / В.Д. Ногин // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – № 1. – С. 98–112.

65. Lootsma F. A. Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART. *Journal Multi-Criteria Decision Analysis*. 1993. Vol. 2. Pp. 87–110.
66. Shannon C.E., A mathematical theory of communication, *The Bell System Technical Journal*, Volume 27, Issue 3, July 1948, Pages 379-423. DOI: 10.1002/j.1538-7305.1948.tb01338.x.
67. Kwanghee Lee, Hyuck-myunKwon, SeungsikCho, JiyongKim, IlMoon Improvements of safety management system in Korean chemical industry after a large chemical accident, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 42, 20 July 2016, Pages 6-13, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.08.006>.
68. Hyuck-myun Kwon, Chang-jin Lee, Donghyun Seo, Il Moon, Korean experience of process safety management (PSM) regulation for chemical industry, Volume 42, July 2016, Pages 2-5, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.10.001>.
69. Nima Khakzad, Gabriele Landucci, Valerio Cozzani, Genserik Reniers, Hans Pasman, Cost-effective fire protection of chemical plants against domino effects, Volume 169, January 2018, Pages 412-421, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.09.007>.
70. Таранцев, А.А. Случайные величины и работа с ними [Текст] / А.А. Таранцев. – Санкт-Петербург: Петрополис, 2011. – 160 с.
71. Колмогоров, А.Н. Введение в теорию вероятностей [Текст] / А.Н. Колмогоров, И.Г. Журбенко, А.В. Прохоров А.В. – 3-е изд., испр. – М.: Издательство МЦНМО, 2015. – 168 с.
72. Нестеров, А.А. Оценка рисков на предприятиях химической промышленности [Текст] / А.А. Нестеров // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты*. – 2016. – № 30. – С. 156–161.
73. Нестеров, А.А. Проблемы промышленной безопасности на предприятиях химической промышленности [Текст] / А.А. Нестеров // *Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результат. Материалы III Международной научно-практической конференции*. 2018. – Новосибирск: ООО «Центр развития научного сотрудничества». – С. 67–72.
74. Лемешко, Б.Ю. Сравнительный анализ мощности критериев согласия при близких конкурирующих гипотезах. I. Проверка простых гипотез [Текст] /

Б.Ю. Лемешко, С.Б. Лемешко, С.Н. Постовалов // Сибирский журнал индустриальной математики. – 2008. – Т. 11. – № 2(34). – С.96–111.

75. Королюк, В.С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике [Текст] / В.С. Королюк, Н.И. Портенко, А.В. Скороход [и др.]. – М.: Наука, 1985. – 640 с.

76. Буянов, Б.Б. Система поддержки принятия управленческих решений с применением имитационного моделирования [Текст] / Б.Б. Буянов, Н.В. Лубков, Г.Л. Поляк // Проблемы управления. – 2006. – № 6. – С. 43–49

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

78. Подольский, А.Г. Методический подход к выбору рационального варианта распределения финансовых ресурсов на зарубежное патентование результатов интеллектуальной деятельности [Текст] / А.Г. Подольский, В.В. Трущенко // Учет. Анализ. Аудит. – 2018. – Т. 5. – № 1. – С. 68–77.

79. Бондарик, В.Н. Механизмы распределения ресурсов на основе неманипулируемых симметричных анонимных процедур голосования с делегированием [Текст] / В.Н. Бондарик, Н.А. Коргин // Проблемы управления. – 2012. – № 5. – С. 26–32.

80. Бурков, В.Н. Модели и механизмы распределения затрат и доходов в рыночной экономике [Текст] / В.Н. Бурков, И.И. Горгидзе, Д.А. Новиков [и др.]. – М.: ИПУ РАН, 1997. – 61 с.

81. Куликовский, К.Л. Интеллектуальная система поддержки принятия решений по управлению финансовыми потоками [Текст] / К.Л. Куликовский, А.А. Вейс, Ю.В. Вейс [и др.]. // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2007. – № 1 (19). – С. 22–28.

82. Вейс, А.А., Ангельцев А.А. Использование открытых мультиагентных систем в распределении финансовых потоков группы предприятий [Текст] /

А.А. Вейс, А.А. Ангельцев // Информационные технологии моделирования и управления. – 2006. – № 9(34). – С.1161–1165.

83. Гайсин, В.Ф. Математическая модель поведения активного элемента в сетевых структурах планирования распределения финансовых ресурсов [Текст] / В.Ф. Гайсин // Перспективы развития информационных технологий. – 2011. – № 3–1. – С. 22–25.

84. Семенкин, Е.С. Модели и алгоритмы распределения общих ресурсов при управлении инновациями реструктурированного машиностроительного предприятия [Текст] / Е.С. Семенкин, В.М. Клешков // Проблемы машиностроения и автоматизации. – 2006. – № 3. – С. 24–30.

85. Баева, Н.Б. Модели и методы поддержки процесса оптимального использования финансовых ресурсов региональной экономической системы [Текст] / Н.Б. Баева, Е.А. Лихачёва // Вестник ВГУ, серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2018. – № 1. – С. 70–76.

86. Совершенствование механизмов распределения финансовых ресурсов: апробация и ожидаемые результаты эксперимента [Текст] / И.И. Новик, А.И. Русенчик, Т.В. Ясюля, [и др.]. // Вопросы организации и информатизации здравоохранения. – 2013. – № 2 (75). – С. 50–56.

87. Макаров, А.С. Численное моделирование и эмпирический анализ распределения финансовых ресурсов в конгломератах [Текст] / А.С. Макаров, Е.Е. Кузьмичева, М.С. Пузырева // Финансовая аналитика: проблемы и решения. – 2014. – № 7. – С. 14–25.

88. Maksimovic V., Phillips G. Do Conglomerate Firms Allocate Resources Inefficiently Across Industries? Theory and Evidence. The Journal of Finance. 2002. LVII (2).

89. Бурков, В.Н. Минимаксное распределение ресурса в активной системе [Текст] / В.Н. Бурков, С.В. Опойцев // Управление большими системами: сборник трудов. – 2004. – № 9. – С. 76–82.

90. Авдеенко, Т.В. Многопараметрическая оптимизация задач распределения ресурса для планирования развития нанотехнологий [Текст] / Т.В. Авдеенко,

В.А. Жмудь, А.В. Ляпидевский // Сборник научных трудов НГТУ. – 2009. – № 3(57). – С. 89–104.

91. Вдовин, П.М. Алгоритм распределения ресурсов в центрах обработки данных с отдельными планировщиками для различных типов ресурсов [Текст] / П.М. Вдовин, В.А. Костенко // Известия РАН. Теория и системы управления. – 2014. – № 6. – С. 80–93.

92. Струченков, В.И. Новые алгоритмы оптимального распределения ресурса [Текст] / В.И. Струченков // Прикладная дискретная математика. – 2010. – № 4. – С. 73–78.

93. Смирнов, А.В. Особенности возникновения и развития пожаров на объектах химической отрасли [Текст] / А.В. Смирнов, Р.Ш. Хабибулин // Чрезвычайные ситуации: образование и наука. – 2016. – № 2. – С. 143–145.

94. Смирнов, А.В. О многопараметрической задаче управления пожарной безопасностью на предприятии химической промышленности [Текст] / А.В. Смирнов, Р.Ш. Хабибулин, Д.В. Тараканов // 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.

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

96. Моисеев, Н.Н. Математика ставит эксперимент [Текст] / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1979. – 224 с.

97. Ризванов, Д.А. Применение интеллектуальных технологий управления ресурсами при календарном планировании производства [Текст] / Д.А. Ризванов, Н.И. Юсупова // Интеллектуальные системы в производстве. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2018. – Т. 16. – № 4. – С. 130–137.

98. Боровский, А.С. Особенности идентификации предметной области «Категорирование потенциально опасных объектов» в нечеткой постановке [Текст] / А.С. Боровский, А.Д. Тарасов // Информационные системы и технологии. – 2010. – № 3 (59). – С. 63–71.

99. Yussupova, N. Decision-Making Support in Resource Management in Manufacturing Scheduling / N. Yussupova, D. Rizvanov. Proceedings of 18th IFAC Conference on Technology, Culture and International Stability (TECIS 2018). Volume 51, Issue 30, pp. 544–547.

100. О методике исследования достаточности мероприятий по обеспечению безопасности функционирования региона страны [Электронный ресурс] / А.И. Овсяник, С.Л. Копнышев, А.В. Щепкин [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 2 (72). – С. 147–154. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/39-02-17.ttb.pdf> (дата обращения 28.10.2019).

101. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Системные исследования чрезвычайных ситуаций [Текст] / С.И. Абрахин, Н.В. Абросимов, А.В. Щепкин [и др.] // Тематический блок «Национальная безопасность». Москва, 2015. Том Системные исследования чрезвычайных ситуаций.

102. Анализ пожарной обстановки в России в 2006–2015 гг [Электронный ресурс] / А.А. Порошин, В.В. Харин, Е.В. Бобринев [и др.] // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 2 (72). – С. 18–25. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/08-02-17.ttb.pdf> (дата обращения 28.10.2019).

103. Kwanghee Lee, Hyuck-myun Kwon, Seungsik Cho, Jiyong Kim, Il Moon. Improvements of safety management system in Korean chemical industry after a large chemical accident. Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Volume 42, July 2016, Pages 6–13.

104. Ризванов, Д.А. Применение многоагентных технологий для решения задачи распределения ресурсов в условиях чрезвычайных ситуаций [Текст] / Д.А. Ризванов // Вестник УГАТУ. – 2012. – Т. 16. – № 6 (51). – С. 220–225.

105. Зотов, И.В. Использование многоагентного подхода в информационно-аналитических системах противопожарной безопасности [Текст] / И.В. Зотов, С.Ю. Сазонов, О.В. Ефремова [и др.] // Известия Юго-Западного гос. ун-та. – 2012. – № 5(44). – Ч. 2. – С. 61–67.

106. Gabdulkhakova A., König-Ries B., Rizvanov D. An Agent-Based Solution to the Resource Allocation Problem in Emergency Situations. Proc. of the 9th IEEE European Conference on Web Services (ECOWS 2011). 2011. Lugano, Switzerland. P. 151–157.

107. Лабинский, А.Ю. Использование нечеткой логики и нейронных сетей в системах автоматического управления [Текст] / А.Ю. Лабинский, С.А. Нефедьев, Е.Н. Бардулин // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2019. – № 1. – С. 44–50.

108. Веригин, А.Н. Особенности построения организационной экономической системы для структур МЧС России [Текст] / А.Н. Веригин, А.К. Черных, Л.А. Королева // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2016. – № 3. – С. 81–87.

109. Смирнова, И.В. Развитие экономических механизмов управления в системе МЧС России [Текст] / И.В. Смирнова, Е.Н. Бардулин // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2018. – № 4. – С. 66–74.

110. 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.

111. 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

Приложение А. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа для рационального распределения ресурсов в многоагентной системе управления пожарной безопасностью на производственных объектах химической отрасли

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

**№ 2018660019**

**Программа для рационального распределения ресурсов в многоагентной системе управления пожарной безопасностью на производственных объектах химической отрасли**

Правообладатели: *Смирнов Андрей Владимирович (RU), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU)*

Авторы: *Смирнов Андрей Владимирович (RU), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU)*

Заявка № **2018618118**

Дата поступления **20 июля 2018 г.**

Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **15 августа 2018 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 **Г.П. Ивлиев**



Приложение Б. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ – Программа для многопараметрического анализа вариантов распределения ресурсов в много-агентных системах

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2018661985

Программа для многопараметрического анализа вариантов распределения ресурсов в многоагентных системах

Правообладатели: *Смирнов Андрей Владимирович (RU), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU)*

Авторы: *Смирнов Андрей Владимирович (RU), Хабибулин Ренат Шамильевич (RU), Тараканов Денис Вячеславович (RU)*

Заявка № 2018618063

Дата поступления 20 июля 2018 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 25 сентября 2018 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев



## Приложение В. Листинг программного кода

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="ru">
<head>
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
  <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8">
  <script src="plotly-latest.min.js"></script>
  <link rel="stylesheet" href="style.css">
  <title></title>
</head>
<body>
  <div id="main">
    <div id="caption">
      Математическая модель принятия решений
    </div>
    <div id="navi">
      <span id="F1" onclick="F1()">Проверка компромисса</span> |
      <span id="F2" onclick="F2()">Парное сравнение вариантов</span> |
      <span id="F3" onclick="F3()">Сравнение критериев</span>
    </div>
    <div id="content">
      <div id="table">
        <table>
          <tr>
            <td>Количество вариантов:</td>
            <td><input type="number" value="5" min="2" id="hcount" class="ar-
row"></td>
          </tr>
          <tr>
```



```

</div>

<button onclick="Plot()" id="createplot">&nbsp;&nbsp;&nbsp;Обновить гра-
фики&nbsp;&nbsp;&nbsp;</button>

<!------->

<div id="st3">
  <div id="tableF213">
  </div>
  <br>
  <button onclick="GetZ1()">&nbsp;&nbsp;&nbsp;Создать&nbsp;&nbsp;&nbsp;</button>
  <br>
  <br>
  <div id="tableZ1">
  </div>
  <br>
  <button onclick="GetZ()">&nbsp;&nbsp;&nbsp;Построить/обновить матрицу предпо-
чтений&nbsp;&nbsp;&nbsp;</button>
  <br>
  <br>
  <div id="tableZ3">
  </div>
  <br>
  <div id="tableK3">
  </div>
  <br>
  <div id="tableT3">
  </div>
  <div id="tableTT">
  </div>
  <br>

```

```
<div id="range3">
</div>
<br>
<div id="tester3">
</div>
<div id="tester4">
</div>
</div>
<!------->
<div id="tableF21">
</div>
<br>
<div id="tableK">
</div>
<br>
<div id="tableT">
</div>
<br>
<div id="range">
</div>
<br>
<div id="tester">
</div>
<br>
<div id="tester1">
</div>
<div id="plot">
</div>
</div>
```

```
</div>
```

```
<script>
```

```

window.onload = function () {
    CreateTable();
    F1();
}
function CreateTable() {
    var a = '<table>';
    var m = document.getElementById('hcount').value;
    var n = document.getElementById('vcount').value;
    document.getElementById('a1').setAttribute('max', m);
    document.getElementById('b1').setAttribute('max', m);
    for (var i = 0; i <= n; i++) {
        a = a + '<tr>';
        for (var j = 0; j <= m; j++) {
            if ((i != 0) && (j != 0)) {
                var rand = Math.round(Random(0, 1) * 10) / 10;
                a = a + '<td><input id="i' + i + j + '" type="number" min="0" max="1"
step="0.1" value="" +
                'kjh' + '"></td>';
            }
            if ((i == 0) && (j != 0)) {
                a = a + '<td align="center">x' + j + '</td>';
            }
            if ((j == 0) && (i != 0)) {
                a = a + '<td id="n' + i + '">f' + i + '</td>';
            }
            if ((i == 0) && (j == 0)) {
                a = a + '<td>F|X</td>';
            }
        }
    }
}

```

```
    }  
  }  
  a = a + '</tr>';  
}  
a = a + '</table>';  
document.getElementById('table1').innerHTML = a;  
document.getElementById('i11').value = '0.9';  
document.getElementById('i12').value = '0.1';  
document.getElementById('i13').value = '0.4';  
document.getElementById('i14').value = '0.6';  
document.getElementById('i15').value = '0.3';  
document.getElementById('i21').value = '0.1';  
document.getElementById('i22').value = '0.9';  
document.getElementById('i23').value = '0.2';  
document.getElementById('i24').value = '0.4';  
document.getElementById('i25').value = '0.5';  
document.getElementById('i31').value = '0.5';  
document.getElementById('i32').value = '0.2';  
document.getElementById('i33').value = '0.9';  
document.getElementById('i34').value = '0.1';  
document.getElementById('i35').value = '0.4';  
document.getElementById('i41').value = '0.7';  
document.getElementById('i42').value = '0.4';  
document.getElementById('i43').value = '0.3';  
document.getElementById('i44').value = '0.9';  
document.getElementById('i45').value = '0.7';  
document.getElementById('i51').value = '0.1';  
document.getElementById('i52').value = '0.2';  
document.getElementById('i53').value = '0.4';
```

```

document.getElementById('i54').value = '0.5';
document.getElementById('i55').value = '0.9';
document.getElementById('i61').value = '0.5';
document.getElementById('i62').value = '0.2';
document.getElementById('i63').value = '0.7';
document.getElementById('i64').value = '0.9';
document.getElementById('i65').value = '0.4';
CreateDivPlot();
}
function CreateDivPlot() {
    var m = document.getElementById('hcount').value;
    var a = "";
    for (var i = 1; i <= m * (m - 1) / 2; i++) {
        a = a + '<div id="plot' + i + ""></div>';
    }
    document.getElementById('plot').innerHTML = a;
}
function Plot() {
    var m = document.getElementById('hcount').value;
    var n = document.getElementById('vcount').value;
    var m1 = [];
    var m2 = [];
    var tetta = [];
    var title = [];
    var namea = [];
    var nameb = [];
    var s = 1,
        t = 1;
    function Berger() {

```

```

if (t == m) {
    t = s + 1;
    s++;
}
if (t < m) {
    t++;
}
if (s < m) {
    return [s, t];
} else {
    return [0, 0];
}
}

for (var i = 1; i <= m * (m - 1) / 2; i++) {
    var a = [];
    a = Berger();
    for (var j = 1; j <= n; j++) {
        m1[j - 1] = document.getElementById('i' + j + a[0]).value;
        m2[j - 1] = document.getElementById('i' + j + a[1]).value;
        tetta[j - 1] = document.getElementById('n' + j).textContent;
    }
    tetta[j - 1] = tetta[0];
    m1[j - 1] = m1[0];
    m2[j - 1] = m2[0];
    title[i] = i + '.)' + 'x' + a[0] + '-' + 'x' + a[1];
    namea[i] = 'f(x' + a[0] + ')';
    nameb[i] = 'f(x' + a[1] + ')';
    //-----Plotly-----
    data = [{

```

```
    type: 'scatterpolar',
    r: m1,
    theta: tetta,
    fill: 'toself',
    name: namea[i]
  },
  {
    type: 'scatterpolar',
    r: m2,
    theta: tetta,
    fill: 'toself',
    name: nameb[i]
  }
]
layout = {
  margin: {
    b: '40',
    t: '40',
  },
  paper_bgcolor: 'rgb(240,240,240)',
  font: {
    family: 'Open Sans Condensed',
    size: '18',
  },
  title: title[i],
  polar: {
    radialaxis: {
      visible: true,
      range: [0, 1]
```

```

        }
    }
}
Plotly.purge('plot' + i);
Plotly.plot('plot' + i, data, layout);
//-----
}
}
function Random(min, max) {
    return Math.random() * (max - min) + min;
}
function F1() {
    Plot();
    document.getElementById('st3').style.display = 'none';
    document.getElementById('table').style.display = 'block';
    document.getElementById('createplot').style.display = 'block';
    document.getElementById('plot').style.display = 'block';
    document.getElementById('F2').style.borderBottom = '1px solid blue';
    document.getElementById('F2').style.color = 'blue';
    document.getElementById('F1').style.borderBottom = '0px';
    document.getElementById('F1').style.color = 'black';
    document.getElementById('F3').style.borderBottom = '1px solid blue';
    document.getElementById('F3').style.color = 'blue';
    document.getElementById('tableF2').style.display = 'none';
    document.getElementById('tableF21').style.display = 'none';
    document.getElementById('tableK').style.display = 'none';
    document.getElementById('tableT').style.display = 'none';
    //document.getElementById('norm').style.display = 'none';
    document.getElementById('range').style.display = 'none';

```

```
document.getElementById('tester').style.display = 'none';
document.getElementById('tester1').style.display = 'none';
document.getElementById('tester3').style.display = 'none';
}
function F2() {
  GetMatrix();
  document.getElementById('st3').style.display = 'none';
  document.getElementById('table').style.display = 'none';
  document.getElementById('createplot').style.display = 'none';
  document.getElementById('plot').style.display = 'none';
  document.getElementById('F2').style.borderBottom = '0px';
  document.getElementById('F2').style.color = 'black';
  document.getElementById('F1').style.borderBottom = '1px solid blue';
  document.getElementById('F1').style.color = 'blue';
  document.getElementById('F3').style.borderBottom = '1px solid blue';
  document.getElementById('F3').style.color = 'blue';
  document.getElementById('tableF2').style.display = 'block';
  document.getElementById('tableF21').style.display = 'block';
  document.getElementById('tableK').style.display = 'block';
  document.getElementById('tableT').style.display = 'block';
  document.getElementById('norm').style.display = 'block';
  document.getElementById('range').style.display = 'block';
  document.getElementById('tester').style.display = 'block';
  document.getElementById('tester1').style.display = 'block';
  document.getElementById('tester3').style.display = 'none';
}
function F3() {
```



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



М.В. Алешков

«12» февраля 2019 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Смирнова  
 Андрея Владимировича «Методы и алгоритмы многоагентного  
 управления пожарной безопасностью на производственных  
 объектах химической отрасли», представленной к защите по  
 специальности 05.13.10 – управление в социальных и экономи-  
 ческих системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя – начальника НИО АСИТ к.т.н. Лукьянченко Александра Андреевича, и членов комиссии: профессора кафедры информационных технологий УНК АСИТ д.т.н., профессора Топольского Николая Григорьевича, старшего научного сотрудника УНК АСИТ к.т.н. Шихалева Дениса Владимировича подтверждает, что результаты диссертационной работы Смирнова А.В., использованы в ходе научно-исследовательской работы на тему: «Разработка интеллектуальных методов оптимизации мероприятий по управлению пожарными рисками на нефтегазовых объектах» (регистрационный номер НИОКТР – АААА-А17-117062010033-2) в рамках реализации плана проведения научно-исследовательских работ на 2018 год в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, а именно: алгоритм многопараметрического анализа вариантов распределения ресурсов в многоагентных системах управления пожарной безопасности на предприятиях промышленности.

Председатель комиссии  
 Начальник НИО АСИТ  
 к.т.н.

А.А. Лукьянченко

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

Н.Г. Топольский

Старший научный сотрудник ОНТИП и ПБ УНК АСИТ  
 к.т.н.

Д.В. Шихалев

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель генерального директора  
 АО «ИВХИМПРОМ» по техническим вопросам  
 \_\_\_\_\_ М.Ю. Рябов  
 \_\_\_\_\_ 2018 г.



АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Смирнова Андрея Владимировича «Методы и алгоритмы многоагентного управления пожарной безопасностью на производственных объектах химической отрасли», представленной к защите по специальности 05.13.10 – управление в социальных и экономических системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя – заместителя генерального директора АО «ИВХИМПРОМ» по техническим вопросам Рябова Михаила Юрьевича, и членов комиссии – инструктора ППП-командира НГСФ АО «ИВХИМПРОМ» Крайнова Олега Вячеславовича, начальника участка №3 АО «ИВХИМПРОМ» Сырбу Андрея Александровича подтверждает, что результаты диссертационной работы Смирнова А.В., внедрены в рабочий процесс АО «ИВХИМПРОМ», а именно: осуществлено применение информационной системы, включающей в себя модель и алгоритмы для оптимального распределения ресурсов в задачах обеспечения пожарной безопасности с учетом опыта решения данной задачи в прошлом.

Результаты внедрены в повседневную деятельность специалистов АО ИВХИМПРОМ и используются для планирования распределения ресурсов при управлении пожарной безопасности предприятия.

Председатель комиссии  
 Заместитель генерального директора  
 АО ИВХИМПРОМ по техническим вопросам  М.Ю. Рябов

Члены комиссии:  
 Инструктор ППП-командир НГСФ  
 АО «ИВХИМПРОМ»  О.В. Крайнов

Начальник участка №3 АО «ИВХИМПРОМ»  
 к.х.н., доцент  А.А. Сырбу

УТВЕРЖДАЮ

Исполнительный директор  
ООО «Туапсинский Балкерный Терминал»

Тютин Д.В.

« 21 » \_\_\_\_\_ 2019 г.

03



### АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Смирнова Андрея Владимировича «Методы и алгоритмы многоагентного управления пожарной безопасностью на производственных объектах химической отрасли», представленной к защите по специальности 05.13.10 – управление в социальных и экономических системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя – Исполнительного директора ООО «Туапсинский Балкерный Терминал» Тютин Дмитрий Валентиновича, и членов комиссии: Руководителя по охране труда, промышленной безопасности, экологии и пожарной безопасности АО «МХК «ЕвроХим»» Долговой Екатерины Юрьевны, Менеджер по промышленной безопасности, охране труда и экологии ООО «ЕвроХим Трейдинг Рус» Курбацкого Ярослава Андреевича подтверждает, что результаты диссертационной работы Смирнова А.В., внедрены в рабочий процесс ООО «Туапсинский Балкерный Терминал», а именно: осуществлено применение информационной системы в тестовом режиме, включающей в себя модель и алгоритмы для рационального распределения ресурсов в задачах управления пожарной безопасности с учетом опыта решения данной задачи в прошлом.

Результаты внедрены в повседневную деятельность специалистов ООО «Туапсинский Балкерный Терминал» и используются для планирования распределения ресурсов при управлении пожарной безопасности предприятия.

Председатель комиссии  
Исполнительный директор  
ООО «ТБТ»

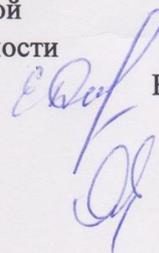


Д.В. Тютин

Члены комиссии:

Руководитель по охране труда, промышленной безопасности, экологии и пожарной безопасности  
АО «МХК «ЕвроХим»»

Менеджер по промышленной безопасности,  
охране труда и экологии  
ООО «ЕвроХим Трейдинг Рус»



Е.Ю. Долгова

Я.В. Курбацкий