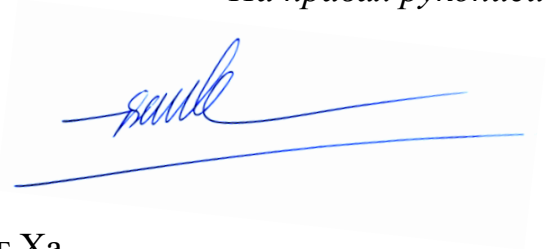


На правах рукописи



Чан Минь Хоанг Ха

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

Специальность: 2.3.4. – Управление в организационных системах
(технические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена на кафедре информационных технологий учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» (Академия ГПС МЧС России)

Научный руководитель: **Тараканов Денис Вячеславович**
доктор технических наук

Официальные оппоненты: **Дали Фарид Абдулалиевич**
доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, отдел пожарной безопасности транспорта научно-исследовательского института перспективных исследований и инновационных технологий в области безопасности жизнедеятельности, начальник

Семенов Алексей Олегович
кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, кафедра основ гражданской обороны и управления в ЧС, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Защита диссертации состоится «04» июня 2025 года в 12:00 на заседании диссертационного совета 04.2.002.01 при Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, зал Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте <https://academygps.ru/upload/iblock/a15/rydgr8cg1q0z32bcd044jcbqzg5isqgi/Диссертация%20Чан%20Минь%20%20Хоанг%20%20Ха.pdf>.

Автореферат разослан «28» марта 2025 года.

Отзыв на автореферат с заверенной подписью и печатью в двух экземплярах просим направить в Академию ГПС МЧС России по указанному адресу.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 и Д. А. Новиковым. Прикладной базис исследования – это результаты решения практических задач управления ресурсами пожарной охраны, полученные в ходе исследований Н. Н. Брушлинского, С. Ю. Бутузова, Ф. А. Дали, В. А. Минаева, Ю. В. Пруса, И. В. Самарина, В. Л. Семикова, С. В. Соколова, Д. В. Тараканова, Н. Г. Топольского, Р. Ш. Хабибулина, С. А. Шкунова, Fatih Yilmaz, Pandav Chaudhary 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 решены 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».

Реализация результатов исследования подтверждается актами внедрения (Приложение Б).

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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, обозначены основные проблемы в области управления ресурсами пожарной охраны, определены цели, задачи, объект и предмет исследования. Показана научная новизна работы, ее теоретическая и практическая значимости. Представлены результаты исследования, выносимые на защиту, сведения о внедрении и апробации результатов работы.

В первой главе «Анализ задач управления ресурсами пожарной охраны при организации тушения крупных пожаров» проведен анализ социально-экономических характеристик Вьетнама и связанных с ними показателей обстановки с пожарами во Вьетнаме. Показано, что в связи с ростом экономики Вьетнама наблюдается рост вероятности возникновения крупных пожаров, что определяет необходимость рассмотрения процедур принятия решений по сосредоточению дополнительных ресурсов пожарной охраны. 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. 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.

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.

Во второй главе диссертации «**Модель и алгоритм для разработки порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны при тушении крупных пожаров**» выполнена разработка новых научных результатов исследования.

Первый научный результат, представляющий научную новизну это мультипликативная модель многокритериального выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов. Модель основана на известных понятиях относительной важности критериев и способах ее учета в процессе многокритериального выбора. 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.

Модель включает в себя:

Множество, состоящее из пары парето-оптимальных вариантов:

$$\mathbf{X} = \{x', x''\}. \quad (1)$$

Множество критериев для оценки предпочтительности вариантов:

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

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

Множество оценок вариантов по критериям:

$$\mathbf{R}(\mathbf{X}) = \{\mathbf{R}(x'); \mathbf{R}(x'')\}, \quad (3)$$

где $\mathbf{R}(x') = \{R_1(x'); \dots; R_k(x'); \dots; R_m(x')\}$ и $\mathbf{R}(x'') = \{R_1(x''); \dots; R_k(x''); \dots; R_m(x'')\}$ оценки по критериям вариантов из множества \mathbf{X} .

Множество весов критериев, устанавливающих важность критериев:

$$\mathbf{W} = \{\omega_1; \dots; \omega_k; \dots; \omega_m\}, k = 1, 2, \dots, m; m \geq 2; 1 = \sum_{k=1}^m \omega_k. \quad (4)$$

Мультипликативная свертка критериев:

$$R(x) = \prod_{k=1}^m R_k^{\omega_k}(x), \quad (5)$$

где ω_k – весовой коэффициент критерия R_k из множества \mathbf{W} .

Если $x' \succ x''$, то $R(x') > R(x'')$, то положительные параметры важности критериев определяются по формуле:

$$y_k = R_k(x') / R_k(x''), \quad (6)$$

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

В соответствии с парето-оптимальностью вариантов существует несколько ситуаций: если ($y_k > 1$), тогда критерий с номером k будет относиться к группе **A**; если ($y_k < 1$), тогда критерий с номером k будет относиться к группе **B**; если ($y_k = 1$), тогда критерий относится к группе **C**.

Обозначим номера критериев из группы **A** как (i), а общее количество критериев в группе **A** будет (a), тогда номера критериев из группы **B** обозначим как (j), а общее количество критериев в группе **B** будет (b), и номера критериев в группе **C** обозначим (l), общее количество критериев в группе **C** будет равно $c = m - (a + b)$, где m – общее количество критериев во множестве **R**.

Для каждой комбинации критериев из групп **A** и **B**, то есть критериев с номерами i и j , существует логарифмический коэффициент относительной важности, вычисляемый по формуле:

$$\Omega_{i,j} = \log_{\left(\frac{y_i}{y_j}\right)} \left(\frac{1}{y_j}\right), \text{ для всех } i \text{ и } j. \quad (7)$$

Учитывая, что $y_i > 1$, а $y_j < 1$, то область допустимых значений логарифмического коэффициента относительной важности критериев будет задана строгим неравенством $0 < \Omega_{i,j} < 1$.

Тогда веса критериев из множества **W** определяются по формулам:

- если критерий принадлежит группе **A**, то ω_i определяется по формуле:

$$\omega_i = \frac{1 + \Omega_i}{a(1 + b) + c}; \quad (8)$$

- если критерий принадлежит группе **B**, то ω_j определяется по формуле:

$$\omega_j = \frac{a - \Omega_j}{a(1 + b) + c}. \quad (9)$$

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

Для остальных критериев, (группа **C**), коэффициент ω_l определяется по формуле:

$$\omega_l = \frac{1}{a(1 + b) + c}. \quad (10)$$

Адекватность разработанной мультипликативной модели подтверждена путем ее сравнения с известным аддитивным аналогом. Таким образом, в результате разработана адекватная мультипликативная модель многокритериального выбора одного из пары парето-оптимальных вариантов, позволяющий выполнить расчет весовых коэффициентов важности мультипликативной свертки критериев для ранжирования вариантов в порядке предпочтительности.

Второй научный результат, представляющий научную новизну это алгоритм формирования рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, включающий в себя следующие этапы: 1 – построение множества парных сравнений парето-оптимальных 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 ресурса и в отличие от известных позволяет определить рациональный порядок сосредоточения ресурсов или совершенствовать существующий порядок с минимальным влиянием на сложность работы пожарных подразделений.

Алгоритм построения порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров основан на анализе множества источников ресурса \mathbf{X} путем парного сравнения их оценок по набору критериев \mathbf{R} и значениях TZ_s времени задействования источника ресурса в ретроспективе тушения крупных пожаров. Все парные сравнения источников ресурсов и полученные на их основе порядки сосредоточения ресурсов объединим во множество V . Выбор наилучшего варианта из V проводится на основе минимизации характеристики D , которая оценивает степень влияния порядка на сложность работы пожарных подразделений.

В задаче имеется исходный порядок сосредоточения ресурсов пожарной охраны и оценки по набору критериев каждого из источников ресурса, необходимо определить рациональный порядок сосредоточения ресурсов.

1. Построение множества парных сравнений парето-оптимальных источников ресурса

Исходное множество источников ресурсов пожарной охраны:

$$\mathbf{X} = \{x_1; \dots; x_s; \dots; x_n\}, s = 1, 2, \dots, n; n \geq 2; s, n \in \mathcal{N}, \quad (11)$$

где s – номера источников ресурса; n – общее количество источников ресурсов в порядке их сосредоточения.

Множество критериев \mathbf{R} :

$$\mathbf{R} = \{R_1; \dots; R_k; \dots; R_m\}, k = 1, 2, \dots, m; m \geq 2; k, m \in \mathcal{N}, \quad (12)$$

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

Множество оценок по критериям:

$$\mathbf{R}(\mathbf{X}) = \{\mathbf{R}(x_1); \dots; \mathbf{R}(x_s); \dots; \mathbf{R}(x_n)\}, \quad (13)$$

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 $0 < R_k(x_s) < 1$.

Пусть s – номер источника ресурса, тогда существует множество парных сравнений источников ресурсов, которое можно задать так:

$$\mathbf{V} = \{v_{s,z} | v_{s,z} = \{x_s > x_z\}, s = 1, \dots, n; z = s + k; k = 1, \dots, n - s\}. \quad (14)$$

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

$$h = \frac{n(n-1)}{2}. \quad (15)$$

Для программной реализации алгоритма в информационной системе рекомендуется ввести новую нумерацию элементов множества V следующим образом $V = \{v_d\}, d = 1, \dots, h$.

2. Формирование множества допустимых вариантов порядка сосредоточения дополнительных ресурсов пожарной охраны

Для каждого элемента множества V определяется порядок предпочтительности ресурсов с точки зрения их использования для тушения крупных пожаров. В результате парного сравнения оценок парето-оптимальных источников ресурсов по множеству критериев $R(x_s)$ и $R(x_z)$ при условии что $x_s > x_z$, $z=s+k$, $s=1, \dots, n$, $k=1, \dots, n-s$, осуществляется распределение критериев R_k по группам **A**, **B**, **C**. Для каждой комбинации критериев из группы **A** и группы **B**, то есть критериев с номерами i и j устанавливаются логарифмический коэффициент относительной важности по формуле $\Omega_{i,j}$ и весовые коэффициенты мультипликативной свертки критериев.

Источники ресурса ранжируются по увеличению значений мультипликативной свертки критериев, получая порядок сосредоточения ресурсов пожарной охраны.

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:

$$D = \sum_{s=1}^n \rho_s T Z_s, \text{ ч}, \quad (16)$$

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); $T Z_s$ – время задействования источника ресурса при тушении крупных пожаров, ч.

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

$$D_{min} = \min\{D_1, \dots, D_d, \dots, D_h\}. \quad (17)$$

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 1.

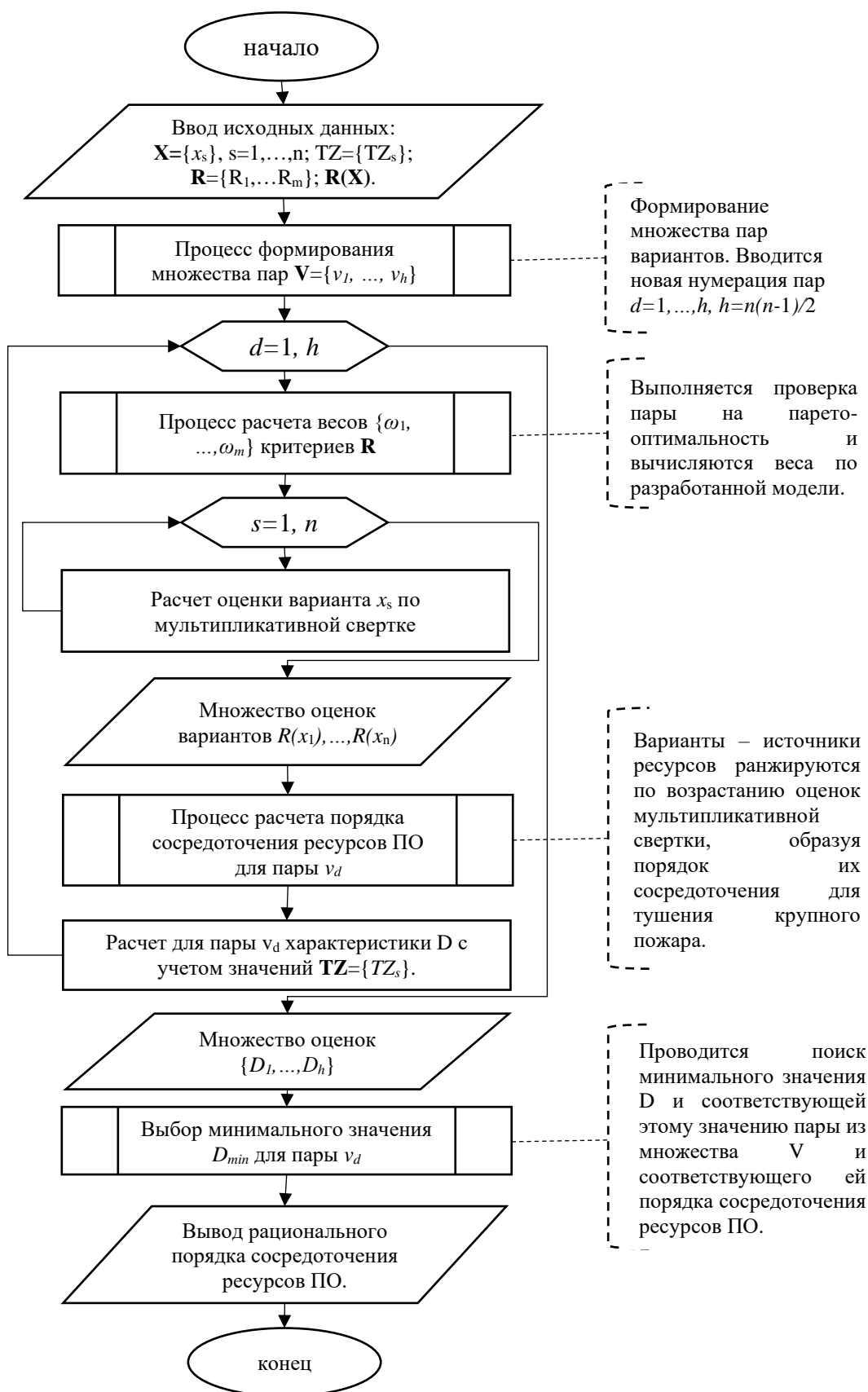


Рисунок 1 – Блок схема алгоритма расчета порядка сосредоточения пожарных подразделений

В третьей главе диссертации **«Процедура принятия управленческих решений при разработке порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров»** в соответствии с фундаментальными основами разработки технологий управления в организационных системах создана процедура принятия управленческих решений, включающая в себя последовательность действий, приводящих к определению рационального порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров, путем формирования множества допустимых вариантов и выбора наиболее предпочтительного варианта.

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 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 алгоритма построения порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, 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 применение алгоритма в процедуре принятия решений обеспечивает минимально возможное отличие «фактического» и «рационального» варианта порядка прибытия ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров, построенного по результатам парного 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 альтернативный вариант сосредоточения пожарных подразделений с учетом обучения управленческого персонала путем проведения пожарно-тактического учения.

В диссертации применение разработанной процедуры принятия управленческих решений продемонстрировано на примере разработки порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров в приграничной провинции Лангшон. Необходимость корректировки существующего порядка сосредоточения пожарных подразделений обусловлена 2 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 крупных пожаров составило величину 9,2 ч.

Подготовительный этап. Исходные характеристики для формирования рационального порядка сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинции Лангшон представлены в таблице 1.

Таблица 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 задаче управления 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 .

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

R_1 показатель тактических возможностей пожарных подразделений;

R_2 среднее количество пожаров в провинциях Вьетнама;

R_3 удельный ущерб от одного пожара, произошедшего в провинции.

Нормализованные оценки для критериев получены по формулам:

$$R_1(x) = 1 - \frac{1}{1 + E_m(x)/\delta(E_m)}, R_2(x) = \frac{1}{1 + N_m(x)/\delta(N_m)}, R_3(x) = \frac{1}{1 + U_m(x)/\delta(U_m)},$$

где $R_1(x)$, $R_2(x)$, $R_3(x)$ – нормализованные оценки по критериям R_1 , R_2 , R_3 для провинции x ; $E_m(x)$ – оценка тактических возможностей пожарных подразделений провинции x ; $\delta(E_m)$ – среднее значение тактических возможностей пожарных подразделений провинций Вьетнама; $N_m(x)$ – среднее количество зарегистрированных пожаров в провинции x ; $\delta(N_m)$ – среднее значение среднего количества пожаров в провинциях Вьетнама; $U_m(x)$ – удельный ущерб от пожаров, зарегистрированных в провинции x , млн. у.е.; $\delta(U_m)$ – среднее значение удельного ущерба от пожаров в провинциях Вьетнама, млн. у.е.;

Нормализованные оценки для провинций источников ресурса представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Нормализованные оценки источников ресурса по критериям

Оценки по показателю E_m		Оценки по критерию R_1		Оценки по показателю N_m		Оценки по критерию R_2		Оценки по показателю U_m		Оценки по критерию R_3	
$E_m(x_1)$	26,8	$R_1(x_1)$	0,40	$N_m(x_1)$	18,3	$R_2(x_1)$	0,65	$U_m(x_1)$	88,9	$R_3(x_1)$	0,81
$E_m(x_2)$	36,9	$R_1(x_2)$	0,48	$N_m(x_2)$	16,1	$R_2(x_2)$	0,68	$U_m(x_2)$	189,1	$R_3(x_2)$	0,66
$E_m(x_3)$	25,2	$R_1(x_4)$	0,38	$N_m(x_3)$	27,6	$R_2(x_3)$	0,56	$U_m(x_3)$	467,4	$R_3(x_3)$	0,44
$E_m(x_4)$	80,3	$R_1(x_3)$	0,67	$N_m(x_4)$	74,3	$R_2(x_4)$	0,32	$U_m(x_4)$	519,9	$R_3(x_4)$	0,42
$E_m(x_5)$	138,1	$R_1(x_5)$	0,77	$N_m(x_5)$	37,0	$R_2(x_5)$	0,48	$U_m(x_5)$	581,0	$R_3(x_5)$	0,39
$\delta(E_m)$	40,4			$\delta(N_m)$	34,7			$\delta(U_m)$	189,1		

Выполнен корреляционный анализ критериев, который показал, что 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 источнике ресурса.

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

Основной этап. Разработка порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупного пожара.

1. Формирование возможных вариантов. 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 определим параметры важности критериев в модели принятия решений для расчета «рационального» порядка прибытия ресурсов пожарной охраны.

Определим количество элементов во множестве \mathbf{V} по формуле

$$h = \frac{n(n-1)}{2} = h = \frac{5(5-1)}{2} = 10.$$

Перечислим 10 парных сравнений источников 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 }.

2. Формирование множества допустимых вариантов порядка сосредоточения дополнительных ресурсов пожарной охраны.

Так для этих парных сравнений должно выполняться условие, что мультипликативная свертка критериев R для $R(x_i) > R(x_j)$, то $x_i \succ x_j$, $\forall i < j$.

Используя разработанный алгоритм, 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 $x_1 \succ x_2$.

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

$$y_1 = \frac{R_1(x_1)}{R_1(x_2)} = \frac{0,40}{0,48} = 0,83, \quad y_2 = \frac{R_2(x_1)}{R_2(x_2)} = \frac{0,65}{0,68} = 0,96, \quad y_3 = \frac{R_3(x_1)}{R_3(x_2)} = \frac{0,81}{0,66} = 1,23.$$

Распределяем критерии по группам: так как $y_1 < 1$ и $y_2 < 1$, то критерии R_1 и R_2 относятся к группе **B**, в свою очередь $y_3 > 1$ и следовательно, критерий R_3 относится к группе **A**. Критерии распределены по группам следующим образом: **A**={ R_3 }, **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 1 «один критерий важнее многих критериев» ($1 \rightarrow \infty$) для ситуации k_3 .

Для каждого критерия из групп **A** и **B** рассчитываем значения коэффициентов важности по формулам:

$$\omega_1 = \frac{1 - \Omega_{3,1}}{3} = \frac{1 - 0,47}{3} = 0,18, \quad \omega_2 = \frac{1 - \Omega_{3,2}}{3} = \frac{1 - 0,16}{3} = 0,28, \quad \omega_3 = \frac{1 + \Omega_{3,1} + \Omega_{3,2}}{3} = \frac{1 + 0,47 + 0,16}{3} = 0,54,$$

$$\text{где } \Omega_{3,1} = \log_{\left(\frac{y_3}{y_1}\right)}\left(\frac{1}{y_1}\right) = \log_{\left(\frac{1,23}{0,83}\right)}\left(\frac{1}{0,83}\right) = 0,47; \quad \Omega_{3,2} = \log_{\left(\frac{y_3}{y_2}\right)}\left(\frac{1}{y_2}\right) = \log_{\left(\frac{1,23}{0,96}\right)}\left(\frac{1}{0,96}\right) = 0,16.$$

Вычислим значения мультипликативной свёртки критериев R с учетом полученных весовых коэффициентов, например, для источника ресурса x_1 :

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

Для других источников ресурса результаты расчеты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – 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

Результаты расчета по алгоритму для всех парето-оптимальных пар источников ресурсов из множества V представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Множество вариантов порядка сосредоточения ресурсов ПО

Пары ресурсов	k_i	V	Веса критериев в свертке			Порядок сосредоточения				
			ω_1	ω_2	ω_3	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
x_1 и x_2	k_3	$v_{1,2}$	0,18	0,28	0,55	1	2	4	5	3
x_1 и x_3	k_4	$v_{1,3}$	0,29	0,35	0,36	1	2	4	5	3
x_1 и x_4	-	$v_{1,4}$	Пара не парето-оптимальна							
x_1 и x_5	k_4	$v_{1,5}$	0,21	0,42	0,37	1	2	4	5	3
x_2 и x_3	k_4	$v_{2,3}$	0,32	0,33	0,36	1	2	4	5	3
x_2 и x_4	-	$v_{2,4}$	Пара не парето-оптимальна							
x_2 и x_5	k_4	$v_{2,5}$	0,24	0,39	0,37	1	2	4	5	3
x_3 и x_4	k_1	$v_{3,4}$	0,53	0,17	0,31	3	2	5	4	1
x_3 и x_5	k_3	$v_{3,5}$	0,12	0,05	0,83	1	2	4	3	5
x_4 и x_5	k_4	$v_{4,5}$	0,08	0,45	0,46	1	2	3	5	4

3. Выбор предпочтительного варианта.

Определяем соответствие рационального и фактического порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны. Для этого воспользуемся третьим этапом алгоритма.

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

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

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

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

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

Выполним пример расчета характеристики D_1 для порядка P_{r1} , по формуле:

$$D_1 = \sum_{s=1}^n d_s \cdot TZ_s = 0 \cdot 37,4 + 0 \cdot 34,8 + 1 \cdot 17,0 + 1 \cdot 12,6 + 1 \cdot 18,4 = 48, \text{ ч.}$$

Для других порядков сосредоточения характеристика D рассчитана аналогично, а полученные данные представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчета характеристики D

Фактический					Матрица сопоставления порядков				TZ, ч	Расчет характеристики D			
Pf	P_{r1}	P_{r2}	P_{r3}	P_{r4}						$D_1, \text{ ч}$	$D_2, \text{ ч}$	$D_3, \text{ ч}$	$D_4, \text{ ч}$
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 5 делаем вывод, что наиболее близким к фактическому является рациональный порядок Pr_3 , так как характеристика D для него имеет минимальное значение.

В результате анализа фактического порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров в провинции Вьетнама Лангшон определено, что ведущая парето-оптимальная пара источников ресурса это $x_3 > x_5$, распределение критериев по группам $\mathbf{A} = \{R_3\}$ и $\mathbf{B} = \{R_1; R_2\}$, 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 мультипликативной свертке критериев будут равны $\omega_1=0,12$, $\omega_2=0,05$, $\omega_3=0,83$. Функция ранжирования источников ресурса $R = R_1^{0,12} \cdot R_2^{0,05} \cdot R_3^{0,83}$ и 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 .

Заключительный этап. Оценка эффективности внедрения рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров.

В соответствии с методическими документами строительства¹ разработана методика для оценки экономической эффективности внедрения нового порядка сосредоточения пожарных подразделений с целью тушения крупных пожаров, абсолютный (интегральный) экономический эффект определяется по формуле:

$$И = \sum_{t=0}^T (Y - O_t) D_t, \text{ у.е.}, \quad (18)$$

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, вычисляется по формуле:

$$D_i = \left(1 + \frac{ND}{100} \right)^t, \quad (19)$$

где ND – постоянная норма удорожания среднего ущерба от одного пожара, %. По оценкам в первом приближении норма удорожания среднего ущерба в провинциях Вьетнама составляет величину $ND=4...10$ %, поэтому в инженерных

¹ МДС 21.3 – 2001 (методические документы строительства) приложение к СНИП 21.01.97* в РФ

расчетах допускается принимать среднюю норму удорожания $ND=7\%$.

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:

$$Y = M(\Pi_B) - M(\Pi_A), \text{ у.е.}, \quad (20)$$

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:

$$\Xi = \frac{M(\Pi_B) - M(\Pi_A)}{M(\Pi_B)} 100\%. \quad (21)$$

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:

$$M(\Pi_{B(A)}) = \sum_{i=1}^n M_i(\Pi_{B(A)}), \text{ у.е.}, \quad (22)$$

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:

$$M_i(\Pi_{B(A)}) = U_{mi} N_i \frac{p_{vi}}{p_{ti}}, \text{ у.е.}, \quad (23)$$

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:

$$p_{ti} = 1 - \exp(-E_{mi}/E_{m0}), \quad (24)$$

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:

$$p_{vi} = 1 - \exp(-\lambda_i \tau_i); \lambda_i = \frac{N_{mi}}{8760}, \quad (25)$$

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:

$$O_t = U + M(\Pi_U), \text{ у.е.}, \quad (26)$$

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.

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 таблицах 6 и 7.

Таблица 6 – 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

Таблица 7 – 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	$M(P_B)$, 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 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 $M(P_B) = 379,31$ млн у.е., а при альтернативном $M(P_A) = 352,59$ млн у.е.

Следовательно, относительный экономический эффект от корректировки последовательности прибытия ресурсов пожарной охраны для тушения крупных пожаров с базового варианта на альтернативный определим по формуле (19):

$$\varepsilon = \frac{M(P_B) - M(P_A)}{M(P_B)} 100\% = \frac{379,31 - 352,59}{379,31} 100\% = 7,04\% . \quad (27)$$

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 8 представлены результаты оценки величины $M_i(P_U)$ 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 8 – Результаты оценки величины $M_i(\Pi_U)$ 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	$M(\Pi_U)$, 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 2.

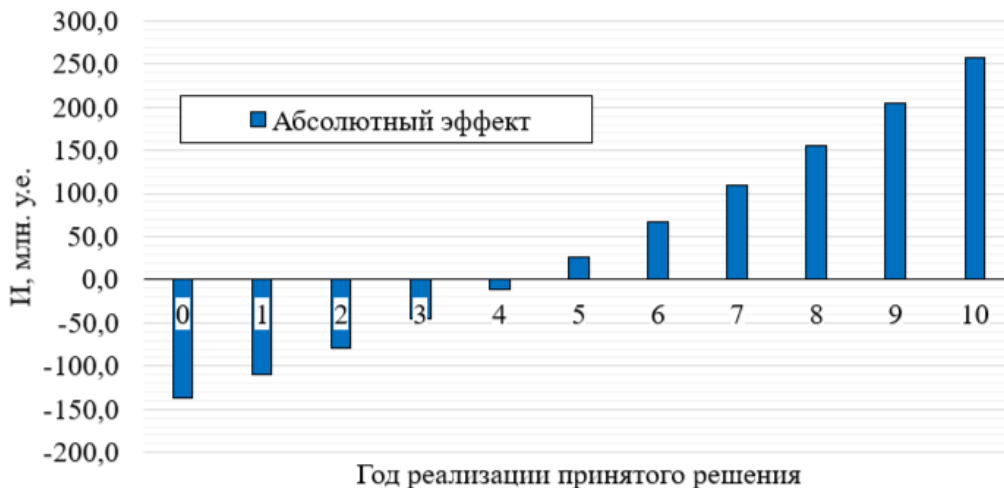


Рисунок 2 – Динамика абсолютного экономического эффекта

Анализируя данные, представленные на рисунке 2, делаем вывод, что окупаемость альтернативного варианта сосредоточения пожарных подразделений для тушения крупных пожаров в провинции Лангшон наблюдается на 5-м году реализации управленческого 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.

В приложении А к диссертации представлены типовые структуры, в совокупности представляющие информационные ресурсы для поддержки принятия управленческих решений при организации тушения крупных пожаров и проведения пожарно-тактических учений. В приложении Б приводятся акты внедрения результатов исследования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

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 7,04 %, а окупаемость принятого решения, с учетом затрат на проведение пожарно-тактических учений, возникает на 5-м году его реализации.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

В научных изданиях, рекомендованных ВАК России по научной специальности 2.3.4. Управление в организационных системах:

1. Чан Минь Хоанг Ха. Модель и методика оценки степени сложности системы управления пожарно-спасательными подразделениями на пожаре [текст] / Степанов Е.В., Чан Минь Хоанг Ха, Тараканов Д.В. и [др] // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 1 (46). – С. 47-56. EDN: DGCRVX

2. Чан Минь Хоанг Ха. Анализ многокритериальных моделей и методов управления ресурсами пожарной охраны [текст] // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2023. – № 4 (102). – С. 120-132. DOI: 10.25257/TTS.2023.4.102.120-132

3. Чан Минь Хоанг Ха. Модель для разработки рационального порядка сосредоточения ресурсов пожарной охраны при тушении крупного пожара [текст] / Чан Минь Хоанг Ха, Тараканов Д.В. // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2024. – № 3 (105). – С. 41-54. DOI: 10.25257/TTS.2024.3.105.41-54

Свидетельство о государственной регистрации базы данных:

4. Чан Минь Хоанг Ха, Тараканов Д.В., Бутузов С.Ю., Степанов Е.В. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2022621255: Информационные ресурсы для поддержки принятия управленческих решений при организации пожаротушения. Дата регистрации в Реестре баз данных 30.05.2022.

Публикации в других научных изданиях:

5. Чан Минь Хоанг Ха. Многокритериальные модели в задачах управления ресурсами пожарной охраны - мировой опыт [текст] // В сборнике: Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XV Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, – 2024. – С. 307-310.

6. Чан Минь Хоанг Ха. Информационная система поддержки принятия решений по тушению пожаров во Вьетнаме [текст] // Материалы международной научно-технической конференции "Системы безопасности". М.: Академия ГПС МЧС России. – 2023. – № 32. – С. 127-129.

7. Чан Минь Хоанг Ха. Сравнительная оценка степени сложности зданий для действий пожарных в непригодной для дыхания среде [текст] / Чан Минь Хоанг Ха, Степанов Е.В. // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов. Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2022. – С. 465-469.

8. Чан Минь Хоанг Ха. Оценка сложности системы управления на пожаре [текст] / Чан Минь Хоанг Ха, Степанов Е.В., Тараканов Д.В. // Материалы международной научно-технической конференции "Системы безопасности". М.: Академия ГПС МЧС России. – 2022. – № 31. – С. 38-41.

9. Tran M.H.Ha., Zyukova A.S., Vu T.T.N. Proposals for improving the reliability of automatic sprinkler systems for extinguishing or localizing a fire at an early stage // Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Safety Systems". 2022. № 31. С. 392-397.

10. Чан Минь Хоанг Ха. Направления перспективных модельных разработок в области решения задач противопожарной службы / Топольский Н.Г., Минаев В.А., Кйеу Т.А., Чан Минь Хоанг Ха // Материалы международной научно-технической конференции "Системы безопасности". М.: Академия ГПС МЧС России. – 2021. – № 30. – С. 12-18.