

На правах рукописи



Нгуен Вьонг Ань

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ
ПРОФИЛАКТИЧЕСКИМИ МЕРОПРИЯТИЯМИ
НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОЖАРНЫХ РИСКОВ**

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: **Авдеенко Алексей Михайлович**
доктор физико-математических наук

Официальные оппоненты: **Колесников Евгений Юрьевич**
доктор технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Высшая школа техносферной безопасности, доцент

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

Ведущая организация: ФГБВОУ ВО «Академия гражданской защиты МЧС России имени генерал-лейтенанта Д.И. Михайлика»

Защита диссертации состоится «18» февраля 2026 г. в 12:00 на заседании диссертационного совета 04.2.002.01 в Академии Государственной противопожарной службы МЧС России по адресу: 129366, Москва, ул. Бориса Галушкина, д. 4, зал Диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Академии ГПС МЧС России и на сайте:
<https://academygps.ru/upload/iblock/caa/dpaknldmiihcu2i5uaw5fnthyk3a0wdq/Диссертация%20Нгуен%20Вьонг%20Ань.pdf>

Автореферат разослан «18» декабря 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



Р.Ш. Хабибулин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Как свидетельствует мировой опыт, быстрые темпы урбанизации приводят к росту количества пожаров и увеличению ущерба, причиняемого людям и имуществу. Для снижения рисков и последствий пожаров подразделения пожарной охраны и спасательные службы должны принимать активные и эффективные меры по предотвращению и ликвидации возгораний. Эффективность их деятельности зависит от множества факторов, включая профилактические меры по предотвращению пожаров и взрывов, уровень организации системы пожарной безопасности, а также качество управленческих решений. В связи с этим повышение эффективности моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений для лиц, принимающих решения, является актуальной задачей.

Для успешного и устойчивого развития сложных технических и социальных систем необходимо прогнозирование пожарных рисков в условиях большого количества различных факторов с учетом их взаимодействия (нелинейность и многомерность), случайных возмущений и невозможности однозначной количественной оценки степени их влияния. Решение этой задачи имеет большой социальный и экономический эффект, позволяет уменьшить риски пожаров и при необходимости обеспечить необходимую концентрацию сил и средств для их ликвидации.

Актуальность диссертационного исследования связана с необходимостью и возможностью использования больших баз данных по пожарам, рискам и профилактике на региональном и муниципальном уровне с применением современных статистических и нейросетевых методов для поддержки принятия управленческих решений при планировании системы мероприятий для снижения пожарных рисков.

Степень разработанности проблемы. Исследования автора опирались на теоретические и практические результаты отечественных и зарубежных ученых: в области разработки систем поддержки принятия решений и исследовании пожарных рисков – Н.Г. Топольского, С.Ю. Бутузова, Р.Ш. Хабибулина, В.С. Ватагина, И.В. Сосунова, Н.П. Третьякова, И.М. Тетерина, В.И. Терехова, Ю.А. Андреева, В.Л. Семикова, В.А. Минаева, Н.Н. Брушлинского, С.В. Соколова, Е.А. Клепко, А.А. Григорьева, Н.Л. Присяжнюка, В.А. Малько, О.В. Ивановой, Ф.А. Дали, А.О. Семенова, А.В. Кузнецова, Jing Xin, Chongfu Huanga, Чу Куок Минь, А.Т. Дао, В.Х. Чыонга и др.; в частности, с применением модели нейронной сети для прогноза – А.П. Сатина, А.М. Авдеенко, С.В. Аксенова, Ф.М. Гафарова, Д.Е. Романова, А.А. Порошина, А.А. Балобанова, I.H. Sarker, N. Dalal, V. Triggs и др.

В данных исследованиях анализируются проблемы пожарной опасности и оценивания рисков, связанных с возникновением пожаров. Вместе с тем влияние множества факторов, в частности типа муниципального образования, числа профилактических мероприятий, численности населения, на уровень пожарной опасности и возможности их эффективного управления остается недостаточно изученным. В связи с этим в диссертационном исследовании ставится задача

разработки моделей и алгоритмов для оценки и прогнозирования эффективности профилактических мер с целью снижения пожарных рисков.

Объект исследования - система управления комплексом профилактических мероприятий для снижения пожарных рисков в административно-территориальных единицах.

Предмет исследования - модели и алгоритмы оценки эффективности профилактических мероприятий и прогнозирования пожарных рисков в административно-территориальных единицах.

Цель исследования - повышение эффективности управления профилактическими мероприятиями на основе прогнозирования пожарных рисков в административно-территориальных единицах.

Для достижения цели исследования поставлены следующие научные задачи:

1. Статистический анализ пожаров и поиск причинно-следственных связей между типом населенного пункта, населением, профилактическими мероприятиями и пожарными рисками;

2. Разработка нейросетевой модели оценки эффективности профилактических мероприятий и прогноза пожарных рисков в административно-территориальных единицах;

3. Создание программно-аналитического комплекса оценки эффективности профилактики и прогноза пожарных рисков для различных регионов и типов муниципальных образований (МО);

4. Разработка алгоритма управления комплексом профилактических мероприятий, учитывающих региональную специфику, категории административно-территориальных единиц.

Научная новизна работы заключается в следующем:

– определены факторы, влияющие на эффективность профилактических мероприятий: численность населения и типы муниципального образования;

– создана нейросетевая модель для прогнозирования пожарных рисков с учетом численности населения и типа МО, отличающаяся возможностью учета как количественных, так и качественных факторов в процессе оценки эффективности профилактических мероприятий;

– разработан алгоритм управления комплексом профилактических мероприятий с учетом прогноза пожарного риска и результата оценки эффективности профилактических мероприятий.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии теоретических основ управления профилактическими мероприятиями и пожарными рисками на примере Российской Федерации и Вьетнама, внедрении нейросетевых моделей для оценки факторов, влияющих на пожарную опасность, а также в разработке моделей и алгоритмов, позволяющих управлять эффективностью профилактических мероприятий и прогнозировать пожарные риски.

Практическая значимость работы заключается в управлении комплексом профилактических мероприятий для поддержки принятия решений по снижению пожарного риска в практической деятельности противопожарной

службы. Разработанные модели и алгоритмы позволят сократить время принятия управленческих решений, являющихся критически важными для управления пожарной безопасностью. Полученные в диссертационной работе результаты применяются при оценке, контроле и принятии решений по управлению профилактическими мероприятиями во Вьетнаме для снижения пожарного риска в Главном управлении пожарной охраны и аварийно-спасательной службы Министерства общественной безопасности Вьетнама.

Методология и методы исследования. В ходе исследования использовались методы абстрагирования и обобщения, аналогии и сравнительный анализ, статистические методы, кластерный и интервальный анализ, модели и методы искусственного интеллекта, графические методы, приемы анализа и синтеза.

На защиту выносятся:

- алгоритм оценки пожарных рисков и эффективности профилактических мероприятий;
- нейросетевая модель для прогнозирования пожарных рисков и оценки эффективности профилактических мероприятий;
- алгоритм расчета оптимальной профилактики для муниципального образования различного типа в зависимости от численности населения.

Степень достоверности и апробация результатов исследований. Основных результатов, выводов диссертации обусловлена: применением современных методов и средств исследования, большими базами данных, корректными математическими и статистическими моделями, разработанным высокоэффективным программным обеспечением, анализом последних достижений в области искусственного интеллекта, обсуждением результатов исследования на различных семинарах и рассмотрением большого объема научной литературы в данной предметной области.

Основные результаты диссертации доложены и обсуждены на XV-ой Всероссийской научной конференции «Зворыкинские чтения» (г. Муром, 2022 г.); X-ой научно-практической конференции «Ройтмановские чтения» (г. Москва, 2022 г.); Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов «Проблемы техносферной безопасности» (г. Москва, 2023 г.); Международных научно-технических конференциях «Системы безопасности» (г. Москва, 2022–2024 гг.); XVII-ой Международной научно-практической конференции, посвященной 90-й годовщине образования гражданской обороны «Пожарная и аварийная безопасность» (г. Иваново, 2022 г.); XV-ой Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Железногорск, 2023 г.); IX-ой международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» (г. Москва, 2024 г.).

Внедрение результатов работы. Результат диссертационной работы используются:

- в Главном управлении пожарной охраны и аварийно-спасательной службы Министерства общественной безопасности Вьетнама для решения задач эффективности профилактических мероприятий;

– в учебном процессе Института пожарной безопасности Министерства общественной безопасности Вьетнама при изучении дисциплин «Организация работы по предотвращению и тушению пожаров» и «Основные вопросы пожарной безопасности»;

– в учебном процессе Академии Государственной противопожарной службы МЧС России при изучении дисциплины «Интеллектуальные информационные системы и технологии», преподаваемой на кафедре информационных технологий учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий.

Публикации. Основные научные результаты отражены в 17 публикациях, в том числе 4 – в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России, 13 работ опубликованы в сборниках научных трудов и материалах международных и всероссийских научных конференций, включая 1 свидетельство Роспатента о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Личный вклад автора. Результаты диссертационного исследования получены автором лично и при его непосредственном участии. Личное участие соискателя связано с анализом и оценкой пожарного риска в России и Вьетнаме, разработкой нейросетевых моделей и алгоритмов оценки и прогнозирования эффективности профилактических мероприятий и снижения пожарного риска. В разработанной программе для ЭВМ автором определены основные функции и требования к программе, реализованы необходимые алгоритмы и создан пользовательский интерфейс.

Объем и структура диссертации. Работа включает введение, четыре главы, заключение, список литературы, приложения. Содержание работы изложено на 143 страницах, включает в себя 38 таблиц, 40 рисунков, список литературы из 125 наименований и 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность и научно-практическая значимость темы диссертационной работы, представлен объект и предмет исследования, сформулированы цель и задачи исследования, описаны научная новизна работы, положения, выносимые на защиту, достоверность полученных экспериментальных и численных данных, апробация работы и её краткое содержание.

В первой главе «Анализ проблемы пожарной безопасности и задач управления профилактическими мероприятиями» проведен анализ статистических показателей пожаров в России, Вьетнаме и некоторые страны мира. Рассмотрены пожарные риски, причины пожара и меры предотвращения. Это является основой выбора подходящих нейросетевых методов для прогнозирования пожарного риска и эффективности профилактических мероприятий. Представлен анализ параметров, характеризующих обстановку с пожарами во Вьетнаме. Пожарные ситуации во Вьетнаме и других странах мира имеют схожие и различные характеристики с точки зрения сложности, причины

возникновения пожара, количества и причиненного им ущерба. Основными причинами изменения количества пожаров являются экономический рост и рост населения, а также на них влияют вопросы, связанные с этнической принадлежностью, религией, культурой и обществом. Проведен анализ организационной структуры основных элементов системы обеспечения пожарной безопасности Вьетнама.

При исследовании пожарных рисков обычно рассматриваются три аспекта: анализ риска, оценка риска, управление риском. О пожарах и их последствиях, формулы определения были разработаны следующим образом:

R_1 – отношение пожаров в год к населению:

$$R_1 = \frac{n_n}{N_n} \text{ [пож. / чел.]} \quad (1)$$

где n_n – количество пожаров, произошедших за год, N_n – численность населения за 1 год.

R_2 – отношение гибели на пожаре в год к населению:

$$R_2 = \frac{n_z}{N_n} \text{ [гиб. / чел.]} \quad (2)$$

где n_z – число человек, погибших в результате пожаров за год.

Для каждой территории рассчитаны соответствующие средние значения пожарного риска. По формуле (1), (2), результаты расчетов пожарного риска для России, Вьетнама и некоторых других стран БРИКС приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Среднее значение риска пожара в странах БРИКС за период 2018–2022 гг.

Среднее значение	Пожары/население (R_1)	Гибель/население (R_2)
Россия	$2,438 \times 10^{-3}$	$5,6 \times 10^{-5}$
Индия	$1,608 \times 10^{-3}$	$4,64 \times 10^{-5}$
Китай	$0,650 \times 10^{-3}$	$0,83 \times 10^{-5}$
Вьетнам	$0,349 \times 10^{-3}$	$0,98 \times 10^{-5}$
БРИКС	$1,565 \times 10^{-3}$	$3,69 \times 10^{-5}$

При сравнении пожарных рисков в разных странах установлено, что риск гибели от пожара во Вьетнаме в 5 раз ниже, чем в России, и в 3 раза ниже, чем в среднем по странам БРИКС. Эффективность профилактических мероприятий заключается в минимизации опасности возникновения пожара, уменьшении числа пострадавших при пожаре, уменьшении имущественного ущерба гражданам и организациям. Термины, используемые в диссертационной работе: пожарный риск: R_1 - отношение пожаров в год к населению МО, R_2 - отношение гибели на пожаре в год к населению для МО, удельная профилактика - отношение числа профилактических мероприятий к населению МО, эффективная профилактика - отношения гибели к числу профилактических мероприятий в год.

Во второй главе «Статистические методы анализа пожарных рисков и эффективности профилактических мероприятий» был проведен кластерный и корреляционный анализа в 3-мерном пространстве (пожар –

население - гибель). Для кластерного анализа (КА) использовался метод K -средних. Поскольку количество кластеров заранее не было известно, то предполагалось, что количество кластеров меньше половины общего количества экспериментальных точек. Для каждого числа предполагаемых кластеров определяли отношение суммы внутри кластерных дисперсий к общей дисперсии. Минимум зависимости этой величины от предполагаемого количества кластеров определял их число. В двумерных сечениях проекций кластерного пространства для каждого кластера определяли коэффициент парной корреляции с заданным уровнем значимости стандартным образом. Подобный подход позволял получать значимые корреляции внутри кластеров при отсутствии корреляций на всей базе. В качестве базы анализируемых данных использовалась информация о пожарах Нижегородской области (НН) и Республики Башкортостан (РБ) и Вьетнама (СРВ) за трехлетний период 2021-2024 гг. (анализировали 57 МО Нижегородской области, 55 МО Республики Башкортостан и по 63 МО Вьетнама). Во всех случаях было обнаружено существование всего двух кластеров. Соответствующие результаты в пространстве население (x) – пожары (y) – гибель (z) представлены на рисунке 1. В каждом сечении был проведен корреляционный анализ, результаты которого представлены в таблице 2.

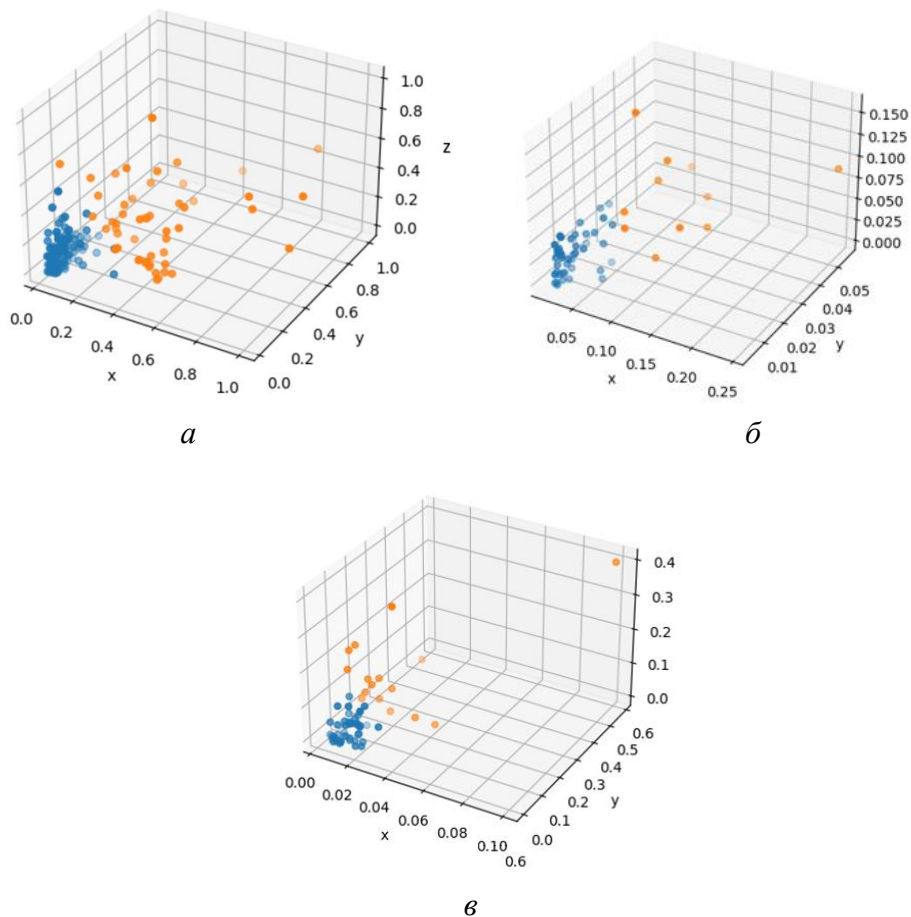


Рисунок 1 - Результаты кластерного анализа в пространстве: население (x) –пожары (y) – гибель (z). a - Нижегородской области; $б$ - Республики Башкортостан; $в$ – Вьетнама
 Таблица 2 - Результаты корреляционного анализа в двумерных сечениях исходного пространства КА. r - коэффициент корреляции; n – количество точке в кластере. Уровень риска $\alpha=0,02$, в скобках указано табличное значение коэффициента корреляции

	Плоскость	Кластер 1 (МО 1)	Кластер 2 (МО 2,3)
--	-----------	------------------	--------------------

Нижегородской области		<i>r</i>	<i>n</i>	<i>r</i>	<i>n</i>	
	(xy)	0,334 (0,329)	53	0,496 (0,210)	117	
	(xz)	0,007	53	0,215 (0,210)	117	
	(yz)	0,199	53	0,074	117	
	Республики Башкортостан	(xy)	0,694 (0,381)	35	0,776 (0,204)	132
		(xz)	-0,146	35	0,213 (0,204)	132
(yz)		0,214	35	0,166	132	
	Вьетнама	(xy)	0,332 (0,328)	50	0,684 (0,201)	137
		(xz)	0,236	50	0,489 (0,201)	137
		(yz)	0,120	50	0,058	137

Результаты были получены при статистическом анализе баз пожарных данных для удельных характеристик эффективности профилактики: гибель, нормированная на профилактику и пожары, нормированные на профилактику в зависимости от населения. Они представлены в таблице 3. Для большей адекватности представления результатов указаны доверительные интервалы для коэффициентов корреляции с уровнем риска 0,02.

Таблица 3 - Корреляционная матрица: «население-гибель, нормированная на профилактику» и «население - пожары, нормированные на профилактику»

Нижегородской области		Население	Нормированная гибель	Нормированные пожары
	Население	1	0,559 [0,437 - 0,681]	0,758 [0,682 - 0,834]
	Нормированная гибель	0,559 [0,437 - 0,681]	1	0,750 [0,668 - 0,818]
	Нормированные пожары	0,758 [0,682 - 0,834]	0,750 [0,668 - 0,818]	1
Республики Башкортостан	Население	1	0,458 [0,303 - 0,588]	0,888 [0,842 - 0,920]
	Нормированная гибель	0,458 [0,303 - 0,588]	1	0,640 [0,520 - 0,734]
	Нормированные пожары	0,888 [0,842 - 0,920]	0,640 [0,520 - 0,734]	1
Вьетнама	Население	1	0,581 [0,457 - 0,683]	0,707 [0,611 - 0,782]
	Нормированная гибель	0,581 [0,457 - 0,683]	1	0,424 [0,274 - 0,553]
	Нормированные пожары	0,707 [0,611 - 0,782]	0,424 [0,274 - 0,553]	1

Существенной особенностью полученных результатов является наличие зависимости удельной эффективности профилактики (с большим и значимым с уровнем риска 0,02 положительным коэффициентом корреляции) от численности населения. Возможная интерпретация - с увеличением размера муниципалитета гибель при пожарах растет быстрее, чем возможность охватить профилактикой охраняемые объекты.

Особый интерес представляет значимая зависимость между усредненным (в трехлетней ретроспективе) интегральным пожарным риском R_2 и численностью населения муниципального образования. Анализ показывает

значимое (с риском $\alpha=0,02$) снижение величины R_2 с ростом численности населения муниципального образования – таблица 4.

Таблица 4 - Корреляционная матрица: «Население - R_2 »

Нижегородской области	Население	R_2
Население	1	-0,300 [-0,550 : -0,210]
R_2	-0,300 [-0,550 : -0,210]	1
Республики Башкортостан	Население	R_2
Население	1	-0,056 [-0,061 : 0,07]
R_2	-0,056 [-0,061 : 0,07]	1
Вьетнама	Население	R_2
Население	1	-0,072 [-0,238 : 0,098]
R_2	-0,072 [-0,238 : 0,098]	1

Кластерный и корреляционный анализ в целом на базе пожаров показал, что, во-первых, универсальность кластеризации на две области притяжения, во-вторых, значимость корреляций во всех сечениях пространства описания.

Корреляционный анализ с учетом эффектов профилактических мероприятий дал, что: для всех регионов существует значимая отрицательная корреляция между размером МО и пожарным риском с увеличением размера МО риск снижается. Для всех регионов характерно снижение эффективности профилактических мероприятий с ростом размера МО. На рисунке 2 представлена гистограмма распределения Гибель/Профилактика. Логарифмическая нормальность этой зависимости со значением критерия Шапиро-Уилка ($P=0,159$) свидетельствует о наличии существенно нелинейных эффектов. Это обосновывает необходимость использования нейросетевых моделей.

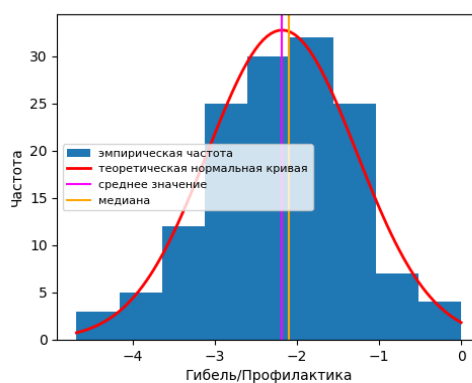


Рисунок 2 - Гистограмма эмпирического распределения «Гибель / Профилактика» в логарифмических координатах и ее аппроксимация логнормальным распределением

В третьей главе «Модель и алгоритм оценки эффективности профилактических мероприятий в административно-территориальных единицах» представлены оценки эффективности профилактических

мероприятий на основе моделей нейронных сетей (НС), демонстрирующих вероятность предсказания и надежность предсказания с использованием программного обеспечения «*FireNeuralNetwork1.0.4.*», созданного в соавторстве. В предыдущей главе методами статистического и дискриминационного анализа оценивалась эффективность профилактических мероприятий по снижению числа пожаров и жертв от них. Было установлено ряд статистически значимых корреляций, в частности, между относительной безопасностью (гибель на пожарах к населению) МО и его размерами и значимое снижение эффективности профилактических мероприятий с ростом численности населения. Наконец, для таких удельных величин как гибель/профилактика и пожары/профилактика в зависимости от населения было установлено наличие, так называемых «тяжелых хвостов» (*heavy tails*). Логарифмическая нормальность распределения в этой ситуации - следствие существенной нелинейности процессов в многомерной задаче статистического описания. Они характерны для сложных социально-экономических процессов. Таким образом, встает необходимость увеличения размерности входных переменных для оценки эффективности профилактических мероприятий. Это ограничивает возможности применения стандартных корреляционных или регрессивных моделей. Необходим учет специфики МО численности населения и иных параметров как качественного, так и количественного типа. Для решения этой задачи предполагается использовать классифицирующий искусственный интеллект на основе многослойных нейронных сетей обратного распространения. В пространстве удельных характеристик гибель/население, пожары/население, профилактика/население вновь был проведен кластерный анализ методом K -средних, описанном выше. Вновь было обнаружено наличие двух кластеров для удельных характеристик. Для классифицирующей нейронной сети в качестве входа использовали население, тип МО (1, 2 или 3). В качестве выхода - принадлежность к одному из типов поведения системы. В нашем случае к кластеру в пространстве: гибель/население, пожары/население, профилактика/население. Подобная нейронная сеть после обучения должна классифицировать МО по эффективности профилактических мероприятий с учетом перекрестных и нелинейных эффектов.

В качестве внутреннего слоя НС применялся слой суммирования с функцией активации *ReLU*, а выходной слой использовал функцию активации *Softmax*:

$$V(z_i) = \frac{e^{z_i}}{\sum_{i=0}^{Q-1} e^{z_i}}, \quad (3)$$

где z_i – значение входа в i нейрон выходного слоя, Q – количество классов обучения.

В качестве меры качества обучения использовалась категориальная кросс-энтропия:

$$W(z_i) = -\sum_{i=0}^{Q-1} y_i \log(z_i), \quad (4)$$

где y_i – ожидаемый выход, z_i – реализованный выход.

Принципиальная схема нейронной сети представлена на рисунке 3, указаны размерность входных переменных и число нейронов в слоях сети: четыре переменных на входе, 128 нейронов скрытого слоя и два класса на выходе.

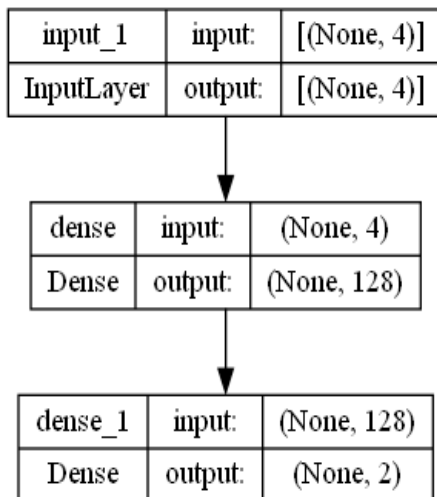


Рисунок 3 - Принципиальная схема нейронной сети

Вариабельными переменными являлись количество эпох обучения S , топология НС, размерность пространства выходных переменных. Оценкой эффективности НС после обучения была величина p - доля правильно предсказанных кластеров на тестовой последовательности. Все входные переменные нормировались на свое максимальное значение. Таким образом, на входе нейронной сети тип МО численность населения на выходе мера принадлежности к одному из кластеров в пространстве заданной размерности.

Вводились обозначения x_1 - гибель/профилактика, x_2 - пожары/профилактика, x_3 - гибель/население. Границы областей, отнесенные к разным кластерам, представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Безразмерные центры кластеров для пространственных переменных x_1, x_2, x_3

Нижегородской области	Кластеры		Республики Башкортостан		Вьетнам	
	1	2	1	2	1	2
Переменные						
x_1	0,105	0,218	0,089	0,345	0,007	0,123
x_2	0,104	0,456	0,095	0,516	0,042	0,175
x_3	0,113	0,627	0,080	0,761	0,047	0,423

Кластерный анализ с использованием построенной нейронной сети для всех регионов свидетельствует об общности процессов группировки результатов анализа в два кластера в независимости от страны и региона. На рисунке 4 показана реализация расчёта меры принадлежности данного МО к классу с высокой эффективностью профилактики (мера принадлежности 0,941) и к классу с низкой эффективностью (мера принадлежности 0,059).

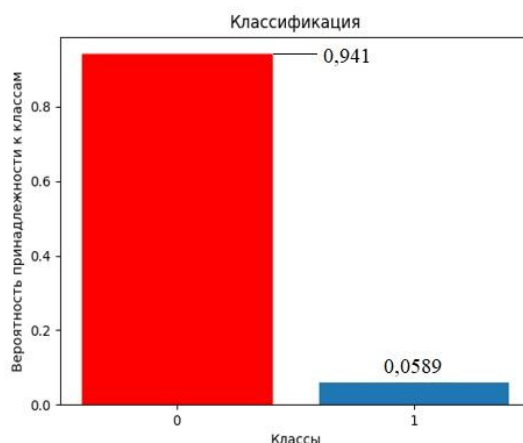


Рисунок 4 - Группировка результата эффективности профилактических мероприятий

Результаты обучения представлены в таблице 6. P – вероятность правильного предсказания на тестовом наборе, K – число нейронов скрытого слоя, S - количество эпох обучения. Каждое обучение с заданным количеством эпох реализовывалось три раза. Представлены средние значения вероятности правильного предсказания на тестовом наборе.

Таблица 6 - Средние значения вероятности правильного предсказания на тестовом наборе

K	Нижегородской области			Башкортостан			Вьетнам		
	P			P			P		
	$S=100$	$S=500$	$S=5000$	$S=100$	$S=500$	$S=5000$	$S=100$	$S=500$	$S=5000$
64	0,601	0,764	0,703	0,611	0,571	0,619	0,571	0,461	0,520
128	0,667	0,727	0,897	0,550	0,684	0,737	0,576	0,666	0,676
256	0,600	0,631	0,858	0,570	0,667	0,736	0,560	0,592	0,633

Анализ результатов показывает, что для всех трех случаев сеть со 128 нейронами во внутреннем слое и при 5000 эпохах обучения, способна классифицировать принадлежность входных переменных к одному из двух классов.

Следующий шаг уточнения модели - разбиение категориальных переменных на входе сети на подклассы: подкласс 1- городские МО областного центра и подкласс 11- города области. Теперь на входе четыре качественных переменных и одна количественная. Соответствующее тестирование обученной модели представлено в таблице 7.

Таблице 7 – Модель НС учитывает подклассы МО

K	Нижегородской области			Башкортостан			Вьетнам		
	P			P			P		
	$S=100$	$S=500$	$S=5000$	$S=100$	$S=500$	$S=5000$	$S=100$	$S=500$	$S=5000$
64	0,625	0,950	0,950	0,647	0,841	0,789	0,586	0,778	0,533
128	0,583	0,620	0,750	0,631	0,701	0,632	0,601	0,482	0,666
256	0,833	0,857	0,863	0,619	0,705	0,611	0,629	0,561	0,550

Видно, что дополнительная категоризация входного пространства увеличивает эффективность предсказания принадлежности к классу до 0,950 в Нижегородской области до 0,841 в Республике Башкортостан и до 0,778 во Вьетнаме.

Рассмотрим теперь результаты обучения НС в сечениях выходного категориального пространства. В качестве примера возьмем одномерное сечение гибель/профилактика и пожары/профилактика. Результаты для анализируемых регионов представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Модель НС анализирует одномерные сечения выходных переменных

K	Нижегородской области				Башкортостан				Вьетнам			
	P				P				P			
	S=100		S=500		S=100		S=500		S=100		S=500	
	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2	x_1	x_2
64	0,74	0,84	0,745	0,844	0,642	0,789	0,64	0,722	0,571	0,678	0,607	0,61
128	0,744	0,843	0,744	0,843	0,68	0,778	0,653	0,764	0,59	0,566	0,703	0,55
256	0,744	0,843	0,744	0,845	0,666	0,764	0,680	0,888	0,681	0,652	0,708	0,81

Таким образом, надежность предсказания на тестовом наборе в трехмерном выходном категориальном пространстве лежит в интервале 0,708 – 0,888 при 128 (256) нейронах скрытого слоя и 5000 эпохах обучения в сечениях категориального пространства – таблица 8. Дальнейший рост количества нейронов и длительности обучения не приводит к существенному изменению надежности предсказания. В то же время увеличение размерности входного категориального пространства приводит к увеличению вероятности правильного предсказания до 0,950 в Нижегородской области уже при 64 нейронах скрытого слоя и 500 эпохах обучения. Аналогичные эффекты наблюдаются в Республике Башкортостан и Вьетнам: 0,841 и 0,778 соответственно. Предсказания в одномерных сечениях категориального пространства в сечении гибель/профилактика слабо зависят от числа нейронов, если их больше 64 и максимальная вероятность правильной классификации составляет 0,744 уже при 100 эпохах. Надежность классификации в одномерном сечении категориального пространства пожары/профилактика выше – 0,845 и при этом слабо зависят от числа нейронов скрытого слоя ($K \geq 64$) продолжительности обучения ($S \geq 500$). Меньшая надежность прогнозов профилактика/гибель связана, очевидно, с тем, что на гибель при пожаре оказывает не только профилактические мероприятия в рамках МЧС, но и своевременность медицинской помощи.

В четвертой главе «Модель прогнозирования пожарных рисков и алгоритм управления профилактикой в административно-территориальных единицах» была разработана многослойная нейронная сеть, для которой входными переменными являлись введенные ранее количественные характеристики МО и категориальные (с учетом подклассов 1 и 11), выходными – относительная эффективность профилактических мероприятий – переменные x_1, x_2, x_3 , введенные выше. Полносвязная нейронная сеть состояла из трех внутренних слоев с нулевым сдвигом и функцией активации гиперболический тангенс $\tanh(x)$, выходной слой имел так же функцию активации $\tanh(x)$, в качестве меры качества обучения использовалось среднеквадратичное отклонение:

$$W(z_i) = \sum_{i=0}^{Q-1} (y_i - z_i)^2, \quad (5)$$

где y_i – ожидаемый выход, z_i – реализованный выход, Q – количество выходных переменных. Вариабельными параметрами являлись количество нейронов в слоях и число эпох обучения. База обучения, величина пакета и доля реализаций на валидацию обучения были аналогичны вышеописанным. Обучение осуществлялось обратным распространением ошибки методом стохастической градиентной оптимизации. Схема нейронной сети, предсказывающей пожарные риски представлена на рисунке 5.

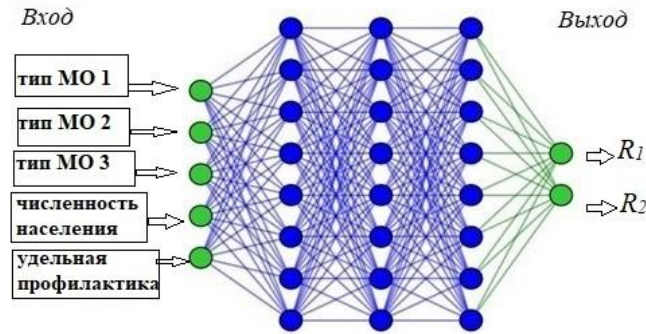


Рисунок 5 - Топология предсказывающей НС

На рисунке 6 представлены соответствующие результаты в виде гистограммы распределения относительно ошибки предсказания этих величин.

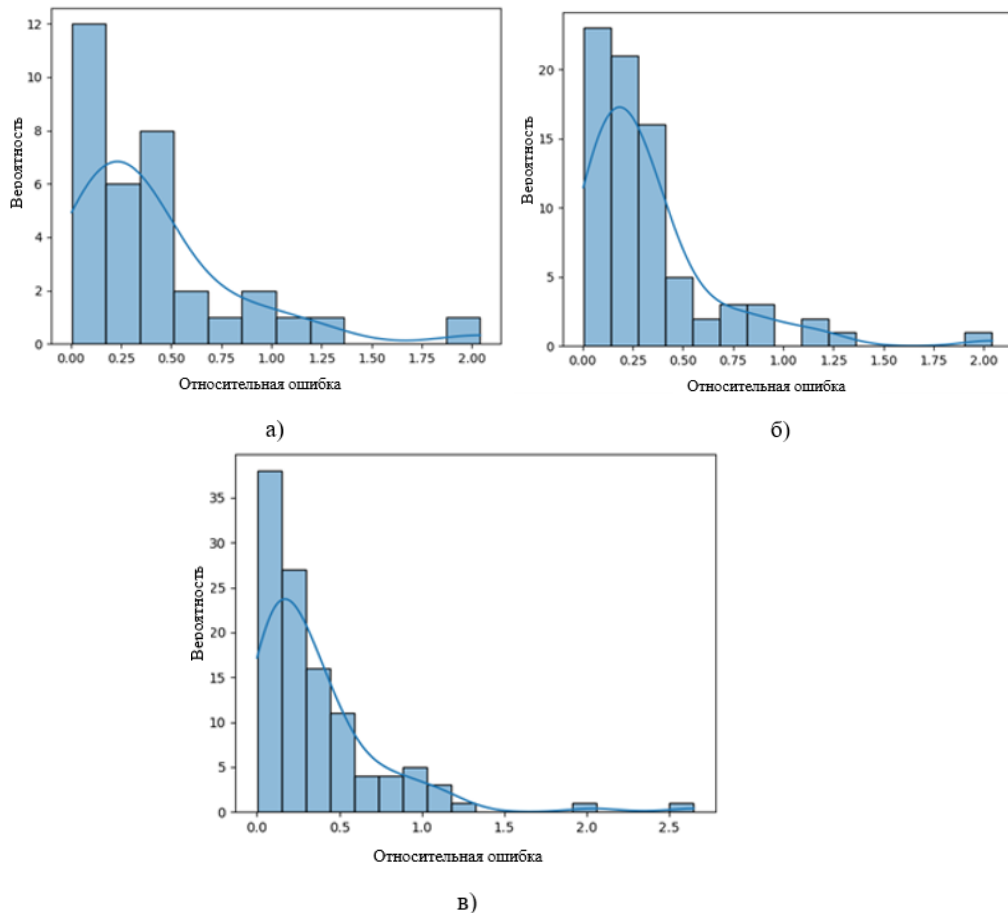


Рисунок 6 - Гистограммы распределения предсказаний пожарных рисков и абсолютной эффективности профилактики на тестовом наборе. Топология сети 32, 16, 8. *а* – Пожарный риск R_1 ; *б* - Пожарный риск R_2 ; *в* - абсолютной эффективности профилактики

В процессе тестирования НС вычислялась относительная ошибка предсказания – величина $\Delta x_i / x_i$, где $\Delta x_i = |x_i - x_i^1|$ - истинное и предсказанное значение одной из трех величин *a*, *б*, *в*.

В таблице 9 представлены средние относительные ошибки предсказания абсолютной эффективности профилактики для параметров пожары/население, гибель/население и гибель/профилактика при различных топологиях сети. Количество эпох обучения всегда было $S=1000$. *a* – Пожарный риск R_1 , *б* - Пожарный риск R_2 , *в* - абсолютной эффективности профилактики.

Таблица 9 -Топология НС и средняя относительная ошибка предсказания абсолютных значений эффективности профилактики

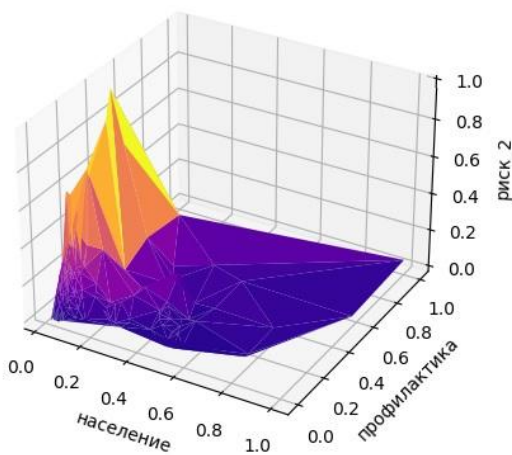
Нижегородской области			Республики Башкортостан			Вьетнам			
К	а	б	в	а	б	в	а	б	в
8, 4, 2	0,60	0,49	0,50	0,750	0,658	0,680	0,858	0,784	0,792
16, 8, 4	0,41	0,35	0,48	0,604	0,574	0,564	1,191	0,823	0,893
32, 16, 8	0,404	0,324	0,355	0,412	0,384	0,443	1,329	0,745	0,829

Величину абсолютной эффективности профилактических мероприятий можно предсказать, используя обученную многослойную НС с тремя скрытыми слоями 32, 16, 8 нейронов. Увеличения числа слоев и количества нейронов в них не ведет к снижению относительной ошибки предсказания в сечениях соответственно пожары/население 0,404, гибель/население 0,324 и гибель/профилактика 0,355. Полученные результаты свидетельствуют о возможности прогнозирования абсолютного значения эффективности профилактической работы на основе количественных и категориальных переменных. Относительно большая ошибка прогноза связана, с одной стороны, с необходимостью учета большего числа входных параметров, с другой стороны, с необходимостью увеличения размера базы обучения НС. Вместе с тем необходимо отметить, что существенный вклад в среднюю ошибку предсказания вносят хвосты распределения – редкие события с невысоким значением предсказываемых величин. В то же время, более двух третей реализации тестового набора имеют среднюю ошибку предсказания вдвое меньше – рисунок 6. Дальнейшее увеличение размеров сети и количества эпох не ведет к существенным изменениям результатов. Аналогичные результаты для Республики Башкортостан и Вьетнам представлены в таблице 9.

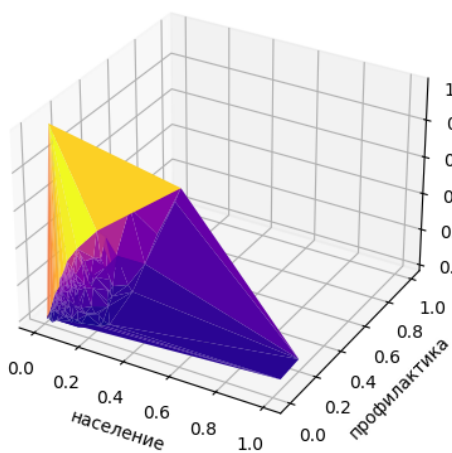
Полученные результаты позволяют оценить эффективность профилактических мероприятий для МО различного типа и населения, но оптимизации профилактических мероприятий и поддержки принятия решений не слишком удобны. Поэтому был реализован иной алгоритм решения задачи. Для этого была создана нейронная сеть, на входе которой - категория МО (возможно с учетом подкатегории МО), численность населения и удельная профилактика, т.е. отношения численности профилактических мероприятий за предшествующий год к населению МО в текущем году. Переменные с соответствующими нормировками на максимальное значение обозначим *x* и *y*. На выходе нейронной сети – пожарные риски R_1 и R_2 – отношение числа пожаров к численности населения и отношение числа погибших в них к численности

населения. Сеть аналогична, описанной в предшествующем разделе, с 5 переменными на входе и с 2 на выходе. Количество эпох обучения и число внутренних слоев – настраиваемый параметр, мера – средний квадрат отклонений реализации и обучающих примеров (5), способ оптимизации - метод стохастических градиентов.

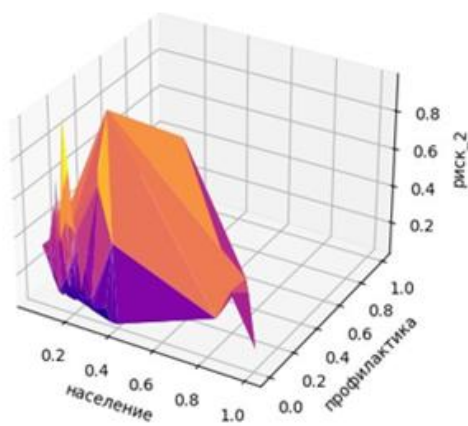
После обучения сеть на данной базе предсказывает риски $R_{1,2}=F(x,y)$. Далее полученная трехмерная зависимость проектируется на плоскость (x,y) при условии $R_{1,2}<R_{nom}$, где R_{nom} - нормативный риск. Эмпирическая зависимость аппроксимируется методом наименьших квадратов с определением доверительного интервала коэффициентов аппроксимации и F – критерия. Она связывает нормированную профилактику с типом МО и численностью населения с учетом типа МО при условии того, что полученные риски меньше нормативных. Для анализируемых регионов риски в зависимости от населения и нормированной профилактики представлены на рисунке 7. Поверхности восстановлены на основе нейросетевого моделирования.



а



б



в

Рисунок 7 - Пожарные риски R_2 (гибель/население) в зависимости от населения и удельной профилактики для: а - Нижегородской области; б - Республики Башкортостан; в – Вьетнам

Оптимальная профилактика в зависимости от населения на рисунке 8. Сводные данные и уравнения регрессии в таблице 10. Нормативный риск $R_{nom}=0,074$ от максимального значения на обучающем наборе.

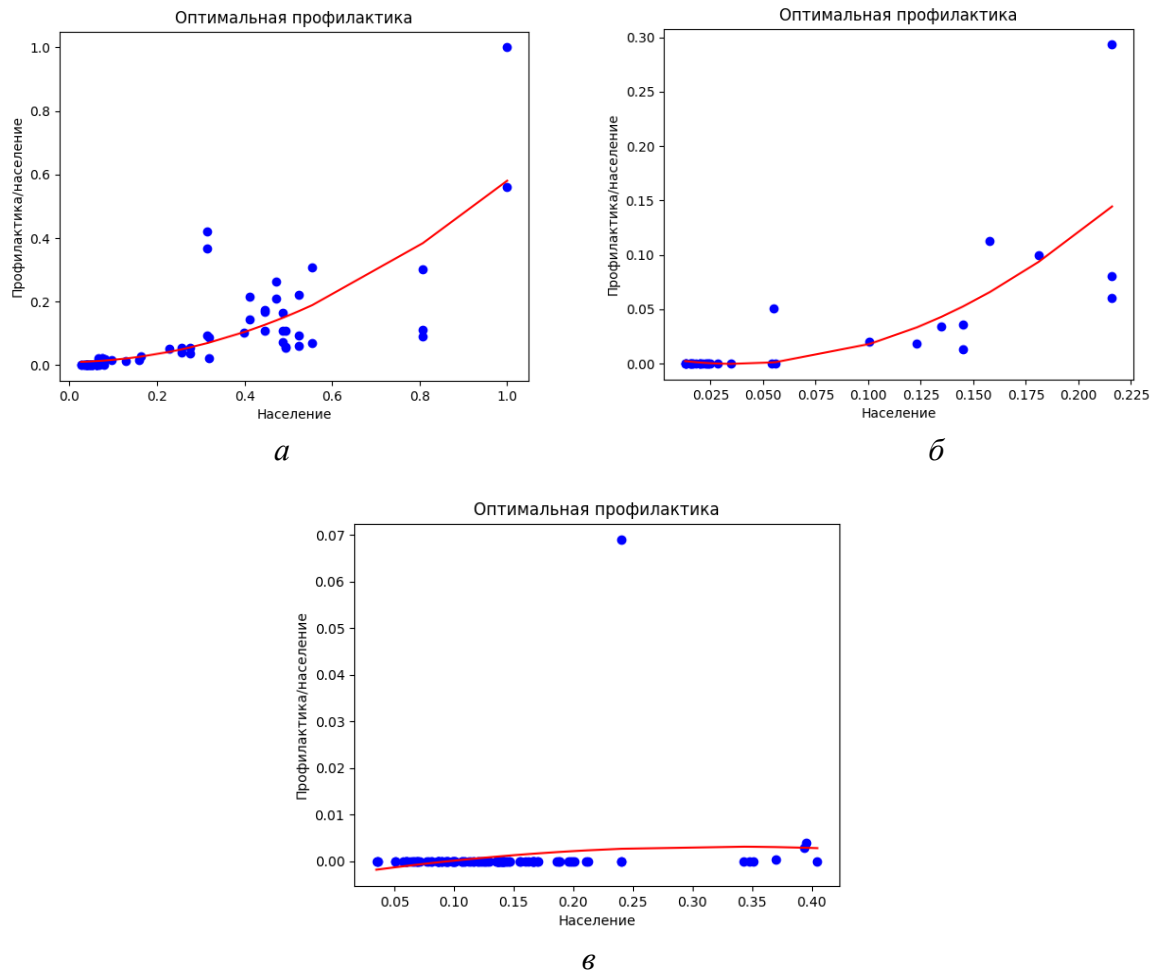


Рисунок 8 - Оптимальная профилактика в зависимости от населения. *а* – Нижегородской области; *б* – Республики Башкортостан; *в* – Вьетнам, риск R_2 от пожара за период 1 год

Таблица 10 - Оптимальная профилактика в зависимости от населения для трех регионов; указаны F - критерий и нормировки. Уровень значимость коэффициентов регрессии 0,98

Регион	Зависимость	F	Нормировки			
			Нас.	Проф./Нас	Пож./Нас.	Гиб./Нас.
НН	$y = (0,04 \pm 0,13) x + (0,52 \pm 0,16) x^2$	46,08	299800	1,351	0,022	0,00050
РБ	$y = -(0,33 \pm 0,41) x + (4,51 \pm 1,92) x^2$	24,82	280000	2,325	0,008	0,00038
СРВ	$y = (0,01 \pm 0,12) x - (0,01 \pm 0,03) x^2$	4,761	292500	2,063	0,0002	0,00004

Данные таблицы 10 позволяют рассчитать оптимальное число профилактических мероприятий для того, чтобы риск, например, гибель/население не превышал нормативный показатель. В качестве примера сделаем это для МО Автозаводского района города Нижнего Новгорода за 2019 год. Поскольку нормировка Гиб./Нас – 0,00050, полагая нормативный риск $R_{nom} = 0,074$, отсюда имеем в абсолютных величинах – 0,00005. Население в

безразмерных единицах $x=296500/299800= 0,99$, поэтому, (таблицы 10) безразмерная величина профилактика/население $y=0,55$. Умножая на ее нормировку 1,351 и на население 296500, получаем оптимальное количество профилактических мероприятий за год с риском принятия гипотезы 0,975 – около 220 тыс. Полученная величина, в пределах ошибки воспроизводимости, близка к реальной – крайняя точка на рисунке 8. В тоже время число профилактических мероприятий для МО с относительной долей населения порядка $\sim 0,8$ от максимальной недостаточно для достижения нормативной эффективности риска гибели – рисунке 8. Профилактика в МО в интервале от $\sim 0,35$ до $\sim 0,57$ максимального населения избыточна, ее целесообразно перераспределить в МО с большим населением. Для Вьетнама нет явных зависимостей между удельной профилактикой и населением. Однако, для МО лежащих ниже аппроксимирующей кривой, для снижения риска гибели населения от пожаров необходимо увеличить количество профилактических мероприятий. Соответствующая зависимость, представленная в таблице 10, дает оценку этой величины в региональном разрезе.

Блок-схема НС принятия решений по управлению комплексом эффективности профилактических мероприятий и пожарным риском на основе анализа данных о пожаре представлена на рисунке 9.

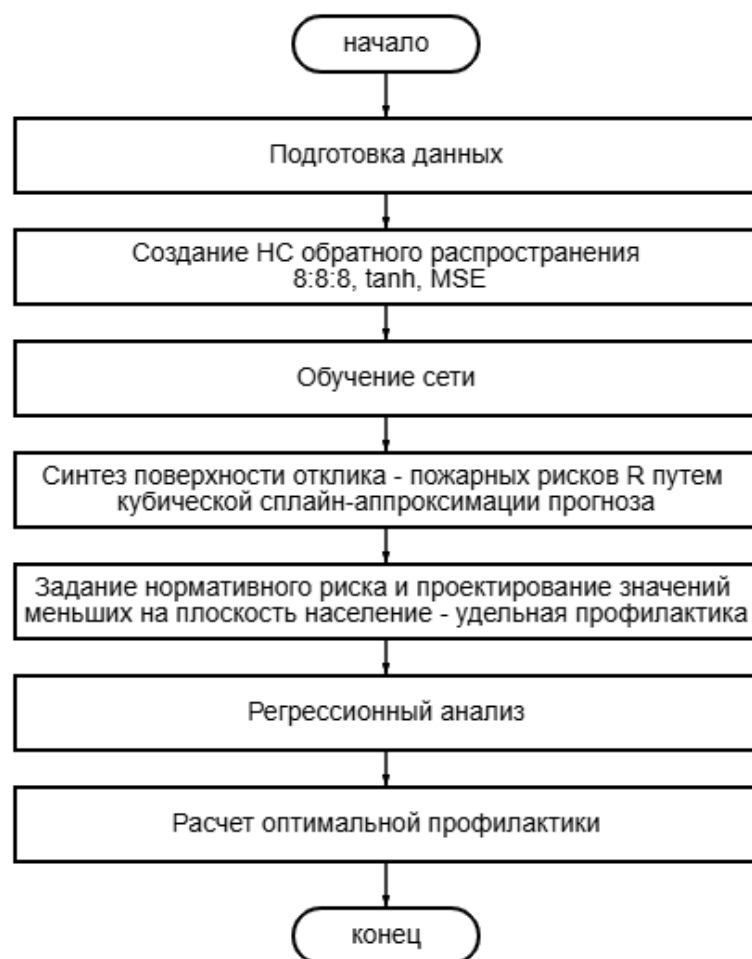


Рисунок 9 - Схема принятия решения при прогнозе пожарных рисков и расчете оптимального количества профилактических мероприятий на основе нейросетевой модели

Остановимся более подробно на алгоритме поддержки принятия решения по профилактическим мероприятиям на основе нейросетевой модели прогноза пожарных рисков. Последовательность операций разделена на 7 этапов от подготовки данных до расчёта оптимального числа профилактических мероприятий, обеспечивающих пожарные риски ниже нормативных.:

Этап 1. Подготовка данных. Сбор данных для анализа, включающих: данные о пожарах, гибели, численности населения, количестве профилактических мероприятий в анализируемых регионах.

Этап 2. Создание НС обратного распространения для прогноза пожарных рисков. На входе – население, тип МО и количество профилактических мероприятий на выходе – пожарные риски. Функции активации – гиперболический тангенс мера - MSE, обучение - метод стохастических градиентов.

Этап 3. Обучение и тестирование нейронных сетей. При необходимости изменение топологии, способа обучения, меры и т. д.

Этап 4. Синтез поверхности отклика - пожарных рисков R путем кубической сплайн-аппроксимации прогноза.

Этап 5. Задание нормативного риска и проектирование значений меньших на плоскость население - удельная профилактика.

Этап 6. Регрессионный анализ. Расчет оптимального количества профилактических мероприятий. Оценка качества прогноза с учетом заданного уровня надежности принятия гипотезы.

Этап 7. Интерпретация полученных результатов в управленческие решения. Создание базы решений. При необходимости дополнение исходной базы и создание новой нейронной сети. Принятие управленческого решения о перераспределении числа профилактических мероприятий.

В настоящее время предлагаемая система поддержки управления профилактическими мероприятиями реализована в виде десктопного интерфейса, позволяющего загружать стандартные базы пожарных данных, задавать топологию нейронных сетей, анализировать процесс обучения в графическом виде и представлять результаты, либо в численном формате, либо в виде когнитивной графики, в частности поверхности пожарных рисков.

Заключение содержит констатацию основных научных и практических результатов работы.

В приложении представлены акты внедрения результатов работы в противопожарной деятельности СРВ по пожарной безопасности, документы, подтверждающие использование программного обеспечения и учебном процессе в Институте пожарной безопасности МОБ СРВ и Академии ГПС МЧС России, свидетельство о регистрации ПО и код пакета «*FireNeuralNetwork1.0.4.*».

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ РАБОТЫ

На основании выполненных исследований получены следующие научные и практические результаты:

1. Анализ данных выявил два кластера по показателям «пожары – население – гибель»: компактный для густонаселенных территорий и рассеянный для менее крупных образований. В обоих кластерах обнаружена связь численности населения с количеством пожаров, а во втором – также с числом погибших. Установлено, что при росте населения относительная пожарная безопасность повышается, однако абсолютная эффективность профилактических мероприятий в целом по России и Вьетнаму снижается.

2. Зависимость эффективности профилактических мероприятий от численности населения и типа МО различается: наибольшее снижение эффективности при росте населения характерно для МО типа 1. Детализация показала, что городские районы областных центров (подкласс 1) более чувствительны к этому фактору, чем районные центры аналогичного типа (подкласс 11).

3. Более детальный анализ статистик пожарных рисков выявил наличие статистически значимых, с точки зрения критерия Шапиро-Уилка, логарифмически нормальных распределений пожарных рисков. Это свидетельствует о существовании существенно нелинейных зависимостей между рисками, численностью населения и количеством профилактических мероприятий. Кроме того, анализ показал необходимость учета качественных характеристик – типа МО. Это обосновывает необходимость использования более общих нейросетевых моделей.

4. Создана нейросетевая модель для оценки эффективности профилактических мероприятий в пространстве «гибель – пожары – население» с учетом типа МО. Модель классифицирует ситуацию по входным данным в один из классов эффективности. Валидация показала, что при двухклассной агрегации сеть с 128 нейронами достигает точности 0,950 в трехмерном пространстве и 0,744–0,845 в отдельных проекциях, что подтверждает ее пригодность для оценки текущей эффективности профилактики.

5. Управление профилактическими мероприятиями требует не только оценки текущей ситуации, но и возможность прогнозирования пожарных рисков, и на основе этого эффективного управления профилактикой. Для прогнозирования пожарных рисков была использована обученная многослойная нейросеть с тремя скрытыми слоями, содержащими соответственно 32, 16 и 8 нейронов. На входе нейронной сети: тип МО, количество населения и число профилактических мероприятий, на выходе – пожарные риски и абсолютная эффективность профилактики. Усложнение архитектуры нейросети не дает существенного снижения относительной ошибки прогноза (0,324–0,404 по разным сечениям), при этом результаты для России и Вьетнама близки. Модель легко масштабируется, позволяя добавлять новые входные и выходные параметры, включая детализацию профилактических мер и оценку ущерба.

6. Разработана поверхность отклика, позволяющая оценивать пожарные риски по типу МО, объему профилактических мер и численности населения, что повышает качество управленческих решений. Введено понятие оптимальной профилактики – зависимости между удельными мероприятиями и

численностью населения для обеспечения нормативного уровня риска, причем для двух типов нейросетевых моделей эти зависимости заданы в виде полиномиальных аппроксимаций с заданной точностью.

7. На базе предложенных моделей и алгоритмов разработан прикладной программный пакет для ЭВМ, включающий пользовательский интерфейс к базе данных, обеспечивающий предварительную настройку обучения и тестирование моделей.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих ведущих периодических изданиях, включенных в список ВАК РФ:

1. Нгуен, В. А. Информационно-аналитическая поддержка руководителя при организации профилактики пожаров на основе статистического анализа баз данных / А. М. Авдеенко, А. П. Сатин, В. А. Нгуен, Г. Н. Лахвицкий // Технологии техносферной безопасности. – 2023. – № 4(102). – С. 79–97. – DOI 10.25257/TTS.2023.4.102.79-97. – EDN ASOAWK.2023.4.79-97.

2. Нгуен, В. А. Нейросетевая модель предсказания абсолютной эффективности профилактических мероприятий и поддержка принятия управленческих решений / В. А. Нгуен // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2024. – № 4. – С. 82–87. – DOI 10.37882/2223–2966.2024.04.21. – EDN UFKFZA.2024.4.21.82-87.

3. Нгуен, В. А. Модель искусственного интеллекта для поддержки принятия управленческих решений с целью повышения эффективности профилактических мероприятий по предотвращению пожаров / В. А. Нгуен, А. М. Авдеенко, А. П. Сатин // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 4(112). – С. 116–127. – EDN KTHEUM. 2024.4.116–127.

4. Нгуен, В. А. Особенности выбора нейронных сетей для оценки эффективности профилактических мероприятий / А. М. Авдеенко, А. П. Сатин, В. А. Нгуен // Технологии техносферной безопасности. – 2024. – № 3(105). – С. 55-68. – DOI 10.25257/TTS.2024.3.105.55-68. – EDN UNVUHM.

Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ

5. Нгуен, В. А. FireNeuralNetwork1.0.4.: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024687642, 20.11.2024 г. / А. М. Авдеенко, А. П. Сатин, Е. В. Гаврилюк, В. А. Нгуен.

Публикации в других изданиях

6. Нгуен, В. А. Решения по обеспечению пожарной безопасности при строительстве высотных зданий во Вьетнаме / В. А. Нгуен, А. Фан // Ройтмановские чтения: Сборник материалов 10-ой научно-практической конференции, Москва, 26 мая 2022 года / Под редакцией Д.А. Самошина. –

Москва: Академия Государственной противопожарной службы МЧС России, 2022. – С. 63–65.

7. Статистические оценки пожаров на основе парсинга геолокационных данных для различных регионов и перспективы моделей искусственного интеллекта / А. М. Авдеенко, Е. П. Рожков, Г. Н. Лахвицкий, В. А. Нгуен // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». – 2022. – № 31. – С. 90–93.

8. Некоторые особенности исследования многомерной базы пожаров с использованием инструментария кластерного анализа / А. М. Авдеенко, Г. Н. Лахвицкий, А. Н. Выонг [и др.] // Пожарная и аварийная безопасность : Сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90- й годовщине образования гражданской обороны, Иваново, 24 ноября 2022 года. – Иваново, 2022. – С. 4–8.

9. Нгуен, В. А. Использование метода кластерного анализа для базы данных пожаров во Вьетнаме / В. А. Нгуен // Материалы XV Всероссийские научные Зворыкинские чтения: сб. тез. докл. Всероссийской научной конференции. Муром, 3 февр. 2023 г.– Муром: МИ ВлГУ, 2023. С. 292-293.

10. Нгуен, В. А. Реализации системы поддержки принятия решений на основе многослойных нейронных сетей обратного распространения / В. А. Нгуен, А. М. Авдеенко // Проблемы техносферной безопасности: материалы международной научно-практической конференции молодых учёных и специалистов. – 2023. – № 12. – С. 159–163.

11. Нгуен, В. А. Анализ пожарной ситуации во Вьетнаме методом кластерного анализа / В. А. Нгуен // Материалы XI международного научного семинара-конференции «Пожарная безопасность в условиях современности» – Кокшетау: ГУ «Академия гражданской защиты имени Малика Габдуллина МЧС Республики Казахстан». –2023. С. 84-86.

12. Нгуен, В. А. Повысить эффективность профилактических мероприятий на основе многослойных нейронных сетей / В. А. Нгуен // Материалы международной научной конференции «Риск-ориентированные подходы к устойчивому развитию» - Университет внутренних дел Монгольского общества Красного Креста. Улан-Батор 2023. С. 137-139.

13. Нгуен, В. А. Методы искусственного интеллекта для прогнозирования эффективности профилактических мероприятий во Вьетнаме / В. А. Нгуен // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». – 2023. – № 32. – С. 130–133.

14. Нгуен, В. А. Применение нейронных сетей обратного распространения для прогнозирования эффективности профилактических мероприятий по предотвращению пожаров в республике Вьетнам / В. А. Нгуен // Робототехника и искусственный интеллект : Материалы XV Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, Железногорск, 02 декабря 2023 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский федеральный университет, Межинститутская базовая кафедра «Прикладная физика и космические технологии». – Железногорск: ЛИТЕРА-принт, 2023. – С. 109–113.

15. Нгуен, В. А. Обучение многослойной нейронной сети для прогнозирования пожарных ситуаций в Социалистической Республике Вьетнам / В. А. Нгуен, Д. З. Май // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: Материалы IX международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 20 марта 2024 года. – Москва: Академия Государственной противопожарной службы, 2024. – С. 240–244.

16. Нгуен, В. А. Оценка пожарной ситуации во Вьетнаме с использованием методов кластерного анализа и корреляции / В. А. Нгуен, А. М. Авдеенко // Журнал по пожарной безопасности и тушению - Институт Пожарной Безопасности МОБ СР Вьетнам. – 2024. – № 179. – С. 23-25.

17. Нгуен, В. А. Оптимальная модель профилактических мероприятий на основе нейросетевых технологий / В. А. Нгуен, А. М. Авдеенко // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». В 2-х частях – 2024. – № 33. – С. 40–45.

Подписано в печать 09.12.2025. Формат 60×84 1/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 520
Академия ГПС МЧС России.
129366, г. Москва, ул. Б. Галушкина, 4