

*На правах рукописи*



Чыонг Ван Хынг

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ  
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОЦЕНКЕ УРОВНЕЙ  
ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ АДМИНИСТРАТИВНО-  
ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ЕДИНИЦ**

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

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Научный руководитель: заслуженный работник высшей школы РФ, кандидат технических наук, доцент  
**Присяжнюк Николай Леонидович**

Официальные оппоненты: **Таранцев Александр Алексеевич**  
Заслуженный работник высшей школы РФ, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России», кафедра организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, профессор

**Кузнецов Александр Валерьевич**  
кандидат технических наук, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, кафедра пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ, старший преподаватель

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 г. в 15 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 04.2.002.01, созданного на базе Академии ГПС МЧС России по адресу: 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4, зал Диссертационного совета.

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

<http://academygps.ru/upload/iblock/89a/6gbj5uvwdmv3vkmnf03e1uioeyr6hm0h/Диссертация%2520Чьонг%2520Ван%2520Хынг.pdf>

Автореферат разослан «28» марта 2025 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Сегодня, наряду с бурным развитием мировой экономики, происходит повышение уровня пожарной опасности. Экономическое развитие любой страны требует обеспечения должного уровня ее пожарной безопасности, как одной из важнейших задач для снижения количества пожаров и причиняемого ими ущерба.

Управление пожарным риском является важной частью обеспечения пожарной безопасности любой страны. Для управления пожарным риском важно иметь нормативное значение индивидуального пожарного риска (НЗИПР). Этот показатель позволяет специалистам по управлению пожарной безопасностью сопоставлять фактические значения индивидуального пожарного риска (ИПР) с его нормативным значением. Во многих странах мира определены значения ИПР, но во Вьетнаме такой норматив пока не установлен, что усложняет управленческую деятельность в области пожарной безопасности.

Диссертация посвящена решению актуальных задач оценки уровней пожарной опасности (УПО) в административно-территориальных единицах (АТЕ) на основе интегральных социально-экономических показателей пожарного риска (ИСЭППР), обоснованию НЗИПР для Вьетнама. В работе разработаны модель, алгоритмы и программа для электронно-вычислительных машин (ЭВМ) поддержки управленческих решений по оценке и снижению уровней пожарной опасности в АТЕ страны.

**Степень разработанности.** Исследования автора опирались на теоретические и практические результаты отечественных и зарубежных ученых в области теории оценки уровня пожарной опасности и разработки систем поддержки принятия решений – Н.Н. Брушлинского, Е.А. Мешалкина, В.А. Минаева, В.Л. Семикова, С.В. Соколова, Н.Г. Топольского, А.А. Порошина, А.А. Быкова, Г.Х. Харисова, А.Г. Фирсова, В.А. Акимова, С.С. Тимофеевой, Н.Л. Присяжнюка, С.Ю. Попкова, Е.А. Клепко, Р.К. Marhavidas, P. Wagner, B. J. Meacham, Yong Vai и др.

В этих исследованиях рассмотрены вопросы оценки уровней пожарной опасности и оценки пожарных рисков. Однако оценка влияния многих факторов на пожарную опасность и управления ими в АТЕ мало изучены. Поэтому решаемая в диссертационной работе научная задача состоит в разработке модели и алгоритма поддержки принятия управленческих решений по оценке и снижению УПО в АТЕ.

**Объектом исследования** является система управления пожарной безопасностью в административно-территориальных единицах страны.

**Предметом исследования** выступают модель и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений в области пожарной безопасности административно-территориальных единиц страны.

**Цель диссертационной работы** заключается в разработке модели и алгоритма поддержки принятия управленческих решений по оценке и снижению УПО в АТЕ на основе оценки пожарных рисков.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие **задачи**:

1) проанализировать показатели пожарной опасности, характеризующие пожарную обстановку во Вьетнаме и его АТЕ;

2) исследовать интегральные социально-экономические показатели пожарных рисков и оценить УПО АТЕ Вьетнама;

3) разработать модель поддержки принятия управленческого решения по оценке УПО в АТЕ на основе обоснованного нормативного значения ИПР с целью усовершенствования системы управления пожарной безопасностью во Вьетнаме;

4) разработать алгоритм и программную реализацию процедуры поддержки принятия управленческих решений по снижению УПО АТЕ Вьетнама.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

– создана модель поддержки принятия управленческого решения по оценке УПО в АТЕ Вьетнама. Основное отличие от известных моделей в том, что разработан критерий (нормативное значение ИПР) для контроля фактических значений пожарных рисков, что позволяет на альтернативной основе усовершенствовать управленческую деятельность в области пожарной безопасности;

– разработан алгоритм поддержки принятия управленческих решений по снижению УПО АТЕ. Отличительной особенностью алгоритма является разработка математических моделей множественной регрессии, показывающих зависимость между факторами, влияющими на пожарную опасность. Модели позволяют представить варианты управленческих решений по снижению УПО в АТЕ;

– создана функциональная структура программы для ЭВМ, позволяющая реализовать процедуру принятия решений по оценке уровней пожарной опасности и управлению влияющими факторами для снижения УПО в АТЕ.

**Теоретическая значимость работы** заключается в развитии теоретических основ использования нормативного значения ИПР для АТЕ Вьетнама, применении математических моделей по управлению факторами, влияющими на пожарную опасность, разработке модели и алгоритма принятия решений по оценке и снижению УПО в АТЕ.

**Практическая значимость работы** заключается в обеспечении поддержки принятия управленческих решений лицом, принимающим решения по оценке и снижению УПО АТЕ в практической деятельности противопожарной службы. Реализация предложенной модели и алгоритма в программе для ЭВМ позволяет сократить временные затраты на обработку и структурирование данных, а также визуализацию и интерпретацию процесса.

**Методология и методы исследования.** Методологической основой исследования являются методы системного анализа, методы теории принятия решений, методы математического моделирования, методы математической статистики.

**На защиту выносятся** следующие положения:

- результаты анализа показателей пожарной опасности, характеризующие пожарную обстановку во Вьетнаме и его АТЕ;
- результаты оценки УПО АТЕ Вьетнама;
- модель поддержки принятия управленческого решения по оценке УПО в АТЕ Вьетнама на основе обоснованного нормативного значения ИПР;
- алгоритм поддержки принятия управленческих решений по снижению УПО АТЕ;
- программа для ЭВМ поддержки принятия управленческих решений по оценке и снижению УПО АТЕ.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность полученных результатов достигнута за счет использования официальных статистических данных, обеспечена использованием апробированного математического аппарата, соответствующих цели и задачам исследования.

**Основные результаты диссертации** доложены и обсуждены на международных научно-практических конференциях: «Гражданская оборона на страже мира и безопасности» (г. Москва, 2022 г.); «Проблемы техносферной безопасности» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2022, 2023 гг.); «Системы безопасности» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России 2022, 2023 гг.); «Пожарная и аварийная безопасность» (г. Иваново, Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022 г.); «Риск-ориентированные подходы к устойчивому развитию» (г. Улан-Батор, 2023 г.); «Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций» (г. Кокшетау, 2022 г.); международная научная конференция «Пожарная безопасность в условиях современности» (г. Кокшетау, 2024 г.); научный семинар «Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений» (г. Москва, Академия ГПС МЧС России, 2022–2024 гг.).

**Внедрение результатов работы.** Результаты диссертационной работы используются в:

- Главном управлении пожарной охраны и аварийно-спасательной службы (ГУПО и АСС) Министерства общественной безопасности (МОБ) Вьетнама (применение модели, алгоритма и программы для ЭВМ поддержки принятия управленческих решений по оценке и снижению УПО АТЕ Вьетнама);
- учебном процессе Института пожарной безопасности МОБ Вьетнама при разработке фондовых лекций по дисциплине «Управление пожарной безопасностью» и при разработке методических рекомендаций по поддержке управления пожарной безопасностью в АТЕ Вьетнама;
- учебном процессе Академии ГПС МЧС России при изучении дисциплин «Экономическая оценка управленческих решений в области пожарной безопасности», преподаваемой на кафедре организации деятельности пожарной охраны (в составе учебно-научного комплекса систем обеспечения пожарной безопасности).

Реализация результатов исследования подтверждается актами внедрения (Приложение Г диссертации).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 19 работ, из них 5 – в изданиях, рекомендованных ВАК России; 14 работ в других научных изданиях, получено 1 свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ.

**Личный вклад автора.** В работах, которые опубликованы в соавторстве и единоличном авторстве в изданиях, рекомендованных ВАК, все результаты, составляющие научную новизну и выносимые на защиту, получены автором лично. В разработанной программе для ЭВМ автором определены основные функции и требования к программе.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемых сокращений, списка литературы и четырех приложений. Общий объем диссертационной работы – 186 страниц машинописного текста. Работа иллюстрирована 55 рисунками и содержит 46 таблиц. Список литературы включает в себя 107 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту. Отражены сведения о внедрении и апробации результатов работы.

**В первой главе «Анализ характеристики пожарной опасности административно-территориальных единиц Вьетнама»** проведен анализ исследований, связанных с оценкой уровня пожарной опасности АТЕ. Представлен анализ параметров, характеризующих обстановку с пожарами во Вьетнаме и его АТЕ. Разработаны аппроксимирующие функции основных показателей последствий пожаров на основе метода наименьших квадратов. Получена тенденция изменения основных показателей пожарной обстановки во Вьетнаме, как в целом по стране, так и в городах и сельской местности. Проведен анализ организационной структуры основных элементов системы обеспечения пожарной безопасности Вьетнама. Проведено обоснование цели и задач исследования.

Результаты исследования основных показателей пожаров и их последствий во Вьетнаме обобщены на рисунке 1. Во Вьетнаме за исследуемый период количество пожаров, число травмированных и величина материального ущерба имеют тенденцию к снижению, однако число погибших имеет тенденцию к увеличению. Кроме того, состояние пожарной обстановки во Вьетнаме неудовлетворительное. Число погибших людей на 100 пожаров вдвое выше, чем среднее значение этого показателя среди 33 стран мира.

Территория Вьетнама разделена на 63 АТЕ. Анализ показал, что распределение числа пожаров и последствий от пожаров в АТЕ Вьетнама неоднородно. Пожары во Вьетнаме в основном происходят в крупных городах, таких как Ханой, Хошимин, Дананг, Биньзыонг и Хайфонг.

Анализ организационной структуры пожарной охраны показал, что нынешние пожарные силы Вьетнама недостаточны в количественном отношении

по сравнению со многими странами региона и мира.

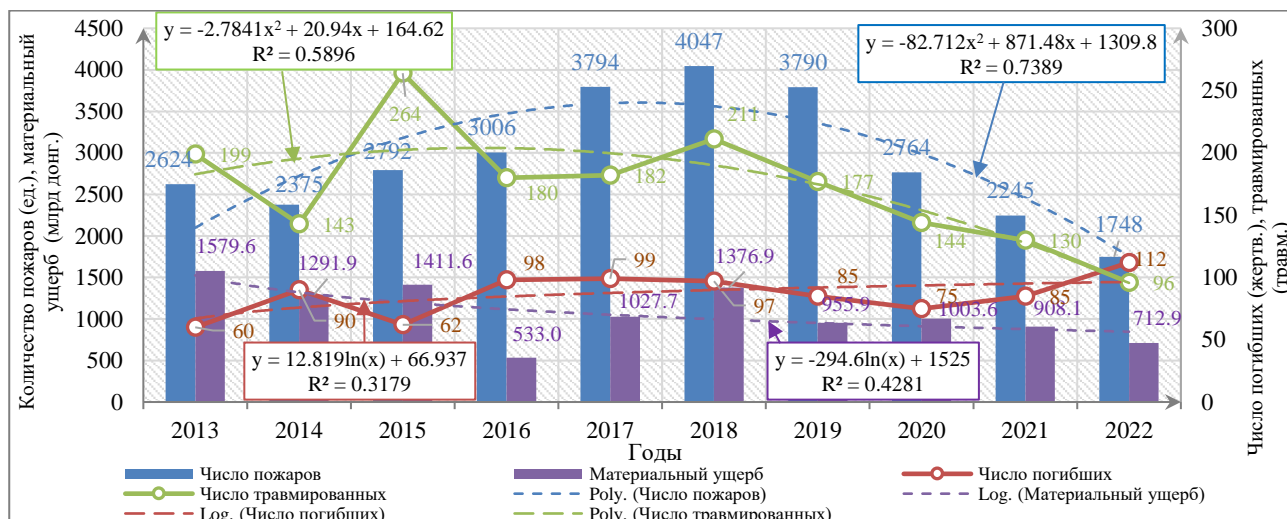


Рисунок 1 – Основные показатели, характеризующие обстановку с пожарами во Вьетнаме

Во второй главе «Модель поддержки принятия управленческого решения по оценке уровней пожарной опасности в административно-территориальных единицах» представлены результаты оценки основных интегральных пожарных рисков и УПО в АТЕ Вьетнама на основе ИСЭППР. Разработана модель поддержки принятия управленческого решения по оценке УПО в АТЕ на основе обоснованного нормативного значения ИПР.

Результат оценки основных интегральных пожарных рисков, таких как: риск гибели людей при пожаре  $R_{\Gamma}$  (жертв.чел.<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>), риск травматизма людей при пожаре  $R_{\tau}$  (травм.чел.<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>) и риск материального ущерба от пожаров  $R_{\gamma}$  (тыс.донг.·чел.<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>) в АТЕ Вьетнама показал, что распределение пожарных рисков по АТЕ Вьетнама неоднородно по каждому показателю пожарного риска. Для оценки УПО АТЕ Вьетнама была использована методика ИСЭППР ( $R_{\text{сэ}}$ ), которая представлена на рисунке 2.



$R_{ij}^*$  – стандартизованный  $i$ -й риск в  $j$ -й АТЕ;  $R_{\Gamma}^j, R_{\tau}^j, R_{\gamma}^j$  – пожарные риски в  $j$ -й АТЕ;  $N$  – количество анализируемых рисков ( $N = 3$ );  $n$  – порядковый номер рисков по их значимости (для  $R_{\Gamma}$ ,  $n_1=1$ ;  $R_{\tau}$ ,  $n_2=2$ ;  $R_{\gamma}$ ,  $n_3=3$ )

Рисунок 2 – Схема оценки уровней пожарной опасности в АТЕ Вьетнама

## Результат оценки УПО АТЕ Вьетнама представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Результат оценки УПО АТЕ Вьетнама

УПО	Количество АТЕ	Название АТЕ
Особо высокий	3	Биньзыонг ( $R_{c3} = 0,958$ ), Ханой ( $R_{c3} = 0,858$ ), Куангчи ( $R_{c3} = 0,812$ )
Высокий	16	Хазянг ( $R_{c3} = 0,738$ ), Иенбай ( $R_{c3} = 0,669$ ), Контум ( $R_{c3} = 0,657$ ), Биньфыок ( $R_{c3} = 0,655$ ), ...
Средний	28	Куангнинь ( $R_{c3} = 0,495$ ), Ниньтхуан ( $R_{c3} = 0,657$ ), Лангсон ( $R_{c3} = 0,482$ ), Куангнам ( $R_{c3} = 0,461$ ) ...
Низкий	16	Бакльеу ( $R_{c3} = 0,247$ ), Бариаунгтау ( $R_{c3} = 0,239$ ), Бакзянг ( $R_{c3} = 0,232$ ), Хынгиен ( $R_{c3} = 0,216$ ), ...

В соответствии со ст. 79, 93 Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (в ред. от 14.07.2022) индивидуальный пожарный риск гибели человека в зданиях и сооружениях установлен на уровне не выше  $10^{-6}$  в течение одного года. Следовательно, если основная масса людей погибает от пожаров в зданиях и сооружениях, то среднее фоновое значение ИПР для всей территории страны (провинции, города и др.) с незначительной погрешностью можно приравнять к величине  $10^{-6}$ .

Для определения конкретного нормативного значения ИПР, прежде всего, необходимо определить его предельные значения, то есть верхний предельный уровень (ВПУ) и нижний предельный уровень (НПУ). Оценка предельных уровней ИПР базируется на принципе ALARP (As Low As Reasonably Practicable, минимальный практически приемлемый риск). На рисунке 3 представлен алгоритм определения ВПУ и НПУ ИПР.

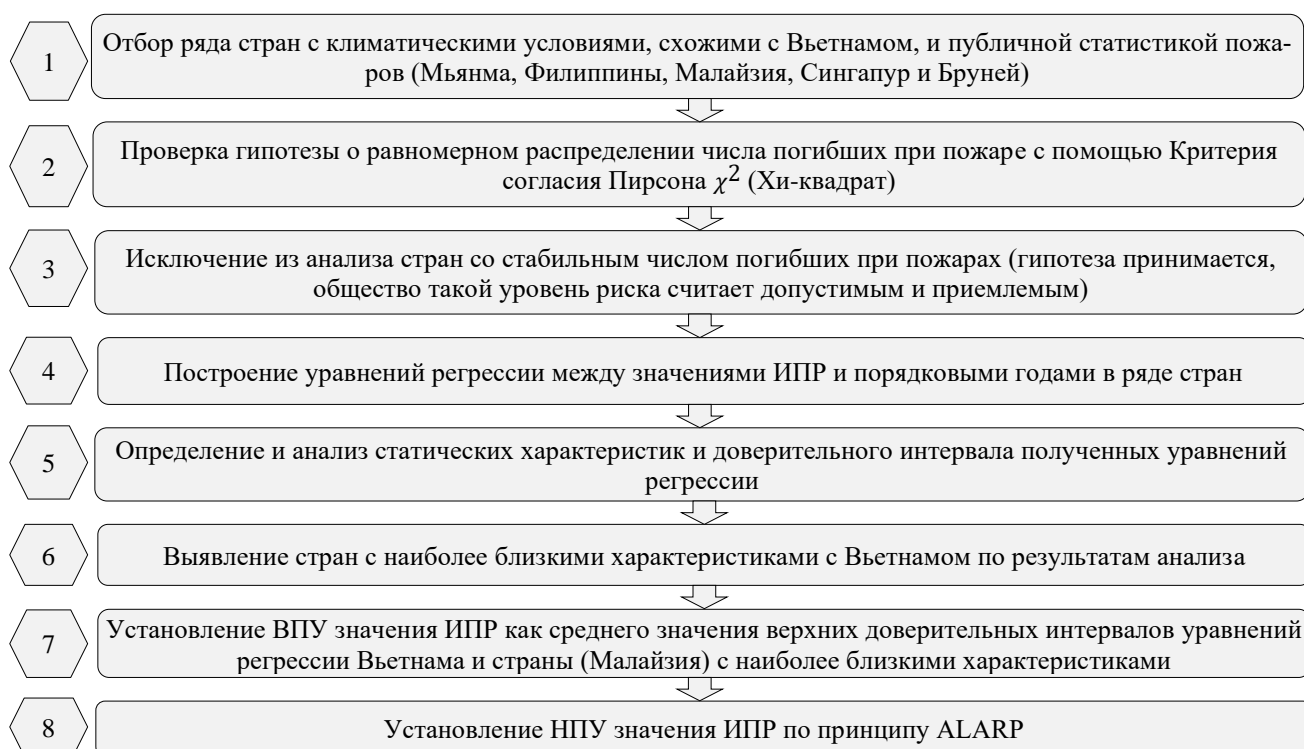


Рисунок 3 – Алгоритм определения предельных уровней значения ИПР во Вьетнаме

Результат проверки нулевой гипотезы  $H_0$  о нормальном распределении числа погибших при пожаре в ряде стран с климатическими условиями, схожими с Вьетнамом, и опубликованной статистикой пожаров показал, что гипотеза принимается для Сингапура и Брунея. Значит стабильное число погибших и ИПР свидетельствует о том, что в этих странах такой уровень риска принимается как допустимый. В дальнейшем исключим Сингапур и Бруней из сравнительного анализа значения ИПР.

Проведен регрессионный анализ значений ИПР по годам в ряде стран (Мьянма, Филиппины, Малайзия, Вьетнам), результат которого позволил определить коэффициенты детерминации уравнений регрессии во Вьетнаме – 76,8 %, в Филиппинах – 61,6 %, в Малайзии – 81,8 %, в Мьянме – 12,2 %. Кроме того, средний темп изменения значений ИПР за шестилетний период для Вьетнама, Малайзии и Филиппин имеет тенденцию к снижению, а для Мьянмы – к увеличению. Однако полученные уравнения регрессии являются значимыми только для Вьетнама и Малайзии. Таким образом можно утверждать, что характеристики распределения ИПР во Вьетнаме и Малайзии наиболее близки. Верхние значения доверительных интервалов ИПР для Вьетнама  $R_{\text{верх.}}^{\text{Вьетнам}} = 1,26 \cdot 10^{-6}$ , а Малайзии  $R_{\text{верх.}}^{\text{Малайзия}} = 6,39 \cdot 10^{-6}$ .

Учитывая это, предлагается в качестве верхнего предельного уровня ИПР ( $R_{\text{впу}}$ ) для Вьетнама принять среднее значение верхнего доверительного интервала уравнения регрессии, определяемого как:

$$R_{\text{впу}} = \frac{R_{\text{верх.}}^{\text{Вьетнам}} + R_{\text{верх.}}^{\text{Малайзия}}}{2} = \frac{1,26 \cdot 10^{-6} + 6,39 \cdot 10^{-6}}{2} = 3,8 \cdot 10^{-6} \left[ \frac{\text{жертв.}}{\text{чел.} \cdot \text{год}} \right]$$

Согласно принципу ALARP рекомендуется устанавливать нижний предельный уровень ИПР ( $R_{\text{нпу}}$ ) на два порядка ниже верхнего. Следовательно, нормативная величина ИПР для Вьетнама ( $R_{\text{н}}$ ) должна находиться в следующих пределах:  $R_{\text{нпу}} = 3,8 \cdot 10^{-8} \leq R_{\text{н}} \leq R_{\text{впу}} = 3,8 \cdot 10^{-6}$ .

Уровень пожарного риска в любой стране во многом зависит от ее социально-экономического развития. Чем выше уровень социально-экономического развития, тем более жесткими должны быть нормативные уровни риска. Для определения конкретного НЗИПР необходимо произвести комплексный социально-экономический анализ Вьетнама в сопоставлении с рядом других стран, которые имеют нормативные значения ИПР: Нидерланды, Великобритания, Чехия и Россия.

По данным статических сборников Росстата (Федеральная служба государственной статистики) в основные показатели социально-экономического развития стран (ПСЭРС) включаются показатели развития экономики стран и показатели уровня жизни населения. Результат оценки значимости коэффициентов корреляций между ПСЭРС ( $k_i$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, 14$ ) и ИПР ( $y$ ) в ряде стран, имеющих нормативные значения ИПР, на основе  $t$ -критерия Стьюдента ( $t$ -статистики) показал, что имеется шесть значимых из 14 исследуемых ПСЭРС: индекс человеческого развития (ИЧР) ( $k_1$ ), индекс человеческого капитала ( $k_5$ ),

уровень продолжительности жизни ( $k_6$ ), индекс экономической свободы ( $k_7$ ), индекс качества жизни ( $k_9$ ), индекс качества медицины ( $k_{13}$ ).

Таким образом, шесть ПСЭРС могут быть использованы для обоснованности нормативного значения ИПР Вьетнама. При этом используется метод обратно пропорционального расчета для определения расчетной нормативной величины ИПР Вьетнама на основе каждого из шести показателей по формуле:

$$R_{k_i}^{B-j} = \frac{k_{ij}}{k_{iB}} \cdot R_{\text{H}}^j, \quad (1)$$

где  $R_{k_i}^{B-j}$  – относительное нормативное значение ИПР Вьетнама  $k_i$   $i$ -го ПСЭРС по отношению к  $j$ -стране;  $k_{ij}$  и  $k_{iB}$  – ПСЭРС  $k_i$  в  $j$ -стране и во Вьетнаме;  $R_{\text{H}}^j$  – нормативная величина ИПР, принятая в  $j$ -стране.

Расчетное нормативное значение ИПР для Вьетнама на основе ПСЭРС  $k_i$  определяется как среднее значение:

$$R_{\text{расч.}}^{k_i} = \sum_{j=1}^n R_{k_i}^{B-j} / n, \quad (2)$$

где  $n$  – количество анализируемых стран ( $n = 4$ ).

Определение расчетного значения ИПР для Вьетнама на основе индекса человеческого развития ( $k_1$ ) представлено в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Результат расчета НЗИПР для Вьетнама на основе индекса человеческого развития

№	Страны	Индекс человеческого развития ( $k_1$ )	НЗИПР в ряде стран $R_{\text{H}}^j$	Расчетное значение ИПР для Вьетнама [жертв. · чел. <sup>-1</sup> · год <sup>-1</sup> ]
1	Россия	$k_1^{\text{Рос.}} = 0,824$	$R_{\text{H}}^{\text{Рос.}} = 10^{-6}$	$R_{k_1}^{\text{Вьет.-Рос.}} = \frac{0,824}{0,704} \cdot 10^{-6} = 1,170 \cdot 10^{-6}$
	Вьетнам	$k_1^{\text{Вьет.}} = 0,704$		
2	Чехия	$k_1^{\text{Чех.}} = 0,900$	$R_{\text{H}}^{\text{Чех.}} = 10^{-6}$	$R_{k_1}^{\text{Вьет.-Чех.}} = \frac{0,900}{0,704} \cdot 10^{-6} = 1,278 \cdot 10^{-6}$
	Вьетнам	$k_1^{\text{Вьет.}} = 0,704$		
3	Великобритания	$k_1^{\text{Вел.}} = 0,932$	$R_{\text{H}}^{\text{Вел.}} = 10^{-6}$	$R_{k_1}^{\text{Вьет.-Вел.}} = \frac{0,932}{0,704} \cdot 10^{-6} = 1,324 \cdot 10^{-6}$
	Вьетнам	$k_1^{\text{Вьет.}} = 0,704$		
4	Нидерланды	$k_1^{\text{Нид.}} = 0,944$	$R_{\text{H}}^{\text{Нид.}} = 10^{-6}$	$R_{k_1}^{\text{Вьет.-Нид.}} = \frac{0,944}{0,704} \cdot 10^{-6} = 1,341 \cdot 10^{-6}$
	Вьетнам	$k_1^{\text{Вьет.}} = 0,704$		
$R_{\text{расч.}}^{k_1} = \frac{R_{k_1}^{\text{Вьет.-Рос.}} + R_{k_1}^{\text{Вьет.-Чех.}} + R_{k_1}^{\text{Вьет.-Вел.}} + R_{k_1}^{\text{Вьет.-Нид.}}}{4} = 1,278 \cdot 10^{-6}$				

Проведены аналогичные расчеты НЗИПР для Вьетнама на основе остальных 5 значимых ПСЭРС.

Определено нормативное значение ИПР для Вьетнама по формуле:

$$R_{\text{H}}^{\text{Вьетнам}} = \sum_{i=1, p=1}^6 \omega_p R_{\text{расч.}}^{k_i}, \quad (3)$$

где  $\omega_p$  – весовые коэффициенты для шести значимых ПСЭРС по формуле Фишберна;  $p$  – ранг значимости ПСЭРС.

При использовании формулы Фишберна необходимо упорядочить ПСЭРС по мере убывания их значимости:  $z_1 \geq z_2 \geq \dots \geq z_m$ . В этом случае весовые коэффициенты образуют убывающую арифметическую прогрессию и могут быть определены по выражению:

$$\omega_p = \frac{2 \cdot (m - p + 1)}{m \cdot (m + 1)}, p = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

где  $m$  – количество значимых показателей, а  $p$  – ранг отдельного показателя.

В рассматриваемом случае, если ПСЭРС имеет наиболее высокое абсолютное значение коэффициента корреляции с ИПР, то этот показатель имеет наиболее высокий ранг. Следовательно, соответствующие весовые коэффициенты будут следовать в таком порядке: для  $R_{расч.}^{k_6}$   $\omega_1$ ; для  $R_{расч.}^{k_9}$   $\omega_2$ ; для  $R_{расч.}^{k_5}$   $\omega_3$ ; для  $R_{расч.}^{k_1}$   $\omega_4$ ; для  $R_{расч.}^{k_{13}}$   $\omega_5$ ; для  $R_{расч.}^{k_7}$   $\omega_6$ .

Результат расчета весовых коэффициентов для других показателей  $\omega_p$ , абсолютные значения коэффициента корреляции  $|r_{k,y}|$  и расчетные НЗИПР  $R_{расч.}^{k_i}$  представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результат расчетных НЗИПР по каждому значимому ПСЭРС и соответствующие весовые коэффициенты

№	$ r_{k,y} $	$R_{расч.}^{k_i}$	$\omega_p$
1	0,986	$R_{расч.}^{k_6} = 1,051 \cdot 10^{-6}$	$\omega_1 = 0,2857$
2	0,980	$R_{расч.}^{k_9} = 1,938 \cdot 10^{-6}$	$\omega_2 = 0,2381$
3	0,979	$R_{расч.}^{k_5} = 1,087 \cdot 10^{-6}$	$\omega_3 = 0,1905$
4	0,978	$R_{расч.}^{k_1} = 1,278 \cdot 10^{-6}$	$\omega_4 = 0,1429$
5	0,975	$R_{расч.}^{k_{13}} = 1,370 \cdot 10^{-6}$	$\omega_5 = 0,0952$
6	0,972	$R_{расч.}^{k_7} = 1,166 \cdot 10^{-6}$	$\omega_6 = 0,0476$

Следовательно, НЗИПР для Вьетнама определится как:

$$R_{н}^{Вьетнам} = \sum_{p=1}^6 \omega_p \cdot R_{расч.}^{k_i} = 1,34 \cdot 10^{-6} \left[ \text{жертв.} \cdot \text{чел.}^{-1} \cdot \text{год}^{-1} \right].$$

Величина нормативного индивидуального пожарного риска для Вьетнама находится в пределах:

$$R_{нпу}^{Вьетнам} = 3,8 \cdot 10^{-8} < R_{н}^{Вьетнам} = 1,34 \cdot 10^{-6} < R_{впу}^{Вьетнам} = 3,8 \cdot 10^{-6}.$$

Учитывая то, что ПСЭРС являются динамическими переменными, рекомендуется делать перерасчет НЗИПР каждые 5 лет. Это примерный период, при котором пересматриваются программы социально-экономического развития страны. Алгоритм обоснования НЗИПР для Вьетнама представлен на рисунке 4, а график оценки уровней ИПР в АТЕ Вьетнама – на рисунке 5. Из графика видно, что 12 из 63 АТЕ Вьетнама (что составляет 19%), имеют значения ИПР выше допустимого уровня пожарного риска.



Рисунок 4 – Алгоритм определения нормативного значения ИПР для Вьетнама

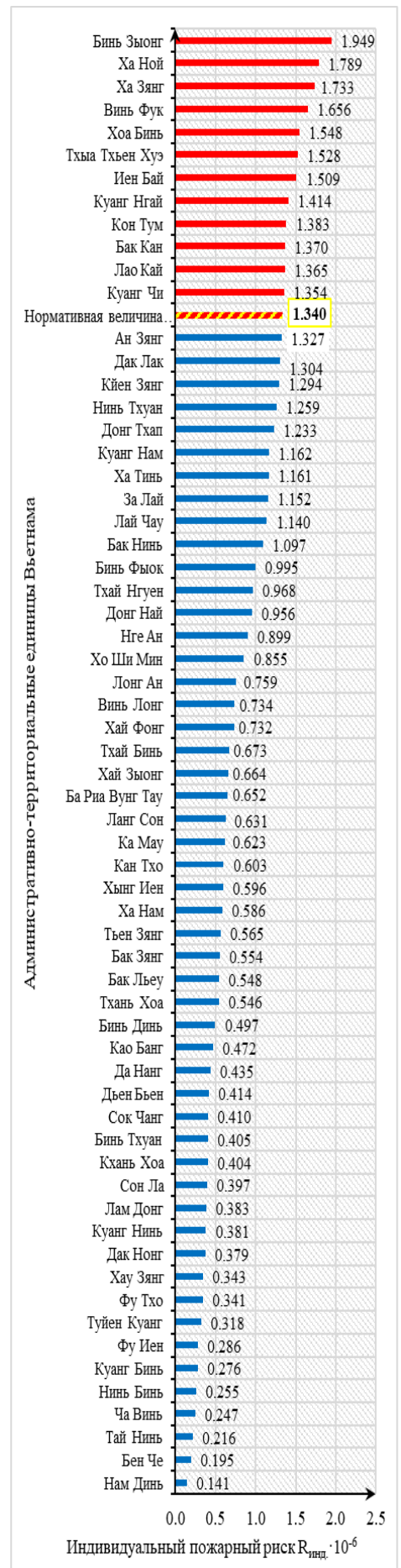


Рисунок 5 – Результат оценки уровней ИПР в АТЕ Вьетнама

Важно представлять порядок использования НЗИПР для поддержки решения по оценке УПО в АТЕ. На рисунке 6 представлена модель поддержки принятия управленческого решения по оценке УПО в АТЕ Вьетнама. При этом используются уровни пожарной опасности АТЕ, определяемые на основе ИСЭППР.

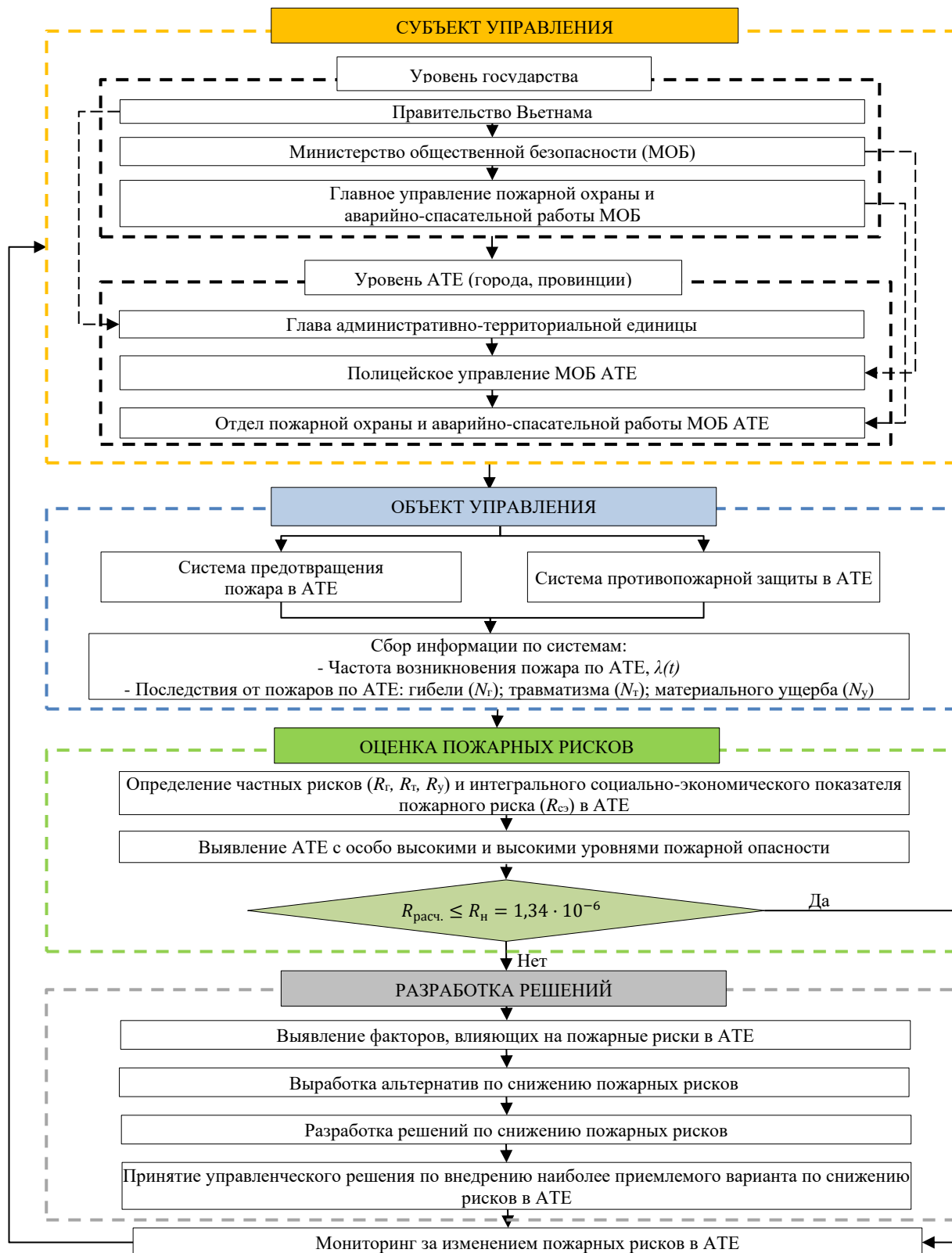


Рисунок 6 – Модель поддержки принятия управленческого решения по оценке уровней пожарной опасности в АТЕ Вьетнама

В третьей главе «Алгоритм поддержки управленческих решений по снижению уровней пожарной опасности в административно-территориальных единицах Вьетнама» проведен анализ факторов, влияющих на пожарные риски во Вьетнаме. Разработаны математические модели, показывающие взаимосвязь между факторами, влияющими на пожарные риски. Исходя из этого, определены доверительные интервалы прогнозов и представлены решения для снижения пожарных рисков, позволяющие снижать УПО в АТЕ. Разработаны алгоритм и программное обеспечение поддержки управленческих решений по снижению УПО АТЕ.

С целью минимизации пожарных рисков ( $R_r, R_t, R_y$ ), а также снижения уровня пожарной опасности ( $R_{c9}$ ) в АТЕ необходимо построить математическую модель, показывающую взаимосвязь между факторами, влияющими на пожарные риски. Исходя из этого, можно представить прогноз и конкретные решения по снижению пожарных рисков.

Для построения математической модели, показывающей зависимость между многими факторами, влияющими на выходную переменную (отклик), наиболее популярным методом является регрессионный анализ. В таком случае рассматривается множественная регрессия, представляемая в математическом виде:

$$y_k = \beta_0 + \beta_1 x_{1k} + \beta_2 x_{2k} + \dots + \beta_m x_{mk} + \varepsilon_k, \quad (5)$$

где  $y_k$  – зависимая переменная;  $x_1, \dots, x_m$  – факторы (независимые переменные);  $\beta_m$  –  $m$ -й коэффициент модели;  $\varepsilon_k$  – ошибки аппроксимации ( $k = 1, \dots, n$ ),  $n$  – количество наблюдений.

Представим данные наблюдений и коэффициенты модели в матричной форме:

$$Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}; X = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & \dots & x_{m1} \\ 1 & x_{12} & \dots & x_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{1n} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix}; \beta = \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \dots \\ \beta_m \end{pmatrix}; \varepsilon = \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \dots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}. \quad (6)$$

где  $Y$  –  $n$ -мерный вектор-столбец наблюдений зависимой переменной;  $X$  – матрица значений независимых переменных размера  $n \times (m+1)$ ;  $\beta$  – вектор-столбец коэффициентов множественной регрессии размера  $(m+1) \times 1$ ;  $\varepsilon$  – вектор-столбец размера  $n \times 1$  отклонений выборочных значений  $y_k$  от значений  $\hat{y}_k$ , получаемых по уравнению регрессии:

$$\hat{y}_k = \beta_0 + \beta_1 x_{1k} + \beta_2 x_{2k} + \dots + \beta_m x_{mk}. \quad (7)$$

Нахождение коэффициентов модели матричным способом решения по выражению:

$$\beta = (X^T X)^{-1} X^T Y, \quad (8)$$

где  $\beta$  – вектор-столбец коэффициентов модели регрессии;  $X^T$  – матрица, транспонированная к матрице  $X$ ;  $(X^T X)^{-1}$  – матрица, обратная к матрице  $X^T X$ .

Для построения множественных моделей рассматриваются 3 группы факторов (всего 20 факторов), влияющих на последствия пожаров (число погиб-

ших, травмированных и материальный ущерб), а также на пожарные риски на территории страны, предусмотренных Директивой 01/СТ-ТТg Премьер-министра Вьетнама от 03.01.2023 г. «Об усилении противопожарной безопасности в новой ситуации». Для построения математической модели, показывающей зависимость между факторами ( $x_j$ ) и пожарными рисками ( $y_i$ ), необходимо выбрать значимые факторы.

Факторы, включаемые в математическую модель, должны отвечать следующим требованиям:

- факторы должны быть количественно измеримы;
- факторы не должны быть взаимно коррелированы (мультиколлинеарные);

– факторы должны иметь заметную связь с результирующей переменной. Результат расчетов минимального размера выборки, достаточного для того, чтобы можно было отклонить нулевую гипотезу о равенстве коэффициентов корреляции нулю. Рассматриваются коэффициенты корреляции от 0,10 до 0,90 с шагом 0,05 для различных альтернативных гипотез на наиболее часто встречающихся уровнях статистической мощности 0,8 и 0,9 при уровне доверительной вероятности 95 % (альфа-ошибки 5 %). Результат показывает, что при значении коэффициента корреляции  $r = 0,35$  соответственно минимальный размер выборки  $n = 62$ . Следовательно, для разработки многофакторных математических моделей с количеством выборки (количество АТЕ)  $n = 63$  необходимо выбрать факторы ( $x_j, j = 1, 2, \dots, 20$ ), которые имеют коэффициент корреляции с пожарным риском ( $y_i, i = 1, 2, 3$ ) и удовлетворяют условию  $r_{y_i x_j} \geq 0,35$ .

Применим указанные требования для отбора значимых влияющих факторов и построим модель множественной регрессии с использованием формул (5)–(8). Полученные модели пожарных рисков от значимых влияющих факторов:

Модель пожарного риска гибели людей при пожаре  $\hat{y}_1 (R_T)$ :

$$\hat{y}_1 = 0,0917 + 0,006x_4 - 0,0011x_7 - 0,0054x_9 - 0,0001x_{10}, \quad (9)$$

где  $x_4$  – количество нарушений правил пожарной безопасности (ППБ) в деятельности эксплуатации;  $x_7$  – количество учений по плану пожаротушения;  $x_9$  – количество учебных занятий по навыкам пожарной безопасности (ПБ);  $x_{10}$  – количество устных пропагандистских сессий по ПБ.

Модель пожарного риска травматизма людей при пожаре  $\hat{y}_2 (R_T)$ :

$$\hat{y}_2 = 0,4138 + 0,0001x_4 - 0,0011x_9 - 0,0029x_{10} - 0,0004x_{12} + 0,4275x_{20}, \quad (10)$$

где  $x_{12}$  – количество пожарных автомобилей;  $x_{20}$  – среднее время сообщения о пожаре.

Модель пожарного риска материального ущерба от пожаров  $\hat{y}_3 (R_Y)$ :

$$\hat{y}_3 = -4,5934 + 0,0034x_3 - 0,0084x_{12} + 1,2673x_{17} + 1,1091x_{19}, \quad (11)$$

где  $x_3$  – количество нарушений ППБ в строительстве;  $x_{17}$  – среднее время прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова;  $x_{19}$  – среднее время тушения пожаров.

Основные параметры оценки адекватности и значимости математических моделей представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные параметры для оценки адекватности и значимости моделей

Параметры	Модели		
	$\hat{y}_1$	$\hat{y}_2$	$\hat{y}_3$
Коэффициент корреляции ( $R$ )	0,976	0,963	0,953
Коэффициент детерминации ( $R^2$ )	0,952	0,928	0,908
Нормированный коэффициент детерминации ( $R_{adj}^2$ )	0,949	0,922	0,902
Стандартная ошибка ( $S_e$ )	0,108	0,183	1,574
Значимость $F$ -статистики Фишера ( $p$ -value)	$1,51 \cdot 10^{-37}$	$3,04 \cdot 10^{-31}$	$2,19 \cdot 10^{-29}$
Ошибка абсолютной аппроксимации ( $A$ )	11,24 %	9,22 %	11,62 %

Множественные коэффициенты корреляции  $R_1 = 0,976$ ,  $R_2 = 0,963$ ,  $R_3 = 0,953$  указывают на прямую корреляционную зависимость и отражают значимые факторы, оказывающие влияние на пожарные риски. Для проверки адекватности модели необходимо обратить внимание на нормированный коэффициент детерминации. Этот параметр составляет:  $R_{adj1}^2 = 0,949$ ,  $R_{adj2}^2 = 0,922$ ,  $R_{adj3}^2 = 0,902$ . Соответственно 94,9 %, 92,2 % и 90,2 % изменений пожарных рисков ( $R_r$ ,  $R_t$ ,  $R_y$ ) объясняется изменением влияющих факторов, что является высоким результатом. Чтобы оценить уровень значимости модели, используем коэффициент значимости  $P$ -значения ( $p$ -value) для  $F$ -статистики. Для всех моделей эти коэффициенты равны примерно 0 (менее 0,05), поэтому можно утверждать, что модели статистически значимы. Для оценки качества модели используем параметр ошибки абсолютной аппроксимации ( $A$ ). Видно, что значение  $A$  для всех моделей не превышает 10–12 %, следовательно, модели множественной регрессии считаются удовлетворительными.

Данный результат позволяет сделать заключение о достаточно высоком качестве и степени достоверности построенных регрессионных моделей. Все три полученные модели являются статистически значимыми и их можно использовать для прогнозирования.

Доверительный интервал для индивидуальных значений  $y_{\Pi}$  множественной линейной регрессии вычисляем по формулам:

$$y_{\text{ниж.}} = y_0 - t_{\text{кр}} \cdot S_{y_0} \leq y_{\Pi} \leq y_0 + t_{\text{кр}} \cdot S_{y_0} = y_{\text{верх.}} \quad (12)$$

В том числе:

$$S_{y_0} = S_e \sqrt{1 + X_0^T (X^T X)^{-1} X_0}, \quad (13)$$

где  $y_0 = \hat{y}(X_{\Pi})$  – прогнозируемое значение объясняемой переменной;  $S_e$  – стандартная ошибка;  $t_{\text{кр}}$  – теоретическое значение по таблице квантили  $t$ -распределения Стьюдента для уровня значимости  $\alpha = 0,05$ , в зависимости от числа степеней свободы  $k = n - p - 1$  ( $p$  – количество факторов в модели).

Тогда прогнозируемое значение для индивидуальных значений ( $y_{\Pi}$ ) модели множественной регрессии можно записать следующим образом:

$$y_{\Pi} = y_0 \pm \delta, \quad (14)$$

в том числе доверительного значения прогноза:  $\delta = (y_{\text{верх.}} - y_{\text{ниж.}}) / 2$ .

Нахождение прогнозного среднего значения пожарных рисков  $y_{\text{пi}}$  для набора прогнозных значений объясняющих переменных ( $\bar{x}_j$  – среднее значение  $x_j$  в 63 АТЕ):  $X_{\text{п1}} = \{\bar{x}_4, \bar{x}_7, \bar{x}_9, \bar{x}_{10}\}$ ;  $X_{\text{п2}} = \{\bar{x}_4, \bar{x}_9, \bar{x}_{10}, \bar{x}_{12}, \bar{x}_{20}\}$ ;  $X_{\text{п3}} = \{\bar{x}_3, \bar{x}_{12}, \bar{x}_{17}, \bar{x}_{19}\}$ .

Результат определения доверительного интервала индивидуальных значений для всех моделей по формулам (12)–(14):  $y_{\text{п1}} = y_{01} \pm \delta_1 = 0,826 \pm 0,218$ ;  $y_{\text{п2}} = y_{02} \pm \delta_2 = 1,284 \pm 0,369$ ;  $y_{\text{п3}} = y_{03} \pm \delta_3 = 8,654 \pm 3,176$ .

Применим модели для разработки решений (вариантов) минимизирую их пожарные риски ( $\hat{y}_i \rightarrow \min$ ). Для этого необходимо предоставить варианты процентного изменения факторов (независимые переменные) в моделях. При этом доверительные интервалы прогноза должны соответствовать следующим условиям:

- для определения оптимального прогнозного значения и оценки доверительных границ необходимо рассмотреть прогнозы (заданные изменения значения независимых переменных  $x_j$  в процентах) для каждого фактора. С целью минимизации значения пожарного риска ( $\hat{y}_i$ ), в модели для  $x_j$  с положительными коэффициентами  $\beta_i$  (положительное влияние на величину  $\hat{y}_i$ ) нужно уменьшить  $x_j$ . И, наоборот, для  $x_j$  с отрицательными коэффициентами  $\beta_i$  (отрицательное влияние на величину  $\hat{y}_i$ ) нужно увеличить  $x_j$ ;

- поскольку переменные  $x_j$  коррелируют друг с другом, поэтому в модели множественной регрессии при изменении величины одного независимого переменного нужно изменять другие переменные пропорционально коэффициенту корреляции между зависимыми и независимыми переменными;

- сниженное значение прогнозируемого пожарного риска ( $\Delta y_{\text{пi}} = y_{\text{пi}} - y_{0i}$ ) должно находиться в пределах доверительного интервала модели, то есть  $\Delta y_{\text{пi}} \leq \delta_i$ .

Таким образом, по вышеуказанным условиям получено оптимальное управленческое решение по снижению пожарных рисков, позволяющих снизить уровень пожарной опасности в АТЕ Вьетнама, что представлено в таблице 5.

Таблица 5 – Показатели оптимального решения для снижения пожарных рисков в АТЕ Вьетнама

Моде- ли	Началь- ное прогноз- ное значение	Процентное изменение переменных					Прогноз- ное значение после измене- ния	Значе- ние умень- шения	Процент- ное снижение пожар- ного риска
		$x_9$	$x_{10}$	$x_7$	$x_4$				
$\hat{y}_1$ ( $R_T$ )	$y_{01}$	$x_9$	$x_{10}$	$x_7$	$x_4$	$y_{\text{п1}}$	$\Delta y_{\text{п1}}$	% $R_T \downarrow$	
	0,826	+6 %	+6,32 %	+8,08 %	-9,87 %	0,621	0,205	24,82 %	
$\hat{y}_2$ ( $R_T$ )	$y_{02}$	$x_{12}$	$x_9$	$x_{10}$	$x_4$	$x_{20}$	$y_{\text{п2}}$	$\Delta y_{\text{п2}}$	% $R_T \downarrow$
	1,284	+11%	+6 %	+6,32 %	-9,87 %	-17,70 %	0,958	0,326	25,39 %
$\hat{y}_3$ ( $R_Y$ )	$y_{03}$	$x_{12}$	$x_3$	$x_{19}$	$x_{17}$	$y_{\text{п3}}$	$\Delta y_{\text{п3}}$	% $R_Y \downarrow$	
	8,654	+11%	-13,68 %	-14,94 %	-22,83 %	5,711	2,943	34,01 %	

Полученное оптимальное решение минимизации пожарных рисков составляет: увеличение  $x_7$  на 8,08%,  $x_9$  на 6,00%,  $x_{10}$  на 6,32%,  $x_{12}$  на 11,00%, и снижение  $x_3$  на 13,68%,  $x_4$  на 9,87%,  $x_{17}$  на 22,83%,  $x_{19}$  на 14,94%,  $x_{20}$  на 17,70%. Сокращение значения пожарного риска гибели людей при пожаре ( $R_{\Gamma}$ ) составляет 24,82%, пожарного риска травматизма людей в результате пожара ( $R_{\tau}$ ) – 25,39% и пожарного риска материального ущерба от пожара ( $R_y$ ) – 34,01%.

Находится оптимальное решение минимизации пожарных рисков в АТЕ с особо высоким уровнем пожарной опасности – Биньзыонг ( $R_{c3} = 0,958$ ) и проводится перерасчет ИСЭППР с учетом этого оптимального решения. Факторы, влияющие на пожарные риски в провинции Биньзыонг до и после применения решения, представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели переменных (факторов) в провинции Биньзыонг до и после применения решения

Факторы	$x_3$	$x_4$	$x_7$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{12}$	$x_{17}$	$x_{19}$	$x_{20}$
До	827	930,3	70	647	118,5	166,3	13,4	2,9	7,2
После	713,9	838,5	75,7	685,8	126,0	184,6	10,3	2,5	5,9

Перерасчет ИСЭППР в провинции Биньзыонг после применения решения проводим по схеме, представленной на рисунке 2.

Пожарный риск гибели людей в провинции Биньзыонг ( $R_{\Gamma(B3)}$ ) после применения решения определяется по модели  $\hat{y}_1$ :

$$R_{\Gamma(B3)} = 0,0917 + 0,006 \cdot 838,5 - 0,0011 \cdot 75,7 - 0,0054 \cdot 685,8 - 0,0001 \cdot 126 = 1,323(\text{жертв} \cdot 10^{-6} \cdot \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}).$$

Пожарный риск травматизма людей в провинции Биньзыонг ( $R_{\tau(B3)}$ ) после применения решения определяется по модели  $\hat{y}_2$ :

$$R_{\tau(B3)} = 0,4138 + 0,0001 \cdot 838,5 - 0,0011 \cdot 685,8 - 0,0029 \cdot 126,0 - 0,0004 \cdot 184,6 + 0,4275 \cdot 5,9 = 1,826(\text{травм} \cdot 10^{-6} \cdot \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}).$$

Пожарный риск материального ущерба в провинции Биньзыонг ( $R_{y(B3)}$ ) после применения решения определяется по модели  $\hat{y}_3$ :

$$R_{y(B3)} = -4,5934 + 0,0034 \cdot 713,9 - 0,0084 \cdot 184,6 + 1,2673 \cdot 10,3 + 1,1091 \cdot 2,5 = 12,109(\text{тыс донг} \cdot \text{чел}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}).$$

Стандартизация пожарных рисков определяется как:

$$R_{\Gamma(B3)}^* = \frac{R_{\Gamma(B3)} - R_{\Gamma \min}}{R_{\Gamma \max} - R_{\Gamma \min}} = \frac{1,323 - 0,141}{1,789 - 0,141} = 0,717; \quad R_{\tau(B3)}^* = \frac{R_{\tau(B3)} - R_{\tau \min}}{R_{\tau \max} - R_{\tau \min}} = \frac{1,826 - 0,407}{2,536 - 0,407} = 0,667;$$

$$R_{y(B3)}^* = \frac{R_{y(B3)} - R_{y \min}}{R_{y \max} - R_{y \min}} = \frac{12,109 - 1,079}{19,844 - 1,079} = 0,588.$$

Определение ИСЭППР в провинции Биньзыонг ( $R_{c3(B3)}$ ) по формуле:

$$R_{c3(B3)} = R_{\Gamma(B3)}^* k_1 + R_{\tau(B3)}^* k_2 + R_{y(B3)}^* k_3 = 0,717 \cdot 0,5 + 0,667 \cdot 0,33 + 0,588 \cdot 0,17 = 0,678.$$

Повторный расчет ИСЭППР в АТЕ Вьетнама с учетом обновленных данных показал, что значение  $R_{сз}$  в провинции Биньзюнг снизилось с 0,958 до 0,678. Значит, уровень пожарной опасности в провинции Биньзюнг снизился на 29,2%. Кроме того, значения индивидуального пожарного риска ( $R_f$ ) снизились с  $1,95 \cdot 10^{-6}$  жертв·чел<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup> до  $1,32 \cdot 10^{-6}$  жертв·чел<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>, что ниже, чем обоснованное нормативное значение  $1,34 \cdot 10^{-6}$  жертв·чел<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>.

Процедуру поддержки принятия управленческого решения по снижению уровня пожарной опасности в АТЕ можно представить в виде алгоритма (рисунок 7).

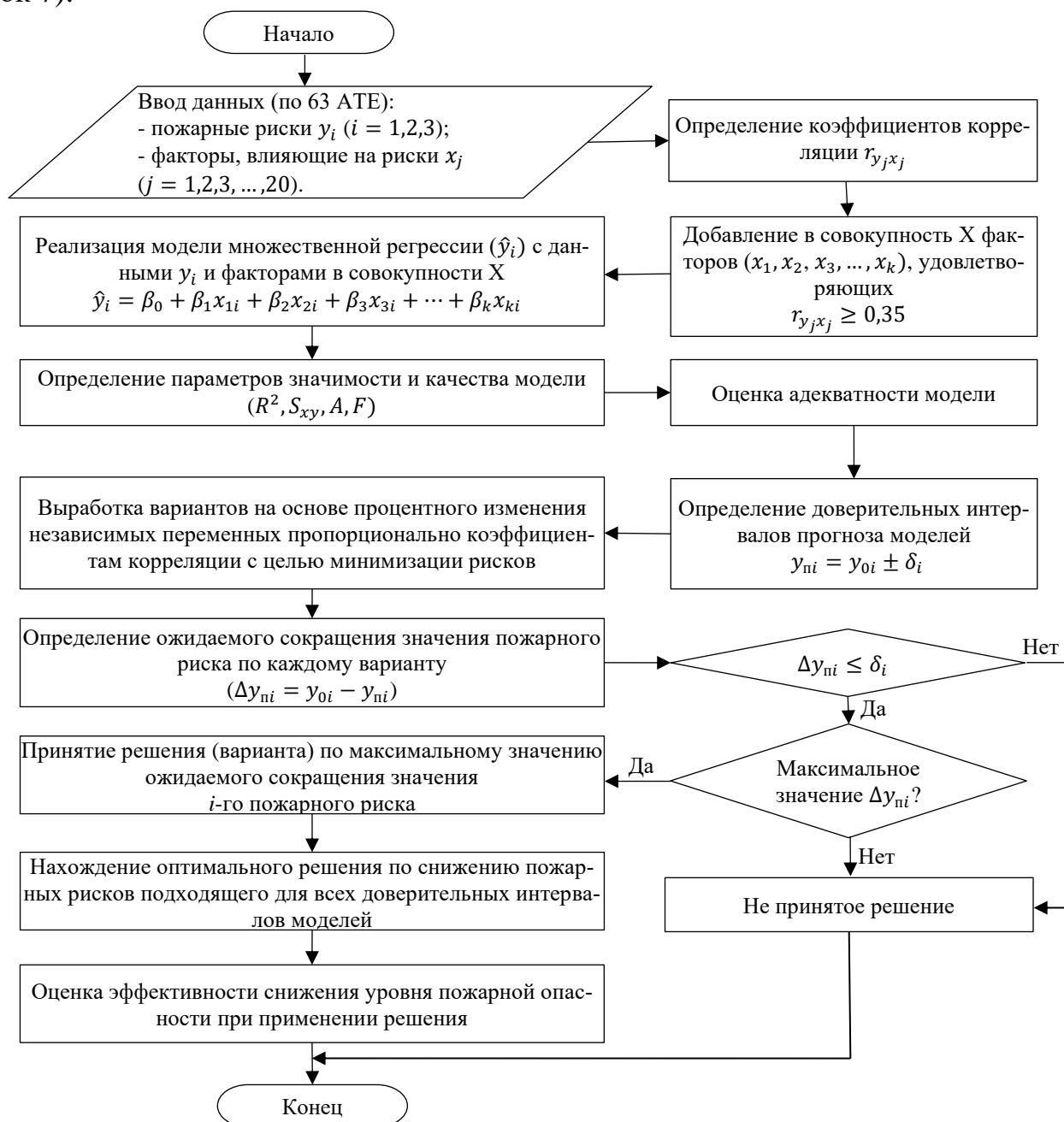


Рисунок 7 – Алгоритм поддержки принятия управленческих решений по снижению уровня пожарной опасности в АТЕ

С целью поддержки принятия управленческих решений по оценке и снижению уровней пожарной опасности АТЕ Вьетнама была разработана программа для ЭВМ. Программа позволяет реализовать процедуру принятия реше-

ний по оценке уровней пожарной опасности и управлению влияющими факторами для снижения уровней пожарной опасности в АТЕ. Программа построена на архитектуре модели MVC (Model – View – Controller) (Модель – Просмотр – Контроллер).

На рисунке 8 представлена функциональная структура программы для ЭВМ.

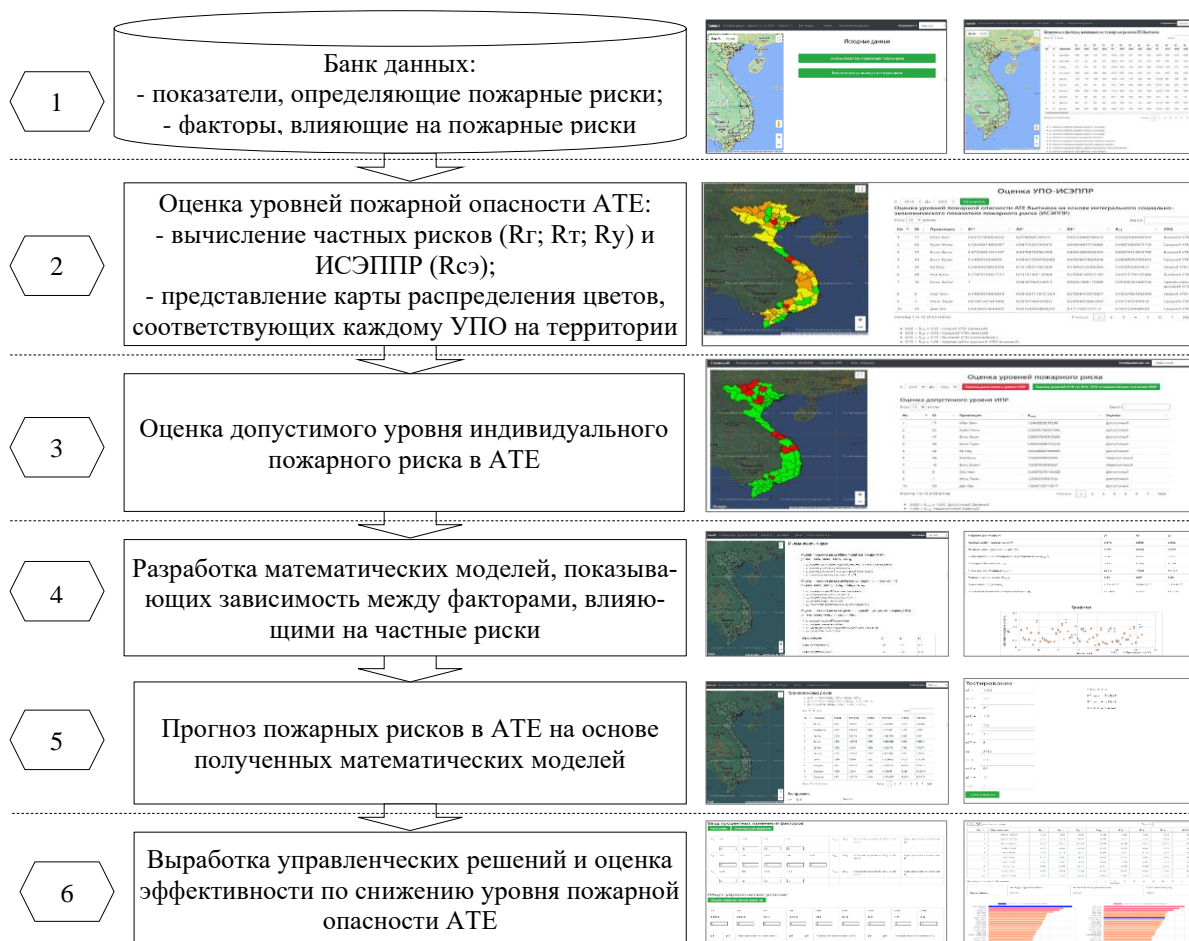


Рисунок 8 – Функциональная структура программы для ЭВМ

**В заключении** сформулированы основные результаты работы.

**В приложении** приведены акты о внедрении результатов исследования.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ РАБОТЫ

На основании выполненных исследований получены следующие научные и практические результаты:

1. В диссертационном исследовании проведен анализ статистики о последствиях пожаров во Вьетнаме за 10 лет (2013–2022 гг.). Анализ показал, что состояние пожарной обстановки неудовлетворительное. Число погибших людей на 100 пожаров во Вьетнаме вдвое выше, чем среднее число погибших среди 33 стран мира. Разработаны аппроксимирующие функции основных показателей последствий пожаров на основе метода наименьших квадратов. Получена тенденция изменения основных показателей, таких как: количество пожаров, число погибших, травмированных на пожарах и материальный ущерб от пожа-

ров во Вьетнаме, как в целом по стране, так и в городах и сельской местности. Проведен анализ основных показателей пожарной опасности в АТЕ. Распределение этих показателей по АТЕ Вьетнама весьма неоднородно. Пожары во Вьетнаме в основном происходят в крупных городах.

2. Проведен анализ основных интегральных пожарных рисков в АТЕ Вьетнама, который показал, что распределение пожарных рисков по АТЕ (провинциям) Вьетнама неоднородно. Высокие значения риска гибели людей при пожаре ( $R_T$ ) наблюдаются в АТЕ Биньзыонг, Ханой, Хазянг и Виньфук, которые составляют от 1,9 до 1,7 *жертв·чел.<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>·10<sup>-6</sup>*. Самый высокий риск травматизма людей при пожаре ( $R_T$ ) наблюдается в АТЕ Лангсон, Куангнинь, Ханой и Хошимин, который составляет 2,5 *травм·чел.<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>·10<sup>-6</sup>*. Наиболее высокие значения риска материального ущерба ( $R_Y$ ) наблюдаются в АТЕ Биньтхуан, Куангчи, Хайфонг и Тьензянг, которые составляют от 18,4 до 19,8 *тыс. донг·чел.<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>*. На основе полученных значений основных интегральных рисков определены показатели ИСЭППР ( $R_{сэ}$ ) и произведено ранжирование территориальных единиц Вьетнама по уровням пожарной опасности. На особо высоком уровне пожарной опасности находятся АТЕ Биньзыонг ( $R_{сэ} = 0,958$ ), Ханой ( $R_{сэ} = 0,858$ ), Куангчи ( $R_{сэ} = 0,812$ ). К высоким уровням пожарной опасности относятся 16 АТЕ. Ранжирование АТЕ по ИСЭППР позволяет осуществлять первоочередные организационно-технические мероприятия по снижению пожарных рисков в АТЕ с особо высоким и высоким уровнями пожарной опасности.

3. Определены показатели верхнего ( $R_{впу} = 3,8 \cdot 10^{-6}$  *жертв·чел.<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>*) и нижнего ( $R_{нпу} = 3,8 \cdot 10^{-8}$  *жертв·чел.<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>*) предельных уровней ИПР для Вьетнама. Обоснована величина нормативного индивидуального пожарного риска для Вьетнама, которая составляет  $R_n = 1,34 \cdot 10^{-6}$  *жертв·чел.<sup>-1</sup>·год<sup>-1</sup>*. Это означает, что число погибших от пожаров во Вьетнаме не должно быть выше 1,34 жертв на 1 млн человек в год. Результат оценки уровней ИПР показал, что 12 из 63 АТЕ Вьетнама (19 %) имеют значения ИПР выше допустимого уровня. На основе обоснования нормативной величины ИПР и результата оценки УПО разработана модель поддержки принятия управленческого решения по оценке УПО в АТЕ Вьетнама. Предложенная модель является основой для построения алгоритма поддержки принятия управленческих решений по снижению УПО для АТЕ Вьетнама.

4. Разработан алгоритм поддержки принятия управленческих решений по снижению уровней пожарной опасности АТЕ Вьетнама. Полученный алгоритм применен для разработки оптимального решения с целью минимизации пожарных рисков и снижения уровня пожарной опасности АТЕ. При этом необходимо:

а) увеличение количества учений по плану пожаротушения ( $x_7$ ) на 8,08 %, количества учебных занятий по навыкам ПБ ( $x_9$ ) на 6,00 %, увеличение количества устных пропагандистских сессий по ПБ ( $x_{10}$ ) на 6,32 %, увеличение количества пожарных автомобилей ( $x_{12}$ ) на 11,00 %;

б) снижение количества нарушений ППБ в строительстве ( $x_3$ ) на 13,68 %, снижение количества нарушений ППБ в деятельности эксплуатации ( $x_4$ ) на 9,87 %, снижение среднего времени прибытия подразделений пожарной охраны

к месту вызова ( $x_{17}$ ) на 22,83 %, снижение среднего времени тушения пожаров ( $x_{19}$ ) на 14,94%, снижение среднего времени сообщения о пожаре ( $x_{20}$ ) на 17,70 %.

При этом сокращение значений пожарного риска гибели людей при пожаре ( $R_r$ ) составляет 24,82 %, сокращение пожарного риска травматизма людей в результате пожара ( $R_T$ ) составляет 25,39 % и сокращение пожарного риска материального ущерба от пожара ( $R_y$ ) составляет 34,01 %.

5. Определена эффективность применения управленческого решения в провинции Биньзыонг. Полученный результат показывает, что значение ИСЭППР ( $R_{cs}$ ) в провинции Биньзыонг снизилось с 0,958 до 0,678. Значит, уровень пожарной опасности в провинции Биньзыонг снизился на 29,2 %. Кроме того, значения индивидуального пожарного риска ( $R_r$ ) снизилось с  $1,95 \cdot 10^6$  *жертв.чел<sup>-1</sup>.год<sup>-1</sup>* до  $1,32 \cdot 10^{-6}$  *жертв.чел<sup>-1</sup>.год<sup>-1</sup>*, что ниже, чем обоснованное нормативное значение  $1,34 \cdot 10^{-6}$  *жертв.чел<sup>-1</sup>.год<sup>-1</sup>*.

6. Разработана программа для ЭВМ поддержки принятия управленческих решений по оценке уровней пожарной опасности в АТЕ. Программа позволяет реализовать процедуру принятия решений по оценке уровней пожарной опасности и управлению влияющими факторами для снижения уровней пожарной опасности в АТЕ и сократить временные затраты на обработку и структурирование данных, а также визуализацию и интерпретацию процесса.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:**

### **Публикации в научных изданиях, рекомендованных ВАК России**

1. Чыонг, В.Х. Анализ показателей пожарной опасности во Вьетнаме за период с 2010 по 2021 год [Текст] / Н.Л. Присяжнюк, В.Х. Чыонг // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2022. – № 4. – С. 1–12.

2. Чыонг, В.Х. Оценка пожарной опасности административно-территориальных единиц Вьетнама [Текст] / В.Х. Чыонг, Н.Л. Присяжнюк // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2022. – № 3. – С. 90–98. – DOI:10.25257/FE.2022.3.90–98.

3. Чыонг, В.Х. Алгоритм определения предельных показателей индивидуального пожарного риска для Вьетнама [Текст] / Брушлинский Н. Н., Соколов С. В., Присяжнюк Н. Л., Чыонг Ван Хынг // Технологии техносферной безопасности. – 2022. – Вып. 4 (98). – С. 52–67. DOI:10.25257/TTS.2022.4.98.52-67.

4. Чыонг, В.Х. Нормативное значение индивидуального пожарного риска как основа модели и алгоритма поддержки управленческих решений по обеспечению пожарной безопасности Вьетнама [Текст] / Н. Н. Брушлинский, С. В. Соколов, Н. Л. Присяжнюк, В. Х. Чыонг // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2023. – № 2. – С. 81–93. – DOI:10.25257/FE.2023.2.81-93.

5. Чыонг, В.Х. Математические модели поддержки управленческих решений по снижению уровня пожарной опасности в административно-территориальных единицах Вьетнама [Текст] / В. Х. Чыонг // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2024. № 2. С. 107–118. DOI:10.25257/FE.2024.2.107-118.

### **Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ**

6. Чыонг, В. Х. Поддержка принятия управленческих решений по оценке уровней пожарной опасности в административно-территориальных единицах: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024690585, 16.12.2024 г. / Н. Л. Присяжнюк, В. Х. Чыонг.

### **Публикации в других изданиях**

7. Чыонг, В. Х. Оценка пожароопасности в социалистической Республике Вьетнам [Текст] / Н. Л. Присяжнюк, В. Х. Чыонг // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений: материалы шестого научного семинара. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 378–381.

8. Чыонг, В. Х. Динамика индивидуального пожарного риска в Социалистической Республике Вьетнам [Текст] / В. Х. Чыонг // Гражданская оборона на страже мира и безопасности: материалы VI международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 4 ч. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 115–119.

9. Чыонг, В. Х. Анализ состояния пожарной обстановки и рекомендации по снижению пожарных рисков в социалистической республике Вьетнам [Текст] / В. Х. Чыонг, Н. Л. Присяжнюк // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – 2022. – № 11. – С. 35–40.

10. Чыонг, В. Х. Алгоритм определения уровней пожарной опасности провинций Вьетнама [Текст] / В. Х. Чыонг, Н. Л. Присяжнюк // Системы безопасности: материалы 31-й международной научно-технической конференции. – 2022. – № 31. – С. 28–32.

11. Чыонг, В. Х. Анализ системы управления пожарной безопасностью во Вьетнаме [Текст] / В. Х. Чыонг, В. В. Ле // Системы безопасности: материалы 31-й международной научно-технической конференции. – 2022. – № 31. – С. 33–38.

12. Чыонг, В. Х. Комплексная оценка пожарных рисков во Вьетнаме [Текст] / В. Х. Чыонг, Н. Л. Присяжнюк, В. З. Кйеу // Пожарная и аварийная безопасность : материалы XVII Международной научно-практической конференции. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2022. – С. 255–260.

13. Чыонг, В. Х. Оценка интегральных пожарных рисков во Вьетнаме за период 2010–2021 гг. [Текст] / В. Х. Чыонг, Н. Л. Присяжнюк // Актуальные проблемы пожарной безопасности, предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций: материалы XIII международной научно-практической

конференции. – Кокшетау: Академия гражданской защиты им. Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан, 2022. С. 38–42.

14. Чыонг, В.Х. Пожарная обстановка во Вьетнаме за последние годы и некоторые решения по повышению эффективности работы пожарной охраны [Текст] / В.Х. Чыонг // Риск-ориентированные подходы к устойчивому развитию: материалы I международной научно-практической конференции. – Улан-Батор: Университет внутренних дел Монголии, 2023 – С. 134–136.

15. Чыонг, В. Х. Обоснование предельных значений индивидуального пожарного риска для Вьетнама [Текст] / В. Х. Чыонг, Н. Л. Присяжнюк, В. Х. Ле // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – 2023. – № 12. – С. 164–169.

16. Чыонг, В. Х. Алгоритм обоснования нормативной величины индивидуального пожарного риска для Вьетнама [Текст] / Н. Л. Присяжнюк, В. Х. Чыонг // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений: Сборник материалов 7-го научного семинара. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2023. – С. 532–538.

17. Чыонг, В. Х. Поддержка управления пожарной безопасностью Вьетнама на основании нормативной величины индивидуального пожарного риска [Текст] / В. Х. Чыонг // Системы безопасности: материалы международной научно-технической конференции. – 2023. – № 32. – С. 119–126.

18. Чыонг, В. Х. Анализ факторов, влияющих на уровни пожарной опасности в административно-территориальных единицах Вьетнама [Текст] / В. Х. Чыонг, Н. Л. Присяжнюк // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений: сборник материалов 8-го научного семинара. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2024. – С. 286–290.

19. Чыонг, В. Х. Актуальные проблемы противопожарной службы в период индустриализации и модернизации Вьетнама [Текст] / В.Х. Чыонг // Пожарная безопасность в условиях современности: материалы XII международного научного семинара-конференции. – Кокшетау 2024. С. 17–19.

Подписано в печать 19.03.2025. Формат 60×90 1/16  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 98  
Академия ГПС МЧС России.  
129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4