

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

Академия Государственной противопожарной службы МЧС России

На правах рукописи



Чан Минь Хоанг Ха

**ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ
РЕШЕНИЙ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТУШЕНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ**

2.3.4. Управление в организационных системах
(технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук
Тараканов Денис Вячеславович

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТУШЕНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ	10
1.1. Анализ показателей функционирования системы обеспечения пожарной безопасности в провинциях Вьетнама	12
1.1.1. Общая характеристика Вьетнама	12
1.1.2. Анализ динамики показателей пожарной безопасности.....	14
1.2. Организационная структура противопожарной службы Вьетнама	17
1.2.1. Типовая организационная структура управления ресурсами пожарной охраны	18
1.2.2. Категорирование структур управления пожарными подразделениями при тушении крупных пожаров	22
1.3. Анализ задач управления ресурсами пожарной охраны.....	27
1.3.1. Задачи управления ресурсами пожарной охраны и информационные ресурсы для их решения	29
1.3.2. Многокритериальные модели для решения задачи исследования	35
Выводы по главе 1	36
ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОРЯДКА СОСРЕДОТОЧЕНИЯ РЕСУРСОВ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ ПРИ ТУШЕНИИ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ	38
2.1. Разработка мультипликативной модели многокритериального выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов	39
2.1.1. Анализ парного сравнения парето-оптимальных вариантов.....	44
2.1.2. Распределение критериев по группам на основе парного сравнения парето- оптимальных вариантов.....	45
2.1.3. Трансформация множества критериев.....	47

2.1.4. Расчет весов критериев для мультипликативной свертки	50
2.1.5. Оценка вариантов по мультипликативной свертке критериев.....	54
2.2. Разработка алгоритма построения порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны	56
2.2.1. Построение множества парных сравнений парето-оптимальных источников ресурса.....	57
2.2.2. Формирование множества допустимых вариантов порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны	59
2.2.3. Выбор наиболее предпочтительного варианта	66
Выводы по главе 2.....	68
ГЛАВА 3. ПРОЦЕДУРА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОРЯДКА СОСРЕДОТОЧЕНИЯ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ.....	69
3.1. Теоретический базис для разработки процедур принятия управленческих решений в организационных системах	70
3.2. Информационное обеспечение фактического порядка сосредоточения пожарных подразделений.....	72
3.2.1. Потребитель и источники ресурса.....	73
3.2.1. Критерии оценки источников ресурса	74
3.2.2. Анализ критериев оценки источников ресурса.....	82
3.3. Разработка порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара.....	85
3.3.1. Формирование возможных вариантов	85
3.3.2. Выбор предпочтительного варианта	89
3.4. Оценка эффективности внедрения порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров	91
3.4.1. Методика оценки экономической эффективности	92
3.4.2. Оценка относительного экономического эффекта	96
3.4.3. Оценка абсолютного экономического эффекта	98
Выводы по главе 3.....	101

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	102
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	104
Приложение А. Типовые структуры для организации тушения крупных пожаров	118
Приложение Б. Акты внедрения.....	126

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Развитие экономики Вьетнама и стремительная положительная динамика показателей ее производственного сектора неизбежно приводит к росту случаев крупных пожаров, требующих для их успешной локализации и ликвидации сосредоточения значительного количества ресурсов пожарной охраны. При этом задача формирования порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны содержит противоречие: с одной стороны, прибытие дополнительных ресурсов повышает ресурсный потенциал пожарных подразделений системы управления, создаваемой на месте тушения крупных пожаров; с другой стороны, провинции, из которых временно задействованы ресурсы для тушения крупного пожара, обладают пониженным ресурсным потенциалом, что в случае возникновения пожара на охраняемой ими территории неизбежно приведет к более значимым последствиям в виде ущерба для общества и государства в целом. Поэтому актуальной является задача, состоящая в разработке рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны при тушении крупных пожаров в провинциях Вьетнама. Наиболее остро задача сосредоточения ресурсов пожарной охраны стоит в приграничных провинциях, для которых количество соседних провинций – источников ресурсов пожарной охраны – ограничено.

Степень разработанности. Фундаментальным базисом научного исследования являются теоретические положения управления ресурсами в организационных системах, разработанные В. Н. Бурковым [12–15] и Д. А. Новиковым [6–8, 51–52]. Прикладной базис исследования – это результаты решения практических задач управления ресурсами пожарной охраны, полученные в ходе исследований Н. Н. Брушлинского [1, 10, 11], С. Ю. Бутузова [16, 74], Ф. А. Дали [22–25], В. А. Минаева [26, 29], Ю. В. Пруса [49], И. В. Самарина [63–67], В. Л. Семикова [16, 19, 20, 48], С. В. Соколова [1, 10, 11, 81, 83, 84],

Д. В. Тараканова [38–40, 70–76], Н. Г. Топольского [16, 17, 26, 28], Р. Ш. Хабибулина [70–72, 85], С. А. Шкунова [38–42], Fatih Yilmaz [92], Pandav Chaudhary [96] и др.

Однако в работах авторов не было уделено внимание вопросам рационального сосредоточения дополнительных ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров.

Поэтому **объект исследования** – процесс управления ресурсами пожарной охраны, а **предмет исследования** – процедура принятия управленческих решений при разработке порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров.

Цель диссертационной работы – совершенствование процесса управления ресурсами пожарной охраны при принятии управленческих решений по сосредоточению пожарных подразделений для тушения крупных пожаров.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Анализ задач управления ресурсами пожарной охраны при организации тушения крупных пожаров, включая анализ методов разработки оптимизационных моделей управления и их информационных ресурсов.

2. Разработка многокритериальной модели и алгоритма для создания порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны при тушении крупных пожаров с учетом слаженности совместной работы пожарных подразделений.

3. Внедрение модели и алгоритма в процедуру принятия управленческих решений при разработке порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров.

Научная новизна. В диссертации впервые получены следующие научные результаты:

– разработана мультипликативная модель многокритериального выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов. Отличительной особенностью модели является формализация относительной важности критериев набором логарифмических коэффициентов, позволяющим выполнить расчет весов

критериев в их мультипликативной свертке для ранжирования вариантов в порядке их предпочтительности;

– разработан алгоритм разработки рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, включающий в себя следующие этапы: 1) построение множества парето-оптимальных пар источников ресурса; 2) формирование множества допустимых вариантов порядка сосредоточения дополнительных ресурсов пожарной охраны; 3) выбор наиболее предпочтительного варианта. Алгоритм основан на мультипликативной модели многокритериального выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов – источников ресурсов и, в отличие от известных, позволяет определить рациональный порядок сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии механизмов управления ресурсами пожарной охраны в особом режиме их функционирования, предусматривающем снижение ресурсного потенциала системы управления пожарными подразделениями в сравнении с планируемыми значениями при занятости части ресурсов для тушения крупных пожаров.

Практическая значимость работы состоит в применении результатов исследования при планировании действий пожарных подразделений в части формирования расписания выезда – порядка сосредоточения для тушения крупных пожаров.

Методология и методы исследования. Методологической основой исследования являются методы теории управления организационными системами, используемые при построении, анализе и внедрении оптимизационных моделей в процесс управления, а именно: методы теории вероятностей, используемые при оценке вероятности возникновения пожара за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара; теории многокритериальной оптимизации в части построения мультипликативной модели для оценки относительной важности критериев выбора; методы теории расписаний, примененные при формировании порядка сосредоточения ресурсов пожарной

охраны для тушения крупных пожаров; методы корреляционного и дисперсионного анализа, используемые для разработки критериев предпочтительности источников ресурса; методы теории множеств и теории алгоритмов.

На защиту выносятся:

– многокритериальная модель для информационного обеспечения процесса разработки рационального порядка сосредоточения пожарных подразделений при тушении крупных пожаров;

– алгоритм разработки рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров;

– процедура принятия управленческих решений при разработке порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров.

Соответствие паспорту научной специальности. Научные результаты, полученные в ходе исследования, соответствуют п. 3 «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления в организационных системах» паспорта научной специальности 2.3.4. Управление в организационных системах.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных научных результатов подтверждена корректным использованием теоретических методов исследования и сопоставлением разработанной мультипликативной модели с ее известным аналогом на предмет соблюдения принципов теории относительной важности критериев, согласованностью полученных научных результатов с известными результатами других авторов.

Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на международных научных конференциях: XXX, XXXI, XXXII Международной научно-технической конференции «Системы безопасности» (г. Москва, 2021 г., 2022 г., 2023 г.), IX Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов». (г. Иваново, 2022 г.), Всероссийской научно-технической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов» (г. Иваново, 2024 г.).

Внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы используются:

– в Главном управлении пожарной охраны и АСС МОБ СР Вьетнам при решении задач эффективного сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров;

– в учебном процессе Института пожарной безопасности МОБ СР Вьетнам при изучении дисциплин «Пожарная тактика» и «Информационная коммуникация в пожарно-спасательной работе»;

– в учебном процессе Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при изучении дисциплин «Теория информационных процессов и систем», «Моделирование процессов и систем», преподаваемых на факультете пожарной и техносферной безопасности.

Реализация результатов исследования подтверждается актами внедрения (Приложение А).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 10 работ, из них 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК России, 7 работ в других научных изданиях, включая свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных «Информационные ресурсы для поддержки принятия решений при организации тушения крупных пожаров».

Личный вклад автора. В совместных публикациях результаты, связанные с анализом задач управления ресурсами пожарной охраны и разработкой мультипликативной модели и алгоритма сосредоточения дополнительных ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, а также применения процедуры принятия управленческих решений на примере провинции Лангшон, получены автором лично.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 100 наименований, 2 приложений. Общий объем диссертации составляет 129 страниц. Диссертация содержит 12 рисунков и 25 таблиц.

ГЛАВА 1. АНАЛИЗ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ ПРИ ОРГАНИЗАЦИИ ТУШЕНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ

С точки зрения теоретических положений управления в организационных системах в данном исследовании на макроуровне рассматривается система обеспечения пожарной безопасности и одна из основных ее подсистем – система управления ресурсами пожарной охраны, основной целью которой является разработка и реализация процедур принятия решений по управлению ресурсами пожарной охраны. Здесь под системой обеспечения пожарной безопасности будем понимать совокупность ресурсов пожарной охраны и мероприятий правового, организационного, экономического, социального и научно-технического характера, направленных на профилактику пожаров, их локализацию и ликвидацию с целью минимизации ущерба для человека, общества и государства в целом¹.

В свою очередь, управление ресурсами пожарной охраны – это совокупность процедур принятия управленческих решений, обеспечивающих выполнение мероприятий правового, организационного, экономического, социального, а также научно-технического характера, для достижения основной цели системы обеспечения пожарной безопасности, заключающейся в снижении ущерба от пожаров. При этом ущерб от пожаров включает в себя жертвы пожара и материальные потери, являющиеся следствием воздействия на людей и материальные ценности опасных факторов пожара и их вторичных проявлений. Снижение ущерба от пожаров достигается путем решения двух основных задач: 1) снижение количества пожаров. Для решения данной задачи используются ресурсы пожарной охраны, направленные на реализацию профилактических мероприятий; 2) снижение ущерба от возникшего пожара. Для решения этой задачи

¹ Федеральный закон от 22 июля 2008 года №123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

используются ресурсы пожарной охраны, направленные на тушение пожара. Не умаляя важности задач управления ресурсами пожарной охраны, используемыми системой управления для реализации мероприятий профилактического характера, данное исследование посвящено развитию теоретических положений управления ресурсами пожарной охраны при тушении крупных пожаров.

Ресурсы пожарной охраны, используемые для тушения пожаров, условно можно разделить на три основных вида: 1 – ресурсы, связанные с использованием первичных средств пожаротушения; 2 – ресурсы систем и средств автоматического и автоматизированного тушения пожара; 3 – привозные ресурсы пожарной охраны: та часть ресурсов, которая распределена по территории государства и доставляется к месту пожара с использованием мобильных средств пожаротушения. Стоит отметить, что первые два вида ресурсов используются при тушении пожара на его начальной стадии развития. Если данных ресурсов по тем или иным причинам оказалось недостаточно для локализации и ликвидации пожара, и он принял крупные размеры (площадь пожара), то в этом случае задействуется третий вид ресурсов. Привозные ресурсы пожарной охраны распределены по территории государства пропорционально рискам возникновения и развития пожаров и привлекаются к тушению пожара согласно заранее определенному порядку, который формируется на этапе стратегического планирования действий по тушению пожара. Для каждого участка (района, провинции) государства имеется набор ресурсов, которые первостепенно используются для тушения пожара. Однако на практике существуют пожары, для локализации и ликвидации которых недостаточно первостепенно привлекаемых ресурсов, тогда система управления ресурсами переходит в особый режим функционирования, заключающийся в необходимости задействования для тушения пожара ресурсов пожарной охраны из соседних районов (провинций). При этом учитывается, что в районах, из которых временно изъяты ресурсы, могут возникнуть пожары, и их тушение будет происходить меньшим от запланированного количеством ресурсов. Таким образом, пожары, которые не могут быть локализованы и ликвидированы первостепенными привозными ресурсами пожарной охраны (то есть требующие

для тушения дополнительных ресурсов), будем считать крупными. Процедура принятия решения о задействовании дополнительных ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров является объектом данного исследования, а предметом исследования являются модели и алгоритмы, используемые для разработки порядка сосредоточения дополнительных ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров.

1.1. Анализ показателей функционирования системы обеспечения пожарной безопасности в провинциях Вьетнама

Для анализа системы обеспечения пожарной безопасности необходимо рассмотреть общую социально-экономическую характеристику Вьетнама, включая сведения о крупных пожарах и организационной структуре управления ресурсами пожарной охраны с учетом способов оценки ее сложности. Результаты решения практических задач, связанных с управлением ресурсами пожарной охраны, являются практической основой исследования.

1.1.1. Общая характеристика Вьетнама

Социалистическая Республика Вьетнам имеет территорию более 331 тыс. кв. км, а население к 2023 г. достигло 100,3 млн человек [81–84], и имеет многоуровневую систему административно-территориального деления, включает в

себя 6 экономических кластеров: Северный Мидлендс и горные провинции, Дельта Хонгхи, Центральное побережье, Центральное нагорье, Юго-Восточной и Дельта Меконга. На последнем административно-территориальном уровне Вьетнам делится на 63 провинции, 5 из которых являются крупными городами Вьетнама (Ханой, Хошимин, Хайфон, Дананг, Кантхо) (таблица 1.1) [81].

Таблица 1.1 – Кластеры и провинции Вьетнама

№ кластера	Наименование	Входящие в кластер провинции
Кластер 1	Северный Мидлендс и горные провинции состоят из четырнадцати провинций	ЛайЧау (1), ЛаоКай (2), ХаЗанг (3), КаоБанг (4), ДьенБьен (5), ШонЛа (6), ЙенБаи (7), ТуенгКуанг (8), БакКан (9), ЛангШон (10), ФуТхо (11), ТхайНгуен (13), БакЗанг (14) и ХоаБинь (24)
Кластер 2	Дельта Хонгхи (Дельта Красной реки) состоит из двух городов центрального подчинения Ханой, Хайфон и девяти провинций	ВингФук (12), БакНинь (15), КуангНинь (17), ХайЗыонг (16), ХынгИен (18), ТхайБинь (20), ХаНам (21), НамДинь (22) и НиньБинь (23)
Кластер 3	Центральное побережье состоит из одного города центрального подчинения ДаНанг и тринадцати провинций	ТханьХоа (25), НгхеАн (26), ХаТинь (27), КуангБинь (28), КуангЧй (29), ТхьяТхиенХуе (30), КуангНам (32), КуангНгай (34), БиньДинь (36), ФуИен (37), КханьХоа (39), НиньТхуан (42) и БиньТхуан (43)
Кластер 4	Центральное нагорье состоит из пяти провинций	КонТум (33), ЗаЛай (35), ДакЛак (38), ДакНонг (40) и ЛамДонг (41)
Кластер 5	Юго-Восточный состоит из одного города центрального подчинения Хошимин и пяти провинций	БиньФуок (44), ДонгНай (45), Бариа ВунгТау (46), ТайНинь (47), БиньЗыонг (48)
Кластер 6	Дельта Меконга состоит из одного города центрального подчинения КанТхо и двенадцати провинций	ЛонАн (50), ТиенЗанг (51), ДонгТхап (52), ВингЛонг (53), БенТре (54), ХауЗанг (56), ТраВинь (57), АнЗанг (58), ШокТранг (59), БакЛьеу (60), КиенЗанг (61), КаМау (62).

В настоящее время во Вьетнаме решением правительства принята следующая классификация городов: 88 городов провинциального подчинения и 833 городских района. Более 38 % населения Вьетнама, что соответствует 38,6 млн человек, живет в городах [82].

Рост экономики Вьетнама обуславливает рост потенциала возникновения крупных пожаров, что определяет необходимость рассмотрения процедур принятия решений по сосредоточению ресурсов пожарной охраны.

1.1.2. Анализ динамики показателей пожарной безопасности

История Вьетнама – это история успешного экономического развития. Экономические реформы, проводимые с 1986 года, в сочетании с благоприятными глобальными тенденциями помогли Вьетнаму за короткий период превратиться из беднейшей страны мира в страну с доходами выше среднего мирового уровня.

Таблица 1.2 – Пожарная обстановка во Вьетнаме за период 2014–2023 гг.

Год	ВВП (1000 млрд. донг)	Рост ВВП (%)	Пожаров		Крупных пожаров	
			Количество	Ущерб (млрд. донг)	Количество	Ущерб (млрд. донг)
2014	2695,8	6,42	2375	1307,0	1688	907,8
2015	2875,9	6,99	2792	1498,3	1803	1139,9
2016	3054,5	6,69	3006	1240,1	1937	931,8
2017	3262,5	6,94	4074	2120,0	2429	1477,0
2018	3493,4	7,47	4047	2232,1	2501	1424,0
2019	3738,5	7,36	3790	1527,2	2639	1015,3
2020	3847,2	2,87	2764	932,0	2341	350,9
2021	5115,8	2,56	2245	374,4	1984	280,0
2022	5545,7	8,02	3234	634,0	2745	576,4
2023	10221,8	5,05	3440	878,0	3176	137,5

В период с 2014 г динамика ВВП Вьетнама значительно возросли. В общем росте добавленной стоимости всей экономики сектор сельского хозяйства, лесного хозяйства и рыболовства увеличился на 3,83 %, обеспечив 8,84 %; сектор промышленности и строительства увеличился на 3,74 %, внося 28,87 %; сектор услуг увеличился на 6,82 %, внося 62,29 % [61]. Факт роста ВВП страны обуславливает и увеличение количества пожаров и крупных пожаров. Сравнение экономических показателей с показателями пожарной безопасности представлены в таблице 1.2.

За последние 10 лет вьетнамская экономика достигла значительных успехов в росте ВВП: с 2014 г. наблюдается его стабильный рост со средним годовым темпом около 6–7 %. Вьетнам переориентировал свою экономическую структуру с сельского хозяйства на промышленность, услуги и разведку. Такие секторы экономики, как туризм, информационные технологии и промышленное производство, внесли значительный вклад в рост ВВП страны. Это привело к развитию инфраструктуры и технологий, Вьетнам вложил значительные средства в улучшение транспортной, энергетической и телекоммуникационной инфраструктуры, помогая содействовать экономическому развитию. Кроме того, развитие информационных технологий также играет важную роль в повышении эффективности производства и качества услуг. Сопоставление роста ВВП с количеством пожаров представлена на рисунке 1.1.

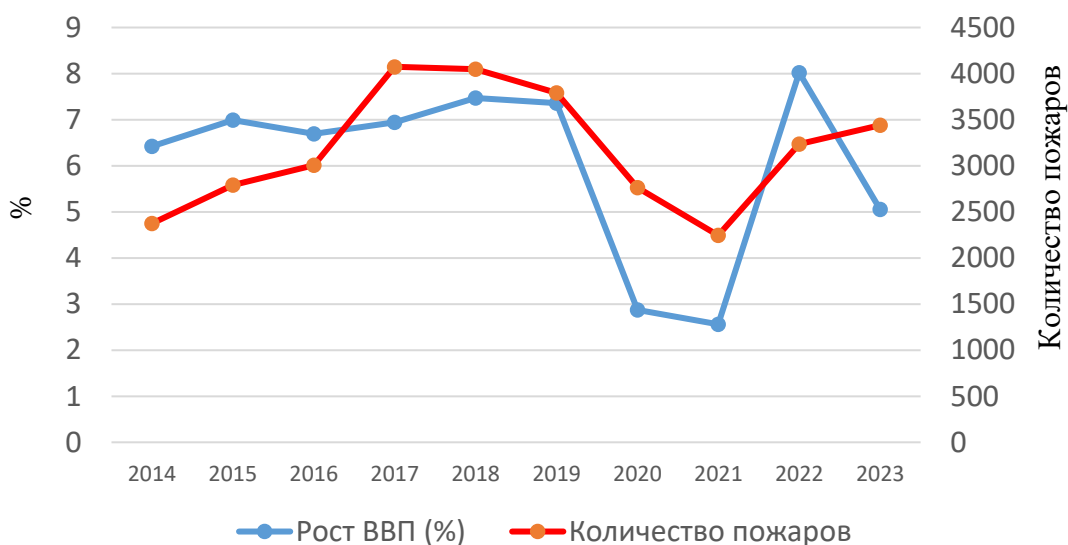


Рисунок 1.1 – Сопоставление роста ВВП с количеством пожаров

Фактически, по мере развития экономики и общества потенциальный риск пожара и взрыва становится выше, сложнее, с непредсказуемыми и труднопредсказуемыми последствиями. Кроме того, в контексте глобализации, все более глубокой международной интеграции наряду с движением рыночного механизма, процессом индустриализации, урбанизации, изменением климата и экстремальными погодными условиями увеличиваются риски пожара, взрыва, стихийных бедствий и эпидемий для всех стран мира, включая Вьетнам. Поэтому быстрое развитие вьетнамской экономики в целом и темпы роста ВВП в частности привели к увеличению промышленной производственной деятельности, расширению масштабов заводов и предприятий, увеличению спроса на энергию и топливо; быстрому развитию инфраструктуры. Скорость урбанизации, индустриализации и модернизации не были синхронизированы с противопожарным оборудованием и человеческими ресурсами для предотвращения и тушения пожаров. Количество пожаров во Вьетнаме, в последние годы, быстро возросло, нанося значительный ущерб людям и имуществу.

Коэффициент корреляции при сравнении роста ВВП и количества пожаров составит:

$$k(x, y) = \frac{\Sigma(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\Sigma(x-\bar{x})^2(y-\bar{y})^2}} = 0,75, \quad (1.1)$$

где x – ВВП Вьетнама; \bar{x} – среднее ВВП Вьетнама за последние 10 лет; y – количество крупных пожаров Вьетнама; \bar{y} – среднее количества крупных пожаров Вьетнама за последние 10 лет.

Сопоставление динамики ВВП с количеством крупных пожаров представлена на рисунке 1.2.

В 2020–2021 гг. во Вьетнаме разразилась эпидемия Covid, экономика замедлилась, все заводы и промышленные парки по всей стране практически прекратили работу, что привело к резкому снижению количества крупных пожаров

в это время. Однако при коэффициенте корреляции ВВП и количества крупных пожаров, достигающем 0,75, связь между этими двумя факторами относительно высока.

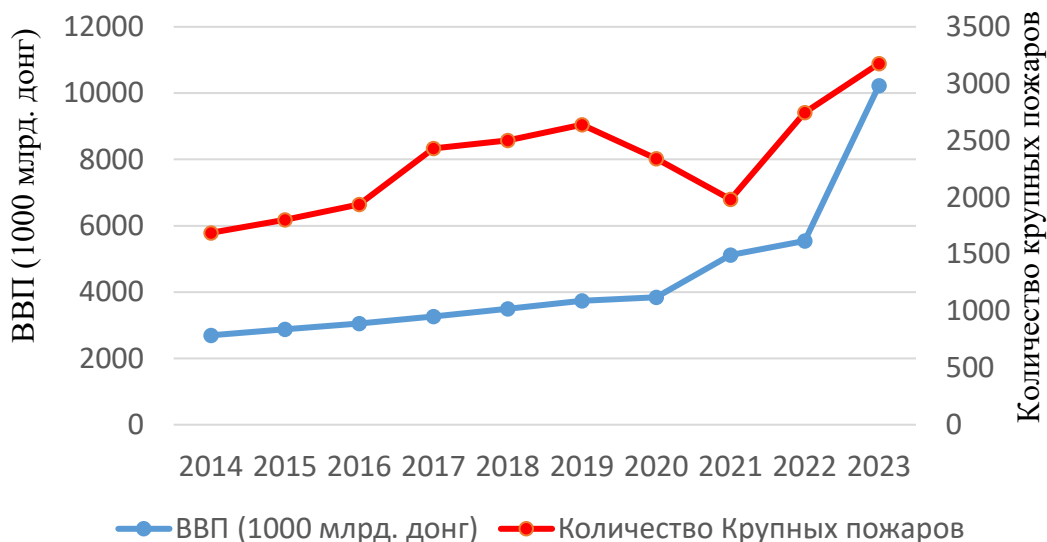


Рисунок 1.2 – Сопоставление динамики ВВП с количеством пожаров

Таким образом, рост ВВП может принести много пользы экономике, но одновременно с этим стремительное экономическое развитие Вьетнама является серьезным вызовом для структур, ответственных за организацию пожарной профилактики и проведение спасательных работ. Оценка фактической ситуации с пожарами и прогноз на будущее является неотложным вопросом, на который необходимо обратить внимание правительства и пожарной охраны.

1.2. Организационная структура противопожарной службы Вьетнама

В соответствии со статьей 47 «Закона о пожарной безопасности СРВ» от 29 июня 2001 года пожарная охрана и аварийно-спасательная служба входят в состав

Министерства общественной безопасности (далее – МОБ). Структура этих служб определяется Правительством СРВ.

1.2.1. Типовая организационная структура управления ресурсами пожарной охраны

В соответствии с Постановлением правительства № 01/2018/ND-СР, определяющим функции, задачи, полномочия и организационную структуру МОБ, в структуру МОБ Вьетнама входят: Главное управление пожарной охраны и аварийно-спасательной службы (далее – ГУПО и АСС), Институт пожарной безопасности и 63 отдела противопожарной охраны и АСС при управлениях МОБ во всех провинциях или городах.

Основными задачами ГУПО по управлению ресурсами АСС являются [26]:

- осуществление государственного управления в области пожарной безопасности. ГУПО и АСС осуществляет государственную власть в области предупреждения и тушения пожаров, а также поисково-спасательных работ в целях защиты жизни и имущества людей в чрезвычайных ситуациях, содействия обеспечению безопасности и поддержания общественного порядка и безопасности на всей территории страны. ГУПО и АСС осуществляет права государственного управления посредством деятельности по разработке, обнародованию и организации реализации правовых документов; проверки и надзора за реализацией и устранения нарушений в пределах своих полномочий; лицензирования, распространения, обучения и проведения тушения пожаров и спасательных работ в чрезвычайных ситуациях и по запросу;
- своевременное пожаротушение при возникновении пожара. Для эффективного выполнения функций по тушению пожаров ГУПО и АСС необходимо содержать многочисленную и высококвалифицированную по навыкам

группу пожарной охраны и спасательной службы, полностью оснащенную современными и практичными средствами. В то же время, когда возникает чрезвычайная ситуация, ГУПО и АСС немедленно принимает решения и оперативно реагирует, чтобы свести к минимуму наибольший ущерб людям и имуществу. Процесс реагирования на чрезвычайные ситуации включает следующие этапы:

1. Получение и проверка информации. Информационный центр ГУПО и АСС – это место, куда поступают экстренные вызовы. Дежурные службы информации будут отчитываться перед руководителями на всех уровнях и проводить проверку для обеспечения точности информации и сбора исходных данных, таких как: объекты, место возгорания, горючие материалы, транспорт, источники воды и т. д.

2. Принятие решений о мобилизации сил и средств. После проверки источника информации Пожарная служба, управляющие объектом, где произошел пожар и который находится ближе всего к месту возгорания, будут немедленно отправлены на место происшествия (согласно правилам, не менее двух пожарных машин).

3. Проведение действий по тушению пожара. Должностные лица пожарной охраны обеспечивают принятие решений по использованию ресурсов пожарной охраны с наименьшим ущербом.

4. Восстановление последствия пожара, расследование причины пожара, организация оценок и накопление опыта действий по тушению пожара:

- создание и управление силами пожарной охраны и АСС страны; оборудование и управление средствами пожарной охраны. ГУПО и АСС является агентством при МОБ, ответственным за создание и управление противопожарными и спасательными силами на всех уровнях. Противопожарные и спасательные силы Вьетнама организованы единообразно от центрального до местного уровня для обеспечения наиболее эффективного государственного управления противопожарной охраны и спасения людей с целью предотвращения и своевременного реагирования на все опасные ситуации и инциденты. В настоящее время, в дополнение к противопожарной охране и спасательной службы милиции, во Вьетнаме также

существуют пожарные силы гражданской обороны, низовые пожарные силы и профессиональные пожарные силы, которые обучены и готовы выполнять задачи при возникновении чрезвычайной ситуации. Помимо ресурсов, ГУПО и АСС управляет, поставляет, обслуживает и руководит использованием противопожарного и спасательного оборудования для обеспечения наивысшей и наиболее оптимальной эффективности работы;

- организация исследований и применение научно-технических достижений в области пожарной безопасности и АСС. Исследование и применение науки и техники в области предотвращения пожаров, тушения пожаров и спасения является важной и необходимой задачей. Институт научно-технического исследования пожарной безопасности ГУПО и АСС регулярно содействует научно-исследовательской деятельности, обучению кадров и разработке противопожарного, противопожарного и спасательного оборудования, параллельно расширяя сотрудничество с другими компаниями и подразделениями в стране и за рубежом. В частности, в период революции 4.0 применение науки и техники в целом и информационных технологий в частности в области предотвращения пожаров, тушения пожаров и спасения обеспечивает высокую эффективность, своевременное прогнозирование и раннее обнаружение пожаров, принятие эффективных решений по тушению пожаров, минимизацию использования ресурсов и минимизацию риска пожара и взрыва, ущерба людям и имуществу.

Общая организационная структура для управления ресурсами пожарной охраны представлена на рисунке 1.3.

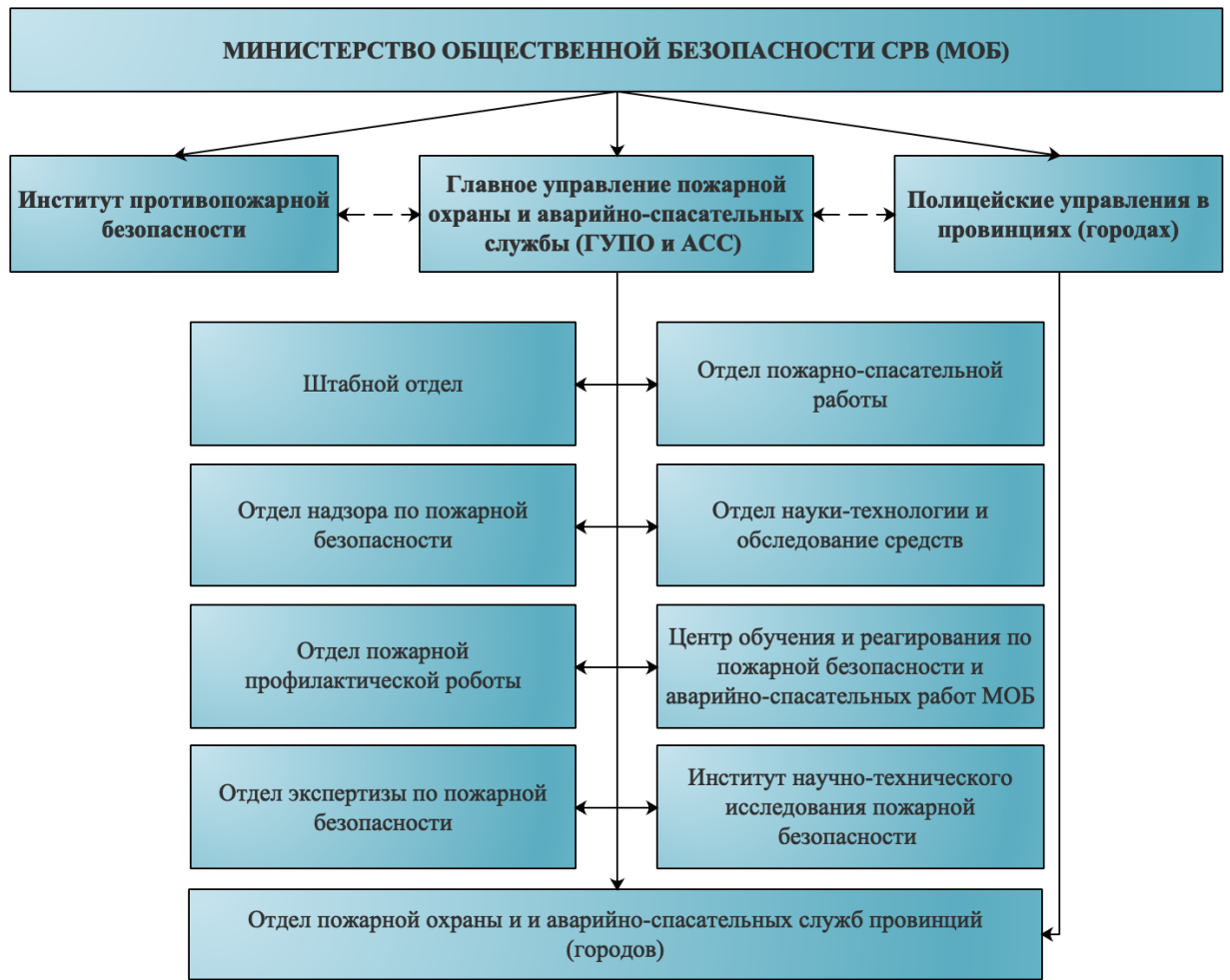


Рисунок 1.3 – Организационная структура управления противопожарной и аварийно-спасательной службы МОБ Вьетнам

На рисунке 1.4 представлена организационная структура отдела пожарной охраны и аварийно-спасательных служб провинций и городов Вьетнама [20, 21].

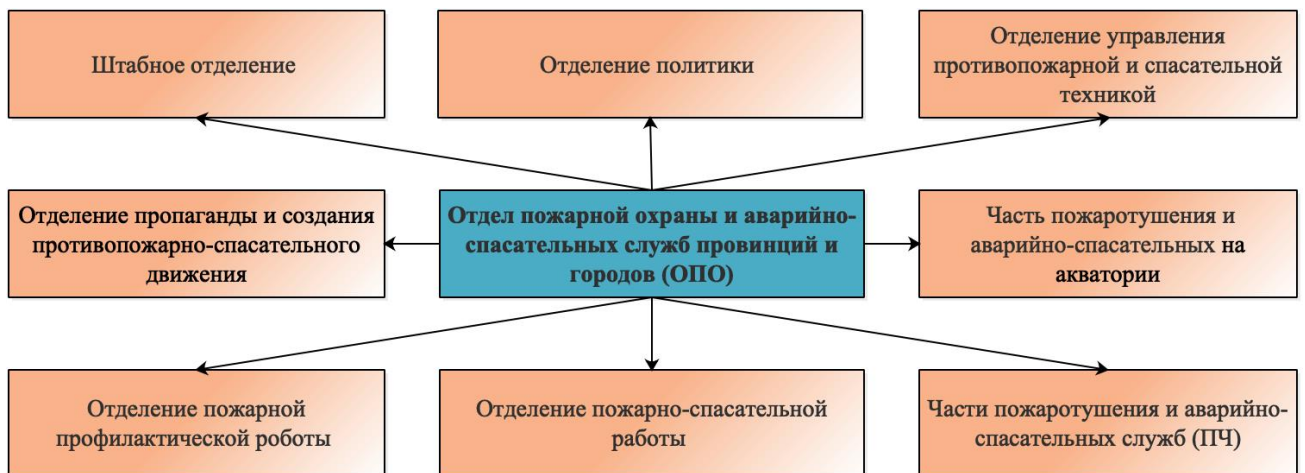


Рисунок 1.4 – Организационная структура отдела пожарной охраны и аварийно-спасательных служб во Вьетнаме

На рисунке 1.5 представлена организационная структура пожарных и аварийно-спасательных частей Вьетнама [20, 21].

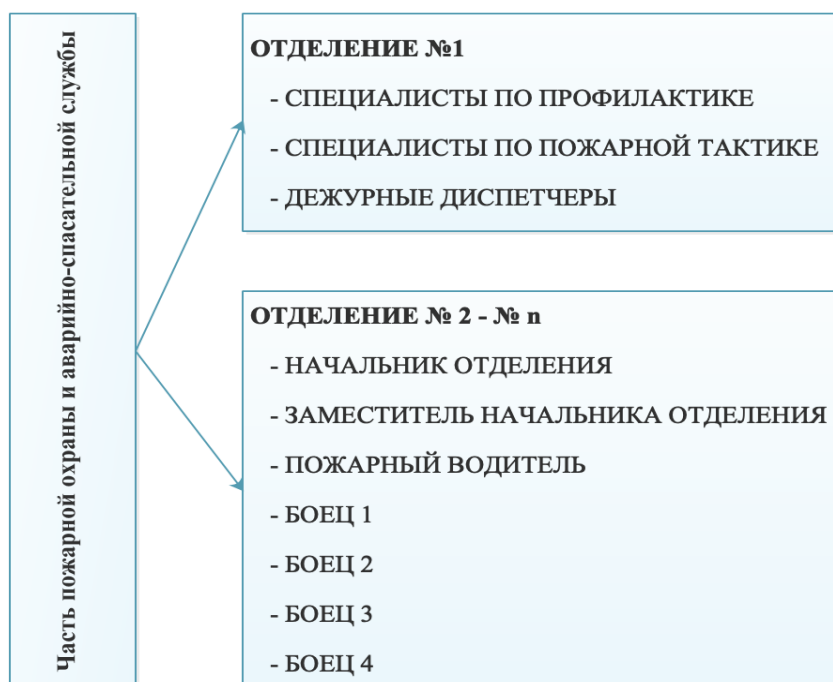


Рисунок 1.5 – Организационная структура пожарных и аварийно-спасательных частей во Вьетнаме

Стоит отметить, что пожарные части во Вьетнаме созданы недавно, количество личного состава ограничено, как и оснащение ресурсами (пожарной техникой, пожарно-техническим вооружением и средствами защиты).

1.2.2. Категорирование структур управления пожарными подразделениями при тушении крупных пожаров

Сложность системы управления обусловлена многозадачностью операционной деятельности, трудностью ее оперативного управления [74]. Для

эффективной организации пожаротушения крупных пожаров необходим соответствующий уровень сложности системы управления, однако высокая сложность может существенно затруднить обеспечение устойчивости и эффективности организации, особенно в нестабильных условиях, которые присуще таким пожарам.

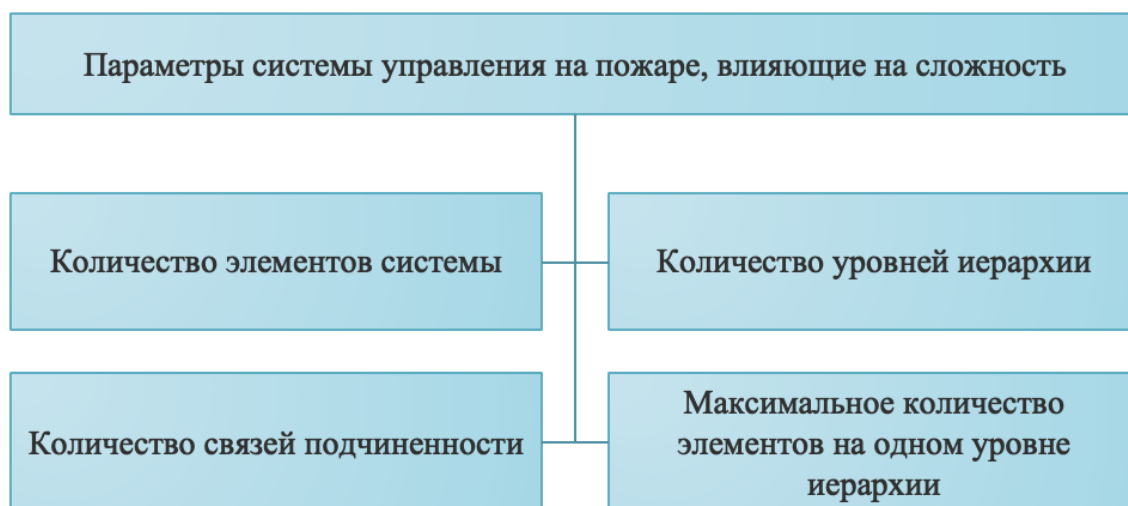


Рисунок 1.6 – Параметры системы управления, влияющие на сложность

При оценке степени сложности системы управления пожарно-спасательными подразделениями предлагается анализировать ряд параметров, которые представлены на рисунке 1.6.

В настоящей работе предлагается представление системы управления в виде графовой модели. Выбор данного подхода обусловлен эффективным применением данной методологии в различных отечественных и зарубежных исследованиях. В настоящем исследовании использование теории графов позволяет сохранить ключевые параметры, используемые при анализе структуры управления. Так, по аналогии с работой [74], представим систему управления на пожаре в виде графа: множество вершин, представляющих собой элементы системы управления (руководитель тушения пожара, начальник сектора тушения пожара, начальник участка и т.п.); множество ребер, представляющих собой связи подчиненности.

Представление модели управления в виде графа позволяет сохранить необходимые для решения задачи определения сложности параметров: связь элементов и их количество.

Элементы системы управления представляются в виде вершин графа, связи подчиненности в виде ребер. В приложении А настоящего диссертационного исследования представлена база данных 20 модельных структур, охватывающая 97 % пожаров, произошедших за последние 5 лет.

Известны работы, в которых обширно исследованы современные методы связи и управления в сфере пожаротушения. К одной из таких систем связи относится «Siren» [74], разработка которой основана на применении теории графов. Однако вышеизложенные исследования не решают задачу, связанную с оценкой сложности системы управления на крупном пожаре. В свою очередь, степень сложности системы управления можно характеризовать следующими показателями:

- а) N_X – количество вершин графа (элементов управления);
- б) N_Y – количество ребер графа (связей подчиненности);
- в) N_A – количество уровней иерархии;
- г) N_B – максимальное количество вершин графа одного уровня.

Введенные характеристики имеют определенную смысловую нагрузку. Так, количество вершин графа N_X определяет количество элементов системы управления, на которые возлагаются определенные задачи. Количество ребер графа N_Y показывает подчиненность каждого из элементов и связность системы. Количество уровней иерархии N_A характеризует степень «инертности» системы при передачи управляющих воздействий и информации о пожаре. Максимальное количество вершин графа одного уровня N_B характеризует степень раздробленности системы и необходимости учета информации о каждом из ее компонентов, что при большом значении может затруднять принятие оперативных управленческих решений.

Для структур, представленных в приложении А настоящего диссертационного исследования, в таблице 1.3 представлены вышеуказанные показатели систем управления на пожаре.

Таблица 1.3 – Показатели модели системы управления на пожаре

	p	N_X	N_Y	N_A	N_B
k		1	2	3	4
Система управления №1	1	35	70	6	21
Система управления №2	2	21	45	4	13
Система управления №3	3	15	32	3	9
Система управления №4	4	5	4	2	4
Система управления №5	5	9	8	3	6
Система управления №6	6	4	3	2	3
Система управления №7	7	14	12	3	10
Система управления №8	8	20	26	5	12
Система управления №9	9	25	32	5	14
Система управления №10	10	42	82	6	26
Система управления №11	11	30	58	6	18
Система управления №12	12	13	26	4	8
Система управления №13	13	24	30	5	12
Система управления №14	14	3	2	2	2
Система управления №15	15	46	92	6	29
Система управления №16	16	12	10	4	6
Система управления №17	17	32	64	6	20
Система управления №18	18	15	13	3	11
Система управления №19	19	10	9	3	7
Система управления №20	20	44	90	6	28
Среднее значение		20,95	35,4	4,2	12,95

Введем понятие нормированного значения $H_{кр}$, характеризующего отношение показателя модели к усредненному по всей совокупности исследуемых моделей. Если $Q_{кр}$ – численное значение k -го показателя ($i = 1,2,3,4$) p -ой модели системы управления, то нормированное значение показателя $H_{кр}$ определяется по формуле (2):

$$H_{кр} = Q_{кр} / \langle Q_k \rangle, \quad (1.2)$$

где $\langle Q_k \rangle$ – значение k -го показателя, усредненное по всей совокупности.

Величина, равная относительной площади фигуры, ограниченной точками $H_{кр}$ на диаграмме пространства показателей $H_{кр}$, является количественной характеристикой степени сложности. Каждая пара соседних точек, размещенных на соответствующей оси координат, вместе с точкой начала координат образует треугольник. Площадь образовавшейся фигуры S_p для p -ой модели системы управления можно определить как сумму площадей треугольников по формуле:

$$S_p = 0,5(H_{p1}H_{p2} + H_{p2}H_{p3} + H_{p3}H_{p4} + H_{p4}H_{p1}). \quad (1.3)$$

Площадь фигуры, построенной при использовании средних значений $\langle Q_k \rangle$, обозначим S_o . Значение степени сложности p -й системы управления определим по формуле:

$$\Theta_p = 0,5s_p. \quad (1.4)$$

Количественная оценка пространственной сложности системы управления Ω представлена в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Количественные характеристики степени сложности структуры управления на пожаре

№ системы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Θ	2,79	1,11	0,57	0,08	0,20	0,05	0,38	0,89	1,18	3,71
№ системы	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Θ	2,17	0,53	1,04	0,03	4,38	0,28	2,48	0,44	0,24	4,15

Для дальнейшего учёта степени сложности систем управления на пожаре предлагается использовать следующую шкалу категорий сложности:

- 1 категория (простейшая, $\Theta \leq 0,3$);
- 2 категория (простая, $0,3 < \Theta \leq 1$);
- 3 категория (средней сложности, $1 < \Theta \leq 1,7$);

- 4 категория (сложная, $1,7 < \Theta \leq 2,5$);
- 5 категория (очень сложная, $\Theta > 2,5$).

Категорирование позволит отнести системы управления к группам сложности и проанализировать соответствие степени сложности обстановки на месте тушения пожара. Таким образом, произведем анализ категорий систем управления по сложности, а полученные данные представим в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Результаты категорирования структур управления

Категория сложности	Системы управления
Простейшая	№ 4, № 5, № 6, № 14, № 16, № 19
Простая	№ 3, № 7, № 8, № 12, № 18
Средней сложности	№ 2, № 9, № 13
Сложная	№ 11, № 17
Очень сложная	№ 1, № 10, № 15, 20

Таким образом, оценка степени сложности структуры управления является важным макропараметром для эффективной организации действий пожарно-спасательных подразделений, а также при проведении пожарно-тактических учений для повышения слаженности работы подразделений [74].

1.3. Анализ задач управления ресурсами пожарной охраны

Современные теоретические основы управления ресурсами в организационных системах построены на исследованиях российских ученых В. Н. Буркова и Д. А. Новикова [12–15, 51, 52] и определяют необходимость

создания механизмов управления, представляющих собой совокупность процедур принятия управленческих решений. Механизмы управления в организационных системах создаются с использованием оптимизационных и теоретико-игровых математических моделей проблемных ситуаций, возникающих при функционировании системы. Стоит отметить, что для управления ресурсами пожарной охраны при их сосредоточении для тушения крупного пожара требуется найти оптимальный в известном смысле слова порядок привлечения ресурсов пожарной охраны, поэтому при построении процедуры принятия решений требуется рассмотреть набор методов построения оптимизационных моделей. В соответствии с исследованиями Д. А. Новикова [52] для разработки оптимизационных моделей используются методы теории вероятностей, теория статистических решений, методы теории оптимизации, включая линейное и нелинейное программирование, методы многокритериальной оптимизации; дифференциальное исчисление при оптимальном управлении, а также методы дискретной математики, такие как теория графов и теория расписаний. Стоит отметить, что для решения практических задач управления обычно используется комбинация методов построения оптимизационных моделей. Например, при решении поставленной задачи, состоящей в формировании рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара, будут использоваться методы теории вероятностей для оценки возникновения пожара за время отвлечения ресурсов на тушение пожара в соседнем районе; теория расписаний, позволяющая выявить наиболее важные критерии, которые определяют порядок сосредоточения на основе парного сравнения парето-оптимальных источников ресурса пожарной охраны. Однако ведущее значение в данной комбинации методов построения оптимизационных моделей принадлежит теории относительной важности критериев и ее применению в многокритериальной оптимизации, а точнее, в прикладной ее части – теории многокритериального выбора решений.

1.3.1. Задачи управления ресурсами пожарной охраны и информационные ресурсы для их решения

Стоит отметить, что с развитием культуры сбора, хранения и обработки информационных баз данных о возникновении, развитии и тушении крупных пожаров результаты исследований, полученные с помощью методов теории многокритериального выбора, будут выступать эмпирическим базисом для развития методов управления ресурсами пожарной охраны. Поэтому в настоящее время теоретические положения управления дополнительными ресурсами пожарной охраны базируются на методах теории многокритериального выбора. Выполним анализ применения информационных ресурсов и теоретических моделей управления ресурсами пожарной охраны в мировом опыте.

Теория многокритериального выбора описывает поведение лица, принимающего решение (далее – ЛПР), при принятии решений на основе множества вариантов, критериев и оценок вариантов по критериям [89–100]. Стоит отметить, что данная теория используется для решения задач управления ресурсами пожарной охраны во всем мире, например, в Китае, Непале, Турции, Иране, Греции, Испании и других странах. При этом наиболее распространённым методом многокритериального выбора является аналитическая иерархия, основанная на оценках вариантов распределения ресурсов по линейной свертке критериев.

Анализ применения моделей теории многокритериального выбора решений показал, что на практике используется, как правило, объединение нескольких моделей в комбинированные процедуры многокритериального анализа. В таблице 1.6 представлены задачи управления ресурсами пожарной охраны и многокритериальные модели для их решения, авторы и страна, для которой была решена задача управления.

Таблица 1.6 – Многокритериальные модели в задачах управления ресурсами пожарной охраны (мировой опыт)

№	Краткое описание	Задача управления ресурсами	Авторы/Страна
1	Аналитическая иерархия процессов	Многокритериальный метод принятия решений на основе географических информационных систем (ГИС) для выбора городской пожарной бригады в городе Ухань, Китай	Yuncheng Jiang, Aifeng Lv, Zhigang Yan, Zhen Yang / Китай
2	Аналитическая иерархия процессов	Применение процесса аналитической иерархии (АИР) в интерфейсе ГИС для выбора подходящего места для пожара в городе Катманду, Непал	Pandav Chaudhary, Sachin Kumar Chhetri, Kiran Man Joshi, Basanta Man Shrestha, Prabin Kayastha / Непал
3	Простое аддитивное взвешивание	Применение многокритериальных моделей принятия решений в управлении лесными пожарами	Roya Abedi / Иран
4	Превосходство в рейтинге + нечеткий метод Дельфи	Оценка эффективности центров помощи в условиях стихийных бедствий и эпидемий с использованием многокритериальных методов принятия решений и ГИС	Hassan Ahmadi Choukolaei, Peiman Ghasemi, Fariba Goodarzian / Иран, Испания, Австрия
5	Аналитическая иерархия процессов	Инновационные вычислительные методы для принятия многокритериальных решений в контексте противопожарной защиты сооружений культурного наследия: теория	Iordanis A. Naziris, Chara Ch. Mitropoulou, Nikos D. Lagaros / Греция
6	Превосходство в рейтинге	Совместная многокритериальная оценка ценностей ландшафта для обоснования управления лесными пожарами	Gonzalo Gamboa, Iago Otero, Conchy Bueno, Etel Arilla, Helena Ballart, Laura Camprubi, / Испания
7	Аналитическая иерархия процессов	Оценка риска промышленных пожаров для окружающих уязвимых объектов с использованием многокритериального подхода к поддержке принятия решений и ГИС	Saadet Applause, Ercument Aksoy, Kudret Akpınar / Турция
8	Аналитическая иерархия процессов	Оценка риска лесных пожаров с использованием и интеграции аналитической иерархии на лесном предприятии Букак, Турция	Coban, H. O.; Erdin, C. / Турция
9	Аналитическая иерархия процессов	Многокритериальный выбор места для пожарных служб: взаимодействие с процессом анализа иерархии и информационной системы	Erden, T.; Coskun, M.Z. / Турция
10	Процесс нечеткой аналитической иерархии	Анализ рисков, возникающих от пожарных установок на рабочих местах, методом ранжирования	Fatih Yilmaz, Selcuk Alp, Beytullah Oz, Ahmetcan Alkoc / Турция

На рисунке 1.7 представлены наиболее распространённые комбинации многокритериальных моделей в сочетании с укрупнёнными задачами управления.

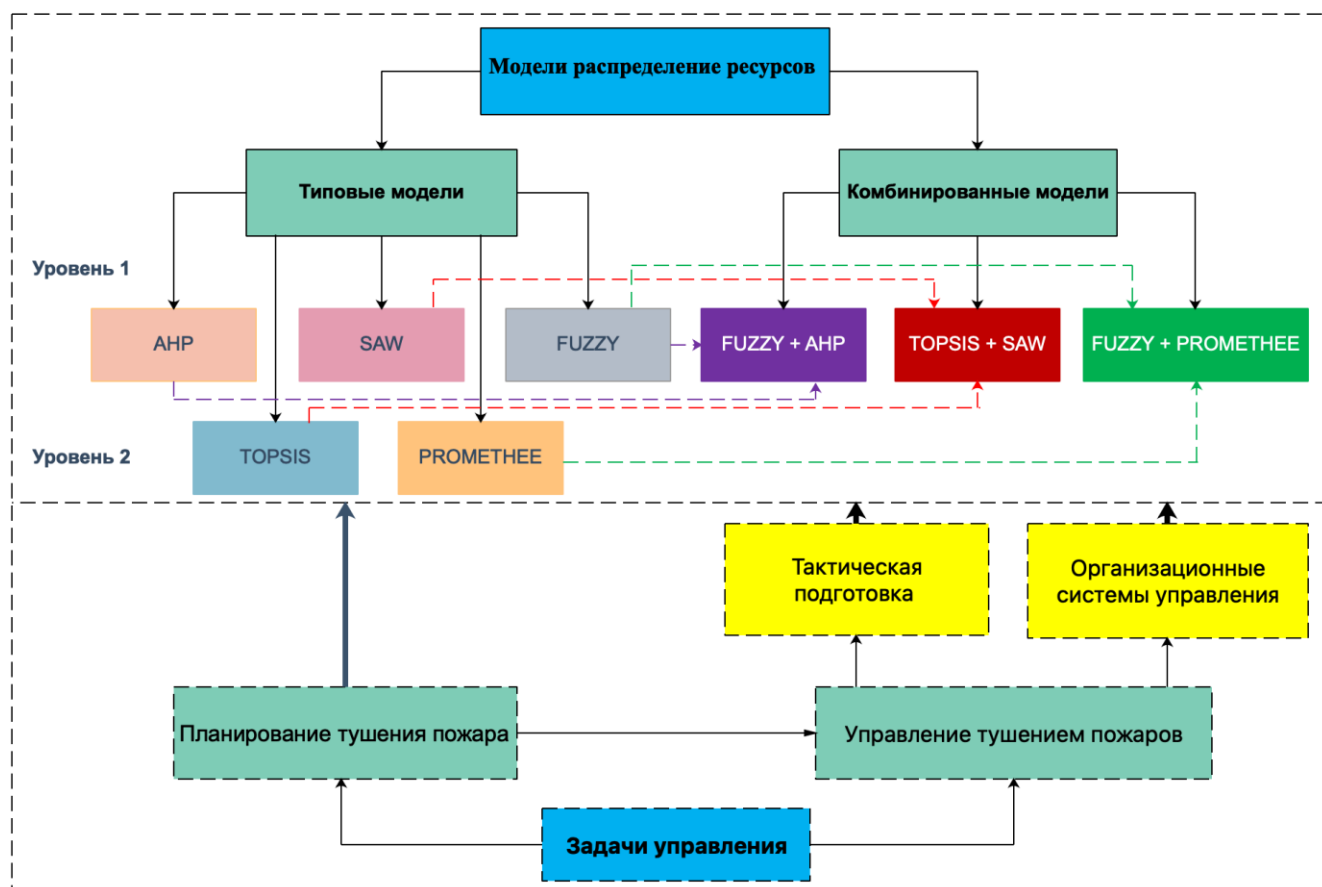


Рисунок 1.7 – Применяемые многокритериальные методы для управления пожарными подразделениями при тушении пожара

В Российской Федерации при решении задач управления ресурсами пожарной охраны используются комбинированные процедуры многокритериального анализа, основанные на теории относительной важности критериев (В. Д. Ногин) [53–60]. Основная идея данной теории заключается в том, что в результате парного сравнения двух парето-оптимальных альтернатив выявляется информация об относительной важности критериев, которая используется при модернизации исходного набора критериев в новый набор,

оценка альтернатив по новому набору критериев позволяет исключить из дальнейшего анализа хотя бы одну из парето-оптимальных альтернатив.

Для рассмотрения принципов выбора в данной теории разделим исходные критерии на два вида: активные и пассивные. Активные – это те критерии оценки, которые используются для расчета показателей информации об относительной важности. При этом на основе понятия оптимальности по Парето активные критерии делят на две группы: А – более важные критерии; В – менее важные критерии. С использованием оценок альтернатив по исходным активным критериям определяют два основных вида информации об относительной важности критериев: это коэффициент относительной важности, определённый на всей положительной части числовой прямой, и нормированный коэффициент относительной важности критериев, принадлежащий строгому интервалу от 0 до 1. Однако при выявлении связи между методами теории относительной важности критериев и лексикографических методов многокритериального анализа нормированный коэффициент важности принимает значения равные 0 и 1. Стоит отметить, что получить такие значения нормированного коэффициента (0 и 1) при парном сравнении парето-оптимальных альтернатив не представляется возможным.

Новый векторный критерий, построенный на основе информации об относительной важности критериев и путем изменения исходных критериев, формируется так, что критерии из группы А остаются без изменений, как и пассивные критерии, а критерии из группы В заменяют комбинациями критериев из группы А и критериев из группы В, при этом количество критериев в новом наборе не менее, чем количество критериев в исходном наборе.

Перечислим основные принципы, на которых строится многокритериальный выбор при реализации процедур многокритериального анализа, построенных на основе теории относительной важности критериев. Первый принцип заключается в том, что окончательный выбор должен производиться среди альтернатив оптимальных по Парето. Второй принцип позволяет ЛПР формализовать свои предпочтения путем парного сравнения парето-оптимальных альтернатив. Третий

принцип предусматривает возможность выполнения преобразований над исходными критериями в соответствии с количественной шкалой их измерения. Четвертый принцип определяет исключение невыбранной альтернативы, так что после преобразования над критериями формируется набор новых оценок альтернатив, по которым выбранная из пары альтернатива предпочтительнее невыбранной. Это достигается тем, что при формировании нового набора критериев исходные критерии из группы А, как и исходные пассивные критерии, остаются без изменения, а критерии из группы В заменяются новыми критериями путем их объединения с критериями из группы А с учетом информации об относительной важности. Стоит отметить, что по новым критериям, учитывающим их относительную важность, обе из исходных парето-оптимальных альтернатив равны по предпочтению.

Автор теории относительной важности критериев В. Д. Ногин разработал первую комбинированную процедуру многокритериального выбора – модернизированный метод целевого программирования, где на предварительном этапе критерии изменены с учетом коэффициентов относительной важности критериев, равных 0,5. Результаты модернизации данного метода явились побудительным мотивом для разработки набора комбинированных процедур выбора. Рассмотрим основные из них, используемые для управления ресурсами пожарной охраны.

Одной из первых оптимизационных моделей, построенной с использованием теории относительной важности критериев, можно считать модель, разработанную В. В. Тербневым и Д. В. Таракановым в 2008–2011 гг. [77–79]. Авторами была предложена оптимизационная модель для управления пожарными подразделениями при тушении крупных пожаров, позволяющая рационально распределять ресурсы пожарных подразделений по участкам и секторам тушения пожара. В данной модели авторы использовали коэффициенты аддитивной свертки критериев, которые оценивали важность задач, решаемых на участках и секторах пожара, с использованием нормированного коэффициента относительной важности критериев, то есть, впервые коэффициенты аддитивной свертки были

определены путем парного сравнения двух парето-оптимальных альтернатив распределения ресурсов пожарной охраны.

В период с 2013 по 2016 г. Н. Г. Топольский и Д. В. Тараканов разработали оптимизационную модель по выбору маршрутов движения пожарных внутри здания для его локализации и ликвидации в начальной стадии и, как следствие, минимизации вероятности возникновения крупного пожара [80]. Авторы решали обратную задачу, состоящую в том, что по коэффициентам регрессионной модели скорости движения пожарных внутри здания были определены значения коэффициентов относительной важности критериев для построения множества парето-оптимальных маршрутов движения, из которых предлагалось проводить окончательный выбор наилучшего маршрута.

Оптимизационная модель управления ресурсами пожарной охраны в рамках системы противопожарной защиты химических предприятий была разработана в период с 2016 по 2019 г. А. В. Смирновым и Р. Ш. Хабибулиным [70–72]. Данная модель основана на линейной свертке критериев, коэффициенты которой рассчитывались на основе показателей относительной важности с отличием от работ В. В. Терехнева и Д. В. Тараканова, заключающимся в том, что пара парето-оптимальных вариантов использования ресурсов объединяется в один вариант: для этого при модернизации исходных критериев в новые критерии заменяются не только критерии группы В, но и все активные критерии, то есть и более, и менее важные, пассивные остаются без изменения.

Комбинированная оптимизационная модель, построенная в период с 2018 по 2020 г. С. А. Шкуновым и Ю. С. Зайченко, основана на объединении коэффициентов эластичности модели Кобба-Дугласа и коэффициента относительной важности для построения множества парето-оптимальных распределений пожарных автоцистерн между территориальными подразделениями пожарной охраны при оснащении и переоснащении новой пожарной техникой – одним из важнейших видов ресурсов пожарной охраны [38–40]. Стоит отметить, что аналогичная задача решалась А. П. Сатиным, В. А. Аристарховым с использованием методов исследования операций [2–5].

1.3.2. Многокритериальные модели для решения задачи исследования

Основные оптимизационные модели, используемые для управления ресурсами пожарной охраны, построены на основе теории относительной важности критериев. Стоит отметить, что решаемая задача определения порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров должна быть основана на комбинации мультипликативной свёртки критериев и элементов теории относительной важности. Мультипликативный вид свертки критериев обусловлен тем, что критерии, используемые для оценки вариантов порядка сосредоточения, по своей физической природе схожи с вероятностью возникновения пожаров и ожидаемым ущербом от них, то есть целевая функция оценки вариантов, характеризуется понятием риска как многомерной величины, представляющей собой произведение вероятности возникновения деструктивного события на ущерб от него с затратами на снижение данного ущерба.

Применение мультипликативной свертки критериев в задаче управления ресурсами определяет два основных направления построения оптимизационной модели:

– первое направление состоит в изменениях исходной постановки задачи в части формирования критериев выбора таким образом, чтобы было возможно применить аддитивный вид свертки критериев. При этом будет потеряна смысловая нагрузка критериев выбора, что может привести к методической ошибке на этапе анализа результатов исследования;

– второе направление определяет изменение параметров относительной важности и процедур расчета нового набора критериев таким образом, чтобы они отвечали мультипликативной постановке задачи многокритериального выбора порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны. При этом необходимо оценить адекватность новой мультипликативной модели путем ее сравнения с

аддитивным аналогом и убедиться в выполнении принципов теории относительной важности критериев.

В диссертации выбрано второе направление, так как при его реализации сохраняется смысловая нагрузка критериев и полученные результаты развивают существующие научные положения теории относительной важности критериев, расширяя ее сферу практического применения при управлении ресурсами в организационных системах.

Выводы по главе 1

Первая глава исследования посвящена анализу задач управления ресурсами пожарной охраны во Вьетнаме и мировому опыту разработки методов для создания оптимизационных моделей управления ресурсами. В результате проведенного анализа получены следующие основные выводы:

1. Проведен анализ социально-экономических характеристик Вьетнама и связанных с ними показателей обстановки с пожарами во Вьетнаме с учетом динамики интегральных пожарных рисков. Показано, что в связи с ростом экономики Вьетнама наблюдается рост потенциала возникновения крупных пожаров, что определяет необходимость рассмотрения процедур принятия решений по сосредоточению дополнительных ресурсов пожарной охраны.

2. Выполнен анализ типовой организационной структуры для управления ресурсами пожарной охраны при тушении пожаров во Вьетнаме. Разработаны процедуры категорирования структур управления в зависимости от количества пожарных подразделений и связей между ними. Разработана база данных модельных структур управления, которая может быть использована в качестве инструмента информационной поддержки управления ресурсами при тушении

пожаров, а также для организации пожарно-тактических учений с целью повышения слаженности работы пожарных подразделений.

3. На основе рассмотрения мирового опыта решения задач управления ресурсами пожарной охраны проведен анализ методов для разработки оптимизационных моделей, создаваемых с целью формирования рациональных процедур принятия решений. На основе данного анализа с учетом специфики управления в организационных системах выбраны основные многокритериальные модели, дальнейшее теоретическое развитие которых позволит разработать алгоритм для формирования рационального порядка сосредоточения дополнительных ресурсов пожарной охраны с целью успешного тушения крупных пожаров в провинциях Вьетнама.

ГЛАВА 2. МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ПОРЯДКА СОСРЕДОТОЧЕНИЯ РЕСУРСОВ ПОЖАРНОЙ ОХРАНЫ ПРИ ТУШЕНИИ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ

Данная глава исследования посвящена разработке теоретических положений для информационной поддержки в процессе формирования рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны при тушении крупных пожаров. В качестве теоретической базы для исследования используются модели многокритериального выбора, основанные на известном принципе Парето: общая математическая модель учета относительной важности критериев в процессе многокритериального выбора и мультипликативная свертка критериев, применяемая для ранжирования источников ресурса в рациональном порядке их сосредоточения. Для использования выбранной комбинации моделей необходимо выполнить разработку мультипликативного аналога модели относительной важности критериев в процессе многокритериального выбора. Для этого должен быть формально определен логарифмический коэффициент относительной важности критериев. Для определения логарифмического коэффициента в исследовании использовалась простейшая задача многокритериального выбора, включающая два парето-оптимальных варианта и два критерия [53–59].

Разработано правило, позволяющее рассчитать веса критериев в мультипликативной свертке критериев на основе набора логарифмических коэффициентов относительной важности критериев. Разработан алгоритм построения порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны, включающий в себя следующие этапы: 1) построение множества парных сравнений парето-оптимальных пар источников ресурса; 2) формирование множества допустимых вариантов порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны; 3) выбор наиболее предпочтительного варианта порядка сосредоточения.

2.1. Разработка мультипликативной модели многокритериального выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов

При формализации процедур управления ресурсами пожарной охраны подразумевается, что принятие решений – это выбор одного или нескольких вариантов из исходного (допустимого) множества. Если выбор разумен и при его реализации учитывается не один, а несколько независимых или условно независимых критериев, то моделью процесса принятия решений в данном случае будет выступать задача многокритериального выбора.

Основная идея рассматриваемого подхода к моделированию процесса принятия решений состоит в выборе одного из двух парето-оптимальных вариантов и сведении задачи многокритериального выбора к однокритериальной. При этом выбор должен быть обоснован, то есть оценки по сформированному одному обобщенному критерию для выбранного варианта из пары парето-оптимальных должны быть лучше (предпочтительнее), чем оценки невыбранного варианта. Данный подход обусловлен стратегией аддитивной полезности, при которой лицо, выполняющее выбор, стремится снизить размерность задачи выбора путем обобщения критериев с учетом их важности в один критерий, затем получить обобщенные оценки вариантов и на их основе выполнить разумный выбор.

Основные этапы разработки мультипликативной модели и условия, предъявляемые к результатам каждого из этапов, представлены на рисунке 2.1. Стоит отметить, что данная модель справедлива лишь в том случае, если обобщенный критерий представляет собой мультипликативную свертку критериев. В свою очередь, для решения задачи построения порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров это справедливо, так как обобщенный критерий представляет собой величину риска как произведения условной вероятности успешного тушения пожара на ущерб от него.

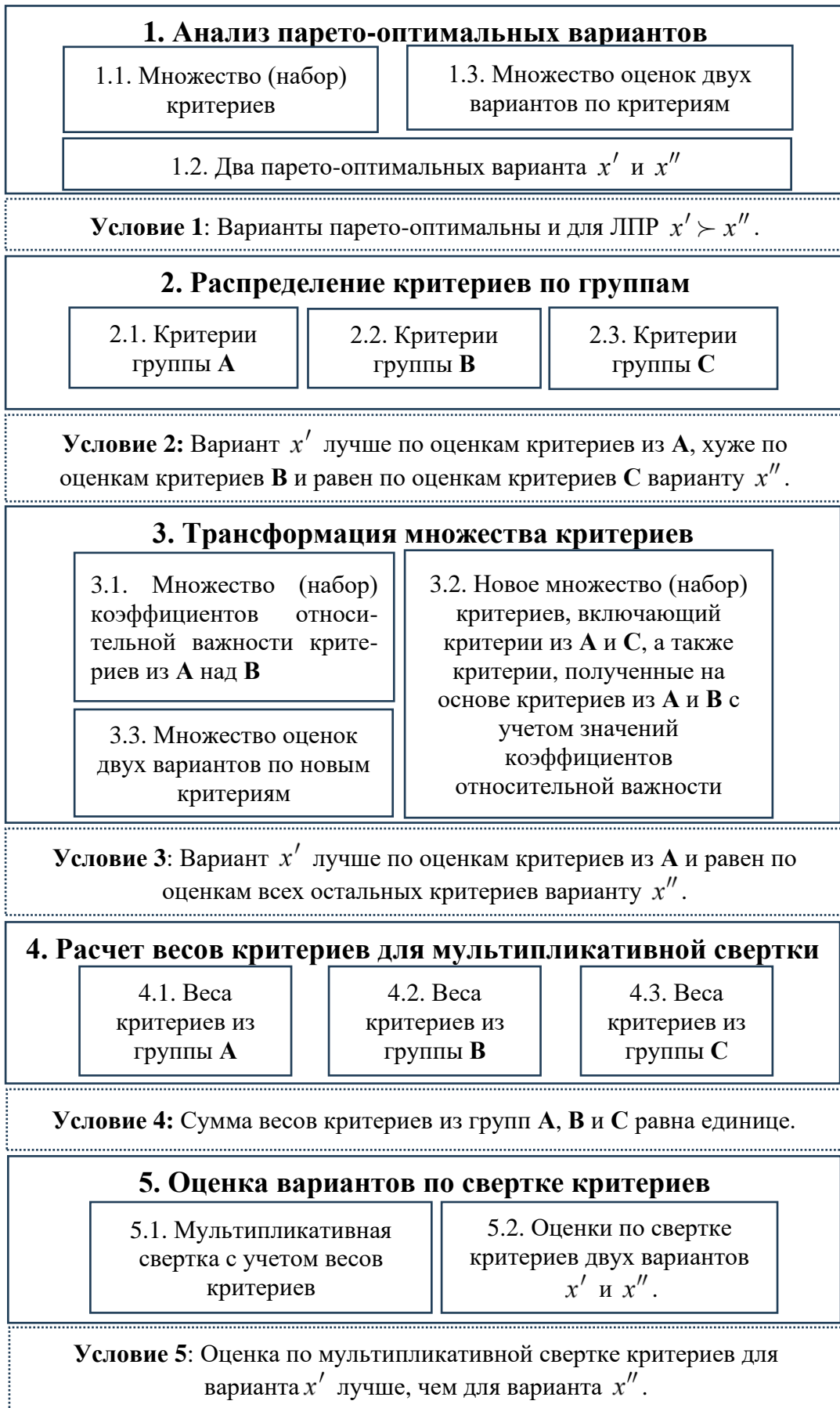


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема модели выбора одного из двух парето-оптимальных вариантов с использованием мультипликативной свертки

Этап 1. Анализ парето-оптимальных вариантов. На данном этапе проводится анализ исходных данных, так для рассматриваемого случая модели выбора необходимы два варианта решения и не менее двух критериев, по которым выполнены оценки двух вариантов. При этом условие применимости модели на данном этапе состоит в том, что варианты являются парето-оптимальными, что означает: для одного из двух вариантов, назовем один из них выбранным вариантом, а другой альтернативным (невыбранным), существует группа критериев (хотя бы один критерий), по которым выбранный вариант предпочтительнее альтернативного варианта, и одновременно с этим существует группа критериев (хотя бы один критерий), по которым выполняется обратное, то есть альтернативный вариант решения предпочтительнее выбранного варианта. В общем случае может найтись группа критериев, по которым выбранный и альтернативный варианты равны по предпочтению. Важной составляющей ограничивающего условия является еще и сам факт выбора, то есть для ЛПР выбранный вариант предпочтительнее альтернативного.

Этап 2. Распределение критериев по группам. На данном этапе выполняется распределение критериев по группам важности (**A**, **B**, **C**). То, какой из критериев будет определён в ту или иную группу, зависит от выбора ЛПР, то есть в группу **A** будут отнесены критерии, по которым выбранный ЛПР вариант является предпочтительным; в группу **B** будут относиться критерии, по которым невыбранный ЛПР вариант будет более предпочтителен; в группу **C** будут отнесены все оставшиеся критерии – те критерии, по которым варианты равны по предпочтению. Очевидно, что как бы не был реализован факт выбора ЛПР одного из пары парето-оптимальных вариантов, к группе **C** будут относиться одни и те же критерии. Результатом данного этапа является однозначное определение каждого из критериев в одну из групп. Тогда условием рационального распределения критериев по группам будет выступать следующее ограничение: оценки по критериям из группы **A** для выбранного варианта будут лучше, чем оценки альтернативного варианта, тогда оценки по критериям из группы **B** у выбранного

варианта будут хуже, чем у альтернативного, и для группы **С** оценки выбранного и альтернативного вариантов будут равны между собой.

Этап 3. Трансформация множества критериев. На данном этапе происходит замена критериев из группы **В** на новые критерии, представляющие собой комбинации критериев из группы **А** и группы **В** с учетом информации об относительной важности критериев, выраженной набором логарифмических коэффициентов [76]. Результатом реализации данного этапа выступает множество логарифмических коэффициентов относительной важности и множество новых критериев, учитывающих информацию об относительной важности. Ограничивающее условие адекватного построения модели состоит в следующем требовании: оценки выбранного варианта должны быть лучше оценок альтернативного варианта по критериям из группы **А**, по всем остальным критериям оценки вариантов должны быть равны между собой. На данное требование стоит акцентировать внимание, так как с точки зрения оптимальности из многокритериальной оптимизации данное требование выражается переходом при трансформации множества критериев для оценок пары вариантов от оптимальности по Парето к оптимальности по Слейтеру. В свою очередь множество логарифмических коэффициентов относительной важности критериев из группы **А** над критериями из группы **В** является количественной мерой предпочтений ЛПР, а процедура трансформации критериев является способом учета предпочтений, ЛПР в процессе многокритериального выбора, то есть в процессе принятия решений.

Этап 4. Расчет весов критериев для мультипликативной свертки. На данном этапе информация о предпочтениях ЛПР, выраженная набором логарифмических коэффициентов относительной важности критериев, формализуется набором весов критериев для их мультипликативной свертки. Таким образом, результатом данного этапа является три множества весов критериев для каждой из групп **А**, **В** и **С**. Условие, которое должно выполняться для весов критериев, состоит в том, что сумма весов всех критериев из всех групп должна быть равна единице, тогда вес критерия определяет его вклад в результирующую мультипликативную свертку и

тем самым определяет важность данного критерия по сравнению с другими. Стоит отметить, что веса критериев из группы С будут равны между собой.

Этап 5. Оценка вариантов по мультипликативной свертке критериев. На данном этапе оценки вариантов по каждому из изначальных критериев возводятся в степень, соответствующую весу критерия, и перемножаются. Условием успешного применения модели является требование, состоящее в том, что оценка по мультипликативной свертке критериев для выбранного варианта лучше оценки по данной свертке альтернативного варианта. В этом случае модель выбора формализует предпочтения ЛПР и объясняет выбор выбранного варианта в сравнении с альтернативным вариантом решения.

Данные этапы формализации предпочтений ЛПР в процессе выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов будут использованы как подзадачи разработки мультипликативной модели, а именно, первоначально необходимо разработать принцип распределения критериев по группам важности, предложить формулы для расчета конкретных значений логарифмических коэффициентов относительной важности критериев, разработать формулы для учета данных коэффициентов при трансформации множества исходных критериев выбора, определить формулы для расчета весов критериев для каждой из групп важности (А, В и С) и на каждом из этапов разработки моделей доказать выполнение условий ее адекватного применения. Таким образом, структура изложения материалов исследования в части, касающейся разработки мультипликативной модели выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов, будет соответствовать указанным подзадачам.

Разработка мультипликативной модели основана на анализе известной аддитивной модели важности критериев с использованием простейшей задачи многокритериального выбора парето-оптимальных вариантов, которая в достаточной степени для исследования иллюстрирует принцип выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов. На каждом этапе разработки модели выполняется проверка ограничивающих условий, что позволит сделать вывод о ее адекватности.

2.1.1. Анализ парного сравнения парето-оптимальных вариантов

Рассмотрим общую математическую модель учета информации об относительной важности критериев в процессе многокритериального выбора (автор модели В. Д. Ногин [56]). Модель основана на аксиоме рационального поведения ЛПР (аксиома Парето), состоящей в том, что наилучший вариант содержится во множестве Парето. Формирование множества Парето происходит на основе парного сравнения оценок по множеству критериев вариантов, то есть в общем смысле управленческих решений.

Выполним анализ парето-оптимальных вариантов на основе простейшей задачи многокритериального выбора, включающей в себя простейшее множество вариантов – пару вариантов:

$$X = \{x'; x''\}, \quad (2.1)$$

где x', x'' – пара парето-оптимальных вариантов.

Множество критериев, ЛПР стремится увеличить значения критериев:

$$R = \{R_1, \dots, R_s, \dots, R_m\}, \quad (2.2)$$

где R_s – критерий для оценки вариантов x', x'' .

Тогда множество оценок вариантов по критериям:

$$R(X) = \{R(x'); R(x'')\}, \quad (2.3)$$

где $R(x') = \{R_1(x'); \dots; R_s(x'); \dots; R_m(x')\}; R(x'') = \{R_1(x''); \dots; R_s(x''), \dots, R_s(x'')\}$ область допустимых оценок вариантов по критерию удовлетворяет нестроговому неравенству $0 < R_s(x) < 1$.

Отношение предпочтения:

$$x' \succ x'' \quad (2.4)$$

При этом пара является парето-оптимальной, если при сравнении по предпочтению вариантов x', x'' из множества критериев обязательно найдутся такие, что $R_i(x') > R_i(x'')$, $R_j(x'') > R_j(x')$, но одновременно с этим могут найтись и критерии, для которых выполняется $R_l(x'') = R_l(x')$. Исходя из постановки задачи исследования, если задано предпочтения ЛПР (2.4), то условие 1 выполнено.

2.1.2. Распределение критериев по группам на основе парного сравнения парето-оптимальных вариантов

Применим к исходному $\mathbf{R}=\{R_1, \dots, R_m\}$ критерию допустимое монотонное преобразование – прологарифмируем его с помощью натурального логарифма, получим $\mathbf{Q}=\{\ln R_1, \dots, \ln R_m\}$. Тогда оценка варианта $x \in \mathbf{X}$ будет записываться следующим образом:

$$\mathbf{Q}(x)=\{\ln R_1(x), \dots, \ln R_m(x)\}. \quad (2.5)$$

Как и при постановке задачи в аддитивной модели, сравним по предпочтению два парето-оптимальных варианта x', x'' , и пусть $x' \succ x''$.

Во множестве критериев найдутся такие, для которых верно $\ln R_i(x') > \ln R_i(x'')$, $\ln R_j(x'') > \ln R_j(x')$, $\ln R_l(x') = \ln R_l(x'')$. В соответствии с определением относительной важности [56]: i -й критерий важнее j -го критерия с заданными положительными параметрами w_i, w_j , где $\ln R_i(x') - \ln R_i(x'') =$

$\ln \frac{R_i(x')}{R_i(x'')} = w_i$, $\ln R_j(x'') - \ln R_j(x') = \ln \frac{R_j(x'')}{R_j(x')} = w_j$. Для критериев с номером l выполняется следующее соотношение $\ln R_l(x'') - \ln R_l(x') = \ln \frac{R_l(x'')}{R_l(x')} = 0$.

Тогда пусть существует группа критериев **A**, содержащая (a) критериев с номерами i и подмножество номеров критериев I_A , для которых выполняется условие $R_i(x') > R_i(x'')$ при $x' > x''$, тогда должны найтись критерии из группы **B**, содержащей (b) критериев с номерами j и подмножество номеров I_B , для которых выполняется условие $R_j(x'') > R_j(x')$ [75 - 77]. В общем случае могут существовать и критерии из группы **C**, содержащей (c) критериев с номерами l из подмножества номером I_C для которых выполняется условие $R_l(x') = R_l(x'')$. При распределении критериев по группам каждому критерию будет назначена одна из трех групп, то есть $a+b+c=m$.

Тогда распределение критериев по группам будет проводиться по правилу:

– для отнесения критерия к группе **A** необходимо:

$$u_i = \frac{R_i(x')}{R_i(x'')} > 1, \quad \text{для всех } i \in I_A, \quad (2.6)$$

- для отнесения критерия к группе **B** необходимо:

$$u_j = \frac{R_j(x'')}{R_j(x')} > 1, \quad \text{для всех } j \in I_B, \quad (2.7)$$

- для отнесения критерия к группе **C** необходимо:

$$u_l = \frac{R_l(x')}{R_l(x'')} = 1, \quad \text{для всех } l \in I_C. \quad (2.8)$$

Правило распределения критериев по группам обеспечивает выполнение условия 2, состоящего в том, что оценки по критериям из группы **A** для выбранного варианта лучше оценок альтернативного варианта, для критериев из группы **B**

наблюдается обратное, а для критериев из группы **C** оценки вариантов равны между собой.

2.1.3. Трансформация множества критериев

Рассчитаем новое множество критериев $\mathbf{G} = \{g_1, g_2, \dots, g_p\}$ на основе множества критерия \mathbf{R} по правилу В. Д. Ногина [57] следующим образом: «все критерии R с номерами $i \in I_A$ и $l \in I_C$ остаются без изменения, а компоненты критерия с номерами $j \in I_B$ заменяются линейными комбинациями с компонентами векторного критерия с номерами $i \in I_A$ по формуле:

$$g_{i,j}(x) = w_j \ln R_i(x) + w_i \ln R_j(x), \quad \text{для всех } i \in I_A, j \in I_B. \quad (2.9)$$

Количество новых критериев, то есть элементов во множестве \mathbf{G} равно:

$$p = ab + a + (m - (a + b)). \quad (2.10)$$

С учетом формул (2.6)...(2.8) получим формулу:

$$g_{i,j}(x) = \ln u_j \ln R_i(x) + \ln u_i \ln R_j(x), \quad \text{для всех } i \in I_A, j \in I_B. \quad (2.11)$$

Используя свойства логарифмов, получим:

$$g_{i,j}(x) = \ln R_i(x)^{\ln u_j} R_j(x)^{\ln u_i}, \quad \text{для всех } i \in I_A, j \in I_B. \quad (2.12)$$

Введем понятие логарифмического коэффициента относительной важности критериев Ω_{ij} , тогда исходя из формирования новых компонент критерия **G** с использованием Ω_{ij} для всех $i \in I_A, j \in I_B$, используется формула:

$$g_{i,j}(x) = R_i(x)^{\Omega_{i,j}} R_j(x)^{1-\Omega_{i,j}}. \quad (2.13)$$

С помощью простейшей задачи многокритериального выбора получим формулу для расчета коэффициентов $\Omega_{i,j}$.

Итак, рассмотрим простейший набор критериев $R = \{R_i, R_j\}$ и два парето-оптимальных варианта $X = \{x', x''\}$, соответствующие им две оценки вариантов $R(X) = \{R_i(X) = \{R_i(x'), R_i(x'')\}; R_j(X) = \{R_j(x'), R_j(x'')\}\}$. В силу парето-оптимальности положим $R_i(x') > R_i(x'')$ и $R_j(x') < R_j(x'')$. Пусть предпочтение выражено соотношением $x' \succ x''$, тогда критерий с номером i относится к группе **A**, а критерий с номером j к группе **B**. Критерий i важнее критерия j с параметрами

$$u_i = \frac{R_i(x')}{R_i(x'')} \text{ и } u_j = \frac{R_j(x'')}{R_j(x')}.$$

Сформируем новый набор критериев **G**, используя коэффициент Ω_{ij} :

$$g_i(x) = R_i(x); \quad (2.14)$$

$$g_{i,j}(x) = R_i(x)^{\Omega_{i,j}} R_j(x)^{1-\Omega_{i,j}}. \quad (2.15)$$

Исходя из равенства оценок вариантов по критерию $g_{i,j}(x') = g_{i,j}(x'')$, имеем:

$$R_i(x')^{\Omega_{i,j}} R_j(x')^{1-\Omega_{i,j}} = R_i(x'')^{\Omega_{i,j}} R_j(x'')^{1-\Omega_{i,j}}. \quad (2.16)$$

Запишем полученное равенство следующим образом:

$$\left(\frac{R_i(x')}{R_i(x'')}\right)^{\Omega_{i,j}} = \left(\frac{R_j(x'')}{R_j(x')}\right)^{1-\Omega_{i,j}}. \quad (2.17)$$

Учитывая, что $u_i = \frac{R_i(x')}{R_i(x'')}$ и $u_j = \frac{R_j(x'')}{R_j(x')}$, получим:

$$u_i^{\Omega_{i,j}} = u_j \left(\frac{1}{u_j} \right)^{\Omega_{i,j}}. \quad (2.18)$$

Преобразуем полученное выражение к виду:

$$(u_i u_j)^{\Omega_{i,j}} = u_j. \quad (2.19)$$

Решая уравнение (2.19) относительно $\Omega_{i,j}$, получим $\Omega_{i,j} = \log_{u_i u_j} u_j$ – логарифмический коэффициент относительной важности критериев $0 < \Omega_{i,j} < 1$, так как $u_i > 1$ и $u_j > 1$.

Таким образом, после учета информации о важности по новым критериям, заменяющим критерии из группы **В**, оценки вариантов будут равны, и, следовательно, условия постановки задачи выполняется.

При сравнении существующей исходной модели парного сравнения парето-оптимальных вариантов и разработанной мультипликативной модели можно сделать следующие выводы:

1. Принципы распределения критериев по группам важности для анализируемых моделей идентичны и основаны на выборе одного из двух парето-оптимальных вариантов.

2. Отличие исходной и мультипликативной моделей наблюдается на этапе расчета параметров относительной важности критериев, так для мультипликативной модели при формализации параметров важности использован логарифмический коэффициент относительной важности критериев.

3. Отличие в способе формализации важности определили изменения в порядке учета данной информации в процессе многокритериального выбора, что реализуется путем изменения процедуры трансформации исходного набора критериев в новый набор.

4. Размерность множества новых критериев осталась без изменения как для аддитивной, так и для мультипликативной моделей выбора парето-оптимальных вариантов.

Таким образом, приступим к разработке правил и формул для расчета весов мультипликативной свертки критериев для их ранжирования в порядке сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров.

2.1.4. Расчет весов критериев для мультипликативной свертки

Проведем вычисление весовых коэффициентов критериев на основе набора логарифмических коэффициентов относительной важности. Формулы для аддитивного случая, то есть расчет весов для аддитивной свертки критериев на основе набора нормированных коэффициентов относительной важности были получены в исследовании [76], аналогично получим формулы для мультипликативного случая.

Пусть обобщенный критерий R представляет собой мультипликативную свертку критериев:

$$R(x_s) = \prod_{k=1}^m R_k^{\omega_k}(x_s), \quad (2.20)$$

где ω_k – весовой коэффициент критерия с номером k , $1 = \sum_{k=1}^m \omega_k$.

Зададим простейшее множество вариантов:

$$X = \{x'; x''\}. \quad (2.21)$$

Зададим множество критериев:

$$R_m = \{R_i; R_{i+1}; R_{i+\dots}; R_j; R_{j+1}; R_{j+\dots}; R_l; R_{l+1}; R_{l+\dots}\}. \quad (2.22)$$

Предположим, что $x' > x''$ и в группу **A** входят a критерии с номерами $i, i + 1, i + \dots$, то есть критерии $R_i, R_{i+1}, R_{i+\dots}$, в группу **B** входят b критериев с номерами $j, j + 1, j + \dots$, то есть критерии $R_j, R_{j+1}, R_{j+\dots}$ и в группу **C** входит c критериев с номерами $l, l + 1, l + \dots$, то есть $R_l, R_{l+1}, R_{l+\dots}$, $a + b + c = m$.

Для удобства рассуждений зададим множество оценок вариантов по критериям следующим образом:

$$\begin{aligned} R_m(X) &= \{R_i(X) = \{R_i(x'); R_i(x'')\}; R_{i+1}(X) = \{R_{i+1}(x'); R_{i+1}(x'')\}; \\ R_{i+\dots}(X) &= \{R_{i+\dots}(x'); R_{i+\dots}(x'')\}; R_j(X) = \{R_j(x'); R_j(x'')\}; \\ R_{j+1}(X) &= \{R_{j+1}(x'); R_{j+1}(x'')\}; R_{j+\dots}(X) = \{R_{j+\dots}(x'); R_{j+\dots}(x'')\}; \\ R_l(X) &= \{R_l(x'); R_l(x'')\}; R_{l+1}(X) = \{R_{l+1}(x'); R_{l+1}(x'')\}; \\ R_{l+\dots}(X) &= \{R_{l+\dots}(x'); R_{l+\dots}(x'')\}. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Тогда имеется множество положительных параметров, характеризующих относительную важность критериев:

$$\begin{aligned} W &= \{w_i = R_i(x')/R_i(x''); w_{i+1} = R_{i+1}(x')/R_{i+1}(x''); \\ w_{i+\dots} &= R_{i+\dots}(x')/R_{i+\dots}(x''); w_j = R_j(x'')/R_j(x'); \\ w_{j+1} &= R_{j+1}(x'')/R_{j+1}(x'); w_{j+\dots} = R_{j+\dots}(x'')/R_{j+\dots}(x')\}. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Множество логарифмических коэффициентов относительной важности:

$$\begin{aligned} \Omega &= \{\Omega_{i,j} = \log_{u_i u_j} u_j; \Omega_{i,j+1} = \log_{u_i u_{j+1}} u_{j+1}; \Omega_{i,j+\dots} = \log_{u_i u_{j+\dots}} u_{j+\dots}; \\ \Omega_{i+1,j} &= \log_{u_{i+1} u_j} u_j; \Omega_{i+1,j+1} = \log_{u_{i+1} u_{j+1}} u_{j+1}; \Omega_{i+1,j+\dots} = \log_{u_{i+1} u_{j+\dots}} u_{j+\dots}; \\ \Omega_{i+\dots,j} &= \log_{u_{i+\dots} u_j} u_j; \Omega_{i+\dots,j+1} = \log_{u_{i+\dots} u_{j+1}} u_{j+1}; \Omega_{i+\dots,j+\dots} = \log_{u_{i+\dots} u_{j+\dots}} u_{j+\dots}\}. \end{aligned} \quad (2.25)$$

И сформировано новое множество критериев \mathbf{G}_p по формулам:

$$\begin{aligned}
G_p &= \{g_i = R_i ; g_{i+1} = R_{i+1} ; g_{i+\dots} = R_{i+\dots} ; g_l = R_l ; g_{l+1} = R_{l+1} ; g_{l+\dots} = R_{l+\dots} ; \\
g_{i,j} &= R_i^{\Omega_{i,j}} R_j^{1-\Omega_{i,j}} ; g_{i,j+1} = R_i^{\Omega_{i,j+1}} R_{j+1}^{1-\Omega_{i,j+1}} ; g_{i,j+\dots} = R_i^{\Omega_{i,j+\dots}} R_{j+\dots}^{1-\Omega_{i,j+\dots}} ; \\
g_{i+1,j} &= R_{i+1}^{\Omega_{i+1,j}} R_j^{1-\Omega_{i+1,j}} ; g_{i+1,j+1} = R_{i+1}^{\Omega_{i+1,j+1}} R_{j+1}^{1-\Omega_{i+1,j+1}} ; \\
g_{i+1,j+\dots} &= R_{i+1}^{\Omega_{i+1,j+\dots}} R_{j+\dots}^{1-\Omega_{i+1,j+\dots}} ; g_{i+\dots,j} = R_{i+\dots}^{\Omega_{i+\dots,j}} R_j^{1-\Omega_{i+\dots,j}} ; \\
g_{i+\dots,j+1} &= R_{i+\dots}^{\Omega_{i+\dots,j+1}} R_{j+1}^{1-\Omega_{i+\dots,j+1}} ; g_{i+\dots,j+\dots} = R_{i+\dots}^{\Omega_{i+\dots,j+\dots}} R_{j+\dots}^{1-\Omega_{i+\dots,j+\dots}} \}. \quad (2.26)
\end{aligned}$$

Перемножим все элементы множества \mathbf{G}_p и обозначим данное произведение R^* , тогда:

$$\begin{aligned}
R^* &= R_i R_{i+1} R_{i+\dots} R_l R_{l+1} R_{l+\dots} R_i^{\Omega_{i,j}} R_j^{1-\Omega_{i,j}} R_i^{\Omega_{i,j+1}} R_{j+1}^{1-\Omega_{i,j+1}} \cdot \\
&\cdot R_i^{\Omega_{i,j+\dots}} R_{j+\dots}^{1-\Omega_{i,j+\dots}} R_{i+1}^{\Omega_{i+1,j}} R_j^{1-\Omega_{i+1,j}} R_{i+1}^{\Omega_{i+1,j+1}} R_{j+1}^{1-\Omega_{i+1,j+1}} R_{i+1}^{\Omega_{i+1,j+\dots}} \cdot \\
&\cdot R_{j+\dots}^{1-\Omega_{i+1,j+\dots}} R_{i+\dots}^{\Omega_{i+\dots,j}} R_j^{1-\Omega_{i+\dots,j}} R_{i+\dots}^{\Omega_{i+\dots,j+1}} R_{j+1}^{1-\Omega_{i+\dots,j+1}} R_{i+\dots}^{\Omega_{i+\dots,j+\dots}} R_{j+\dots}^{1-\Omega_{i+\dots,j+\dots}} \cdot \quad (2.27)
\end{aligned}$$

Перегруппируем критерии следующим образом:

$$\begin{aligned}
R^* &= R_i^{(1+\Omega_{i,j}+\Omega_{i,j+1}+\Omega_{i,j+\dots})} R_{i+1}^{(1+\Omega_{i+1,j}+\Omega_{i+1,j+1}+\Omega_{i+1,j+\dots})} R_{i+\dots}^{(1+\Omega_{i+\dots,j}+\Omega_{i+\dots,j+1}+\Omega_{i+\dots,j+\dots})} \cdot \\
&\cdot R_j^{((1-\Omega_{i,j})+(1-\Omega_{i+1,j})+(1-\Omega_{i+\dots,j}))} R_{j+1}^{((1-\Omega_{i,j+1})+(1-\Omega_{i+1,j+1})+(1-\Omega_{i+\dots,j+1}))} \cdot \\
&\cdot R_{j+\dots}^{((1-\Omega_{i,j+\dots})+(1-\Omega_{i+1,j+\dots})+(1-\Omega_{i+\dots,j+\dots}))} R_l R_{l+1} R_{l+\dots} \cdot \quad (2.28)
\end{aligned}$$

Обозначим:

$$\begin{aligned}
\Omega_j &= \Omega_{i,j} + \Omega_{i+1,j} + \Omega_{i+\dots,j} ; \Omega_{j+1} = \Omega_{i,j+1} + \Omega_{i+1,j+1} + \Omega_{i+\dots,j+1} ; \\
\Omega_{j+\dots} &= \Omega_{i,j+\dots} + \Omega_{i+1,j+\dots} + \Omega_{i+\dots,j+\dots} ; \Omega_i = \Omega_{i,j} + \Omega_{i,j+1} + \Omega_{i,j+\dots} ; \\
\Omega_{i+1} &= \Omega_{i+1,j} + \Omega_{i+1,j+1} + \Omega_{i,j+\dots} ; \Omega_{j+\dots} = \Omega_{i+\dots,j} + \Omega_{i+\dots,j+1} + \Omega_{i+\dots,j+\dots} \cdot \quad (2.29)
\end{aligned}$$

С учетом (2.52) произведение R^* будет записана следующим образом:

$$R^* = R_i^{(1+\Omega_i)} R_{i+1}^{(1+\Omega_{i+1})} R_{i+\dots}^{(1+\Omega_{i+\dots})} R_j^{(a-\Omega_j)} R_{j+1}^{(a-\Omega_{j+1})} R_{j+\dots}^{(a-\Omega_{j+\dots})} \cdot R_l R_{l+1} R_{l+\dots}. \quad (2.30)$$

При этом общее количество элементов в произведении R^* равно $a + ab + c = a(1 + b) + c$, разделим каждый элемент R^* на положительную величину, равную $a(1 + b) + c$.

Получим формулу для определения мультипликативной свертки критериев вида:

$$R = R_i^{\frac{1+\Omega_i}{a(1+b)+c}} R_{i+1}^{\frac{1+\Omega_{i+1}}{a(1+b)+c}} R_{i+\dots}^{\frac{1+\Omega_{i+\dots}}{a(1+b)+c}} R_j^{\frac{a-\Omega_j}{a(1+b)+c}} R_{j+1}^{\frac{a-\Omega_{j+1}}{a(1+b)+c}} R_{j+\dots}^{\frac{a-\Omega_{j+\dots}}{a(1+b)+c}} \cdot R_l^{\frac{1}{a(1+b)+c}} R_{l+1}^{\frac{1}{a(1+b)+c}} R_{l+\dots}^{\frac{1}{a(1+b)+c}}. \quad (2.31)$$

Сформируем правило расчета весовых коэффициентов на основе множества логарифмических коэффициентов относительной важности критериев.

Если критерий принадлежит группе **A**, то ω_i будет определяться по формуле:

$$\omega_i = \frac{1+\Omega_i}{a(1+b)+c}; \omega_{i+1} = \frac{1+\Omega_{i+1}}{a(1+b)+c}; \omega_{i+\dots} = \frac{1+\Omega_{i+\dots}}{a(1+b)+c}. \quad (2.32)$$

Если критерий принадлежит группе **B**, то ω_j коэффициент будет определяться по формуле:

$$\omega_j = \frac{a-\Omega_j}{a(1+b)+c}; \omega_{j+1} = \frac{a-\Omega_{j+1}}{a(1+b)+c}; \omega_{j+\dots} = \frac{a-\Omega_{j+\dots}}{a(1+b)+c}. \quad (2.33)$$

При этом Ω_i определяется как сумма логарифмических коэффициентов $\Omega_{i,j}$, содержащих номер i , аналогично определяется и Ω_j .

Для остальных критериев, то есть принадлежащих группе С, коэффициент ω_l будет определяться по формуле:

$$\omega_l = \frac{1}{a(1+b)+c}; \omega_{l+1} = \frac{1}{a(1+b)+c}; \omega_{l+\dots} = \frac{1}{a(1+b)+c}. \quad (2.34)$$

Стоит отметить, что $\sum_{\forall i \in I_A} \omega_i + \sum_{\forall j \in I_B} \omega_j + \sum_{\forall l \in I_C} \omega_l = 1$, то есть условие постановки задачи выполняется, состоящее в необходимости нормировки весовых коэффициентов в мультипликативной свертке критериев, выполнено.

2.1.5. Оценка вариантов по мультипликативной свертке критериев

При проведении процедуры оценки вариантов по мультипликативной свертке критериев в случае определения ее весов путем парного сравнения парето-оптимальных вариантов необходимо убедиться в том, что после оценки каждого из пары вариантов оценка для выбранного варианта лучше оценки, полученной для альтернативного варианта. Для пояснения данного обстоятельства рассмотрим простейшую задачу многокритериального выбора, включающую простейший набор критериев $R = \{R_i, R_j\}$ и два парето-оптимальных варианта $X = \{x', x''\}$, соответствующие им две оценки вариантов $R(X) = \{R_i(X) = \{R_i(x'); R_i(x'')\}; R_j(X) = \{R_j(x'); R_j(x'')\}\}$.

Пусть $R_i(x') > R_i(x'')$ и $R_j(x') < R_j(x'')$, предпочтение выражено соотношением $x' > x''$, тогда критерий с номером i относится к группе **A**, а критерий с номером j – к группе **B**.

Для доказательства выполнения условия, состоящего в том, что по мультипликативной свертке критериев в случае расчета ее нормированных весов

на основе парного сравнения парето-оптимальных вариантов выбранный вариант предпочтительнее альтернативного, необходимо показать, что при определении ω_i и ω_j выполняется не строгое неравенство:

$$R_i^{\omega_i}(x')R_j^{\omega_j}(x') > R_i^{\omega_i}(x'')R_j^{\omega_j}(x'')$$

или

$$\left(\frac{R_i(x')}{R_i(x'')}\right)^{\omega_i} > \left(\frac{R_j(x'')}{R_j(x')}\right)^{\omega_j}. \quad (2.35)$$

Исходя из модели относительной важности критериев, зададим предпочтение ЛПР следующим образом: $x' > x''$.

Если $x' > x''$, то критерий R_i относится к группе **A** ($a=1$), а критерий R_j к группе **B** ($b=1$).

Тогда параметры относительной важности составят величины:

– для критерия R_i :

$$u_i = \frac{R_i(x')}{R_i(x'')} > 1;$$

– для критерия R_j :

$$u_j = \frac{R_j(x'')}{R_j(x')} > 1.$$

Вычислим логарифмический коэффициент относительной важности критериев R_i и R_j по формуле $\Omega_{i,j} = \log_{(u_i u_j)} u_j$.

Весовые коэффициенты мультипликативной свертки будут определяться по формулам:

$$\text{для группы } \mathbf{A} \text{ (критерий } R_i): \omega_i = \frac{1+\Omega_i}{a(1+b)+c} = \frac{1+\Omega_{i,j}}{2} = 0,5(1 + \log_{(u_i u_j)} u_j);$$

$$\text{для группы } \mathbf{B} \text{ (критерий } R_j): \omega_j = \frac{a-\Omega_j}{a(1+b)+c} = \frac{1-\Omega_{i,j}}{2} = 0,5(1 - \log_{(u_i u_j)} u_j).$$

Проверим условие нормировки, в соответствии с которым $\omega_i + \omega_j = 1$, очевидно, что $\omega_i + \omega_j = 0,5(1 + \log_{(u_i u_j)} u_j) + 0,5(1 - \log_{(u_i u_j)} u_j) = 1$.

Тогда преобразуем выражение (2.35) следующим образом:

$$(u_i)^{0,5(1+\log(u_i u_j) u_j)} > (u_j)^{0,5(1-\log(u_i u_j) u_j)}. \quad (2.36)$$

Доказательство. Преобразуем выражение (2.36) следующим образом: так как левая и правая часть неравенства больше нуля, то возведем левую и правую части

в квадрат, получим $\left(\frac{(u_i)^{0,5(1+\log(u_i u_j) u_j)}}{(u_j)^{0,5(1-\log(u_i u_j) u_j)}} \right)^2 > 1^2$ или $\frac{(u_i)^{(1+\log(u_i u_j) u_j)}}{(u_j)^{(1-\log(u_i u_j) u_j)}} > 1$.

Выполним над левой частью неравенства следующие преобразования:

$$\frac{u_i(u_i)^{\log(u_i u_j) u_j}}{u_j} = \frac{u_i(u_i u_j)^{\log(u_i u_j) u_j}}{u_j} = \frac{u_i(u_i u_j)^{\log(u_i u_j) u_j}}{u_j} = \frac{u_i u_j}{u_j} = u_i.$$

Исходя из условия, что $u_i > 1$, $u_j > 1$, очевидно, что нестрогое неравенство (2.36) выполняется, следовательно, применение мультипликативной свертки критериев с весами, рассчитанными путем парного сравнения парето-оптимальных вариантов, обосновано при объяснении факта выбора одного из пары вариантов.

2.2. Разработка алгоритма построения порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны

На предварительном этапе разработки алгоритма формулируется вербальная постановка задачи, включающая вербальное ее описание, формирование цели и результат решения задачи, а также выбор способов достижения данного результата.

На основном этапе разработки алгоритма проводится описание его составляющих элементов в соответствии с выбранным способом его разработки, основанном на мультипликативной модели многокритериального выбора одного из

пары парето-оптимальных вариантов.

С точки зрения функционирования пожарной охраны задача формализуется так: на охраняемой территории провинции O в результате возникшего пожара сложилась прогнозируемая ситуация, при которой ресурсов пожарной охраны провинции O недостаточно для качественного тушения данного пожара, поэтому система управления переходит в особый режим функционирования и вынуждена временно заимствовать ресурсы пожарной охраны из соседних провинций, перечень которых определен при реализации процедур стратегического планирования привлечения ресурсов пожарной охраны. В этом случае провинция O является потребителем ресурса, а провинции, из которых происходит заимствование ресурсов, являются источниками ресурса. Требуется определить последовательность заимствования ресурсов, и на ее основе рассчитать порядок сосредоточения подразделений пожарной охраны для тушения крупных пожаров.

В задаче имеется исходный порядок сосредоточения ресурсов пожарной охраны и оценки по набору критериев каждого из источников ресурса. Необходимо определить, какая важность критериев в их мультипликативной свертке приводит к данному порядку для возможности его корректировки и (или) добавления дополнительных ресурсов.

2.2.1. Построение множества парных сравнений парето-оптимальных источников ресурса

Алгоритм формирования порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров основан на анализе множества источников ресурса X путем парного сравнения их оценок по набору критериев R . При этом наблюдается два вида сравнения эффективное и неэффективное. Эффективным

является сравнение оценок источников ресурсов, если они в отношении друг друга являются парето-оптимальными. В этом случае на основе эффективного парного сравнения можно построить вариант порядка сосредоточения ресурсов. В случае, если проведено сравнение двух не парето-оптимальных ресурсов, то вариант порядка на основе данного парного сравнения построить предлагаемым алгоритмом невозможно, и данное парное сравнение источников ресурсов будем считать неэффективным. Все эффективные парные сравнения источников ресурсов и полученные на их основе порядки сосредоточения ресурсов объединим во множество \mathbf{V} , выбор наилучшего варианта из \mathbf{V} проводится на основе минимизации характеристики \mathbf{D} , которая оценивает степень отклонения порядка сосредоточения ресурсов от существующего.

Зададим исходное множество источников ресурсов пожарной охраны \mathbf{X}_n :

$$\mathbf{X} = \{x_1; \dots; x_s; \dots; x_n\}, s = 1, 2, \dots, n; n \geq 2; s, n \in \mathcal{N}, \quad (2.37)$$

где s – номера источников ресурса; n – общее количество источников ресурсов в порядке их сосредоточения. При этом номер источника ресурса s совпадает с существующим порядком сосредоточения ресурсов пожарной охраны. Пусть s – номер источника ресурса, тогда \mathbf{S} – множество номеров источников ресурсов в задаче формирования порядка сосредоточения, количество элементов во множестве \mathbf{S} равно n , тогда существует набор парных сравнений источников ресурсов, которое можно задать так:

$$V = \{v_{s,z} | v_{s,z} = \{x_s > x_z\}, s = 1, \dots, n; z = s + k; k = 1, \dots, n - s\}. \quad (2.38)$$

Количество элементов во множестве \mathbf{V} (обозначим h) можно определить по количеству элементов во множестве \mathbf{S} по формуле:

$$h = \frac{n(n-1)}{2}. \quad (2.39)$$

Для удобства программной реализации алгоритма в информационной системе рекомендуется ввести новую нумерацию элементов множества \mathbf{V}

следующим образом $V=\{v_d\}, d=1,\dots,h$.

Для каждого элемента множества определяется порядок предпочтительности ресурсов с точки зрения их использования для тушения крупных пожаров.

2.2.2. Формирование множества допустимых вариантов порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны

Введем множество критериев \mathbf{R} , используемых для формирования оценок источников ресурсов для выявления их предпочтительности с точки зрения их сосредоточения к месту тушения крупного пожара:

$$\mathbf{R} = \{R_1; \dots; R_k; \dots; R_m\}, \quad k = 1, 2, \dots, m; m \geq 2; k, m \in \mathcal{N}, \quad (2.40)$$

где k – номера критериев; m – общее количество критериев.

Множество (матрица) оценок по набору критерию:

$$\mathbf{R}(\mathbf{X}) = \{\mathbf{R}(x_1); \dots; \mathbf{R}(x_s); \dots; \mathbf{R}(x_n)\}, \quad (2.41)$$

где $\mathbf{R}(x_s) = \{R_1(x_s), \dots, R_k(x_s), \dots, R_m(x_s)\}, n \geq 2, m \geq 2$ – оценка источника ресурса пожарной охраны X_s ; $R_k(x_s)$ – локальная оценка источника ресурса x_s по критерию R_k , область допустимых значений локальных оценок источников ресурса $0 < R_k(x_s) < 1$.

В результате парного сравнения оценок парето-оптимальных источников ресурсов по множеству критериев $R(x_s)$ и $R(x_z)$ при условии, что $x_s \succ x_z, z=s+k, s=1,\dots,n, k=1,\dots,n-s$, будет наблюдаться следующая ситуация: критерии R_k с номерами k распределятся по группам \mathbf{A} – наиболее важные критерии (критерий);

В – менее важные критерии (критерий); и, возможно, будет существовать **С** – группа критериев, в которую входят критерии, не относящиеся ни к группе **А**, ни к группе **В**.

Условие формирования групп (множество) критериев (**А, В, С**). Каждый из критериев относится к одной из трех групп критериев и не может принадлежать сразу двум группам.

Устанавливается отношение по каждой оценке источников ресурса $x_s > x_z$ по формуле:

$$y_k = \frac{R_k(x_s)}{R_k(x_z)}, \quad (2.42)$$

где y_k – отношения оценок парето-оптимальных источников ресурса по критерию R_k .

В соответствии с правилом определения парето-оптимальных источников ресурса существует несколько ситуаций: ($y_k > 1$), тогда критерий с номером k будет относиться к группе **А**; ($y_k < 1$), тогда критерий с номером k будет относиться к группе **В**; ($y_k = 1$), тогда критерий относится к группе **С**.

Аналогично исследованиям [75 - 76], обозначим номера критериев из группы **А** как (i), а общее количество критериев в группе **А** будет (a), тогда номера критериев из группы **В** обозначим как (j), а общее их количество критериев в группе **В** будет (b), и номера критериев в группе **С** обозначим (l), общее количество критериев в группе **С** будет равно $c = m - (a + b)$, где m – общее количество критериев.

Тогда, для каждой комбинации критериев из группы **А** и группы **В**, то есть критериев с номерами i и j определим логарифмический коэффициент относительной важности по формуле:

$$\Omega_{i,j} = \log \left(\frac{y_i}{y_j} \right) \left(\frac{1}{y_j} \right), \quad \text{для всех } i \text{ и } j. \quad (2.43)$$

С учетом $y_i > 1$, а $y_j < 1$ область допустимых значений логарифмического коэффициента относительной важности критериев будет задана строгим

неравенством $0 < \Omega_{i,j} < 1$.

Проведем расчет значений мультипликативной свертки критериев по формуле:

$$R(x_s) = \prod_{k=1}^m R_k^{\omega_k}(x_s), \quad (2.44)$$

где ω_k – весовой коэффициент критерия R_k .

Множество нормированных весов критериев, устанавливающих важности критериев:

$$\omega = \{\omega_1; \dots; \omega_k; \dots; \omega_m\}, \quad k = 1, 2, \dots, m; \quad m \geq 2; \quad 1 = \sum_{k=1}^m \omega_k. \quad (2.45)$$

Определим нормированные веса критериев по правилу и формулам: если критерий принадлежит группе **A**, то ω_i будет определяться по формуле:

$$\omega_i = \frac{1 + \Omega_i}{a(1+b)+c}; \quad (2.46)$$

если критерий принадлежит группе **B**, то ω_j коэффициент будет определяться по формуле:

$$\omega_i = \frac{a - \Omega_j}{a(1+b)+c}. \quad (2.47)$$

При этом Ω_i определяется как сумма логарифмических коэффициентов $\Omega_{i,j}$, содержащих номер i , аналогично определяется и Ω_j .

Для остальных критериев, то есть принадлежащих группе **C**, коэффициент ω_l будет определяться по формуле:

$$\omega_l = \frac{1}{a(1+b)+c}. \quad (2.48)$$

Стоит отметить, что для удобства программной реализации предлагаемого алгоритма рекомендуется при известном количестве критериев заранее

сформировать формулы для расчета логарифмических коэффициентов относительной важности критериев и весов критериев. Это соответствует концептуальным моделям построения автоматизированных систем поддержки принятия решений. Продемонстрируем данный подход к расчету коэффициентов важности критериев для одного из частных случаев.

Частным случаем применения разработанных правил для расчета логарифмических коэффициентов относительной важности можно считать случай, когда множество критериев включает в себя три критерия. Данный частный случай для аддитивной модели многокритериального выбора подробно рассмотрен в исследованиях Р. Ш. Хабибулина и Д. В. Тараканова [85]. Рассмотрим реализацию частного случая для мультипликативной модели многокритериального выбора вариантов источников ресурсов при формировании порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров. Итак, если множество критериев записывается следующим образом $R = \{R_1; R_2; R_3\}$, то в случае сравнения парето-оптимальных пар источников ресурса могут существовать три укрупненные ситуации распределения критериев по группам важности, включающие двенадцать частных ситуаций распределения критериев по группам:

1. Укрупненная ситуация: «*Один ко многим*», включает в себя три частные ситуации:

$$k_1 = \{A = \{1\}; B = \{2; 3\}; C = \{\emptyset\}\}; \quad k_2 = \{A = \{2\}; B = \{1; 3\}; C = \{\emptyset\}\}; \quad k_3 = \{A = \{3\}; B = \{1; 2\}; C = \{\emptyset\}\};$$

2. Укрупненная ситуация «*Многие к одному*», включает три частные ситуации:

$$k_4 = \{A = \{2; 3\}; B = \{1\}; C = \{\emptyset\}\}; \quad k_5 = \{A = \{1; 3\}; B = \{2\}; C = \{\emptyset\}\}; \quad k_6 = \{A = \{1; 2\}; B = \{3\}; C = \{\emptyset\}\};$$

3. Укрупненная ситуация «*Один к одному*», включает в себя шесть частных ситуаций:

$$k_7 = \{A = \{2\}; B = \{3\}; C = \{1\}\}; \quad k_8 = \{A = \{3\}; B = \{2\}; C = \{1\}\}; \\ k_9 = \{A = \{1\}; B = \{3\}; C = \{2\}\}; \quad k_{10} = \{A = \{3\}; B = \{1\}; C = \{2\}\}; \\ k_{11} = \{A = \{1\}; B = \{2\}; C = \{3\}\}; \quad k_{12} = \{A = \{2\}; B = \{1\}; C = \{3\}\}.$$

Очевидно, что любые другие ситуации распределения критериев по группам важности при наличии в задаче трех критериев не являются парето-оптимальными. В таблице 2.1. приведены формулы для расчета показателей важности критериев для ранжирования источников ресурса в порядке их предпочтительности для ЛПР.

На основе оценок по свертке критериев устанавливается порядок сосредоточения пожарных подразделений.

Таблица 2.1 – Формулы для расчета показателей важности критериев для ранжирования источников ресурса

Номер ситуации распределения критериев по группам	Формулы для определения набора логарифмических коэффициентов относительной важности критериев	Формулы для расчета весов критериев в мультипликативной свертке		
	Ω	R_1	R_2	R_3
Набор ситуаций, когда «один критерий важнее многих критериев»				
Ситуация k_1	$\Omega_{1,2} = \log\left(\frac{y_1}{y_2}\right) \left(\frac{1}{y_2}\right);$ $\Omega_{1,3} = \log\left(\frac{y_1}{y_3}\right) \left(\frac{1}{y_3}\right)$	$\omega_1 = \frac{1 + \Omega_{1,2} + \Omega_{1,3}}{3}$	$\omega_2 = \frac{1 - \Omega_{1,2}}{3}$	$\omega_3 = \frac{1 - \Omega_{1,3}}{3}$
Ситуация k_2	$\Omega_{2,1} = \log\left(\frac{y_2}{y_1}\right) \left(\frac{1}{y_1}\right);$ $\Omega_{2,3} = \log\left(\frac{y_2}{y_3}\right) \left(\frac{1}{y_3}\right)$	$\omega_1 = \frac{1 - \Omega_{2,1}}{3}$	$\omega_2 = \frac{1 + \Omega_{2,1} + \Omega_{2,3}}{3}$	$\omega_3 = \frac{1 - \Omega_{2,3}}{3}$
Ситуация k_3	$\Omega_{3,1} = \log\left(\frac{y_3}{y_1}\right) \left(\frac{1}{y_1}\right);$ $\Omega_{3,2} = \log\left(\frac{y_3}{y_2}\right) \left(\frac{1}{y_2}\right)$	$\omega_1 = \frac{1 - \Omega_{3,1}}{3}$	$\omega_2 = \frac{1 - \Omega_{3,2}}{3}$	$\omega_3 = \frac{1 + \Omega_{3,1} + \Omega_{3,2}}{3}$
Набор ситуаций, когда «многие критерии важнее одного критерия»				
Ситуация k_4	$\Omega_{2,1} = \log\left(\frac{y_2}{y_1}\right) \left(\frac{1}{y_1}\right);$ $\Omega_{3,1} = \log\left(\frac{y_3}{y_1}\right) \left(\frac{1}{y_1}\right)$	$\omega_1 = \frac{2 - \Omega_{2,1} - \Omega_{3,1}}{4}$	$\omega_2 = \frac{1 + \Omega_{2,1}}{4}$	$\omega_3 = \frac{1 + \Omega_{3,1}}{4}$
Ситуация k_5	$\Omega_{1,2} = \log\left(\frac{y_1}{y_2}\right) \left(\frac{1}{y_2}\right);$ $\Omega_{3,2} = \log\left(\frac{y_3}{y_2}\right) \left(\frac{1}{y_2}\right)$	$\omega_1 = \frac{1 + \Omega_{1,2}}{4}$	$\omega_2 = \frac{2 - \Omega_{1,2} - \Omega_{3,2}}{4}$	$\omega_3 = \frac{1 + \Omega_{3,2}}{4}$
Ситуация k_6	$\Omega_{1,3} = \log\left(\frac{y_1}{y_3}\right) \left(\frac{1}{y_3}\right);$ $\Omega_{2,3} = \log\left(\frac{y_2}{y_3}\right) \left(\frac{1}{y_3}\right)$	$\omega_1 = \frac{1 + \Omega_{1,3}}{4}$	$\omega_2 = \frac{1 + \Omega_{2,3}}{4}$	$\omega_3 = \frac{2 - \Omega_{1,3} - \Omega_{2,3}}{4}$

Окончание таблицы 2.1

Номер ситуации распределения критериев по группам	Формулы для определения набора логарифмических коэффициентов относительной важности критериев	Формулы для расчета весов критериев в мультипликативной свертке		
	Ω	R_1	R_2	R_3
Набор ситуаций, когда «один критерий важнее одного критерия»				
Ситуация k_7	$\Omega_{2,3} = \log_{\left(\frac{y_2}{y_3}\right)}\left(\frac{1}{y_3}\right)$	$\omega_1 = \frac{1}{3}$	$\omega_2 = \frac{1 + \Omega_{2,3}}{3}$	$\omega_3 = \frac{1 - \Omega_{2,3}}{3}$
Ситуация k_8	$\Omega_{3,2} = \log_{\left(\frac{y_3}{y_2}\right)}\left(\frac{1}{y_2}\right)$	$\omega_1 = \frac{1}{3}$	$\omega_2 = \frac{1 - \Omega_{3,2}}{3}$	$\omega_3 = \frac{1 + \Omega_{3,2}}{3}$
Ситуация k_9	$\Omega_{1,3} = \log_{\left(\frac{y_1}{y_3}\right)}\left(\frac{1}{y_3}\right)$	$\omega_1 = \frac{1 + \Omega_{1,3}}{3}$	$\omega_2 = \frac{1}{3}$	$\omega_3 = \frac{1 - \Omega_{1,3}}{3}$
Ситуация k_{10}	$\Omega_{3,1} = \log_{\left(\frac{y_3}{y_1}\right)}\left(\frac{1}{y_1}\right)$	$\omega_1 = \frac{1 - \Omega_{3,1}}{3}$	$\omega_2 = \frac{1}{3}$	$\omega_3 = \frac{1 + \Omega_{3,1}}{3}$
Ситуация k_{11}	$\Omega_{1,2} = \log_{\left(\frac{y_1}{y_2}\right)}\left(\frac{1}{y_2}\right)$	$\omega_1 = \frac{1 + \Omega_{1,2}}{3}$	$\omega_2 = \frac{1 + \Omega_{1,2}}{3}$	$\omega_3 = \frac{1}{3}$
Ситуация k_{12}	$\Omega_{2,1} = \log_{\left(\frac{y_2}{y_1}\right)}\left(\frac{1}{y_1}\right)$	$\omega_1 = \frac{1 - \Omega_{2,1}}{3}$	$\omega_2 = \frac{1 + \Omega_{2,1}}{3}$	$\omega_3 = \frac{1}{3}$

2.2.3. Выбор наиболее предпочтительного варианта

На завершающем этапе алгоритма выбирается такой рациональный вариант, который требует минимальных затрат на его внедрение в практику. Здесь параметром (характеристикой), определяющим затраты на внедрение, является сложность работы пожарных подразделений, которая устанавливается на основе времени их совместного взаимодействия при тушении крупных пожаров. Характеристика D , оценивающая отклонение во времени взаимодействия, определяется по формуле:

$$D = \sum_{s=1}^n \rho_s T Z_s, \text{ ч}, \quad (2.49)$$

где ρ_s – результат сравнения исходной позиции источника ресурса с номером s в исходном и парето-оптимальном порядке сосредоточения источников ресурса, ($\rho_s=0$ если позиции совпадают и $\rho=1$ если нет); TZ_s – время задействия источника ресурса в ретроспективе тушения крупных пожаров, ч.

При этом наилучшим рациональным порядком сосредоточения ресурсов пожарной охраны следует считать такой вариант, для которого выполняется:

$$D_{min} = \min\{D_1, \dots, D_d, \dots, D_h\}. \quad (2.50)$$

Если $D_{min}=0$, то это значит, что фактический порядок сосредоточения является рациональным и не требует корректировки, а параметры важности критериев, которые были получены в процессе исследования данного порядка, могут быть использованы для увеличения количества дополнительных источников ресурсов с известной их позицией в порядке сосредоточения.

Блок-схема алгоритма расчета рационального порядка сосредоточения дополнительных ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров показана на рисунке 2.2.

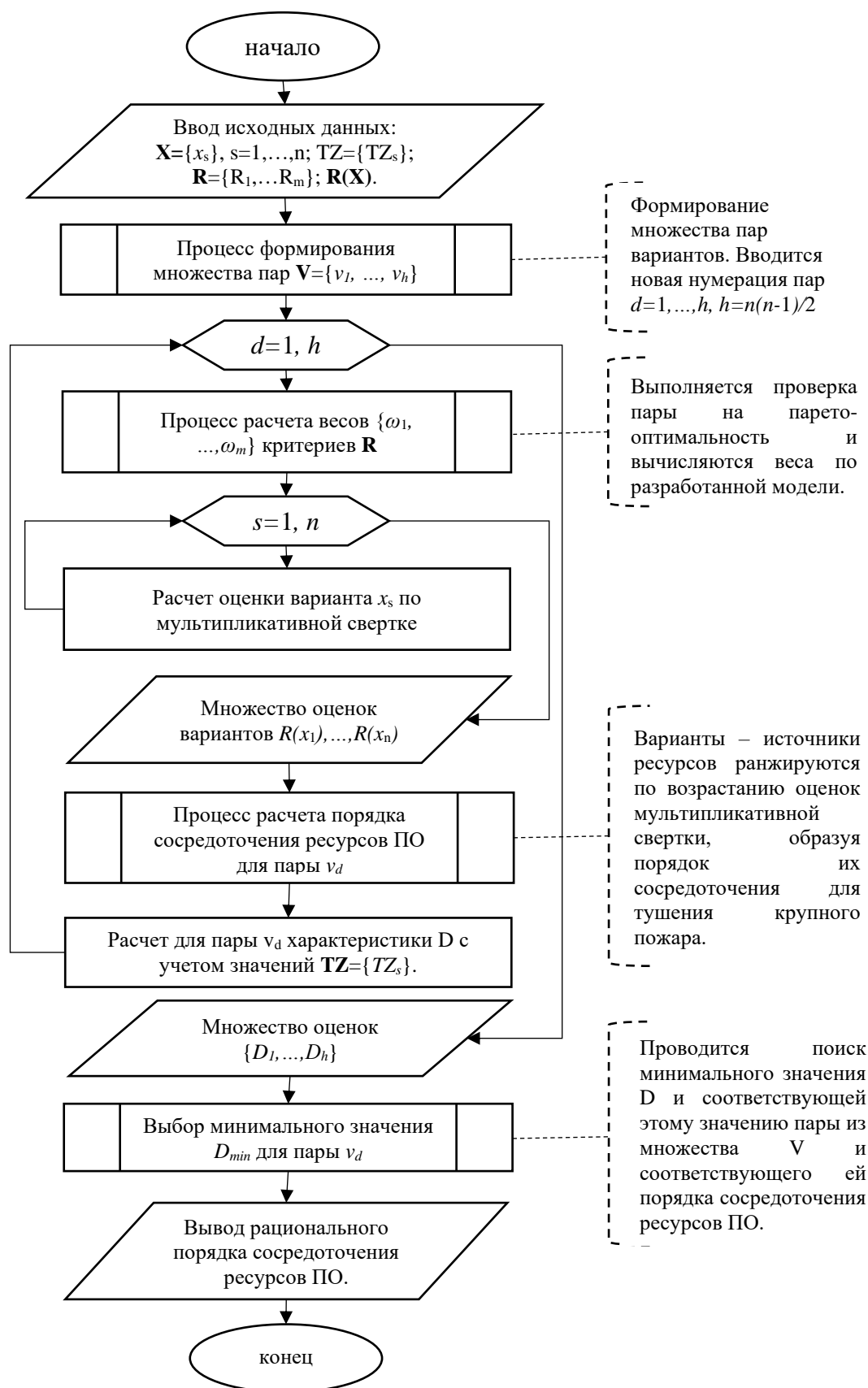


Рисунок 2.2 – Блок схема алгоритма расчета порядка сосредоточения пожарных подразделений

Выводы по главе 2

В результате выполненных исследований во второй главе диссертации получены новые научные результаты для разработки рационального порядка сосредоточения дополнительных ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, а именно:

1. Разработана мультипликативная модель для многокритериального выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов. Отличительной особенностью модели является формализация относительной важности критериев набором логарифмических коэффициентов, позволяющих выполнить расчет весов критериев в их мультипликативной свертке для ранжирования вариантов в порядке их предпочтительности. Достоверность мультипликативной модели подтверждена путем сравнения ее с известным аддитивным аналогом.

2. Разработан алгоритм расчета рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, включающий в себя следующие этапы: 1) построение множества парето-оптимальных пар источников ресурса; 2) формирование множества допустимых вариантов порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны; 3) выбор наиболее предпочтительного варианта порядка сосредоточения. Алгоритм основан на мультипликативной модели многокритериального выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов – источников ресурса и, в отличие от известных, позволяет оптимизировать порядок сосредоточения дополнительных ресурсов на основе оценки слаженности работы пожарных подразделений.

ГЛАВА 3. ПРОЦЕДУРА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПОРЯДКА СОСРЕДОТОЧЕНИЯ ПОЖАРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ КРУПНЫХ ПОЖАРОВ

В главе предложена процедура принятия управленческих решений при разработке порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинциях Вьетнама. Под процедурой принятия управленческих решений понимается последовательность действий, приводящих к определению рационального порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров, путем формирования множества допустимых вариантов сосредоточения и выборе из этого множества наиболее предпочтительного варианта.

С учетом специфики применения разрабатываемой процедуры для совершенствования управления в организационных системах предложено определить в ней три основных этапа: 1 – подготовительный – формирование набора исходных данных разработки порядка сосредоточения пожарных подразделений; 2 – разработка рационального порядка сосредоточения пожарных подразделений, включая формирование множества допустимых вариантов сосредоточения пожарных подразделений, на основе парных сравнений парето-оптимальных источников ресурсов пожарной охраны и выбор наиболее предпочтительного из них; 3 – оценка экономической эффективности внедрения разработанного порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны с учетом затрат на обучение управленческого персонала при проведении пожарно-тактического учения для совместной деятельности пожарных подразделений.

Представлен пример применения разработанной технологии принятия решений при корректировке порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинции Вьетнама – Лангшон.

3.1. Теоретический базис для разработки процедур принятия управленческих решений в организационных системах

Теоретической основой для разработки процедуры принятия решений по разработке варианта сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров является общая теория управления организационной системой, разработанная Д. А. Новиковым и представленная в работе [52]. Так, в самом широком смысле разработки и совершенствования технологий управления организационными системами Д.А. Новиков определяет три этапа их формирования: «теоретические исследования»; «настройка модели»; «внедрение». Первый этап «теоретические исследования» включает в себя описание организационной системы с целью построения ее модели, последующий анализ модели позволяет выполнить синтез допустимых управлений и осуществить дальнейшее изучение устойчивости выбранного варианта управления. Второй этап обеспечивает «настройку модели», что подразумевает идентификацию организационной системы и имитационное моделирование ее функционирования при выбранном варианте управления. Завершающий третий этап «внедрение» предусматривает обучение управленческого персонала организационной системы и анализ эффективности практического использования. Решая задачу управления ресурсами, которая заключается во временном отвлечении ресурсов из одних провинций для тушения пожара в другой провинции, основываясь на данных фундаментальных знаниях о совершенствовании управления, сформулируем процедуру принятия решений при разработке вариантов сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров в провинциях Вьетнама.

Подготовительный этап. Теоретическое исследование модели принятия решения, включающее в себя разработку модели формирования варианта сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров. Модель состоит из описания потребителя ресурсов – провинции, в которую направляются

ресурсы пожарной охраны, и источников ресурсов – провинций, из которых временно забирают ресурсы для обеспечения потребности потребителя ресурсов. Проводится корреляционный анализ оценок по критериям для выявления между ними количественной связи с целью возможного снижения размерности модели принятия решений путем объединения отдельных критериев в группы.

Основной этап. Разработка порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара. Данный этап включает в себя синтез пар парето-оптимальных сравнений источников ресурсов по предпочтительности их прибытия для тушения крупного пожара к потребителю ресурса. Предпочтительность источников ресурсов в порядке их прибытия может быть определена двумя способами: 1) на основе существующего «фактического» порядка высылки ресурсов пожарной охраны – расписания выездов для тушения крупных пожаров; 2) на основе результатов имитационного моделирования деятельности пожарной охраны, где каждому источнику ресурса присваивается номер в порядке сосредоточения ресурсов пожарной охраны. Для каждой синтезированной пары парето-оптимальных источников ресурса с помощью первого научного результата исследования, а именно алгоритма формализации последовательности сосредоточения ресурсов пожарной охраны, определяются параметры важности критериев в модели принятия решений, позволяющие с помощью мультипликативной свертки критериев определить «рациональный» порядок прибытия ресурсов из провинций – источников ресурса. Стоит отметить, что второй научный результат, полученный в исследовании, – это алгоритм выбора наилучшего парного сравнения парето-оптимальных вариантов, который обеспечивает минимально возможное отличие «фактического» и «рационального» варианта порядка прибытия ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, построенное по результатам парно-сравнения парето-оптимальных источников ресурсов.

Заключительный этап. Оценка эффективности внедрения рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров. На данном этапе оценивается экономическая целесообразность

совершенствования порядка сосредоточения пожарных подразделений на двух уровнях: 1) относительный экономический эффект определяется путем сопоставления математического ожидания годовых потерь от пожаров, которые могут произойти на территории источников ресурсов за время отвлечения пожарных подразделений для тушения крупного пожара в зоне ответственности потребителя ресурсов при фактическом (базовой) и региональном (альтернативном) варианте порядка прибытия пожарных подразделений; 2) относительный экономический эффект определяется путем анализа затрат на переход с базового на альтернативной вариант сосредоточения пожарных подразделений с учетом обучения управленческого персонала путем проведения пожарно-тактического учения.

Таким образом, в технологии принятия решений учтены фундаментальные основы совершенствования технологий управления в организационных системах настолько, насколько это позволяет специфика решения задачи управления при распределении ресурсов в особом режиме функционирования пожарной охраны Вьетнама.

3.2. Информационное обеспечение фактического порядка сосредоточения пожарных подразделений

Покажем на практическом примере реализацию разработанной технологии принятия решений для совершенствования порядка сосредоточения пожарных подразделений при тушении крупных пожаров в провинции Лангшон.

3.2.1. Потребитель и источники ресурса

Провинция Лангшон на северо-востоке Вьетнама с административно-хозяйственным центром в городе Lạng Sơn. По численности населения Лангшон занимает 52-ю позицию, а по валовому региональному продукту при это имеет 20-ю позицию, по темпам экономического роста при населении 790 500 человек темп положительной динамики ВРП достиг 8,36 %.

Провинция расположена в приграничных районах Вьетнама с ограниченным числом непосредствующих провинций, поэтому предполагаемое улучшение порядка сосредоточения подразделений предположительно покажет положительный средний эффект.

Необходимость корректировки порядка сосредоточения пожарных подразделений обусловлена двумя фактами крупных пожаров в провинции Лангшон, для тушения которых потребовались силы и средства подразделений из пяти соседних провинций. При этом существующий порядок сосредоточения охватывает лишь четыре из них, а ожидаемое время тушения данных пожаров составляет величину 9,2 (ч). Исходные характеристики для формирования рационального порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинции Лангшон представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. – Фактический порядок сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупного пожара в провинции Лангшон

Дополнительный вызов пожарных подразделений	Источник ресурсов ПО	Ожидаемое количество пожаров в год, NV	Ожидаемое время тушения крупного пожара τ , ч	Время совместной работы с x_0 , ч
Вызов №1	x_1	17	2,2	37,4
Вызов №2	x_2	12	2,9	34,8
Вызов №3	x_3	5	3,4	17,0
Вызов №4	x_4	3	4,2	12,6
Вызов №5	x_5	2	9,2	18,4

В соответствии с данными, приведенными в таблице 3.1, ожидаемое время тушения пожара представляет собой интервал времени между точкой времени убытия последнего пожарного подразделения с места тушения крупного пожара и точкой времени прибытия первого пожарного подразделения.

Необходимо на основе фактического порядка сосредоточения пожарных подразделений разработать рациональный порядок с учетом дополнительного вызова № 5, по которому предполагается прибытие пожарных подразделений из провинции 5, то есть ресурсы ПО – x_5 .

Таким образом, в задаче управления привлечением дополнительных ресурсов потребителем ресурсов пожарной охраны является провинция Лангшон, а источником ресурсов пожарной охраны будут выступать пожарные подразделения соседних провинций.

При формировании многокритериальной модели для разработки рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны стоит считать, что множество источников ресурсов записывается формулой:

$$X = \{x_1, \dots, x_5\}, \quad (3.1)$$

где x_1 – ресурсы провинции 1; x_2 – ресурсы провинции 2;
 x_3 – ресурсы провинции 3; x_4 – ресурсы провинции 4;
 x_5 – ресурсы провинции 5.

3.2.1. Критерии оценки источников ресурса

Критерии, по которым определяются оценки источников ресурсов для их ранжирования при построении последовательности их прибытия к потребителю

ресурса: R_1 – тактический потенциал пожарных подразделений; R_2 – среднее количество пожаров, взятых на статистический учет, в провинциях Вьетнама; R_3 – удельный ущерб от одного пожара, произошедшего в провинции,

Тактический потенциал пожарных подразделений – критерий, характеризующий потенциальный объём работы по тушению пожара, который подразделение способно выполнить. Основными составляющими тактического потенциала являются:

1. N_{lS} – количество личного состава пожарного подразделения, имеющего соответствующую квалификацию в вопросах профилактики и борьбы с пожарами на объектах экономики, жилого фонда;

2. N_{tS} – количество пожарной техники и пожарно-технического оборудования, которое эффективно эксплуатируется и находится на необходимом уровне оперативной и технической готовности;

3. N_{mS} – количество управленческого персонала, обладающего квалификаций по управлению (руководству) личным составом пожарного подразделения.

Формула для оценки тактического потенциала, которая в первом приближении представляет собой аддитивную модель вида:

$$E_i = \alpha_1 N_{lS} + \alpha_2 N_{tS} + \alpha_3 N_{mS}, \quad (3.2)$$

где E_i – показатель тактического потенциала i -го пожарного подразделения, ед.; N_{lS} – количество личного состава пожарного подразделения, ед.; N_{tS} – количество пожарной техники и пожарно-технического оборудования, ед.; N_{mS} – количество управленческого персонала; $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – весовые коэффициенты, определяются на основе результатов наблюдения за функционированием пожарного подразделения.

Общий тактический потенциал пожарных подразделений, дислоцированных в провинции, определяется по формуле:

$$E_m = \sum_{i=1}^k E_i, \quad (3.3)$$

где E_m – показатель общего тактического потенциала провинции, в которой дислоцировано k пожарных подразделений, ед.

Исходные данные и результаты оценки тактического потенциала источников ресурса пожарной охраны представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Результаты оценки тактического потенциала подразделений в провинциях Вьетнама

Провинция / Номер варианта	Наименование подразд.	Тактический потенциал $\alpha_1=0,2, \alpha_2=0,3, \alpha_3=0,5$				
		Частный				Общий
		N_{ts}	N_{ts}	N_{ms}	E_i	E_m
(x ₁)	ТТ	3	23	5	10	26,8
	KV	6	32	12	16,8	
(x ₂)	ТТ	4	23	4	9,7	36,9
	KV	5	29	7	13,2	
	KV	5	30	8	14	
(x ₃)	ТТ	4	26	6	11,6	25,2
	ТТ	5	32	6	13,6	
(x ₄)	ТТ	4	25	4	10,3	80,3
	KV	5	27	6	12,1	
	KV	6	29	6	12,9	
	KV	6	32	7	14,3	
	KV	6	32	7	14,3	
	KV	8	36	8	16,4	
(x ₅)	ТТ	4	26	4	10,6	138,1
	KV	5	32	6	13,6	
	KV	6	29	7	13,4	
	KV	6	34	6	14,4	
	KV	6	37	7	15,8	
	KV	4	26	5	11,1	
	KV	4	26	5	11,1	
	KV	5	23	5	10,4	
	KV	6	31	6	13,5	
	KV	5	27	7	12,6	
	KV	5	27	5	11,6	
Примечание	ТТ – территориальное (муниципальное) подразделение пожарной охраны; KV – ведомственное подразделение пожарной охраны (подразделение милиции); $\alpha_1=0,2, \alpha_2=0,3, \alpha_3=0,5$ – коэффициенты для определения тактического потенциала. Численный состав управления для рассматриваемой провинции Вьетнама.					

Центр управления организационной системы заинтересован в выборе пожарных подразделений с более высоким тактическим потенциалом, поэтому оценки по критерию R_1 определим по формуле:

$$R_1(x) = 1 - \frac{1}{1 + \frac{E_m(x)}{\delta(E_m)}}, \quad (3.4)$$

где $R_1(x)$ – оценка по критерию R_1 провинции x ; $E_m(x)$ – оценка тактического потенциала пожарных подразделений провинции x ; $\delta(E_m)$ – среднее значение тактического потенциала пожарных подразделений провинций Вьетнама.

Результаты расчета оценок источников ресурса по критерию R_1 представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Нормализованные оценки источников ресурса по критерию R_1

Оценки по показателю E_m		Оценки по критерию R_1	
$E_m(x_1)$	26,8	$R_1(x_1)$	0,40
$E_m(x_2)$	36,9	$R_1(x_2)$	0,48
$E_m(x_3)$	25,2	$R_1(x_3)$	0,38
$E_m(x_4)$	80,3	$R_1(x_4)$	0,67
$E_m(x_5)$	138,1	$R_1(x_5)$	0,77
$\delta(E_m)$	40,4		

Таким образом, оценки по критерию R_1 сформированы для каждой из провинций, участвующих в задаче принятия решений.

Рассмотрим второй критерий многокритериальной модели принятия решений. Критерий R_2 – среднее количество пожаров, взятых на статистический учет, в провинциях Вьетнама.

Исходные данные – динамика пожаров в провинциях Вьетнама – представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Динамика количества пожаров в провинциях Вьетнама в период с 2013 по 2023 г.

год	Источники ресурсов ПО				
	(x1)	(x2)	(x3)	(x4)	(x5)
2013	16	28	22	84	29
2014	14	15	20	68	33
2015	20	12	24	89	50
2016	37	15	32	73	45
2017	21	14	32	78	41
2018	20	31	36	99	38
2019	20	9	34	87	43
2020	14	13	63	70	36
2021	12	12	10	60	37
2022	16	18	17	56	27
2023	11	10	14	53	28
N_m	18,3	16,1	27,6	74,3	37
$\sigma^2(N_m)$	50,6	50,5	211,3	214,8	54,8

Период наблюдения за пожарной обстановкой должен обеспечивать достоверную оценку среднего значения количества пожаров. Поэтому количество лет наблюдения оценим по однородности дисперсий с использованием критерия Фишера.

Расчетное значение критерия Фишера (Фишера – Снедекора). Сформируем статистические гипотезы: нулевая гипотеза H_0 состоит в том, что генеральные дисперсии двух независимых выборок равны; альтернативная гипотеза H_1 состоит в том, что генеральные дисперсии двух выборок не равны.

Расчетное значение критерия Фишера определяется по формуле:

$$F_p = \frac{\sigma_{max}^2}{\sigma_{min}^2} = \frac{211,3}{50,5} = 4,18, \quad (3.5)$$

где $\sigma_{max}^2, \sigma_{min}^2$ – наибольшая и наименьшая величина дисперсии.

Определяем критическое значение критерия Фишера для степеней свободы:

$$k_1 = n_1 - 1 = 10 - 1 = 9 \text{ и } k_2 = n_2 - 1 = 9, \quad (3.6)$$

где n_1 – количество наблюдений в выборке с наибольшей дисперсией; n_2 – количество наблюдений в выборке с наименьшей дисперсией.

Тогда при уровне значимости $\alpha=0,01$:

$$F_{\text{крит}}(0,01/2; 9; 9) = 5,35. \quad (3.7)$$

Так как во всех случаях расчетный критерий Фишера не превосходит критическое значение, то нулевая гипотеза принимается, следовательно, можно считать, что наблюдений за количеством пожаров в провинциях достаточно. В свою очередь, равенство дисперсий свидетельствует о том, что величина среднего значения количества пожаров может быть использована для формирования оценок вариантов по критерию R_2 .

Центр управления в задаче распределения ресурсов пожарной охраны заинтересован привлекать для тушения крупных пожаров в соседней провинции в первую очередь силы и средства из провинций, где среднее количество пожаров минимально. Тогда оценки вариантов для принятия решений будут определяться по формуле:

$$R_2(x) = \frac{1}{1 + \frac{N_m(x)}{\delta(N_m)}}, \quad (3.8)$$

где $R_2(x)$ – оценка по критерию R_2 провинции x ; $N_m(x)$ – среднее количество зарегистрированных пожаров в провинции x ; $\delta(N_m)$ – среднее значение среднего количества пожаров в провинциях Вьетнама.

Результаты расчета оценок по критерию R_2 в зависимости от значения параметра N_m представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5. – Нормализованные оценки вариантов по критерию R_2

Оценки по показателю N_m		Оценки по критерию R_2	
$N_m(x_1)$	18,3	$R_2(x_1)$	0,65
$N_m(x_2)$	16,1	$R_2(x_2)$	0,68
$N_m(x_3)$	27,6	$R_2(x_4)$	0,56
$N_m(x_4)$	74,3	$R_2(x_3)$	0,32
$N_m(x_5)$	37,0	$R_2(x^*)$	0,48
$\delta(N_m)$	34,7		

Таким образом, для многокритериальной модели принятия решений оценки по второму критерию R_2 сформированы для каждой из провинций.

Критерий R_3 характеризует удельный ущерб от одного пожара, произошедшего в провинции, участвующей в задаче принятия решений.

Результаты анализа динамики удельного ущерба от пожаров, измеряемого млн у.е., представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6. – Динамика удельного ущерба от пожаров в провинциях за период 2013 по 2023 г.

Год	Источники ресурсов ПО				
	(x_1)	(x_2)	(x_3)	(x_4)	(x_5)
2013	45	140	450	495	568
2014	78	153	412	445	588
2015	75	188	615	380	513
2016	73	150	520	500	503
2017	40	90	438	570	598
2018	95	108	305	510	508
2019	123	210	538	620	520
2020	75	283	570	660	758
2021	28	170	470	503	578
2022	183	294	394	567	714
2023	163	294	429	469	543
U_m	88,9	189,1	467,4	519,9	581,0
$\sigma(U)^2$	2433,1	5326,9	7754,3	6354,9	7073,6

Аналогично параметру N_m , характеризующему среднее количество пожаров, проверим однородность дисперсий для удельного ущерба от пожаров с использованием критерия Фишера при уровне значимости $\alpha=0,01$ и критическом

значении $F_{\text{крит}}(0,01/2; 9; 9) = 5,35$, расчетное значение критерия Фишера составит

$$F_p = \frac{\sigma_{\max}^2}{\sigma_{\min}^2} = \frac{7754,3}{2433,1} = 3,19. \text{ Так как расчетное значение не превышает критического,}$$

то дисперсии однородны.

В задаче сосредоточения ресурсов пожарной охраны центр управления заинтересован привлекать для тушения крупных пожаров в соседней провинции в первую очередь силы и средства из провинций, где удельный ущерб от пожаров минимален.

Тогда оценки вариантов по критерию R_3 для принятия решений будут определяться по формуле:

$$R_3(x) = \frac{1}{1 + \frac{U_m(x)}{\delta(U_m)}}, \quad (3.9)$$

где $R_3(x)$ – оценка по критерию R_3 провинции x ; $U_m(x)$ – удельный ущерб от пожаров, зарегистрированных в провинции x , млн у.е.; $\delta(U_m)$ – среднее значение удельного ущерба от пожаров, зарегистрированных в провинциях Вьетнама, млн у.е.

Результаты расчета оценок по критерию R_3 в зависимости от значения удельного ущерба от пожаров U_m представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Оценки источников ресурса по критерию R_3

Оценки по показателю U_m		Оценки по критерию R_3	
$U_m(x_1)$	88,9	$R_3(x_1)$	0,81
$U_m(x_2)$	189,1	$R_3(x_2)$	0,66
$U_m(x_3)$	467,4	$R_3(x_4)$	0,44
$U_m(x_4)$	519,9	$R_3(x_3)$	0,42
$U_m(x_5)$	581,0	$R_3(x^*)$	0,39
$\delta(U_m)$	189,1		

В многокритериальной модели принятия решений по сосредоточению пожарных подразделений оценки по третьему критерию R_3 сформированы для каждого из источников ресурса (провинций).

В таблице 3.8 представлены оценки по трем критериям для пяти рассматриваемых источников ресурса с целью их ранжирования по предпочтению центра управления организационной системы.

Таблица 3.8. – Оценки по критериям для ранжирования источников ресурса

	R_1	R_2	R_3
x_1	0,40	0,65	0,81
x_2	0,48	0,68	0,66
x_3	0,38	0,56	0,44
x_4	0,67	0,32	0,42
x_5	0,77	0,48	0,39

Таким образом, задача выбора источников ресурса для разработки порядка сосредоточения подразделений пожарной охраны для тушения крупных пожаров сформирована.

3.2.2. Анализ критериев оценки источников ресурса

Для оценки связи между критериями и существующим порядком сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров проведём корреляционный анализ оценок по критериям и существующему порядку сосредоточения.

На рисунке 3.1 указаны оценки по критериям вариантов в многокритериальной задаче выбора источников ресурса.

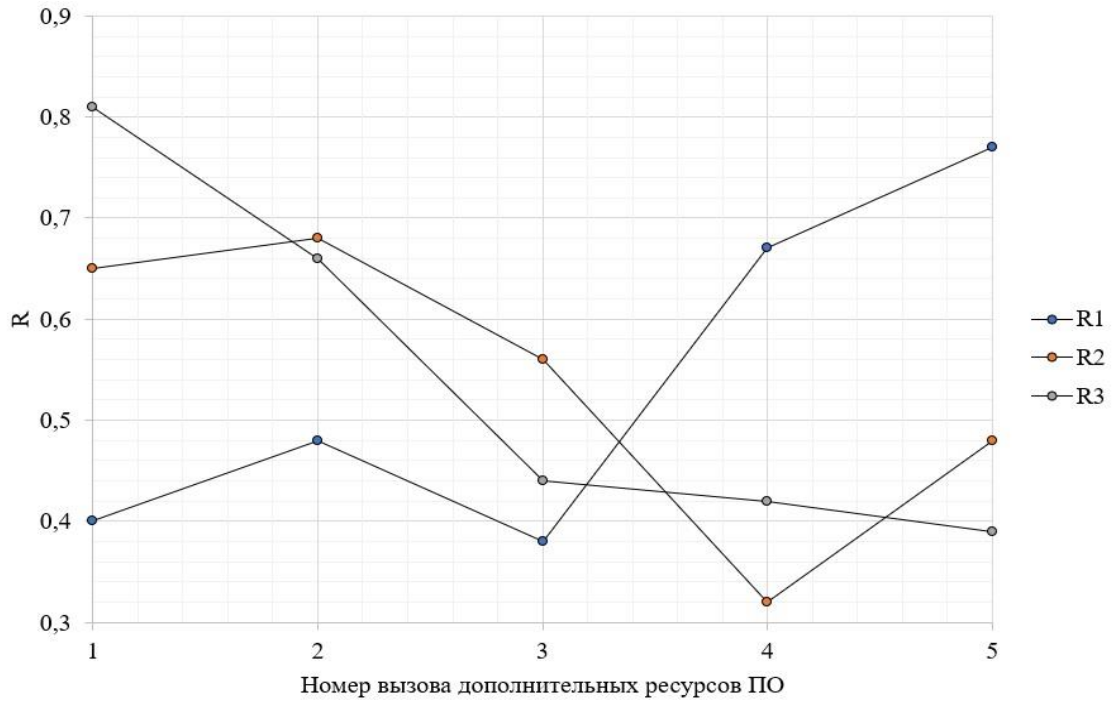


Рисунок 3.1 – Визуализация оценок вариантов по критериям в задаче принятия решений

Визуальный анализ данных, представленных на рисунке 3.1, указывает на высокий уровень корреляционной связи между критерием R_3 и фактическим порядком сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров. При этом в первую очередь задействуются ресурсы провинций, в которых удельный ущерб от одного пожара имеет минимальное значение.

Выполним оценку коэффициента корреляции Пирсона применительно к оценкам вариантов по указанным выше критериям. Формула для оценки коэффициента корреляции Пирсона общеизвестна и основана на следующем: пусть заданы парные данные, полученные при сравнении выборок d и f : $\{(d_1, f_1), \dots, (d_n, f_n)\}$, тогда коэффициент корреляции определяется по формуле:

$$r_{df} = \frac{n \sum_{i=1}^n f_i d_i - \sum_{i=1}^n f_i \sum_{i=1}^n d_i}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n f_i^2 - (\sum_{i=1}^n f_i)^2} \sqrt{n \sum_{i=1}^n d_i^2 - (\sum_{i=1}^n d_i)^2}}, \quad (3.10)$$

где n – количество парных данных сравниваемых выборок f и d .

После определения значения коэффициента корреляции Пирсона по таблице 3.9 выясним степень связи между критериями и существующим порядком сосредоточения в задаче принятия решений.

Таблица 3.9 – Степень связи при различных значениях коэффициента Пирсона

Степени корреляции	Слабая	Умеренная	Заметная	Высокая	Очень высокая
Прямая	0,1 – 0,3	0,3 – 0,5	0,5 – 0,7	0,7 – 0,9	0,9 – 0,99
Обратная	(-0,1) – (-0,3)	(-0,3) – (-0,5)	(-0,5) – (-0,7)	(-0,7) – (-0,9)	(-0,9) – (-0,99)

Таблица 3.10 – Промежуточные результаты для оценки коэффициента Пирсона

	d	f	$d \cdot f$	d^2	f^2
1	0,81	1	0,81	0,656	1
2	0,66	2	1,32	0,436	4
3	0,44	3	1,32	0,194	9
4	0,42	4	1,68	0,176	16
5	0,39	5	1,95	0,152	25
Суммы	2,72	15	7,08	1,614	55

Пусть выборка по критерию $d=R_3$ и $f= P_f$ – фактический порядок сосредоточения ресурсов, тогда парные данные и промежуточные результаты расчетов представим в таблице 3.10.

Тогда коэффициент корреляции Пирсона при сравнении критериев фактического порядка сосредоточения и критерия R_3 составит величину, равную:

$$r_{df} = \frac{5 \cdot 7,08 - 15 \cdot 2,72}{\sqrt{5 \cdot 55 - 15^2} \sqrt{5 \cdot 1,614 - 2,72^2}} = -0,93. \quad (3.11)$$

Таким образом, корреляционная связь между существующим порядком и критерием R_3 является обратной и высокой, расчеты коэффициента Пирсона для критериев в задаче принятия решений представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Результаты корреляционного анализа задачи принятия решений

Критерии	Коэффициент Пирсона			Теснота корреляционной связи		
	R_1	R_2	R_3	R_1	R_2	R_3
P_f	0,86	-0,76	-0,93	Прямая высокая	Обратная высокая	Обратная очень высокая

Результаты корреляционного анализа критериев позволяют выдвинуть следующее предположение: существующий порядок сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинции Лангшон основан на минимизации критерия R_3 удельного ущерба от одного пожара, произошедшего в провинции – источнике ресурса.

По степени влияния на порядок сосредоточения пожарных подразделений наиболее важным критерием является R_3 , следующим по важности является критерий R_1 , наименее важный критерий – это критерий R_2 .

3.3. Разработка порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара

3.3.1. Формирование возможных вариантов

Расчет предпочтительности источников ресурса выполним на основе существующего «фактического» порядка высылки ресурсов пожарной охраны – расписания выездов для тушения крупных пожаров.

Исходная последовательность сосредоточения ресурсов для тушения крупного пожара в провинциях $X = \{x_1, \dots, x_5\}$.

Проведем синтез пар парето-оптимальных сравнений источников ресурсов по предпочтительности их прибытия для тушения крупного пожара к потребителю ресурса и для каждой синтезированной пары парето-оптимальных источников ресурса с помощью алгоритма формализации порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны определим параметры важности критериев в модели принятия

решений, для расчета «рационального» порядка прибытия ресурсов пожарной охраны.

Рассмотрим все возможные парные сравнения источника ресурса:

для варианта x_1 : { x_1 и x_2 ; x_1 и x_3 ; x_1 и x_4 ; x_1 и x_5 };

для варианта x_2 : { x_2 и x_3 ; x_2 и x_4 ; x_2 и x_5 };

для варианта x_3 : { x_3 и x_4 ; x_3 и x_5 };

для варианта x_4 : { x_4 и x_5 }.

Так как для этих парных сравнений должно выполняться условие, что интегральный критерий R для $R(x_i) > R(x_j)$, то $x_i > x_j$, $\forall i < j$.

Покажем работу созданного алгоритма и рассмотрим первое парное сравнение x_1 и x_2 . Так как $1 < 2$, то в соответствии с фактическим порядком сосредоточения ресурсов пожарной охраны имеем, что $x_1 > x_2$, тогда применим разработанный алгоритм.

На первом этапе определим значения $\{y_1; y_2; y_3\}$ по формуле:

$$y_1 = \frac{R_1(x_1)}{R_1(x_2)} = \frac{0,40}{0,48} = 0,83; \quad (3.12)$$

$$y_2 = \frac{R_2(x_1)}{R_2(x_2)} = \frac{0,65}{0,68} = 0,96; \quad (3.13)$$

$$y_3 = \frac{R_3(x_1)}{R_3(x_2)} = \frac{0,81}{0,66} = 1,23. \quad (3.14)$$

Распределяем критерии по группам: так как $y_1 < 1$ и $y_2 < 1$, то критерии R_1 и R_2 относятся к группе \mathbf{B} , в свою очередь $y_3 > 1$ и, следовательно, критерий R_3 относится к группе \mathbf{A} . Следовательно, во множество номеров критериев $\mathbf{I}_A = \{3\}$, а во множество номеров критериев $\mathbf{I}_B = \{1; 2\}$. То есть, в данном случае имеем дело с ситуацией распределения критериев по группам: $\mathbf{A} = \{R_3\}$, $\mathbf{B} = \{R_1; R_2\}$, что соответствует парето-оптимальной ситуации при парном сравнении вариантов x_1 и x_2 , а формулы для оценки важности критериев используем из таблицы «один важнее многих» ($1 \rightarrow \infty$) для ситуации k_3 .

Для каждой комбинации критериев из групп **A** и **B** рассчитываем значения логарифмических коэффициентов относительной важности по формулам:

– для критериев R_3 и R_1 :

$$\Omega_{3,1} = \log_{\left(\frac{y_3}{y_1}\right)} \left(\frac{1}{y_1}\right) = \log_{\left(\frac{1,23}{0,83}\right)} \left(\frac{1}{0,83}\right) = 0,47 ; \quad (3.15)$$

– для критериев R_3 и R_2 :

$$\Omega_{3,2} = \log_{\left(\frac{y_3}{y_2}\right)} \left(\frac{1}{y_2}\right) = \log_{\left(\frac{1,23}{0,96}\right)} \left(\frac{1}{0,96}\right) = 0,16 . \quad (3.16)$$

Определяем весовые коэффициенты ω по формулам для ситуации (0;0;1). Расчет для критерия R_2 , принадлежащего группе **B**, среди набора логарифмических коэффициентов относительной важности номер $j=1$, содержится только в одном случае Ω_{21} , тогда $\sum_1 \Omega_{ij} = \Omega_{31} = 0,47$, и формула примет вид:

$$\omega_1 = \frac{a - \Omega_{31}}{a(1+b)+c} = \frac{1 - 0,47}{1(1+2)+0} = 0,18. \quad (3.17)$$

Расчет для критерия R_2 – группа **B**, среди набора Ω_{ij} номер $i=2$ встречается один раз, тогда $\sum_2 \Omega_{ij} = \Omega_{32} = 0,16$, и вес критерия определим по формуле:

$$\omega_2 = \frac{a - \Omega_{32}}{a(1+b)+c} = \frac{1 - 0,16}{1(1+2)+0} = 0,28. \quad (3.18)$$

Расчет для критерия R_3 – группа **A**. Среди набора Ω_{ij} номер $j=3$ встречается два раза, тогда $\sum_3 \Omega_{ij} = \Omega_{31} + \Omega_{32} = 0,47 + 0,16 = 0,63$, тогда формула:

$$\omega_3 = \frac{1 + \Omega_{31} + \Omega_{32}}{a(1+b)+c} = \frac{1 + 0,47 + 0,16}{1(1+2)+0} = 0,54. \quad (3.19)$$

Вычислим значения общего критерия R с учетом полученных нормированных весовых коэффициентов, например, для варианта x_1 :

$$R(x_1) = (R_1(x_1))^{\omega_1} (R_2(x_1))^{\omega_2} (R_3(x_1))^{\omega_3} = 0,4^{0,18} \cdot 0,65^{0,28} \cdot 0,81^{0,54} = 0,669, \quad (3.20)$$

для других вариантов расчеты выполнены аналогично, результаты представлены в таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Оценка и ранжирование источников ресурса

	R_1	R_2	R_3	R	Порядок сосредоточения
x_1	0,4	0,65	0,81	0,669	1
x_2	0,48	0,68	0,66	0,626	2
x_3	0,38	0,56	0,44	0,455	4
x_4	0,67	0,32	0,42	0,420	5
x_5	0,77	0,48	0,39	0,463	3

Для оставшихся парето-оптимальных пар источников ресурсов пожарной охраны расчеты выполним аналогичным образом, результаты представим в таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Результаты работы алгоритма формирования рациональных вариантов порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны

Пары ресурсов	Код	Вывод	Веса критериев в свертке			Номер вызова ресурсов ПО				
			ω_1	ω_2	ω_3	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1 и x_2	0;0;1	P-opt	0,18	0,28	0,55	1	2	4	5	3
x_1 и x_3	0;1;1	P-opt	0,29	0,35	0,36	1	2	4	5	3
x_1 и x_4	1;1;1	Пара не парето-оптимальна								
x_1 и x_5	0;1;1	P-opt	0,21	0,42	0,37	1	2	4	5	3
x_2 и x_3	0;1;1	P-opt	0,32	0,33	0,36	1	2	4	5	3
x_2 и x_4	1;1;1	Пара не парето-оптимальна								
x_2 и x_5	0;1;1	P-opt	0,24	0,39	0,37	1	2	4	5	3
x_3 и x_4	1;0;0	P-opt	0,53	0,17	0,31	3	2	5	4	1
x_3 и x_5	0;0;1	P-opt	0,12	0,05	0,83	1	2	4	3	5
x_4 и x_5	0;1;1	P-opt	0,08	0,45	0,46	1	2	3	5	4

После того как сформулированы допустимые варианты порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, приступим к выбору наилучшего из них.

3.3.2. Выбор предпочтительного варианта

Выбор наилучшего варианта проводится на основе характеристики D , оценивающей влияние смены фактического порядка сосредоточения на сложность работы пожарных подразделений на месте пожара.

Определяем соответствие рационального и фактического порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны. Для этого воспользуемся вторым научным результатом исследования – алгоритмом выбора ведущей парето-оптимальной пары источников ресурса пожарной охраны.

Множество вариантов порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны будет содержать следующие элементы:

$P_{r1} = \{1; 2; 4; 5; 3\}$ соответствует парето-оптимальным парам источников ресурса $\{x_1 \text{ и } x_2; x_1 \text{ и } x_3; x_1 \text{ и } x_5; x_2 \text{ и } x_3; \}$;

$P_{r2} = \{3; 2; 5; 4; 1\}$ соответствует парето-оптимальной паре источников ресурса $\{x_3 \text{ и } x_4\}$;

$P_{r3} = \{1; 2; 4; 3; 5\}$ соответствует парето-оптимальной паре источников ресурса $\{x_3 \text{ и } x_5\}$;

$P_{r3} = \{1; 2; 3; 5; 4\}$ соответствует парето-оптимальной паре источников ресурса $\{x_4 \text{ и } x_5\}$.

Выполним пример расчета характеристики D_1 для порядка P_{r1} , для этого запишем формулу:

$$D_1 = \sum_{s=1}^n \rho_s T Z_s = 0 \cdot 37,4 + 0 \cdot 34,8 + 1 \cdot 17,0 + 1 \cdot 12,6 + 1 \cdot 18,4 = 48, \text{ ч. (3.21)}$$

Для других порядков сосредоточения характеристика D рассчитана аналогично, а полученные данные представлены в таблице 3.14.

Таблица 3.14 – Результаты расчета характеристики D

Фактический					Матрица сопоставления порядков				TZ, ч	Расчет характеристики D			
Pf	Pr ₁	Pr ₂	Pr ₃	Pr ₄						D ₁ , ч	D ₂ , ч	D ₃ , ч	D ₄ , ч
1	1	3	1	1	0	1	0	0	37,4	0	37,4	0	0
2	2	2	2	2	0	0	0	0	34,8	0	0	0	0
3	4	5	4	3	1	1	1	0	17	17	17	17	0
4	5	4	3	5	1	0	1	1	12,6	12,6	0	12,6	12,6
5	3	1	5	4	1	1	0	1	18,4	18,4	18,4	0	18,4
										48	72,8	29,6	31

Анализируя данные, представленные в таблице 3.14, делаем вывод, что наиболее близким к фактическому является рациональный порядок Pr₃, так как характеристика D для него имеет минимальное значение.

Таким образом, в результате анализа фактического порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров в провинции Вьетнама Лангшон определено:

– ведущая пара парето-оптимальная пара источников ресурса – это $X_3 > X_5$, так как для данной пары сформирован порядок сосредоточения ресурсов пожарной охраны и наблюдается минимальное значение характеристики D среди всех остальных парето-оптимальных пар;

– распределение критериев по группам $\mathbf{A} = \{R_3\}$ и $\mathbf{B} = \{R_1; R_2\}$, что соответствует результатам корреляционного анализа оценок источников ресурса по критериям. При этом логарифмические коэффициенты относительной важности критериев составят величины $\Omega_{3,1}=0,64$ и $\Omega_{3,2}=0,84$ соответственно, а весовые коэффициенты важности критериев в итоговой мультипликативной свертке критериев будут равны: $\omega_1=0,12$, $\omega_2=0,05$, $\omega_3=0,83$ тогда функция ранжирования вариантов в порядке сосредоточения ресурсов пожарной охраны $R = R_1^{0,12} \cdot R_2^{0,05} \cdot R_3^{0,83}$;

– выбранный рациональный порядок сосредоточения ресурсов пожарной охраны для провинции Вьетнама Лангшон будет следующим: вызов № 1 – ресурсы пожарной охраны провинции x_1 ; вызов № 2 – ресурсы пожарной охраны провинции x_2 ; вызов № 3 – ресурсы пожарной охраны провинции x_4 ; вызов № 4 – ресурсы пожарной охраны провинции x_3 , и вызов № 5 – ресурсы пожарной охраны провинции x_5 .

Второй этап технологии принятия решений завершен, и определён рациональный порядок сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров в провинции Лангшон. Переходим к третьему этапу технологии и оценим экономический эффект с учетом адаптации системы управления к новому порядку сосредоточения ресурсов пожарной охраны путем оценки затрат на проведение пожарно-тактического учения и окупаемости предложенного проекта решения.

3.4. Оценка эффективности внедрения порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров

Выполним оценку экономической эффективности перехода с фактического на рациональный порядок сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара и определим целесообразность принятия данного решения. Для этого воспользуемся адаптированной под задачу управления методикой технико-экономического обоснования противопожарных мероприятий МДС 21.3 – 2001 (далее – методические документы строительства), приложение к СНиП 21.01.97* в Российской Федерации.

3.4.1. Методика оценки экономической эффективности

В соответствии с МДС абсолютный (интегральный) экономический эффект определяется по формуле:

$$I = \sum_{t=0}^T (Y - O_t) D_i, \quad (3.22)$$

где Y – предотвращенные потери денежных средств от возможных пожаров, которые могут произойти в процессе занятости пожарных подразделений по тушению крупных пожаров в соседних регионах (провинциях), у.е.; O_t – оттоки денежных средств на выполнение противопожарного мероприятия на i -ом шаге, у.е.; T – горизонт расчета (продолжительность расчетного периода) равен номеру шага расчета, на котором проводится его окончание; t – год осуществления принятого решения; D_i – коэффициент (функция) удорожания среднего ущерба от одного пожара в регионе, на i -ом шаге.

Коэффициент удорожания среднего ущерба от одного пожара в регионе допускается вычислять по формуле:

$$D_i = \left(1 + \frac{ND}{100}\right)^t, \quad (3.23)$$

где ND – постоянная норма удорожания среднего ущерба от одного пожара, %. По оценкам в первом приближении норма удорожания среднего ущерба от одного пожара по результатам исследований Н. Г. Топольского, В. А. Минаева и До Хоанг Тха в провинциях Вьетнама составляет величину $ND=4...10$ %, поэтому в инженерных расчетах допускается принимать среднюю норму удорожания $ND=7$ %.

Стоит отметить, что для удобства вычислений коэффициент удорожания

может быть оценен, исходя из условий, что в первый год реализации при $t=0$, $D_0=1$, если же $t > 0$, то $D_k = \prod_{k=1}^t (1 + 0,01ND_k)$ и $D_k > 0$.

Предотвращенные потери денежных средств Y от возможных пожаров, которые могут произойти в процессе занятости пожарных подразделений по тушению крупных пожаров в соседних регионах (провинциях), определяются по формуле:

$$Y = M(\Pi_B) - M(\Pi_A), \text{ у.е.}, \quad (3.24)$$

где $M(\Pi_B)$ и $M(\Pi_A)$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, возникших за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара при базовом и альтернативном варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны, у.е.

Тогда относительный экономический эффект от корректировки последовательности прибытия ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров будет определяться по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{M(\Pi_B) - M(\Pi_A)}{M(\Pi_B)} 100\% . \quad (3.25)$$

Математическое ожидание годовых потерь от пожаров, возникших за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара при базовом и альтернативном варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны:

$$M(\Pi_{B(A)}) = \sum_{i=1}^n M_i(\Pi_{B(A)}), \quad (3.26)$$

где $M_i(\Pi_{B(A)})$ – математическое ожидание годовых потерь от пожаров, возникших за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара при базовом и альтернативном варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны по вызову i , у.е.; n – общее количество номеров вызова пожарных подразделений.

Величина математического ожидания годовых потерь от пожаров, возникших за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара при базовом и альтернативном варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны по вызову i , определяют по формуле:

$$M_i(P_{B(A)}) = U_{mi} N_i \frac{p_{vi}}{p_{ti}}, \text{ у.е.}, \quad (3.27)$$

где U_{mi} – удельный ущерб от пожаров, зарегистрированных в провинции – источнике ресурсов по вызову i , у.е.; p_{ti} – вероятность тушения крупного пожара; N_i – количество случаев тушения крупных пожаров по вызову i в провинции за год; p_{vi} – вероятность возникновения пожара за ожидаемое время занятости ресурсов пожарной охраны при тушении крупного пожара по вызову i .

Вероятность тушения крупного пожара с учетом тактического потенциала пожарных подразделений, отвлеченных для тушения крупного пожара, определяется по формуле:

$$p_{ti} = 1 - \exp(-E_{mi}/E_{m0}), \quad (3.28)$$

где E_{mi} – тактический потенциал пожарных подразделений провинций – источников ресурса; E_{m0} – ожидаемый тактический потенциал пожарных подразделений во Вьетнаме.

Вероятность возникновения пожара за ожидаемое время занятости ресурсов пожарной охраны при тушении крупного пожара по вызову i рассчитывается по формуле:

$$p_{vi} = 1 - \exp(-\lambda_i \tau_i); \lambda_i = \frac{N_{mi}}{8760}, \quad (3.29)$$

где λ_i – интенсивность возникновения пожара, $ч^{-1}$; τ_i – ожидаемое время занятости ресурсов пожарной охраны при тушении крупного пожара по вызову i , ч; N_{mi} – среднее годовое количество зарегистрированных пожаров в провинции – источнике

ресурсов по вызову i , у.е.

Корректировка порядка привлечения последовательности сосредоточения пожарных подразделений предполагает проведение пожарно-тактического учения для обеспечения слаженности пожарных подразделений при работе по новой структуре взаимодействия. Тогда расчет затрат на компенсацию снижения слаженности в действиях пожарных подразделений при переходе с базовой на альтернативную последовательность прибытия пожарных подразделений определяется путем оценки затрат денежных средств на проведение пожарно-тактического учения и проводится по формуле:

$$O_t = U + M(\Pi_U), \text{ у.е. ,} \quad (3.30)$$

где U – затраты на проведение пожарно-тактического учения с привлечением ресурсов пожарной охраны из всех задействованных регионов, у.е.; $M(\Pi_U)$ – математическое ожидание ущерба от потенциального пожара, возникшего за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для проведения пожарно-тактического учения при альтернативном варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны, у.е.

Математическое ожидание $M(\Pi_U)$ ущерба от потенциального пожара, возникшего за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для проведения пожарно-тактического учения (далее – ПТУ), рассчитывается аналогично математическому ожиданию годовых потерь от пожаров при альтернативном варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны, но при ожидаемой продолжительности проведения пожарно-тактических учений от 1 до 5 часов.

Абсолютный экономический эффект оценивается с учетом окупаемости принятого решения по корректировке последовательности сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров на горизонте планирования T следующим образом: если на горизонте планирования T наблюдается значение $I_T > 0$, то принятое решение эффективно.

3.4.2. Оценка относительного экономического эффекта

Проведём оценку экономической эффективности корректировки схемы сосредоточения пожарных подразделений для провинции Вьетнама Лангшон на основе исходных данных. Здесь будем считать, что базовый вариант – это фактический порядок сосредоточения ресурсов пожарной охраны, а альтернативный вариант – это рациональный порядок, который определен в процессе реализации технологии принятия решений.

Результаты оценки математического ожидания годовых потерь от потенциального пожара, возникшего за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара при базовом варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны, представлены в таблице 3.15.

Таблица 3.15 – Результаты оценки математического ожидания годовых потерь от потенциального пожара по базовому варианту

Порядок сосредоточения ресурсов ПО	N_m	U_m , млн. у.е.	E_m	τ , ч	Нсл	p_v	p_t	$M(P_B)$, млн. у.е.	
Вызов №1 x1	1	18,3	88,9	26,8	2,2	17	0,0045853	0,414916	16,7
Вызов №2 x2	2	16,1	189,1	36,9	2,9	12	0,0053157	0,521931	23,11
Вызов №3 x3	3	27,6	467,4	25,2	3,2	7	0,0100315	0,395891	82,9
Вызов №4 x4	4	74,3	519,9	80,3	6,5	6	0,0536391	0,799311	209,33
Вызов №5 x5	5	37	581	138,1	9,2	2	0,0381131	0,936835	47,27

Таким образом, общее математическое ожидание годовых потерь от потенциального пожара, возникшего за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара при базовом варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны, составит величину $M(P_B) = 379,31$ млн у.е.

В таблице 3.16 представлена оценка математического ожидания годовых потерь от потенциального пожара при альтернативном варианте сосредоточения для тушения крупных пожаров в провинции Лангшон.

Таблица 3.16 – Результаты оценки математического ожидания годовых потерь от потенциального пожара по альтернативному варианту

Порядок сосредоточения ресурсов ПО	N_m	U_m , млн. у.е.	E_m	τ , ч	Нсл	p_v	p_t	$M(P_6)$, млн. у.е.	
Вызов №1 x1	1	18,3	88,9	26,8	2,2	17	0,0045853	0,414916	16,7
Вызов №2 x2	2	16,1	189,1	36,9	2,9	12	0,0053157	0,521931	23,11
Вызов №3 x4	4	74,3	519,9	80,3	3,2	7	0,0267765	0,799311	121,91
Вызов №4 x3	3	27,6	467,4	25,2	6,5	6	0,0202712	0,395891	143,6
Вызов №5 x5	5	37	581	138,1	9,2	2	0,0381131	0,936835	47,27

Общее математическое ожидание годовых потерь от потенциального пожара, возникшего за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара при альтернативном варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны, составит величину $M(\Pi_A) = 352,59$ млн у.е.

Сопоставление годовых потерь от пожаров при базовом и альтернативном варианте сосредоточения подразделений пожарной охраны представлено на рисунке 3.2.

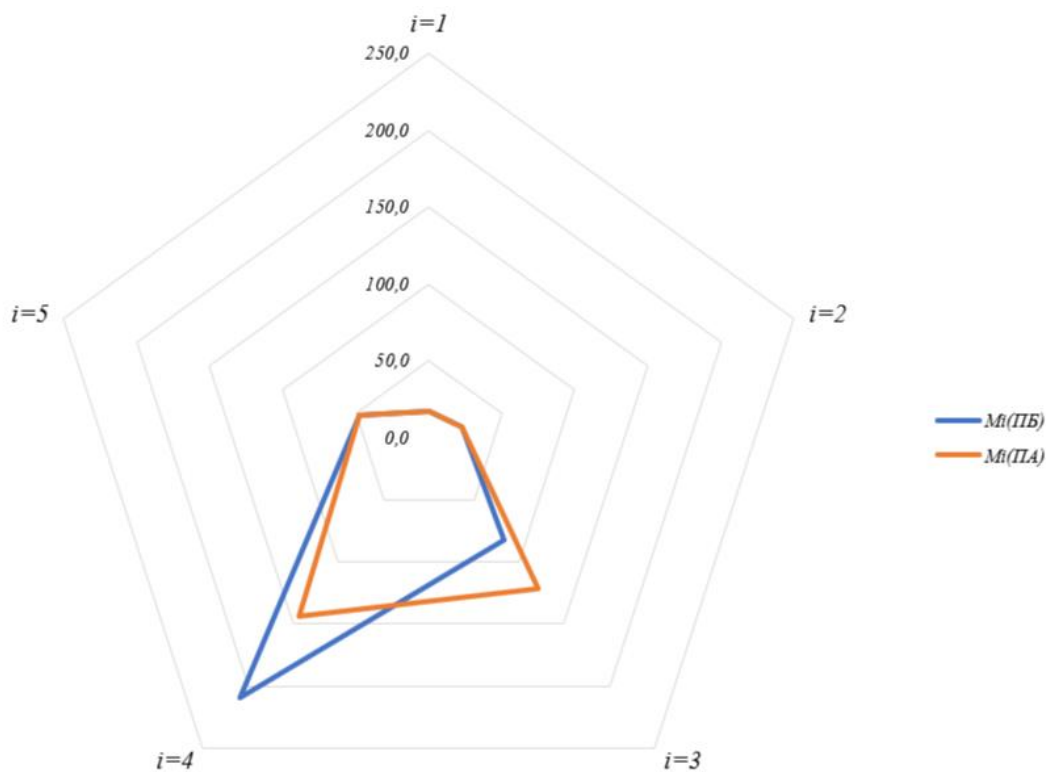


Рисунок 3.2 – Сопоставление результатов оценки годовых потерь от потенциального пожара при базовом и альтернативном варианте

Анализируя данные, представленные на рисунке 3.2, можно сделать вывод, что отличие базового от альтернативного варианта наблюдается при номерах вызова $i=3$ и $i=4$. При переходе с базового варианта на альтернативный наблюдается увеличение годовых потерь по вызову $i=3$, что компенсируется существенным снижением годовых потерь по вызову $i=4$.

Следовательно, относительный экономический эффект от корректировки последовательности прибытия ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров с базового варианта на альтернативный определим по формуле:

$$\mathcal{E} = \frac{M(\Pi_B) - M(\Pi_A)}{M(\Pi_B)} 100\% = \frac{379,31 - 352,59}{379,31} 100\% = 7,04\% . \quad (3.31)$$

3.4.3. Оценка абсолютного экономического эффекта

При переходе с базового варианта сосредоточения на альтернативный наблюдается изменение по максимальному номеру вызова $i=5$. Тогда затраты на проведение пожарно-тактического учения с привлечением ресурсов пожарной охраны из всех задействованных регионов примем равными 1,5 млн у.е.

В таблице 3.17 представлены результаты оценки величины $M_i(\Pi_U)$ математического ожидания ущерба от потенциального пожара, возникшего за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для проведения ПТУ при альтернативном варианте сосредоточения ресурсов пожарной охраны, при условии, что время на проведение ПТУ составит $\tau=2$ (ч).

Общее значение математического ожидания ущерба от потенциального пожара, возникшего за время отвлечения ресурсов пожарной охраны для проведения пожарно-тактического учения, составит $M(\Pi_U) = 162,7$ млн у.е.

Таблица 3.17 – Результаты оценки величины $M_i(P_U)$ по номерам вызова i

Порядок сосредоточения ресурсов ПО	N_m	U_m , млн. у.е.	E_m	τ , ч	$N_{сл}$	p_v	p_t	$M(P_U)$, млн. у.е.	
Вызов №1 x_1	1	18,3	88,9	26,8	2	17	0,0041694	0,414916	15,2
Вызов №2 x_2	2	16,1	189,1	36,9	2	12	0,0036691	0,521931	16
Вызов №3 x_4	4	74,3	519,9	80,3	2	7	0,0168204	0,799311	76,6
Вызов №4 x_3	3	27,6	467,4	25,2	2	6	0,0062816	0,395891	44,5
Вызов №5 x_5	5	37	581	138,1	2	2	0,0084119	0,936835	10,4

Результаты оценки абсолютного экономического эффекта при переходе с базового варианта сосредоточения на альтернативный за период $T=10$ лет при средней норме удорожания стоимости пожара $ND=7\%$ представлены на рисунке 3.3.

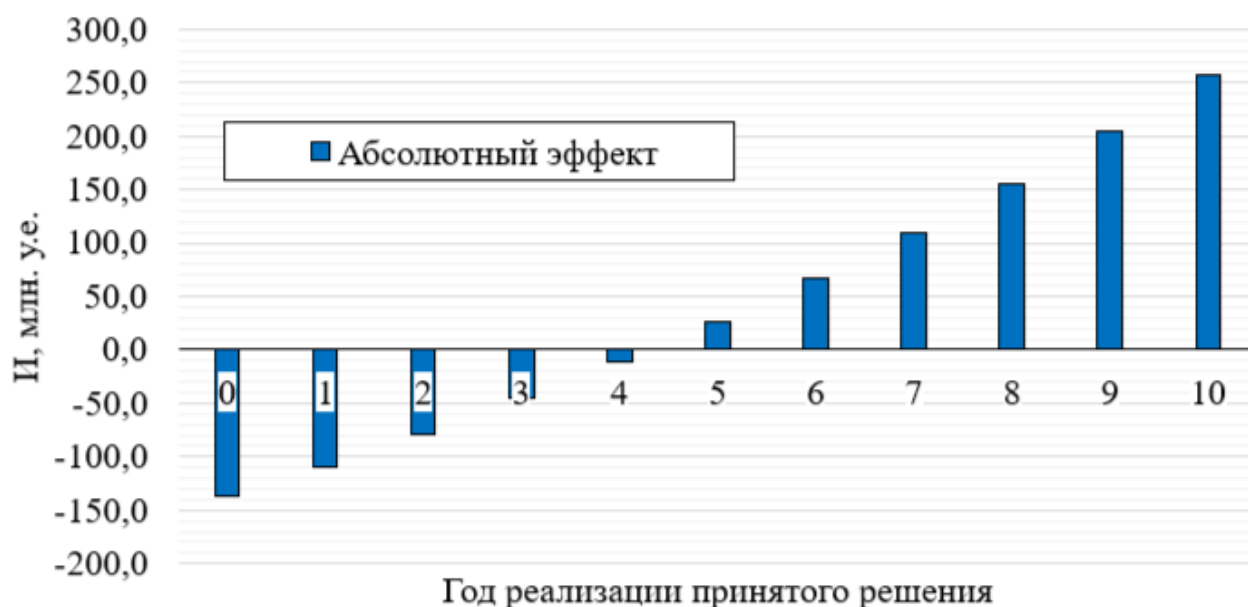


Рисунок 3.3 – Динамика абсолютного экономического эффекта

Детализированные данные по расчету абсолютного экономического эффекта при реализации альтернативного варианта представлены в таблице 3.18.

Таблица 3.18 – Результаты оценки абсолютного экономического эффекта

Год	У	U	M(Π _U)	D	И _t	И
	млн. у.е.	млн. у.е.	млн. у.е.		млн. у.е.	млн. у.е.
0	26,72	1,5	162,7	1,00	-137,5	-137,5
1	26,72	0	0	1,07	28,6	-108,9
2	26,72	0	0	1,14	30,5	-78,4
3	26,72	0	0	1,23	32,9	-45,5
4	26,72	0	0	1,31	35,0	-10,5
5	26,72	0	0	1,40	37,4	26,9
6	26,72	0	0	1,50	40,1	67,0
7	26,72	0	0	1,61	43,0	110,0
8	26,72	0	0	1,72	46,0	156,0
9	26,72	0	0	1,84	49,2	205,2
10	26,72	0	0	1,97	52,6	257,8

Анализируя данные, представленные в таблице 3.18, делаем вывод, что окупаемость перехода с базового варианта сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинции Лангшон на альтернативный вариант наблюдается на 5-м году реализации решения, а абсолютный экономический эффект от принятого решения за 10 лет составит величину, равную 257,8 млн у.е. Учитывая, что относительный эффект и абсолютный эффект от принятого решения составляют положительные величины, полагаем: переход на альтернативный вариант сосредоточения пожарных подразделений следует считать целесообразным.

Выводы по главе 3

В результате проведенных исследований на научной базе фундаментальных основ совершенствования технологий управления в организационных системах получены следующие результаты:

1. Предложена новая процедура принятия управленческих решений по разработке порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров. Практическая апробация технологии принятия решений выполнена при решении задачи сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинции Вьетнама – Лангшон.

2. На основе имеющегося фактического порядка сосредоточения пожарных подразделений, включающего в себя вариант прибытия пожарных подразделений в провинцию Лангшон, разработан рациональный порядок сосредоточения ресурсов пожарной охраны. Для этого были рассчитаны оценки предпочтительности источников ресурсов пожарной охраны, а с использованием научных результатов диссертации определена их важность.

3. Выполнена оценка экономической целесообразности внедрения рационального порядка сосредоточения пожарных подразделений. Показано, что применение разработанной процедуры принятия решений приводит к повышению относительного экономического эффекта на 7 %, а окупаемость принятого решения возникает на 5-м году его реализации, при этом абсолютный экономический эффект положителен, что подтверждает целесообразность применения разработанной процедуры принятия решений при формировании порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинциях Вьетнама.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации получены новые научные результаты для совершенствования процесса управления ресурсами пожарной охраны при принятии управленческих решений по сосредоточению данных ресурсов для тушения крупных пожаров:

1. Проведен анализ задач управления ресурсами пожарной охраны при организации тушения крупных пожаров на примере организации пожаротушения во Вьетнаме. Показано, что рост экономики государств обуславливает повышение случаев возникновения крупных пожаров, что определяет необходимость разработки процедур принятия решений по сосредоточению дополнительных ресурсов пожарной охраны для их эффективной локализации и ликвидации. На основе рассмотрения мирового опыта решения задач управления ресурсами пожарной охраны проведен обоснованный выбор методов для разработки оптимизационных моделей и информационных ресурсов, для создания рационального порядка сосредоточения пожарных подразделений при тушении крупных пожаров.

2. Разработана мультипликативная модель для многокритериального выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов. Модель предназначена для расчета весов критериев в их мультипликативной свертке при ранжировании вариантов в порядке их предпочтительности и, следовательно, является источником информации о важности критериев в процессе принятия решений. Применение данной модели в процессе разработки порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров позволяет оценить степень влияния каждого из критериев на процесс ранжирования источников ресурсов пожарной охраны в процессе их использования при тушении крупных пожаров.

3. Разработан алгоритм расчета рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, включающий в себя следующие этапы: 1) построение множества парето-оптимальных пар источников

ресурса; 2) формирование множества допустимых вариантов порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны; 3) выбор наиболее предпочтительного варианта порядка сосредоточения. Алгоритм позволяет оптимизировать порядок сосредоточения дополнительных ресурсов на основе оценки слаженности работы пожарных подразделений.

4. Разработана процедура принятия управленческих решений при совершенствовании порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров. Практическая апробация процедуры принятия управленческих решений выполнена при решении задачи сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинции Вьетнама – Лангшон. Показано, что применение разработанной процедуры приводит к повышению относительного экономического эффекта на 7 %, а окупаемость принятого решения, с учетом затрат на проведение пожарно-тактических учений, возникает на 5-м году его реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алехин, Е. М. Проверка адекватности математических моделей процесса функционирования аварийно-спасательных служб / Е. М. Алехин, Н. Н. Брушлинский, Ю. И. Коломиец [и др.] – Текст : непосредственный // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 1997. – № 10. – С. 47.

2. Аристархов, В. А. Определение объемов затрат на содержание техники в МЧС России / М. Д. Безбородько, В. А. Аристархов, А. В. Рожков. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 6 (76). – С. 44–49. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35344155>.

3. Аристархов, В. А. Оценка обеспеченности подразделений МЧС России пожарной и аварийно-спасательной техникой / В. А. Аристархов. – Текст : электронный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2020. – № 2. – С. 66–71. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-obespechennosti-podrazdeleniy-mchs-rossii-pozharnoy-i-avariyno-spasatelnoy-tehnikoy/viewer>.

4. Аристархов, В. А. Поддержка принятия решения о необходимости замены пожарных автомобилей в пожарно-спасательных подразделениях / В. А. Аристархов, А. В. Рожков. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 2 (92) – С. 106–115. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46411317>.

5. Аристархов, В. А. Современные аспекты категорирования по техническому состоянию образцов пожарной и аварийно-спасательной техники / В. А. Аристархов. – Текст : электронный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 2. – С. 87–94. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-aspekty-kategorirovaniya-po-tehnicheskomu-sostoyaniyu-obraztsov-pozharnoy-i-avariyno-spasatelnoy-tehnik>

6. Белов, М. В. Организация и управление комплексной деятельностью / М. В. Белов, Д. А. Новиков. – Текст : непосредственный // Проблемы теории и практики управления. – 2018. – № 2. – С. 21–37.

7. Белов, М. В. Проблемы управления технологией комплексной деятельности организационно-технических систем / М. В. Белов, Д. А. Новиков. – Текст : непосредственный // Проблемы теории и практики управления. – 2018. – № 7. – С. 118–133.

8. Белов, М. В. Управление жизненными циклами организационно-технических систем / М. В. Белов, Д. А. Новиков. – Москва : ЛЕНАНД, 2020. – 384 с. – Текст : непосредственный.

9. Беляева, К. С. Структурная схема мультиагентного моделирования поведения людей при эвакуации в чрезвычайных ситуациях / К. С. Беляева, А. В. Матвеев. – Текст : непосредственный // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – Т. 1. – С. 70–73.

10. Брушлинский, Н. Н. О статистике пожаров и о пожарных рисках / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 4. – С. 40–48.

11. Брушлинский, Н. Н. Проблемы обеспечения пожарной безопасности в мире на рубеже столетий / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов, П. Вагнер. – Текст : непосредственный // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2000. – № 6. – С. 68.

12. Бурков, В. Н. Проблемы комплексирования и декомпозиции механизмов управления организационно-техническими системами / В. Н. Бурков, Н. А. Коргин, Д. А. Новиков. – Текст : непосредственный // Проблемы управления. – 2016. – № 5. – С. 14–23.

13. Бурков, В. Н. Механизмы функционирования организационных систем / В. Н. Бурков, В. В. Кондратьев. – Москва : Наука, 1981. – 384 с. – Текст : непосредственный.

14. Бурков, В. Н. Теория активных систем: состояние и перспективы : монография / В. Н. Бурков, Д. А. Новиков. – Москва : ООО НПГ Синтег, 1999. – С. 128. – Текст : непосредственный.

15. Бурков, В. Н. Механизмы управления : учебное пособие / В. Н. Бурков, И. В. Буркова, М. В. Губко [и др.]; под ред. Д. А. Новикова. – Москва : УРСС, 2011. – 192 с. – Текст : непосредственный.

16. Вилисов, В. Я. Нейросетевое моделирование эффективности реагирования на чрезвычайные ситуации в многоуровневой системе управления / Н. Г. Топольский, С. Ю. Бутузов, В. Я. Вилисов [и др.]. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2021. – № 2 (92). – С. 79–93. – URL: <https://uigps.ru/nauka/tekhnosfernaya-bezopasnost-nauchnyu-elektronnyu-zh/>.

17. Вилисов, В. Я. Оценка потенциала повышения эффективности реагирования пожарных подразделений за счет контроля их готовности / Н. Г. Топольский, В. Я. Вилисов. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 3. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6895>.

18. Вилисов, В. Я. Применение марковских цепей для моделирования и прогнозирования развития пожара / В. Я. Вилисов. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2021. – № 3. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2021/6895>.

19. Вилисов, В. Я. Система моделей для анализа и управления эффективностью реагирования подразделений противопожарной службы / В. Я. Вилисов, В. Л. Семиков, С. П. Алексеев. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 3 (85). – С. 65–76. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41160488>.

20. Вилисов, В. Я. Статистический анализ зависимости показателей ущерба показателей ущерба от времени прибытия первого пожарного подразделения на пожар / В. Л. Семиков, С. П. Алексеев, В. Я. Вилисов. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 2 (84). – С. 72–83. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38471501>.

21. Воднев, С. А. Модель комплексной оценки процесса технического обеспечения аварийно-спасательных средств подразделений МЧС России / С. А. Воднев, А. В. Максимов, А. В. Матвеев. – Текст : непосредственный // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2018. – № 2 (46). – С. 73–80.

22. Дали, Ф. А. Методологические основы проверки соответствия требованиям пожарной безопасности объектов защиты : монография / Ф. А. Дали, А. В. Вагин, А. С. Дорожкин [и др.]. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2021. – 312 с. – Текст : непосредственный.

23. Дали, Ф. А. Применение современных информационных технологий в системе управления силами и средствами МЧС России / Ф. А. Дали. – Текст : непосредственный // Инфокоммуникационные технологии. – 2021. – №4. – С. 34–38.

24. Дали, Ф. А. Совершенствование механизмов управления пожароопасными событиями в социально-экономической системе объектов и населённых пунктов / Ф. А. Дали. – Текст : электронный // Инженерный Вестник Дона. – 2021. – №7. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-mehanizmov-upravleniya-pozharoopasnymi-sobytiyami-v-sotsialno-ekonomicheskoy-sisteme-obektov-i-naselyonnyh>.

25. Дали, Ф. А. Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ. Управление пожароопасными событиями на объектах социально-экономической инфраструктуры : № 2021616783 от 27.04.2021 / Ф. А. Дали, Д. Ю. Минкин, А. Ю. Лебедев, А. А. Ульяновский. – Москва : ФИПС, 2021. – Текст : непосредственный.

26. Дао, А. Т. Пожарные риски. Типологизация территорий. Управление ресурсами : монография / А. Т. Дао, В. А. Минаев, Н. Г. Топольский [и др.]. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2018. – 279 с. – Текст : непосредственный.

27. Дао, А. Т. Анализ пожарной обстановки во Вьетнаме в 2001–2015 годах / А. Т. Дао. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – Выпуск №5 (69). – 7с. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/29-05-16.ttb.pdf>.

28. Минаев, В. А. Информационное обеспечение задачи типологизации территорий Вьетнама по пожарной обстановке / В. А. Минаев, Н. Г. Топольский,

Дао Ань Туан. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – Выпуск №1 (71). – 10 с. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-1/41-01-17.ttb.pdf>

29. Минаев, В. А. Проблемы и основные факторы оценки пожарных рисков во Вьетнаме / В. А. Минаев, Н. Г. Топольский, Дао Ань Туан. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – Выпуск № 1 (65). – 9 с. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/32-01-16.ttb.pdf>.

30. Минаев, В. А. Результаты типологизации территорий Вьетнама по характеристикам пожарной обстановке / В. А. Минаев, Н. Г. Топольский, В. В. Симаков [и др.]. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – Выпуск №4 (74). – 11 с. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-4/05-04-17.ttb.pdf>.

31. Минаев, В. А. Типологизации территорий Вьетнама по характеристикам пожарной опасности в секторе хозяйствующих субъектов / В. А. Минаев, Н. Г. Топольский, Дао Ань Туан, Нгуен Туан Ань. – Текст : электронный // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2017. – Выпуск №4. – 9 с. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tipologizatsii-territoriy-vietnama-po-harakteristikam-pozharnoy-opasnosti-v-sektore-hozyaystvuyuschih-subektov>.

32. Топольский, Н. Г. Модели и алгоритмы автоматизации поддержки управления проведением поисково-спасательных работ / Н. Г. Топольский, А. В. Мокшанцев, Е. А. Мешалкин [и др.]. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2020. – № 3 (89). – С. 53–64. – URL: <http://agps2006.narod.ru/ttb/2020-3/07-03-20.ttb.pdf>.

33. Топольский, Н. Г. Модель и алгоритм поиска пострадавших при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием диаграммы Вороного / Н. Г. Топольский, А. В. Мокшанцев, До Хоанг Тхань. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 4 (86). – 24 с. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-4/11-04-19.ttb.pdf>.

34. Топольский, Н. Г. Оценка устойчивости специального программного обеспечения автоматизированных интегрированных систем комплексной безопасности объектов / Н. Г. Топольский, А. В. Крючков, И. М. Тетерин [и др.]. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2018. – № 2 (78). – С. 55–62. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ykwuqx>.

35. Топольский, Н. Г. Поиск газодымозащитной службой пострадавших с использованием инфракрасных технологий на основе алгоритма определения выпуклой оболочки / Н. Г. Топольский, А. В. Мокшанцев, Е. А. Мешалкин [и др.]. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 3 (85). – С. 45–55. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-3/05-03-19.ttb.pdf>.

36. Журавлев, Н. М. Формализация и постановка задачи пожарным подразделениям при тушении пожара / Н. М. Журавлев, А. Н. Денисов. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2010. – № 2 (30). – 8 с. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-2/05-02-10.ttb.pdf>.

37. Журавлев, Н. М. Формализация и постановка задачи при управлении пожарными подразделениями в процессе тушения пожара / Н. М. Журавлев, А. Н. Денисов. – Текст: непосредственный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2010 – № 2. – С. 35–40.

38. Зайченко (Петрова), Ю. С. Модель для принятия управленческих решений при оснащении пожарной техникой пожарно-спасательных гарнизонов / Ю. С. Зайченко (Петрова), Д. В. Тараканов, С. А. Шкунов [и др.]. – Текст: непосредственный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 4. – С. 23–29.

39. Зайченко, Ю. С. Информационные ресурсы системы поддержки принятия решений по переоснащению парка основных пожарных автомобилей / Ю. С. Зайченко, Д. В. Тараканов, С. А. Шкунов. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 4 (86). – С. 62–70. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-4/08-04-19.ttb.pdf>.

40. Зайченко, Ю. С. Модификация модели поддержки принятия решений при распределении пожарных автомобилей / Ю. С. Зайченко, Д. В. Тараканов,

С. А. Шкунов. – Текст : непосредственный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2024. – № 1. – С. 63–68.

41. Зайченко, Ю. С. Совершенствование информационно-аналитической модели принятия решений по переоснащению пожарной техники / Ю. С. Зайченко, С. А. Шкунов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы гражданской защиты. – 2018. – № 4 (29). – С. 23–28.

42. Зайченко, Ю. С. Модель поддержки принятия решений при управлении распределением мобильных средств пожаротушения / Ю. С. Зайченко, С. А. Шкунов, Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 1. – С. 64–70.

43. О внесении изменений и дополнений в Закон о пожарной безопасности : Закон Вьетнама от 22 ноября 2013 г. № 40/2013/QН13. – Ханой : Национальное политическое издательство, 2013. – Текст : непосредственный.

44. О пожарной безопасности : Закон Вьетнама от 29 июня 2001 г. № 27/2001/QН10. – Ханой : Национальное политическое издательство, 2001. – Текст : непосредственный.

45. Иванов, В. Е. Управление ресурсами пожарных частей с использованием имитационного моделирования / В. Е. Иванов, А. В. Матвеев. – Текст : непосредственный // Национальная безопасность и стратегическое планирование. – 2023. – № 3 (43). – С. 77–85.

46. Нгуен Ба Туан. Проблемы добровольной пожарной охраны во Вьетнаме / Нгуен Ба Туан, А. В. Прокушин. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – №5 (63). – С. 18–25. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2015-5/22-05-15.ttb.pdf>.

47. Нгуен Ба Туан. Прогнозирование пожаров в Северном Вьетнаме в пожароопасный период / Нгуен Ба Туан. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – №1 (65). – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/29-01-16.ttb.pdf>.

48. Нгуен Ба Туан. Развития системы управления обеспечением деятельности гарнизона пожарной службы Вьетнама / В. Л. Семиков, Нгуен Ба Туан. – Текст :

электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – №6 (70). – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-6/24-06-16.ttb.pdf>.

49. Нгуен Ба Туан. Разработка проекта: «Развитие добровольной пожарной охраны Севера Вьетнама» / Нгуен Ба Туан, А. В. Прокушин, М. Ю. Прус [и др.]. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – №1 (71). – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-1/08-01-17.ttb.pdf>.

50. Нгуен Ба Туан. Управление проектами в системах безопасности / В. Л. Семиков, А. В. Прокушин, Нгуен Ба Туан. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – №5 (69). – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-5/32-05-16.ttb.pdf>.

51. Новиков, Д. А. Исследовательские принципы теории управления организационно-техническими системами / Д. А. Новиков. – Текст : непосредственный // Управление развитием крупномасштабных систем MLSД'2020: труды тринадцатой международной конференции; под общ. ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. – Москва, 2020. – С. 79–83.

52. Новиков, Д. А. Теория управления организационными системами / Д. А. Новиков. – Москва : МПСИ, 2005. – 584 с. – Текст : непосредственный.

53. Ногин, В. Д. Комбинированный подход к сужению множества Парето с использованием линейной и мультипликативной сверток критериев / В. Д. Ногин. – Текст : непосредственный // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2016. – № 2. – С. 70–77.

54. Ногин, В. Д. Линейная свертка критериев в многокритериальной оптимизации / В. Д. Ногин. – Текст : непосредственный // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2014. – № 4. – С. 73–82.

55. Ногин, В. Д. Новый способ сужения области компромиссов / В. Д. Ногин. – Текст : непосредственный // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1976. – № 5. – С 10–14.

56. Ногин, В. Д. Относительная важность критериев и ее применение в многокритериальной оптимизации : автореферат диссертации на соискание ученой

степени доктора физико-математических наук / Ногин Владимир Дмитриевич. – Санкт-Петербург, 1995. – 24 с. – Текст : непосредственный.

57. Ногин, В. Д. Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход / В. Д. Ногин. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 144 с. – Текст : непосредственный.

58. Ногин, В. Д. Принятие решений при многих критериях : учебно-методическое пособие / В. Д. Ногин. – Санкт-Петербург : Издательство «ЮТАС», 2007. – 104 с. – Текст : непосредственный.

59. Ногин, В. Д. Проблема сужения множества Парето: подходы к решению / В. Д. Ногин. – Текст : непосредственный // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2008. – №1. – С. 98–113.

60. Ногин, В. Д. Упрощенный вариант метода анализа иерархий на основе нелинейной свертки критериев / В. Д. Ногин. – Текст : непосредственный // ЖВМи МФ. – 2004. – Т.44. – №7. – С 1259–1268.

61. Отчет о социально-экономической ситуации в четвертом квартале и 2023 году во Вьетнаме – Ханой : ГСО СРВ, 2023. – Текст : непосредственный.

62. Постановление правительства № 01/2018/ND-CP от 6 августа 2018 года, определяющее функции, задачи, полномочия и организационную структуру МОБ. – Текст : непосредственный.

63. Самарин, И. В. Стратегическое планирование на предприятии: применение метода анализа иерархий для анализа системы целевых установок / И. В. Самарин, А. Н. Фомин. – Текст : непосредственный // Инновации и инвестиции. – 2014. – № 6. – С. 132–141.

64. Самарин, И. В. Формализация задачи обоснования среднесрочного плана деятельности для построения автоматизированной системы управления стратегического планирования на предприятии / И. В. Самарин. – Текст : непосредственный // Инновации и инвестиции. – 2014. – № 4. – С. 177–183.

65. Самарин, И. В. Актуальные проблемы на пути модернизации высокотехнологичных отраслей российской промышленности / И. В. Самарин,

П. К. Калашников, А. И. Орлов. – Текст : непосредственный // Инновации и инвестиции. – 2014. – № 5. – С. 148–158.

66. Самарин, И. В. АСУ стратегического планирования: методика устранения разногласий между заказчиком и единственным исполнителем по цене продукции при формировании государственного оборонного заказа для создания обеспечивающей подсистемы поддержки принятия решений / И. В. Самарин. – Текст : непосредственный // Транспортное дело России. – 2014. – № 2. – С. 72–75.

67. Самарин, И. В. О некоторых закономерностях формирования рационального плана закупок для создания обеспечивающей подсистемы АСУ стратегического планирования / И. В. Самарин, А. И. Орлов. – Текст : непосредственный // Естественные и технические науки. – 2014. – № 3(71). – С. 158–164.

68. Смирнов, А. В. Компьютерная программа для рационального распределения ресурсов в многоагентной системе управления пожарной безопасности на производственных объектах химической отрасли / А. В. Смирнов. – Текст : непосредственный // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2019. – № 8. – С. 49–52.

69. Смирнов, А. В. Оценка эффективности многоагентной системы распределения ресурсов для управления пожарной безопасностью предприятий химической отрасли / А. В. Смирнов. – Текст : непосредственный // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 1 (30). – С. 24–29.

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

71. Смирнов, А. В. Многоагентный метод анализа вариантов распределения ресурсов для обеспечения пожарной безопасности / А. В. Смирнов,

Р. Ш. Хабибулин, Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный // Системы управления и информационные технологии. – 2018. – № 4 (74). – С. 83–88.

72. Смирнов, А. В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. Программа для рационального распределения ресурсов в многоагентной системе управления пожарной безопасности на производственных объектах химической отрасли : RU 2018660019, 15.08.2018. Заявка № 2018618118 от 20.07.2018 / А. В. Смирнов, Р. Ш. Хабибулин, Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный.

73. Степанов, Е. В. Волновой алгоритм определения оптимального маршрута движения газодымозащитников в зданиях при пожарах и задымлениях / Е. В. Степанов, Д. В. Тараканов, Н. Г. Топольский. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2021. – Т. 30. – № 3. – С. 31–40.

74. Степанов, Е. В. Модель и методика оценки степени сложности системы управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре / Е. В. Степанов, Чан М.Х.Ха, Б. Б. Гринченко [и др.]. – Текст : электронный // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 1 (46). – С. 47–56. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50474599>.

75. Тараканов, Д. В. Метод многокритериального выбора маршрутов движения пожарных в зданиях при тушении пожаров / Д. В. Тараканов. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2016. – № 4 (68). – С. 120–128. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-4/36-04-16.ttb.pdf>.

76. Тараканов, Д. В. Метод модификации векторного критерия в системе поддержки принятия решения при тушении крупного пожара / Д. В. Тараканов. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2010. – № 2. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-2/01-02-10.ttb.pdf>.

77. Терещнев, В. В. Методика принятия управленческих решений при тушении пожара в условиях многокритериальности / В. В. Терещнев, В. А. Грачев, Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – № 4. – С. 35–43.

78. Терребнев, В. В. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров / В. В. Терребнев, А. О. Семенов, В. А. Смирнов [и др.]. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – № 9. – С. 51–57.

79. Терребнев, В. В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре / В. В. Терребнев, А. О. Семенов, Д. В. Тараканов. – Текст : непосредственный // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. – № 10. – С. 14–17.

80. Топольский, Н. Г. Алгоритм ранжирования управленческих задач в системе поддержки принятия решений по ликвидации чрезвычайных ситуаций / Н. Г. Топольский, Д. В. Тараканов. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 2 (54). – С. 27. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-2/04-02-14.ttb.pdf>.

81. Фам, К. Х. Анализ территориальных пожарных рисков Вьетнама / С. В. Соколов, К. Х. Фам. – Текст : непосредственный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2020. – № 2. – С. 76–87.

82. Фам, К. Х. Исследование возможностей противопожарной службы Вьетнама с помощью технологий имитационного моделирования / К. Х. Фам. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – № 1. – С. 77–88. – URL: <https://agps-2006.narod.ru/ttb/2022-1/07-01-22.ttb.pdf>.

83. Фам, К. Х. Повышение эффективности применения информационных технологий в пожарных подразделениях Вьетнама / К. Х. Фам, С. В. Соколов. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2021. – № 2. – С. 125–130.

84. Фам, К. Х. Разработка и адаптация имитационной системы оперативной деятельности пожарных подразделений к условиям Вьетнама / С. В. Соколов, Н. Н. Брушлинский, К. Х. Фам. – Текст : непосредственный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2021. – № 2. – С. 5–14.

85. Хабибуллин, Р. Ш. Многокритериальный анализ пожарных рисков. Модель количественной важности рисков «один ко многим» / Р. Ш. Хабибуллин, Д. В. Тараканов. – Текст : электронный // Технологии техносферной безопасности.

– 2023. – № 3 (101). – С. 105–113. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54953467>.

86. Чу, К. М. Модели управления пожарными рисками во Вьетнаме : монография / К. М. Чу, В. А. Минаев, Н. Г. Топольский; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Н. Г. Топольского. – Москва : Академия ГПС МЧС России, 2015. – 144 с. – Текст : непосредственный.

87. Шофеев, Т. Г. Модель и алгоритм оптимального распределения ресурсов подразделений МЧС России / Т. Г. Шофеев, С. Ю. Сафарова, А. В. Матвеев. – Текст : непосредственный // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. – 2023. – № 2. – С. 125–133.

88. Шульц, В. Л. Методы сценарного планирования в организационном управлении / В. Л. Шульц, В. В. Кульба, А. Б. Шелков. – Текст : непосредственный // Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXXI Международной конференции. – Москва, 2023. – С. 32–41.

89. Athanasios Kolios, Varvara Mytilinou, Estivaliz Lozano-Minguez, Konstantinos Salonitis. A Comparative Study of Multiple-Criteria Decision-Making Methods under Stochastic Inputs. *Energies*. – 2016. – №. 9 (7). – Pp. 566–587.

90. Coban H. O., Erdin C. Forest fire risk assessment using GIS and AHP integration in Bucak forest enterprise, Turkey. *Applied ecology and environmental research*. – 2020. № 18 (1). – Pp. 1567–1583.

91. Erden T., Coskun M. Z. Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. – 2010. № 10. – Pp. 2127–2134.

92. Fatih Yilmaz, Selcuk Alp, Beytullah Oz, Ahmetcan Alkoc. Analysis of the Risks arising from Fire Installations in Workplaces using the Ranking Method. *Engineering, Technology & Applied Science Research*. – 2020. – № 10 (4). – Pp. 5914–5920.

93. Gonzalo Gamboa, Iago Otero, Conchy Bueno, Etel Arilla, Helena Ballart, Laura Camprubi, Guillem Canaleta, Gemma Tolosa, Marc Castellnou. Participatory

multi-criteria evaluation of landscape values to inform wildfire management. *Journal of Environmental Management*. – 2023. – № 327. – Pp. 116762–116774.

94. Hassan Ahmadi Choukolaei, Peiman Ghasemi, Fariba Goodarzian. Evaluating Jordanis A. Naziris, Chara Ch. Mitropoulou, Nikos D. Lagaros. Innovative Computational Techniques for Multi-Criteria Decision Making, in the Context of Cultural Heritage Structures' Fire Protection: Theory. *Heritage*. – 2022. – № 5 (3). – Pp. 1883–1909.

95. Nguyen H.T., Topolsky N.G., Mokshantsev A.V., Tarakanov D.V. Multicriteria analysis of firefighter routes in buildings in the case of a fire. *Journal of Defense Modeling and Simulation*. – 2020.

96. Pandav Chaudhary, Sachin Kumar Chhetri, Kiran Man Joshi, Basanta Man Shrestha, Prabin Kayastha. Application of an Analytic Hierarchy Process (AHP) in the GIS interface for suitable fire site selection: A case study from Kathmandu Metropolitan City, Nepal. *Socio-Economic Planning Sciences*. – 2016. – № 53. – Pp. 60–71.

97. RoyaAbedi. Application of Multi-Criteria Decision Making Models in Forest Fire Management. *International Journal of Geoheritage and Parks*. – 2021. – № 10 (1). – Pp. 84–96.

98. Saadet Applause, Ercument Aksoy, Kudret Akpınar. Risk Assessment of Industrial Fires for Surrounding Vulnerable Facilities Using a Multi-Criteria Decision Support Approach and GIS. *Fire*. – 2021. – № 4 (3). – Pp. 53–69.

99. Smirnov A., Khabibulin R., Topolski N., Tarakanov D. Multi-agent analysis model of resource allocation variants to ensure fire safety. *ICEIS 2019 - Proceedings of the 21st International Conference on Enterprise Information Systems*. 21. – 2019. – Pp. 379–386.

100. Yuncheng Jiang, Aifeng Lv, Zhigang Yan, Zhen Yang. A GIS-Based Multi-Criterion Decision-Making Method to Select City Fire Brigade: A Case Study of Wuhan, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*. – 2021. – № 10. – Pp. 777–803.

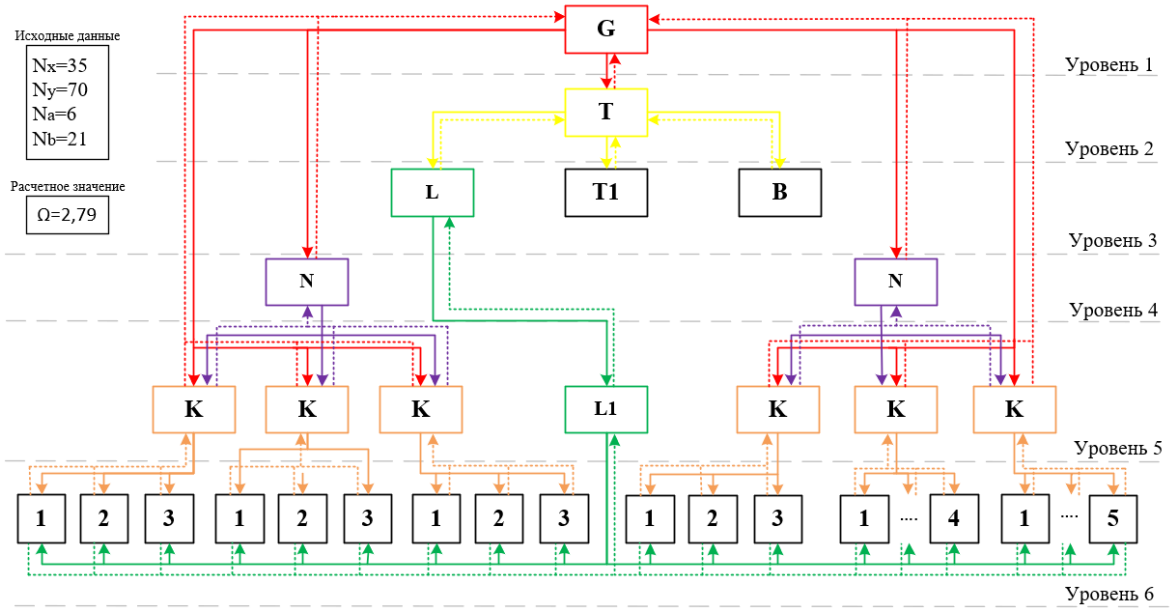
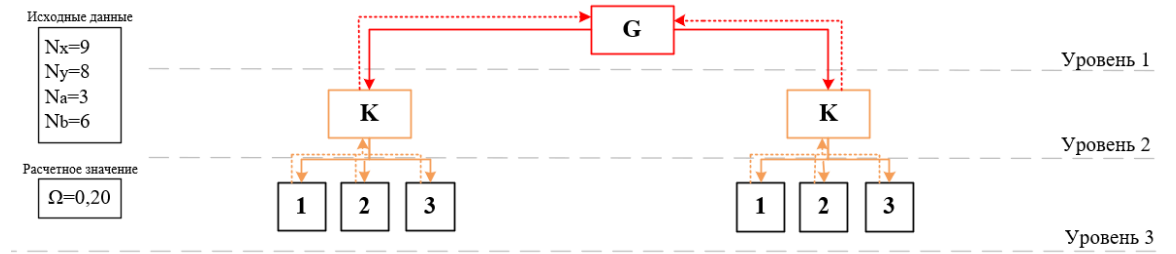
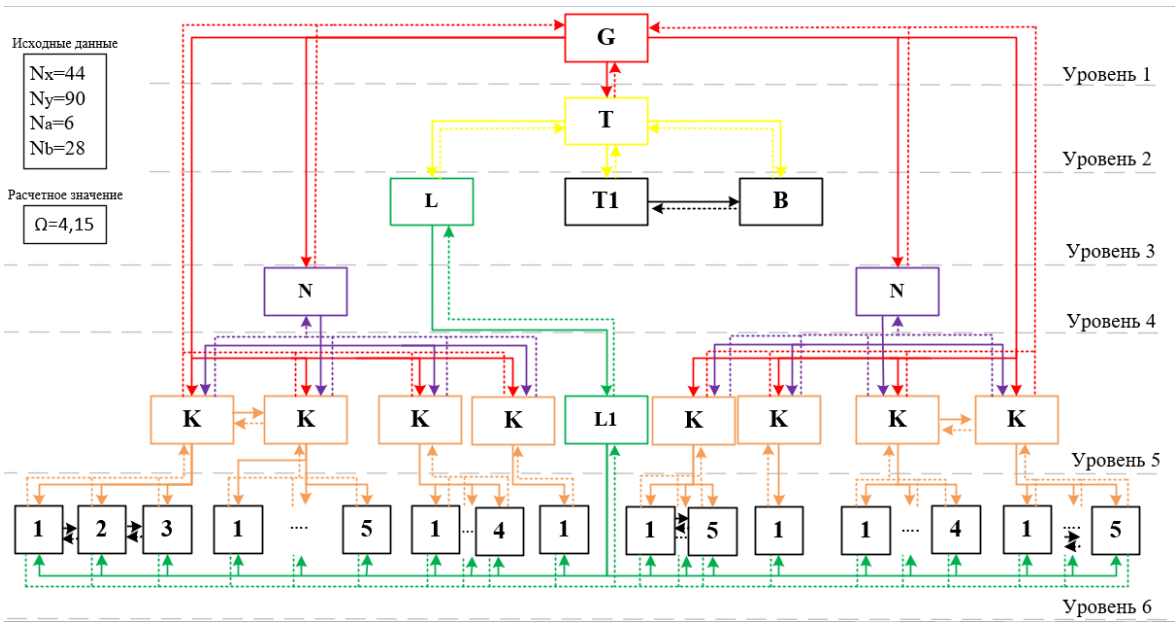
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ СОКРАЩЕНИЙ

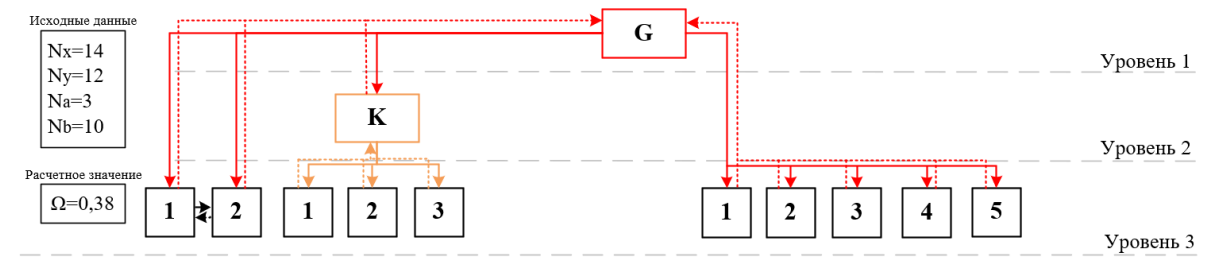
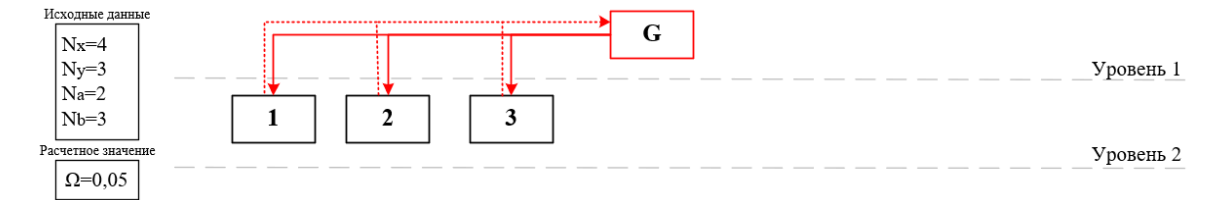
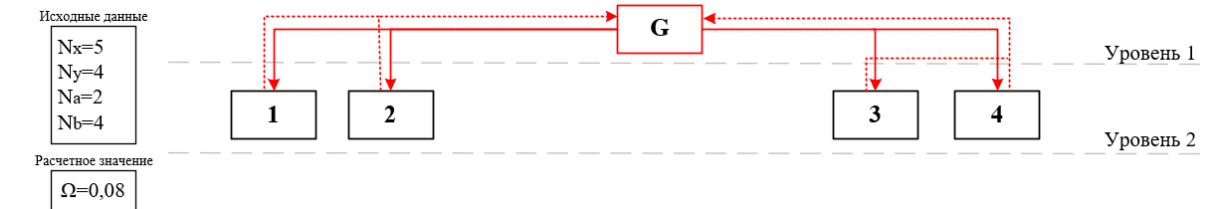
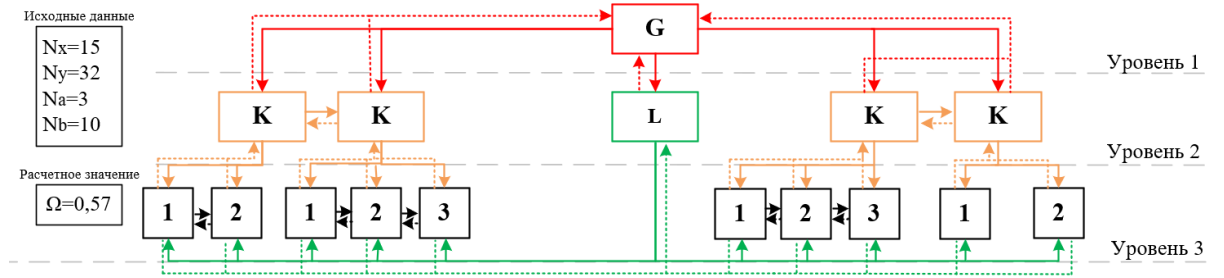
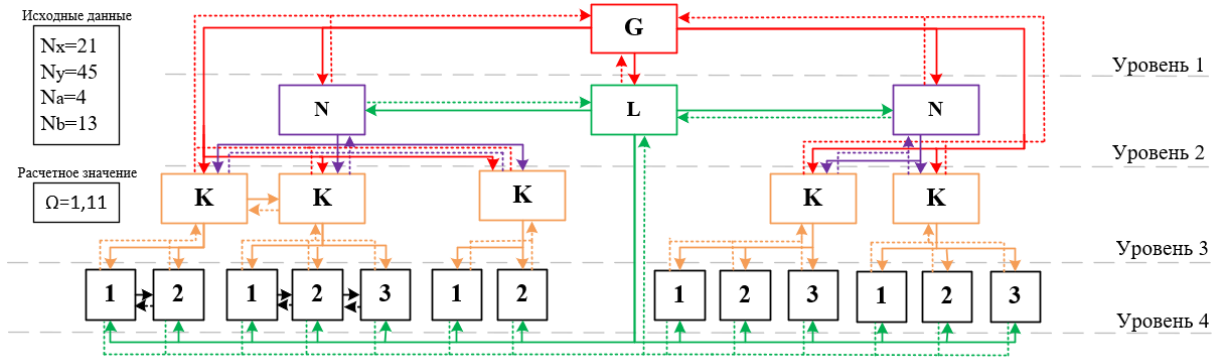
ГУПО	:	Главное Управление пожарной охраны
АСС	:	Аварийно-спасательная служба
МОБ	:	Министерство общественной безопасности
СРВ	:	Социалистическая Республика Вьетнам
ВВП	:	Валовой внутренний продукт
США	:	Соединённые Штаты Америки
ПЧ	:	Пожарная часть
ЛПР	:	Лицо, принимающее решение
ГИС	:	Географическая информационная система
ПО	:	Пожарная охрана
МДС	:	Методические документы строительства
ПТУ	:	Пожарно-тактическое учение

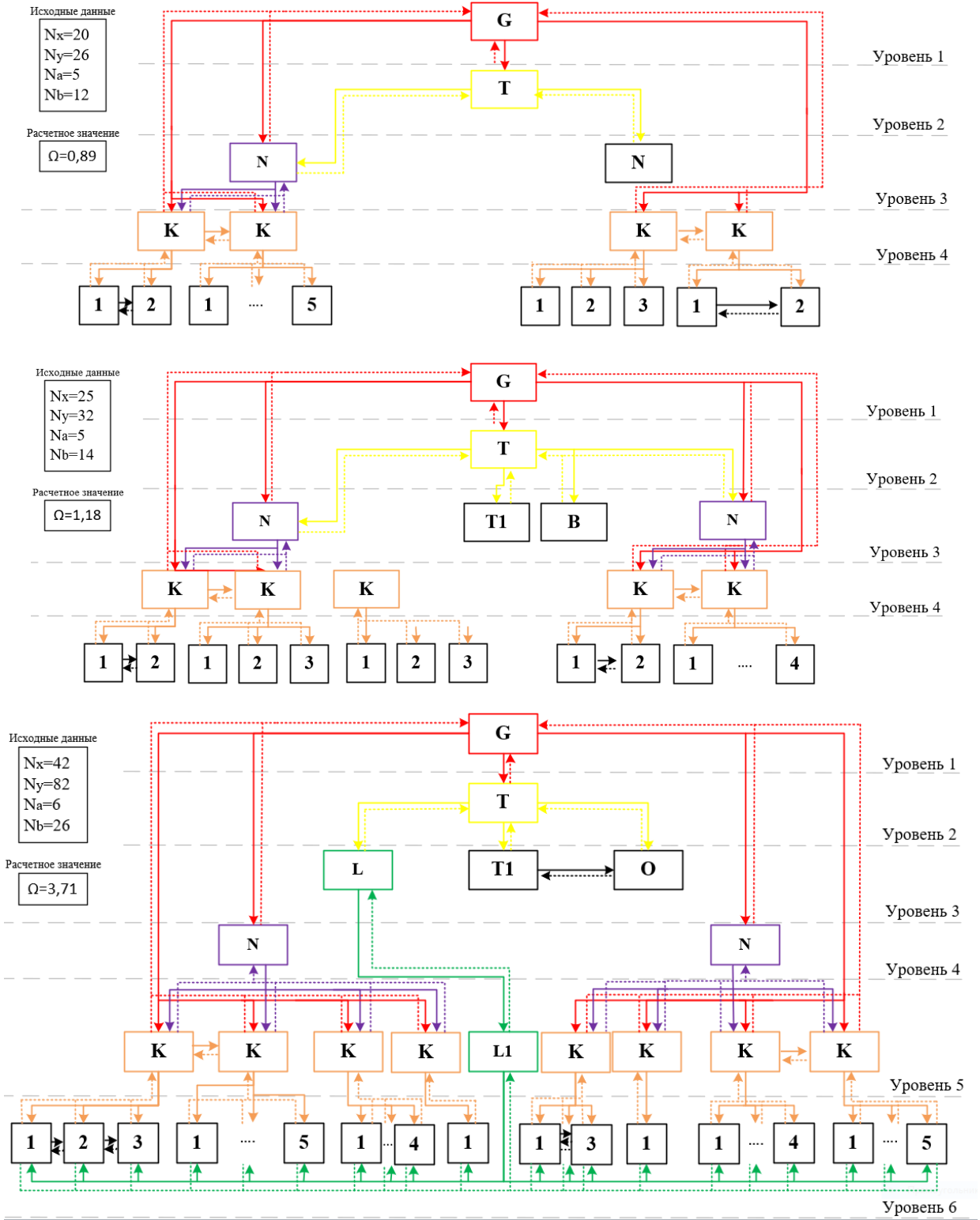
ПРИЛОЖЕНИЕ А

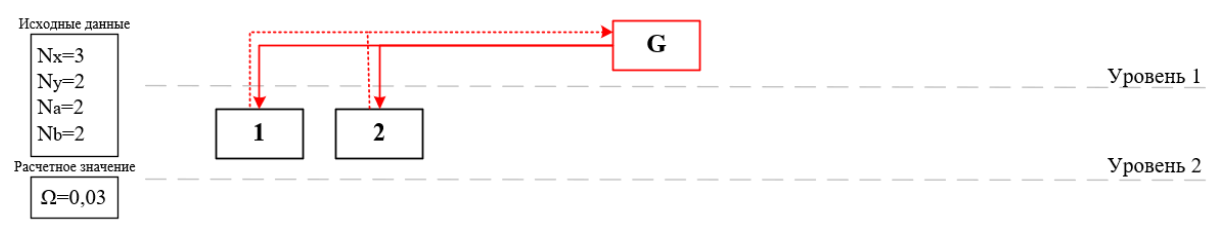
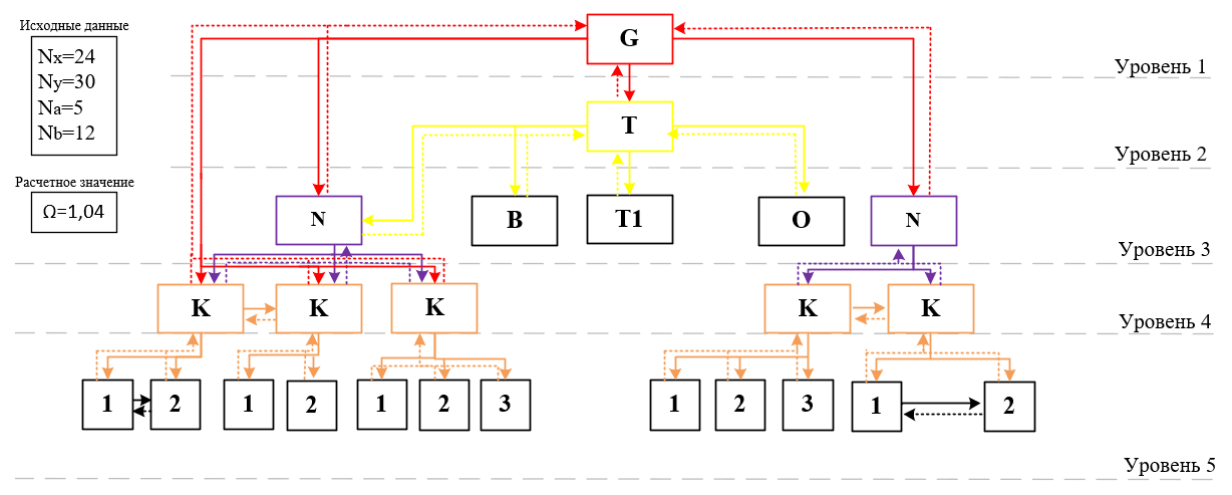
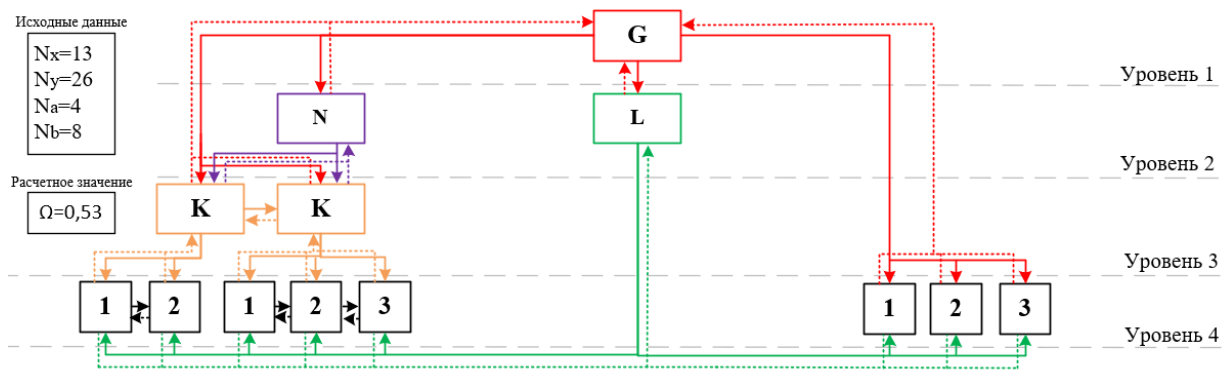
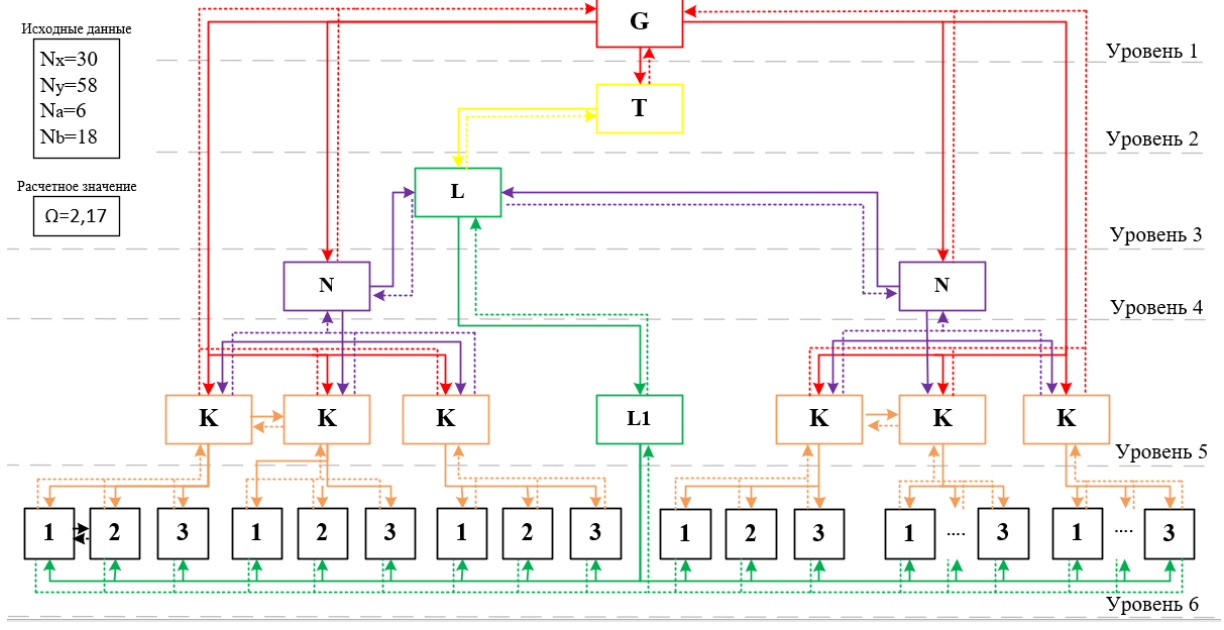
(обязательное)

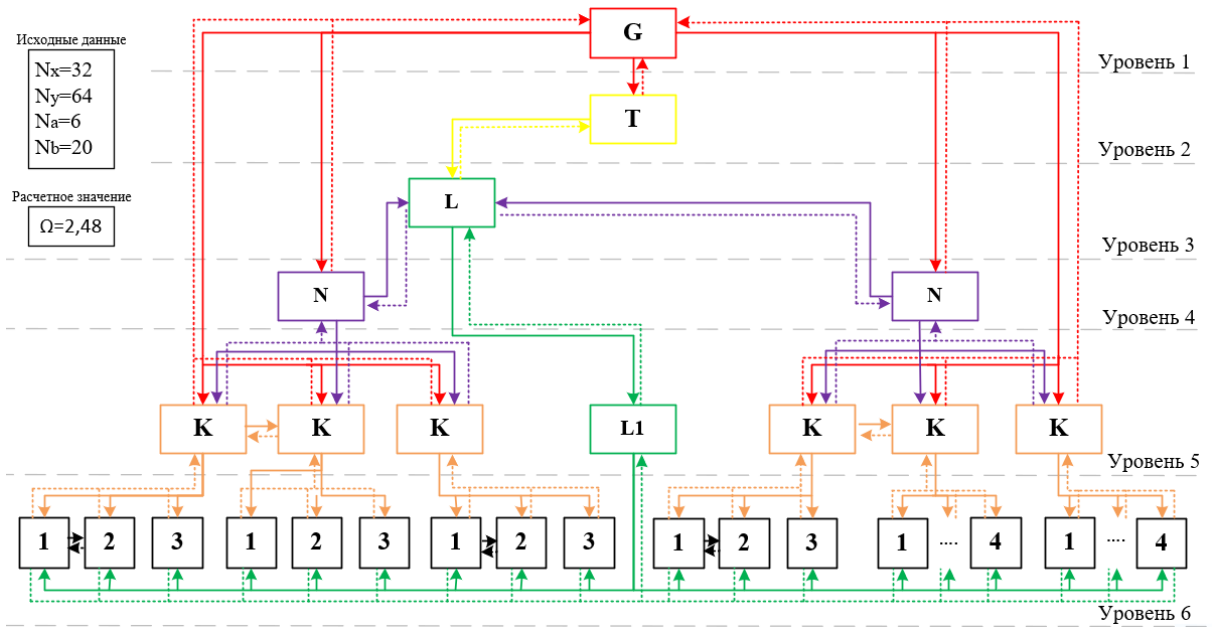
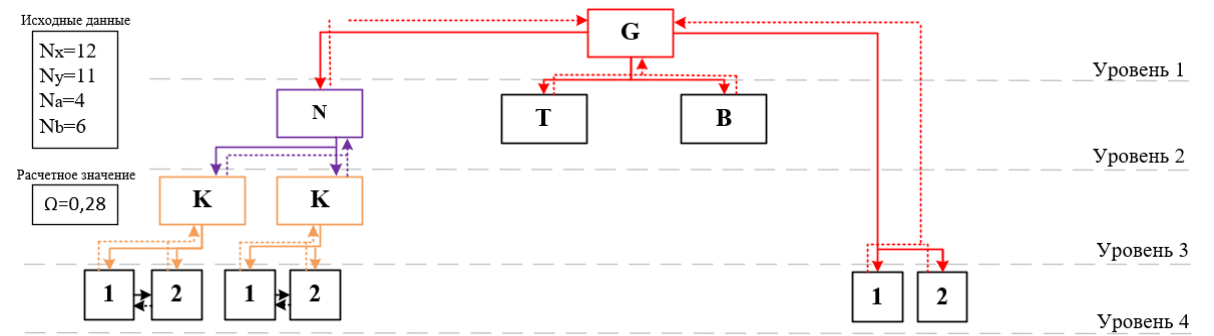
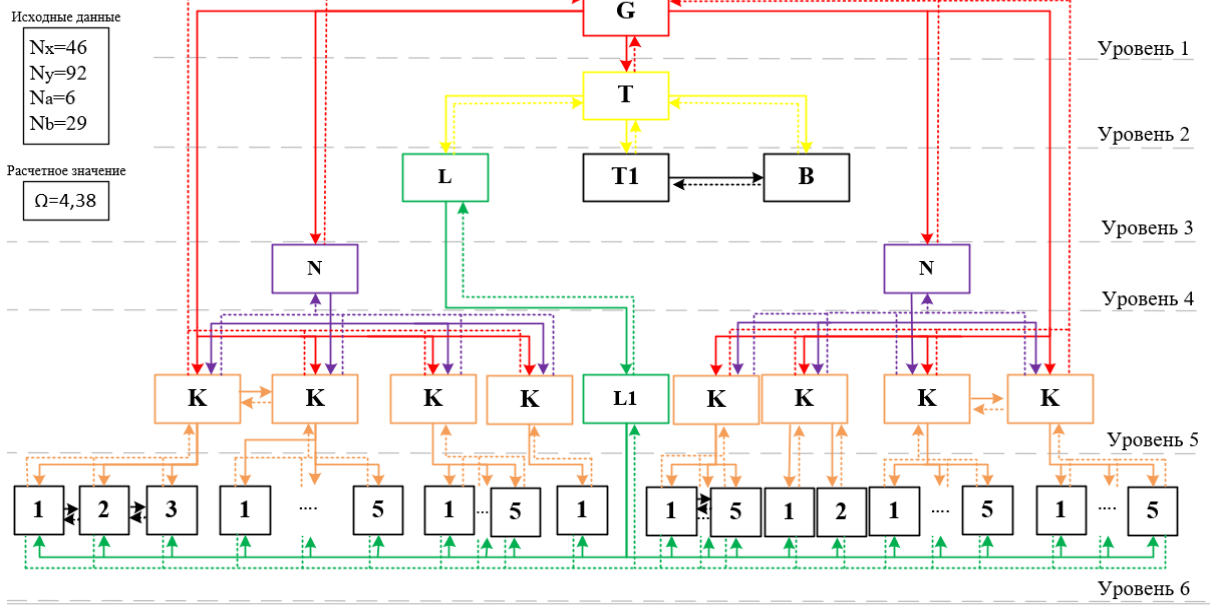
**ТИПОВЫЕ СТРУКТУРЫ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТУШЕНИЯ
КРУПНЫХ ПОЖАРОВ**

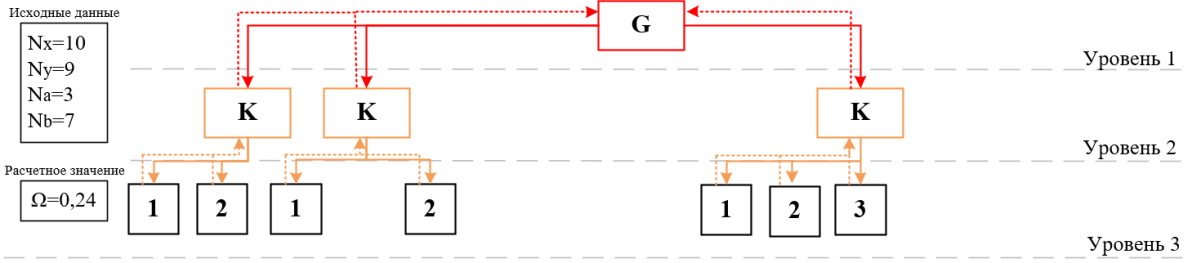
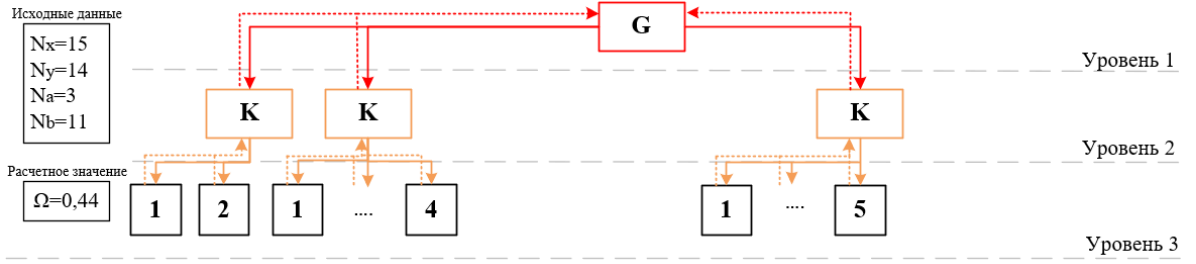












ПРИЛОЖЕНИЕ Б

(обязательное)

АКТЫ ВНЕДРЕНИЯ

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Института
пожарной безопасности МОБ СРВ,
к.т.н.г старший полковник милиции



[Signature] Фам Ван Нам

[Signature] 2024 г.

А К Т

внедрения результатов диссертационной работы Чан Минь Хоанг Ха на тему:
«Информационная поддержка принятия управленческих решений при
организации тушения крупных пожаров» в учебный процесс Института
пожарной безопасности МОБ СРВ

Комиссия в составе: председателя – начальника учебного отдела ИПБ
Вьетнама к.т.н., доцент, полковника милиции Нгуен Туан Ань и членов
комиссии – начальника факультета автоматики и технических средств
пожарной безопасности и спасения, к.т.н., полковника милиции Ле Шинь
Хой, заместителя начальника факультета пожарно-спасательной тактики,
к.т.н., подполковник милиции Чан Донг Хынг, подтверждает, что результаты
диссертационной работы капитана милиции Чан Минь Хоанг Ха внедрены в
учебный процесс по дисциплинам «Пожарная тактика» и «информационная
коммуникация в пожарно-спасательной работе», а именно, используются:

- при чтении лекций, проведении практических и семинарских занятий;
- при формировании научных тем и проведении исследований в рамках курсовых и дипломных работ.

Председатель комиссии
Начальник учебного отдела
к.т.н., доцент, полковник милиции

[Signature]

Нгуен Туан Ань

Начальник факультета автоматики
и технических средств пожарной
безопасности и спасения,
к.т.н., полковник милиции

[Signature]

Ле Шинь Хой

Заместитель начальника факультета
автоматики и технических средств
пожарной безопасности и спасения,
к.т.н., полковник милиции


[Signature]

Чан Донг Хынг

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника ГУГО и АСС
МОБ СРВ, к.т.н., доцент, старший
полковник милиции



 Нгуен Минь Хыонг

« 01 » августа 20 24 г.

А К Т

внедрения результатов диссертационной работы Чан Минь Хоанг Ха
на тему: «Информационная поддержка принятия управленческих решений
при организации тушения крупных пожаров»

Комиссия в составе: председателя - к.т.н., подполковник милиции
Нгуен Тхань Туан, сотрудника отдела профилактической пожарной
безопасности ГУПО и АСС МОБ Вьетнама и членов комиссии: к.т.н.,
подполковник милиции До Тхань Тунг, сотрудника отдела проверки и
подтверждения в области пожарной безопасности ГУПО и АСС МОБ
Вьетнама; к.т.н., майор милиции Фан Туан Ань, сотрудника отдела проверки
и подтверждения в области пожарной безопасности ГУПО и АСС МОБ
Вьетнама составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной
работы капитана милиции Чан Минь Хоанг Ха имеют практическую пользу и
могут быть использованы в деятельности противопожарной службы
Вьетнама для решения задач эффективного сосредоточения пожарных
подразделений для тушения крупных пожаров.

Председатель комиссии:

Сотрудник отдела профилактической
пожарной безопасности ГУПО и АСС
Вьетнама

к.т.н., подполковник милиции



Нгуен Тхань Туан

Сотрудник отдела проверки
подтверждения в области пожарной
безопасности ГУПО и АСС Вьетнама

к.т.н., подполковник милиции



До Тхань Тунг

Сотрудник отдела проверки
подтверждения в области пожарной
безопасности ГУПО и АСС Вьетнама

к.т.н., майор милиции



Фан Туан Ань

Утверждаю

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



M.V. Aleshkov
М.В. Алешков

2024 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание
ученой степени кандидата технических наук Чан Минь Хоанг Ха
в учебный процесс на кафедре информационных технологий
УНК АСИТ Академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе председателя – заместителя начальника УНК – начальника кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н., доцента Сатина Алексея Петровича и членов – заместителя начальника кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н., доцента Мокшанцева Александра Владимировича, доцента кафедры информационных технологий УНК АСИТ к.т.н. Береснева Дениса Сергеевича, подтверждает, что результаты диссертации Чан Минь Хоанг Ха, посвященной разработке информационной поддержки принятия решений при тушении крупных пожаров в провинциях Вьетнама, внедрены в учебный процесс кафедры информационных технологий Академии ГПС МЧС России, а именно алгоритм решения задачи сосредоточения пожарных подразделений.

Результаты диссертации использованы при разработке учебно-методических материалов для изучения дисциплин «Теория информационных процессов и систем», «Моделирование процессов и систем», преподаваемых на факультете пожарной и техносферной безопасности.

Председатель комиссии
Заместитель начальника УНК –
начальник кафедры ИТ (в составе УНК АСИТ)
к.т.н., доцент

A.P. Satin
А.П. Сатин

Члены комиссии
Заместитель начальника кафедры ИТ
(в составе УНК АСИТ)
к.т.н., доцент

A.V. Mokshantsev
А.В. Мокшанцев

Доцент кафедры ИТ
(в составе УНК АСИТ)
к.т.н.

D.S. Beresnev
Д.С. Береснев