

Министерство Российской Федерации
по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям
и ликвидации последствий стихийных бедствий

Академия Государственной противопожарной службы



На правах рукописи

Журавлев Николай Михайлович

**МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТУШЕНИЯ
ПОЖАРОВ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ**

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

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, профессор
Денисов Алексей Николаевич

Москва – 2021

Оглавление

Введение.....	5
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ	12
1.1 Анализ динамики пожаров и материального ущерба от пожаров в жилых зданиях	12
1.2 Анализ показателей оперативного реагирования подразделений пожарной охраны и ошибок, допускаемых при тушении пожаров в жилых зданиях.....	26
1.3 Анализ основных характеристик развития пожара и параметров его тушения	31
1.4 Анализ процесса управления пожарным подразделением и методов принятия решений при тушении пожара в жилых зданиях.....	40
1.5 Анализ систем поддержки принятия решений, применяемых для управления пожарными подразделениями	62
1.6 Выводы по главе 1.....	76
ГЛАВА 2 МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РУКОВОДИТЕЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ.....	79
2.1 Модель поддержки принятия решений руководителя тушения пожара на основе оценки функции ценности вариантов тушения пожара	79
2.1.1 Применение аксиом теории полезности к задачам поддержки принятия решений руководителя тушения пожара при выборе варианта тушения пожара.....	79
2.1.2 Формализация одномерных функций ценности для различных вариантов тушения пожара	83
2.1.3 Построение многомерной функции ценности решения руководителя тушения пожара.....	92

2.1.4	Принятие решения о выборе варианта тушения пожара на основе оценки критерия максимальной ценности.....	93
2.2	Модели определения параметра глубины тушения пожара для поддержки принятия управленческих решений	101
2.2.1	Модель глубины пожаротушения на основе расхода водяного пожарного ствола	101
2.2.2	Модель глубины пожаротушения по напору воды перед насадком водяного пожарного ствола.....	106
2.3	Алгоритм поддержки принятия решения руководителя тушения пожара на основе оценки скорости роста площади пожара.....	109
2.4	Алгоритм поддержки принятия решения руководителя тушения пожара при фронтальном методе тушения пожара.....	114
2.5	Выводы по главе 2.....	123
ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РУКОВОДИТЕЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА		126
3.1	Оценка эффективности модели поддержки принятия решений руководителя тушения пожара для планирования боевых действий на основе оценки функции ценности вариантов тушения пожара	126
3.2	Оценка эффективности алгоритма поддержки принятия управленческих решений руководителя тушения пожара при планировании ведения боевых действий на основе оценки скорости роста площади пожара	133
3.2.1	Методика постановки эксперимента по определению глубины тушения ручными водяными пожарными стволами	133
3.2.2	Эксперимент по определению глубины тушения для ручного водяного пожарного ствола с диаметром насадка 13 миллиметров.....	135
3.3	Оценка эффективности алгоритма поддержки принятия решений руководителя тушения пожара при фронтальном методе тушения пожара.....	144

3.4 Выводы по главе 3.....	153
Заключение	155
Список сокращений и условных обозначений.....	158
Список литературы	160
Приложение А (справочное). Фрагменты исходного кода компьютерной программы поддержки принятия управленческих решений руководителя тушения пожара.....	181
Приложение Б (обязательное). Акты внедрения результатов диссертационной работы	191

Введение

В соответствии с Указом Президента Российской Федерации от 1 января 2018 г. № 2 целью государственной политики в области пожарной безопасности является обеспечение необходимого уровня защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров [5]. Ежегодный ущерб, наносимый пожарами обществу и экономике значителен, что рождает необходимость поиска научно обоснованных путей его снижения. Планирование действий пожарных подразделений и принятие управленческих решений являются основными этапами процесса управления при организации тушения пожаров. Статистический анализ пожаров подтверждает необходимость более детального исследования пожаров в жилых зданиях, как причины наибольшего материального ущерба, гибели людей и личного состава пожарных подразделений [22, 48].

Эффективность управления пожарными подразделениями при ведении боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях обеспечивается наличием научно обоснованных методов и алгоритмов поддержки принятия решений руководителя тушения пожара (РТП) [47, 88, 89]. Востребованность этого определяется основными приоритетами научно-технического и информационного обеспечения управления деятельностью единой государственной системой предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) [9], а также актуальными задачами по развитию центра управления в кризисных ситуациях [12].

Концепция развития системы управления МЧС до 2030 года [12], Федеральная целевая программа «Пожарная безопасность в Российской Федерации» [6], Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» [3] определяют цели обеспечения пожарной безопасности, к которым относятся проведение научных исследований, внедрение новых технологий и совершенствование методов обеспечения пожарной безопасности, в том числе

при управлении пожарными подразделениями. В перечисленных выше документах подчеркивается особая необходимость в научном и методическом обосновании направлений совершенствования системы управления деятельностью подразделений МЧС в кризисных ситуациях, включающих пожары. Таким образом, исследование, связанное с разработкой новых моделей и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений руководителя тушения пожара, повышающих эффективность ведения боевых действий с огнем, является актуальным.

Цифровизация в социально-экономических системах страны подтверждает необходимость внедрения новых информационных технологий, в том числе систем поддержки принятия решений (СППР) в деятельность пожарной службы. Таким образом, для своевременного реагирования на складывающуюся оперативную обстановку и повышения эффективности организации ведения боевых действий, необходима разработка новых и совершенствование имеющихся моделей и алгоритмов поддержки принятия решений РТП. Эффективное управление силами и средствами пожарных подразделений при планировании организации тушения пожаров в жилых зданиях позволит сократить не только время его локализации и ликвидации, уменьшить материальный ущерб, но и сохранит человеческие жизни. Это определяет **актуальность** диссертационного исследования.

Степень разработанности темы исследования. Исследования задач совершенствования управления силами и средствами Государственной противопожарной службы (ГПС) при организации тушения пожаров проводились под руководством следующих ученых: Н.Н. Брушлинского [16, 46–50], С.Ю. Бутузова [37, 52, 148], А.Н. Денисова [73–79], В.В. Кафидова [103], В.Б. Коробко [61], О.А. Косорукова [125], А.В. Матюшина [116], Е.А. Мешалкина [99, 117–118], Ю.Д. Моторыгина [121–122], А.И. Овсяника [123–125, 146], Б.М. Пранова [99, 135], Ю.В. Пруса [136, 166], С.В. Соколова [46–50], В.А. Седнева [143], В.Л. Семикова [144–146, 153], Н.Г. Топольского [35, 119, 153], Р.Ш. Хабибулина [99, 158] и других.

В работах данных авторов [16, 20–24, 30, 35, 46–51, 55, 59–61, 64, 74–78, 100, 107–109, 111, 115–116, 119–120, 128–138, 144, 147, 149–152] предлагаются методы поддержки принятия решений при управлении пожарными подразделениями на основе теории вероятности и математической статистики, теории графов (сети Петри), теории игр и принятия решений. Однако в настоящее время с учетом изменений структуры управления МЧС России (рисунок В.1) [10] и нормативной базы исследование по совершенствованию процесса поддержки принятия решений в системе управления пожарными подразделениями при планировании и отработке боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях требует дальнейшего изучения.

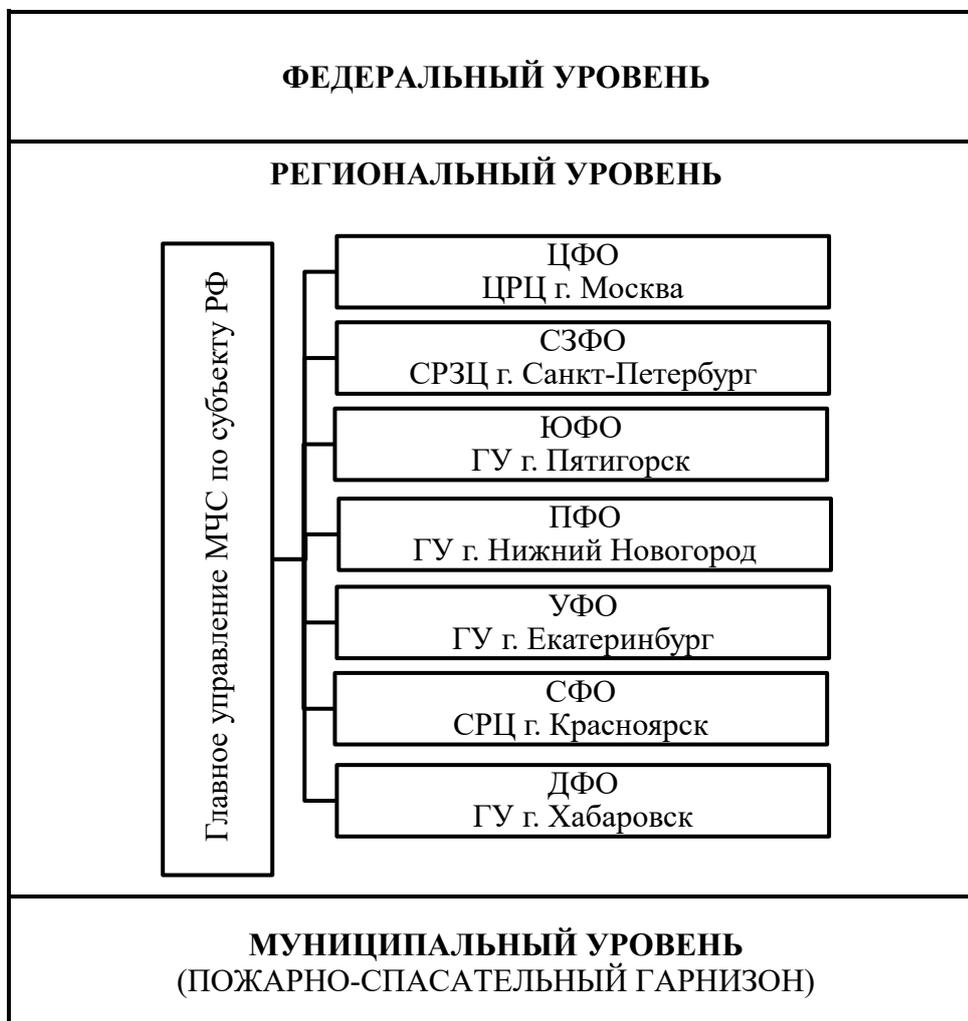


Рисунок В.1 – Трехуровневая структура управления МЧС России

Объект исследования – деятельность РТП при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях.

Предмет исследования – модели и алгоритмы поддержки принятия решения РТП при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях.

Цель исследования – повышение эффективности принятия решений РТП при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях, на основе методов теории полезности.

Для достижения поставленной цели в работе поставлены следующие **задачи**:

- провести комплексный анализ принятия управленческих решений при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях;
- разработать модель и алгоритмы, повышающие эффективность принятия решения РТП при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях;
- провести оценку эффективности разработанной модели и алгоритмов поддержки принятия решения.

Методы исследования. Для решения поставленных задач в работе использованы методы статистического, системного, корреляционного анализа, теории полезности, системно-динамического и натурального моделирования.

Научная новизна работы состоит в теоретическом обосновании и разработке новых моделей и алгоритмов поддержки управления руководителя тушения пожара при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях: модель поддержки принятия решений РТП на основе функции ценности, которая позволяет выбрать рациональный вариант ведения боевых действий по тушению пожара; алгоритмов поддержки принятия управленческих решений, повышающих эффективность планирования ведения боевых действий (алгоритм поддержки принятия решения РТП на основе оценки скорости роста площади пожара, алгоритм поддержки принятия решений РТП при фронтальном методе тушения пожара) с учетом моделей глубины тушения пожарным стволом, для обоснования сил и средств пожаротушения; обосновании

частных критериев эффективности и объединяющей эти критерии многомерной функции ценности варианта тушения пожара.

Теоретическая значимость заключается в том, что результаты, полученные автором в диссертационном исследовании, дополняют имеющиеся теоретические представления о теории принятия решений применительно к управлению пожарными подразделениями при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях.

Практическая значимость диссертационного исследования подтверждается тем, что:

– разработаны и внедрены новые алгоритмы поддержки принятия решений РТП для планирования ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях (алгоритм поддержки принятия решения РТП на основе оценки скорости роста площади пожара, алгоритм поддержки принятия решений РТП при фронтальном методе тушения пожара);

– разработаны и зарегистрированы две программы ЭВМ для поддержки принятия решения РТП;

– разработана методика проведения эксперимента по определению параметра глубины тушения пожара на горизонтальную поверхность;

– результаты научного исследования рекомендованы для использования при разработке документов предварительного планирования действий, при отработке боевых действий на учениях, при решении пожарно-тактических задач, а также при экспертизе и анализе результатов тушения пожара.

Полученные результаты позволяют увеличить точность вычислений по расчету сил и средств при планировании тушения пожаров в жилых зданиях в среднем на 9 %, уменьшить объем затраченного ОТВ в среднем в 1,45 раза, сократить количество боевых позиций личного состава, участвующего в тушении пожара в среднем в 1,4 раза.

Полученные научные результаты внедрены в деятельность второй пожарно-спасательной части двенадцатого пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС (г. Краснодар), Главного управления МЧС России по Самарской

области, в компанию по проектированию, монтажу и обслуживанию пожарной автоматики ООО «Аларма» г. Москва, в научно-исследовательскую работу и учебный процесс Академии Государственной противопожарной службы МЧС России (приложение Б).

На защиту выносятся:

- 1) модель поддержки принятия решения РТП на основе оценки функции ценности вариантов тушения пожара;
- 2) алгоритм поддержки принятия решения РТП на основе оценки скорости роста площади пожара;
- 3) алгоритм поддержки принятия решения РТП при фронтальном методе тушения пожара.

Степень достоверности результатов основана на корректности постановки задач, теоретической обоснованности сформулированных утверждений, использовании апробированного математического аппарата и данных статистики социально-экономических и технических параметров пожаров, соответствии результатов вычислительных и натуральных экспериментов реальным данным.

Научные результаты, выносимые на защиту, апробированы на следующих мероприятиях:

– XVII научно-технической конференции «Системы безопасности» СБ – 2008 Международного форума информатизации, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, 2008 г.;

– XVII международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем», ИПУ РАН, г. Москва, 2009 г.;

– XXI международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы пожарной безопасности», ФГУ ВНИИПО МЧС России, г. Балашиха, 2009 г.;

– третьей межведомственной научно-практической конференции «Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации», г. Екатеринбург, 2009 г.;

– второй ежегодной всероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития информационных технологий», ЦРНС, ПТ-2, г. Новосибирск, 2010 г.;

– XX научно-технической конференции «Системы безопасности» – СБ-2011, Академия ГПС МЧС России, г. Москва, 2011 г.;

– II межвузовском научно-практическом семинаре, посвященного 45-летию Ивановского института ГПС МЧС России «Надежность и долговечность машин и механизмов», г. Иваново, 2011 г.;

– XIII Международной научно-практической конференции «Инновационные исследования как локомотив развития современной науки: от теоретических парадигм к практике», НИЦ МИСИ, г. Москва, 2019 г.;

– IV всероссийской научно-практической конференции «Приоритетные направления развития Российской науки», г. Санкт-Петербург, 2020 г.;

– VII международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» Академия ГПС МЧС России, г. Москва, 2020 г.

Основные положения диссертации опубликованы в восемнадцати работах [81–98], шесть из которых опубликованы в периодических изданиях из перечня ВАК России.

Личный вклад автора. Личное участие соискателя заключается в разработке и научном обосновании модели и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений для планирования ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях, а также оценки их эффективности.

В личных и совместных публикациях результаты, связанные с анализом текущей ситуации в исследуемой области, разработкой модели и алгоритмов поддержки принятия управленческих решений на основе теории полезности, выполнены автором самостоятельно.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, списка сокращений и условных обозначений, двух приложений. Основное содержание работы изложено на 197 страницах текста, включает в себя 29 таблиц, 89 рисунков и список литературы из 171 наименования.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

1.1 Анализ динамики пожаров и материального ущерба от пожаров в жилых зданиях

Согласно официальной статистике, количество пожаров с каждым годом сокращается (рисунок 1.1) [22]. Это связано с усилением противопожарных мер, привлечением внимания общественности, улучшением информированности в области безопасности и другими факторами [48, 95]. В 2009 году вступил в законную силу Федеральный закон № 123 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности», реализация которого положительно повлияла на пожарную безопасность в стране [1].

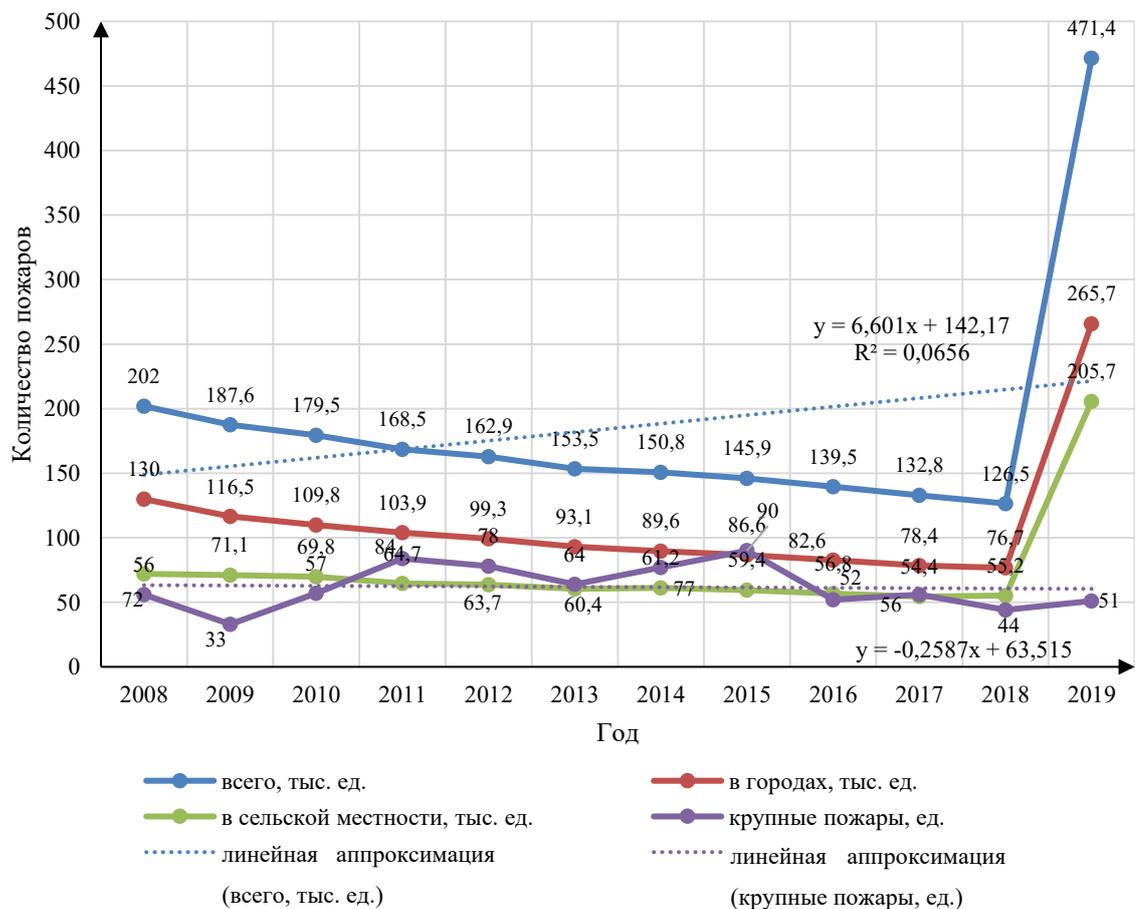


Рисунок 1.1 – Динамика пожаров в Российской Федерации в 2008–2019 гг.

Количество пожаров за последние годы характеризуется отрицательной динамикой, но несмотря на это, ломаная «крупные пожары в России» имеет скачкообразный вид (см. рисунок 1.1). Пиковой точкой крупных пожаров в России был 2015 год, не исключены и дальнейшие скачки, которые могут привести к значительной гибели людей и серьезному материальному ущербу [20, 95]. С 1 января 2019 года Приказом МЧС № 431 от 8 октября 2018 г. изменился порядок учета пожаров [11]. Согласно новому порядку, погибшими сейчас считают не только людей, умерших непосредственно на пожаре, но и в течение 30 дней после пожара, скончавшихся от его последствий. До введения изменений статистике подлежали лишь пожары и не учитывались загорания, не причинившие материальный ущерб, вред здоровью и жизни граждан.

Урбанизация и экономическое развитие страны увеличивает концентрацию пожарной нагрузки и материальный ущерб от пожаров [96]. На рисунке 1.2 приведена динамика ущерба от пожаров в Российской Федерации за период с 2008 по 2019 годы [22].

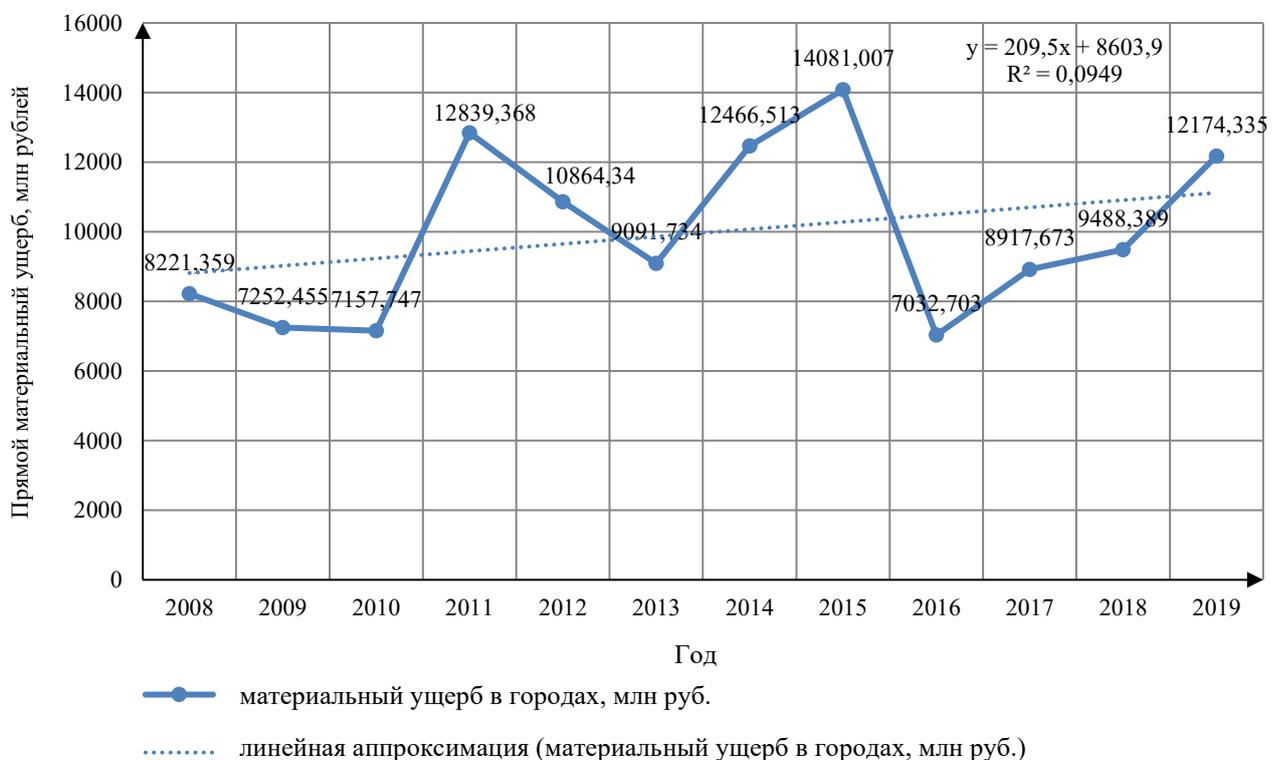


Рисунок 1.2 – Динамика материального ущерба от пожаров в Российской Федерации с 2008 по 2019 гг.

Анализ динамики пожаров, материального ущерба, наносимого пожарами, а также других показателей пожарной безопасности в Российской Федерации показал, что данные характеристики для разных субъектов страны различны. В некоторых регионах показатели пожарной безопасности значительно отличаются от средних по стране. В работах В.В. Белозерова [39], В.А. Малько [115], Д.В. Костюченко [111], рассматривается обстановка по пожарам и их последствиям в Московской области, республике Крым, на Юге России в целом и других субъектах страны. Однако в научных исследованиях авторами не рассматривается обстановка по пожарам в жилых зданиях в Краснодарском крае.

В данном субъекте Российской Федерации за последние годы ведется активное строительство. Динамика ввода в эксплуатацию жилых домов в период с 2008 по 2019 годы представлена на рисунке 1.3. За последние шесть лет Краснодарский край занимает второе место после Москвы и Московской области по объему ввода жилья в эксплуатацию. В связи с этим в диссертации произведен анализ обстановки по пожарам в Краснодарском крае, как одним значимых социально-экономических регионов страны.

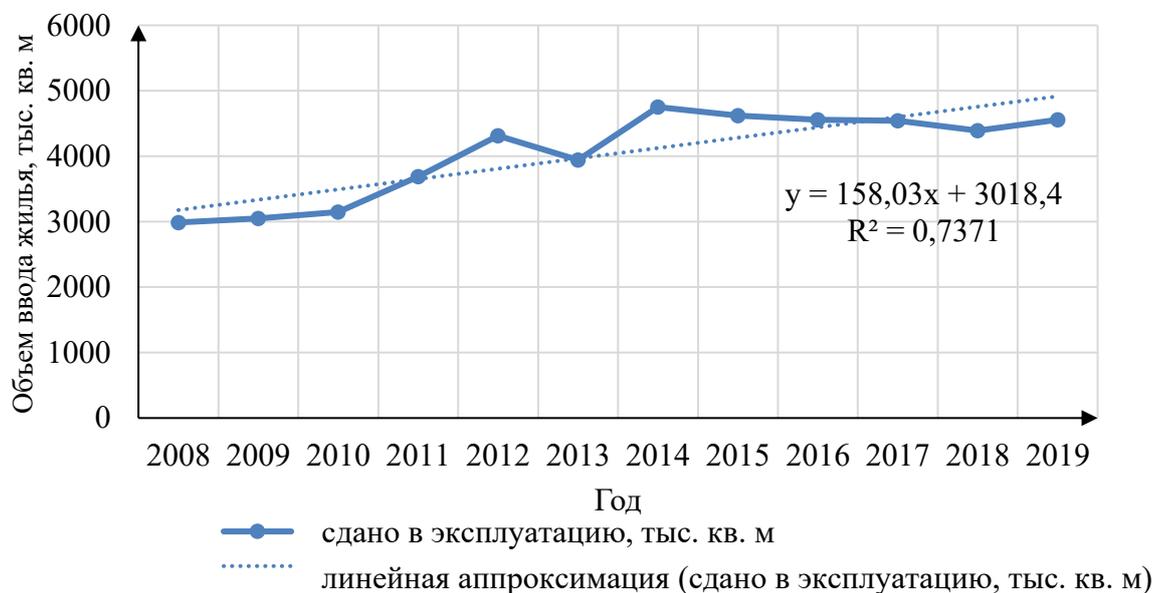


Рисунок 1.3 – Динамика ввода в эксплуатацию жилых домов в Краснодарском крае за 2008–2019 гг.

Динамика показателей материального ущерба от пожаров в Краснодарском крае приведена на рисунке 1.4 [22].

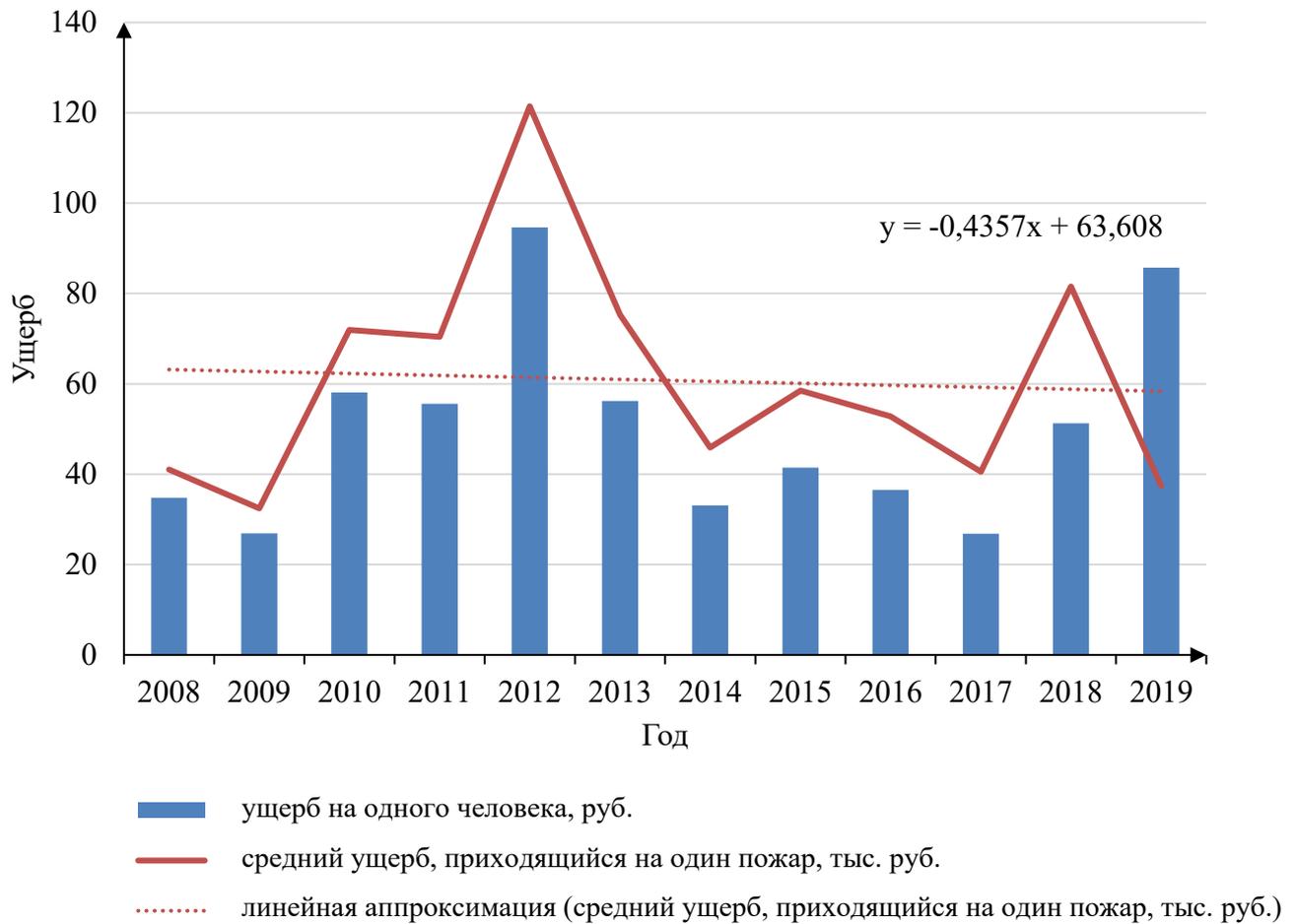


Рисунок 1.4 – Динамика материального ущерба от пожаров в Краснодарском крае за 2008–2019 гг.

Согласно докладу Международной ассоциации пожарно-спасательных служб (СТИФ), в Российской Федерации наибольшее значение такого показателя, как количество жертв пожаров на 100 тыс. населения – 6,4 человека (по данным за 2015 год) [48]. Данный показатель в 2016 году сократился до 6 человек 100 тыс. жителей. Для сравнения, количество жертв пожаров в США, в среднем 1 человек на 100 тыс. жителей, в Великобритании – 0,5; в Италии – 0,4; во Вьетнаме 0,1.

В таблице 1.1 приведены данные по пострадавшим от пожара людям в некоторых странах мира за 2015 год [48].

Таблица 1.1 – Обстановка с пожарами за 2015 год [48]

№ п/п	Страна	Население, тыс. чел.	Количество				Среднее число					
			Выездов	Пожаров	Погибших	Травмированных	На 100 чел.		Погибших		Травмированных	
							выездов	пожаров	100000 чел.	100 пожаров	100000 чел.	100 пожаров
1	США	321 419	33 602 500	1 945 500	3 250	15 700	104,5	6,1	1,0	0,2	4,9	0,8
2	Россия	146 270	Нет данных	145 900	9 405	10 962	Нет данных	1,0	6,4	6,4	7,5	7,5
3	Вьетнам	93 000	Нет данных	2 451	62	264	Нет данных	0,0	0,1	2,5	0,3	10,8
4	Франция	66 030	4 450 000	300 667	Нет данных	Нет данных	67,4	4,6	Нет данных	Нет данных	Нет данных	Нет данных
5	Великобритания	61 370	616 405	191 647	325	9 210	10,0	3,1	0,5	0,2	15,0	4,8
6	Италия	61 000	813 678	234 675	219	1 252	13,3	3,8	0,4	0,1	2,1	0,5
7	Украина	42 845	194 764	79 640	1 948	1 357	4,5	1,9	4,5	2,4	3,2	1,7
8	Польша	38 454	489 881	184 817	512	Нет данных	12,7	4,8	1,3	0,3	Нет данных	Нет данных
9	Румыния	20 121	411 354	26 247	646	818	20,4	1,3	3,2	2,5	4,1	3,1
10	Казахстан	17 500	Нет данных	14 452	386	963	Нет данных	0,8	2,2	2,7	5,5	6,7

При проведении кластерного анализа данных статистики по числу пожаров и гибели людей в разных странах мира (см. таблицу 1.1), также была выявлена положительная динамика. Результаты кластеризации иерархической кластеризации и кластеризация методом «к-средних» с метрикой квадрат евклидова расстояния позволили выделить две группы стран (обозначены красными и зелеными точками на рисунке 1.5) [96].

Результаты кластерного анализа показывают, что страны с меньшей степенью автоматизации процессов пожаротушения и применения систем поддержки принятия решений при организации тушения пожаров (Украина, Молдавия, Латвия и др.) характеризуются повышенными показателями количества пожаров и гибели людей [96].

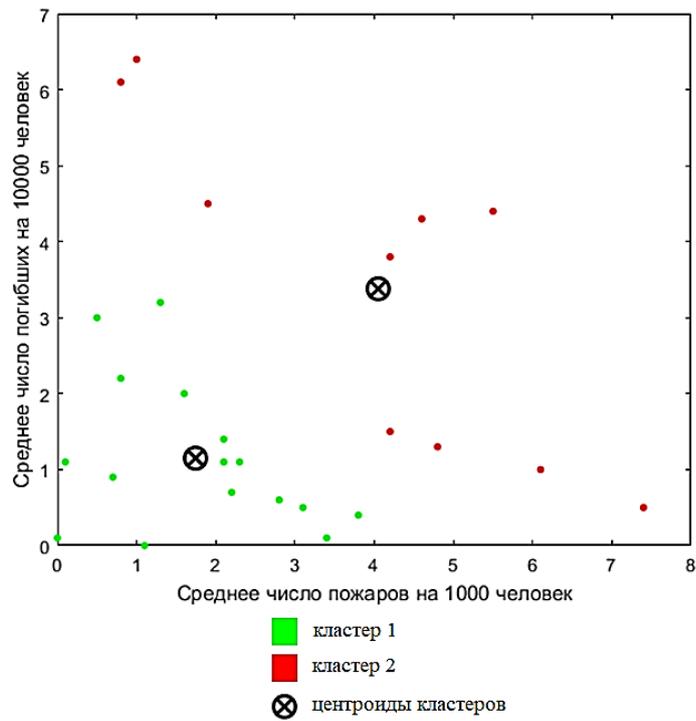


Рисунок 1.5 – Результаты кластеризации стран по числу пожаров и гибели людей

Проанализируем, сколько людей погибает при 1 минуте пожара. На рисунке 1.6 и в таблице 1.2 представлена статистика количества погибших людей по времени прибытия первого пожарного подразделения [22].

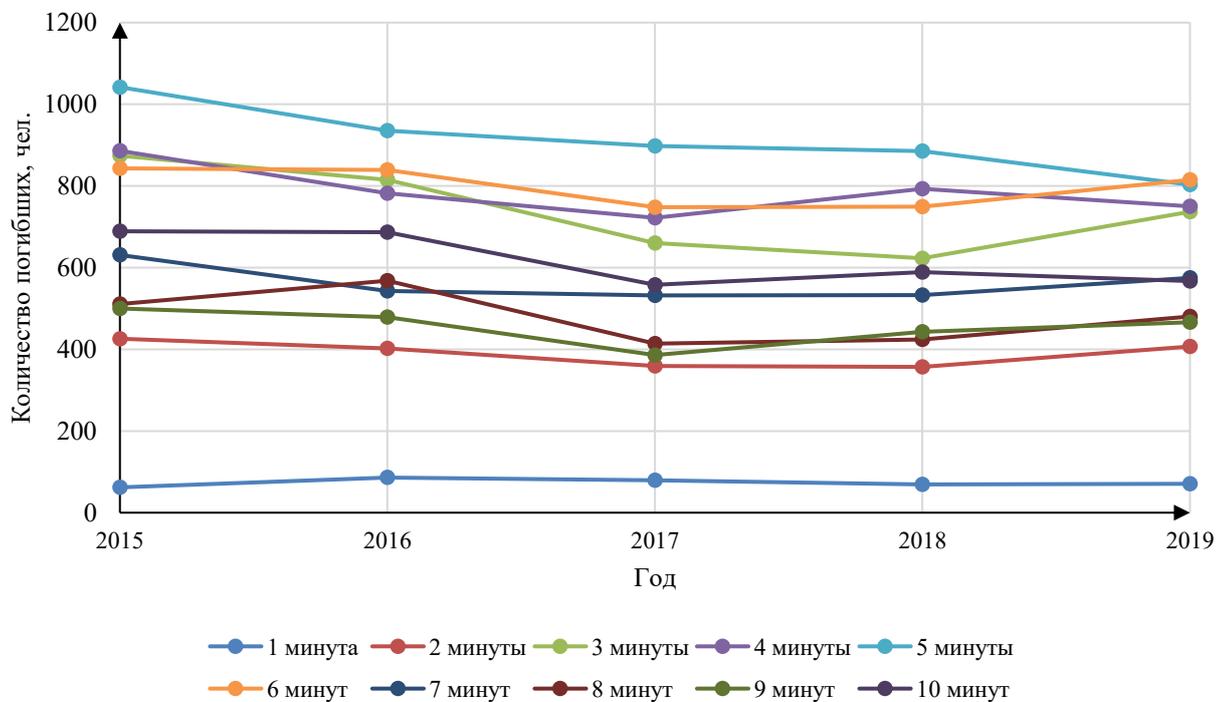


Рисунок 1.6 – Статистика гибели людей по времени прибытия первого пожарного подразделения

Таблица 1.2 – Статистика гибели людей по времени прибытия первого пожарного подразделения

Время прибытия	Погибло людей, чел.					Среднее значение	Δ
	2015	2016	2017	2018	2019		
1	62	86	79	69	71	73,4	
2	426	402	359	357	407	390,2	316,8
3	874	815	660	623	737	741,8	351,6
4	886	782	722	793	750	786,6	44,8
5	1042	935	898	885	803	912,6	126
6	843	839	748	749	815	798,8	-113,8
7	631	543	532	533	575	562,8	-236
8	511	568	414	424	480	479,4	-83,4
9	500	479	386	443	466	454,8	-24,6
10	689	687	558	589	567	618	163,2
Среднее значение	–						60,511

Так как значения в строках таблицы 1.2 отличаются на 1 минуту, вычтем из средних значений строк, начиная со строки, соответствующей 2 минутам, предыдущие значения и найдем среднее значение полученного количества. Таким образом, исходя из допущения, что остальные оперативные показатели ведения боевых действий примерно одинаковы, можно сделать вывод, что за 1 минуту пожара в среднем погибает 61 человек.

Согласно официальной статистике РФ о состоянии пожарной безопасности, в городах происходит около 59,0 % от общего количества пожаров. Чаще всего объектами возникновения пожаров как в России, так и в других странах становятся жилые здания, пожары в которых происходит наибольшая гибель людей [22, 48]. Не прекращающийся процесс урбанизации актуализирует проблему повышения эффективности противопожарной безопасности в городах [96].

Несмотря на то, что количество пожаров в жилых зданиях сократилось со 105 тыс. в 2014 году до 93,6 тыс. в 2018 году, доля их в общем количестве пожаров увеличивается. Если в 2014 году удельный вес пожаров в жилых зданиях составлял 68,77 % от их общего количества, то к 2018 году – уже 71,07 %. Динамика пожаров с учетом объектов пожаров представлена на рисунке 1.7.

Динамика пожаров в Краснодарском крае в период с 2008 по 2019 годы представлена на рисунке 1.8 [22, 48].



Рисунок 1.7 – Обстановка с пожарами в России по видам объектов пожаров за 2008–2019 гг.

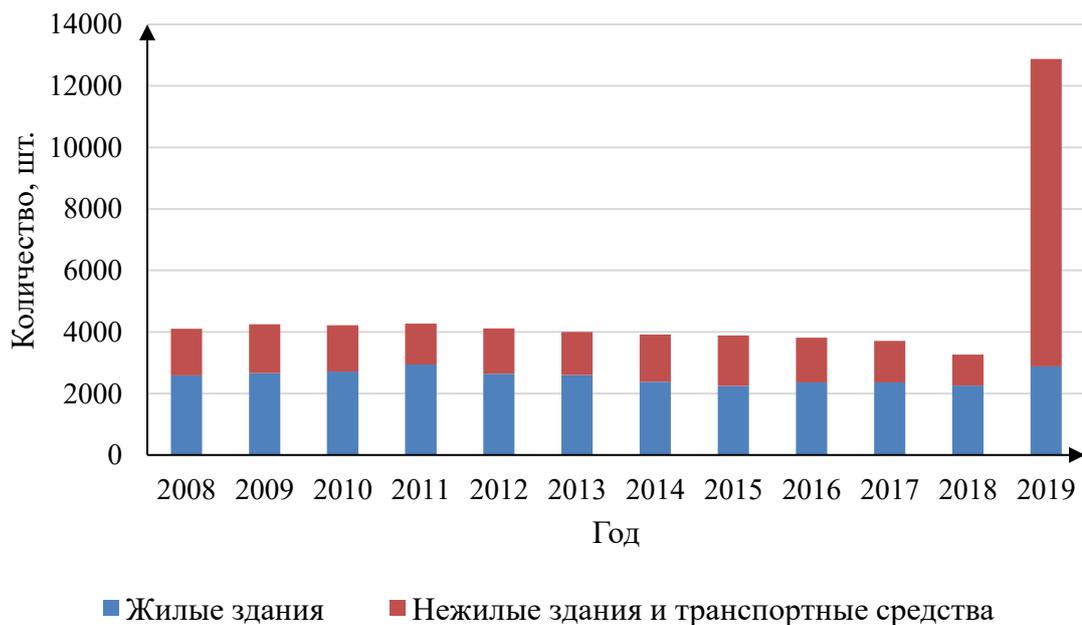


Рисунок 1.8 – Динамика пожаров в Краснодарском крае с 2008 по 2019 гг.

Динамика пожаров в России в жилых зданиях в зависимости от этажности и динамика пожаров, произошедших в зданиях различной огнестойкости, приведена на рисунках 1.9 и 1.10 [22].

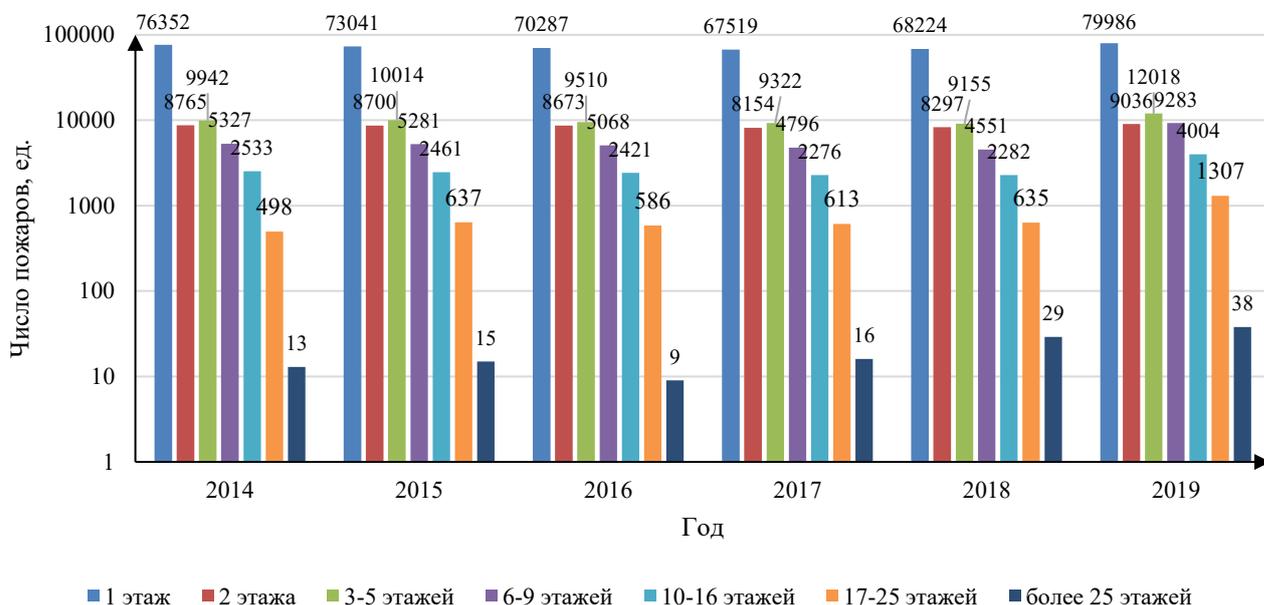


Рисунок 1.9 – Динамика пожаров в России в жилом секторе в зависимости от этажности зданий

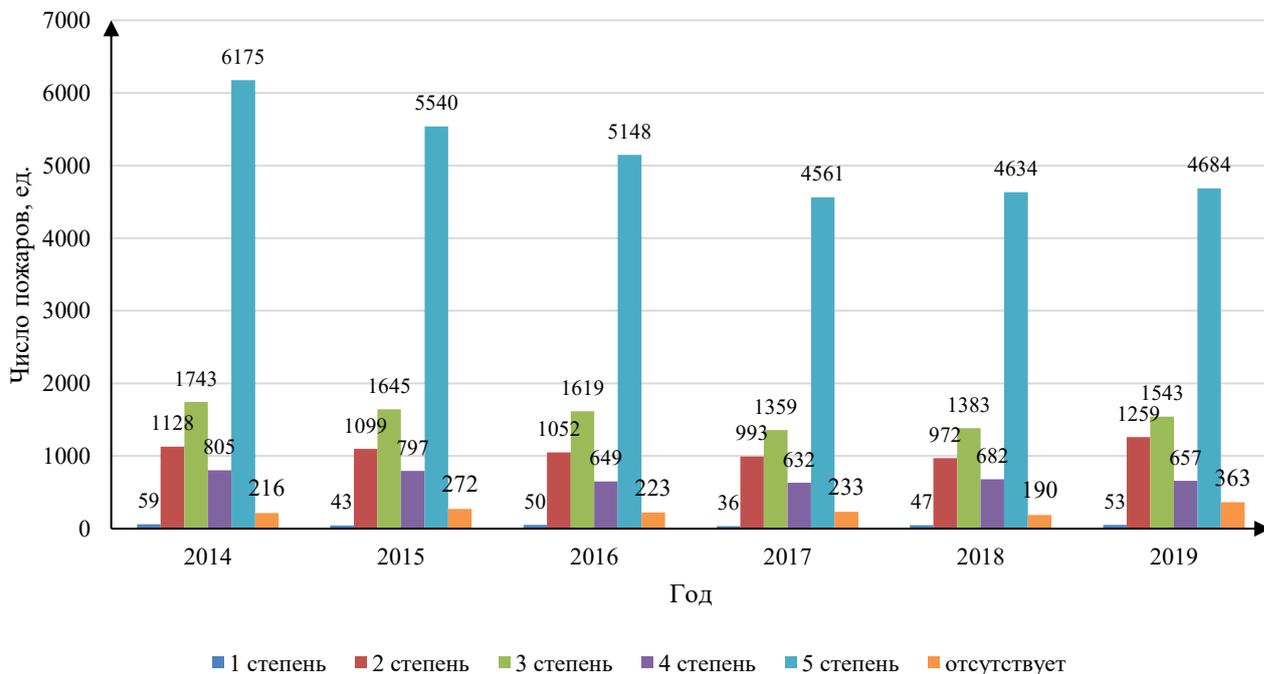


Рисунок 1.10 – Динамика пожаров в России в зависимости от степени огнестойкости зданий

Динамика гибели людей от пожаров в России в зависимости от этажности и степени огнестойкости зданий приведена на рисунках 1.11 и 1.12 [22].

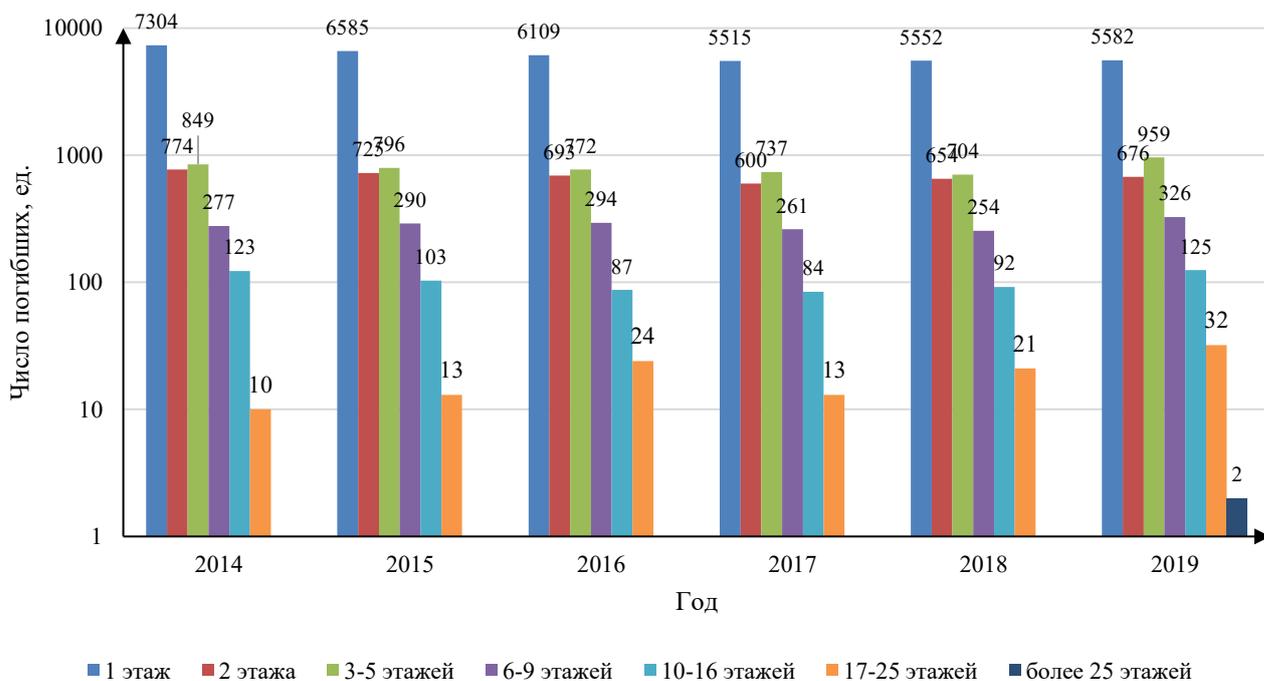


Рисунок 1.11 – Динамика гибели людей от пожаров в России
в зависимости от этажности зданий

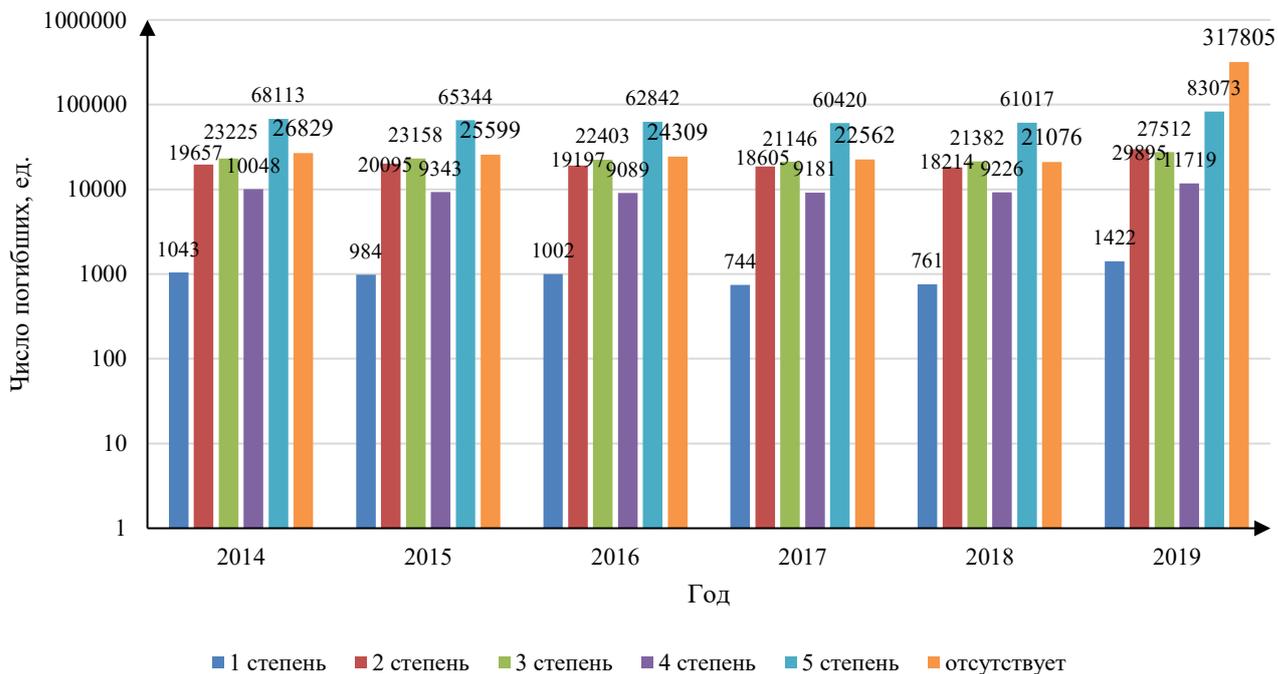


Рисунок 1.12 – Динамика гибели людей от пожаров в России
в зависимости от степени огнестойкости зданий

В таблице 1.3 приведена динамика пожаров в зависимости от этажности здания за период с 2012 по 2018 год [22].

Таблица 1.3 – Динамика пожаров в Краснодарском крае в зависимости от этажности

Этажность на котором возник пожар	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
	Количество пожаров, ед.						
Цокольный	16	6	10	3	4	16	8
Подвальный	9	7	14	8	11	21	5
Мансардный	14	15	12	8	10	9	12
Технический	1	2	1	-	1	1	-
Подземный	1		-	-	-	1	1
Чердачный	216	140	127	120	109	94	66
0	56	72	67	65	35	19	5
1	2044	2045	1867	1730	1911	1916	1907
2	124	118	121	120	117	128	102
3	40	59	43	54	39	46	43
4	37	46	38	36	27	31	38
5	29	32	29	40	38	38	19
6	8	16	13	15	12	6	8
7	11	15	13	19	19	6	9
8	8	4	6	1	4	4	7
9	7	9	9	7	6	5	7
10-17	12	5	11	7	7	8	9
10	4	2	4	3	-	4	4
11	1	-	1	1	4	-	-
12	3	1	3	2	1	3	1
13	-	-	1	1	-	-	1
14	1	-	-		1	-	-
15	1	1	2	-	-	1	1
16	2	1	-	-	1	-	
17	-	-	-	-	-	-	2
Более 17 этажей	-	-	-	-	-	-	1

Если не учитывать статистику по одноэтажным жилым зданиями, к которым в большинстве случаев относятся многоквартирные жилые дома 5 степени огнестойкости, то по анализу рисунков 1.8–1.12 и таблице 1.3 можно сделать вывод – наибольшее количество пожаров и гибель людей происходят в 2–17 этажных жилых зданиях. Для таких пожаров характерно распространение огня с постоянным фронтом. В связи с этим при разработке моделей и алгоритмов рассматривается данная категория зданий различной степени огнестойкости.

При анализе планировок домов серий К-7, 335, 480, 464, 438, наиболее распространенных в Краснодарском крае, было выявлено, что наиболее вероятная площадь пожара составляет от 5 до 30 м². Такие выводы были сделаны в связи с

тем, что площадь наименьшего помещения в таких домах составляет 5 м² (кухня), а наибольшая площадь равна площади комнаты, для случая, когда в квартире отсутствуют межкомнатные перекрытия, или межкомнатные перекрытия деревянные.

Анализ динамики пожаров и материального ущерба от них в жилых зданиях показывает, что пожары в жилых зданиях представляют реальную угрозу национальной безопасности страны [48, 95]. Таким образом, обеспечение пожарной безопасности и повышение эффективности процесса управления пожарным подразделением при планировании ведения боевых действий на пожаре – важное направление развития в Российской Федерации.

Статистика по числу пожаров и гибели населения от пожаров не описывает полную картину пожарной опасности, так как различные субъекты страны сильно отличаются по социально-экономическим показателям (площадь территории, численность населения, инфраструктура и др.). Для комплексной характеристики опасностей, которые могут угрожать сложным объектам защиты (страна в целом, регион страны, город, включая их предприятия, жилые и промышленные здания, инфраструктура) воспользуемся теорией интегральных пожарных рисков, предложенной Н.Н. Брушлинским, С.В. Соколовым, Е.А. Клепко, Ю.Н. Шебеко [20, 21, 23, 24, 46]. Проанализируем основные пожарные риски в Российской Федерации, ЮФО и Краснодарском крае. В качестве пожарных рисков используем следующие показатели, приведенные в таблице 1.4 [24, 115].

Таблица 1.4 – Пожарные риски

№ п/п	Обозначение	Наименование	Единица измерения
Основные			
1	P_1	риск столкновения с пожаром (опасными факторами пожара)	пожар/10 ³ чел. в год
2	P_2	риск гибели при пожаре	жертва/10 ² чел. в год
3	P_3	риск гибели от пожара	жертва/10 ⁵ чел. в год
Характеризующие материальные потери			
4	P_4	риск уничтожения зданий от пожара	унич. зданий/пожар
5	P_5	риск прямого материального ущерба (от пожара)	ден. единица/пожар

Таблица 1.5 – Основные пожарные риски в Краснодарском крае за период 2008–2018 гг.

Показатель	Количественное значение показателя по годам											
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Число пожаров	4338	4252	4223	4168	4119	4008	3915	3884	3814	3713	3522	12815
Число погибших	421	372	344	334	329	295	289	285	278	236	226	234
Численность населения	5121799	5141852	5226647	5229998	5284464	5330181	5404273	5453329	5513804	5570945	5603420	5648235
P_1	0,847	0,827	0,808	0,797	0,779	0,752	0,724	0,712	0,692	0,666	0,629	0,923
P_2	9,705	8,749	8,146	8,013	7,987	7,360	7,382	7,338	7,289	6,356	6,417	6,782
P_3	0,822	0,723	0,658	0,639	0,623	0,553	0,535	0,523	0,504	0,424	0,403	0,489

Таким же образом выполнены расчеты основных рисков в РФ и ЮФО. Результаты вычислений приведены на рисунках 1.13, 1.14, 1.15.

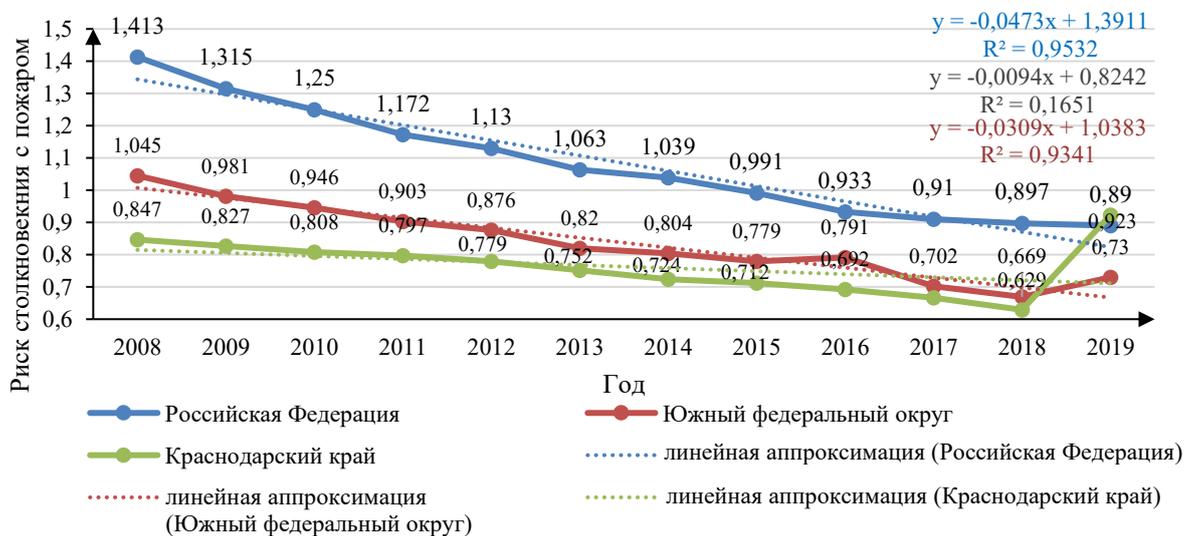


Рисунок 1.13 – Риск столкновения с пожаром (РФ, Краснодарский край, ЮФО)

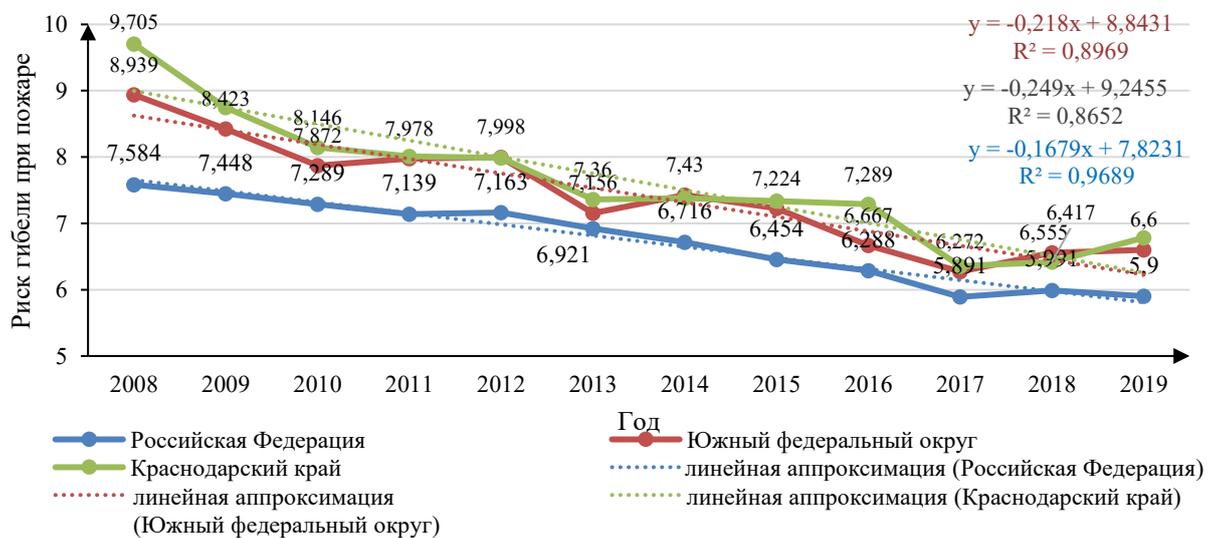


Рисунок 1.14 – Риск гибели при пожаре (РФ, Краснодарский край, ЮФО)

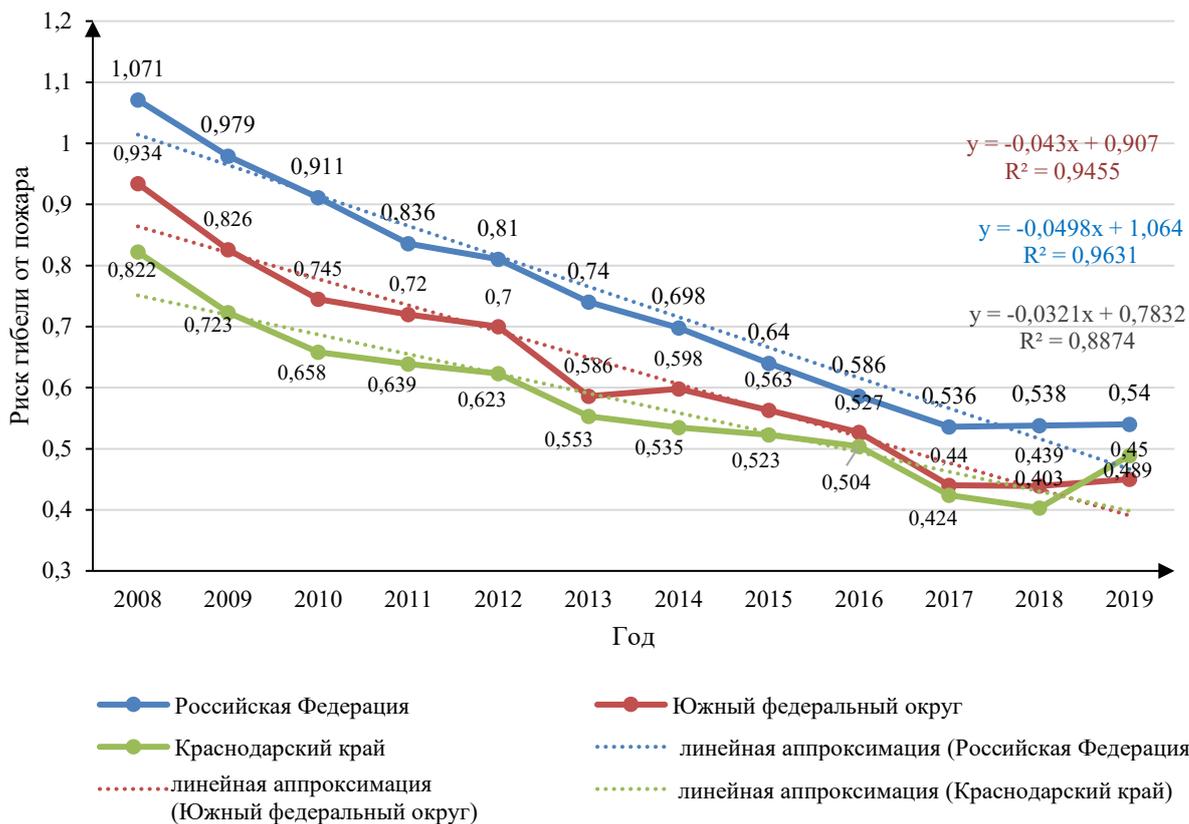


Рисунок 1.15 – Риск гибели от пожара (РФ, Краснодарский край, ЮФО)

На рисунках 1.13–1.15 тенденция основных пожарных рисков в Краснодарском крае, ЮФО и в РФ в целом отрицательная. Полученные результаты для ЮФО и РФ совпадают с исследованиями В.А. Малько [115]. Риск столкновения с пожаром (опасными факторами пожара) в среднем уменьшается на 3,4 % в год. Риск гибели при пожаре в среднем уменьшается на 2,75 % в год. Риск гибели от пожара уменьшается в среднем на 7,7 % в год.

На рисунках 1.13, 1.15 риск столкновения с пожаром и риск гибели от пожара в Краснодарском крае меньше, чем в ЮФО и в среднем по РФ, что говорит о более высоком уровне системы пожарной безопасности в данном субъекте страны.

Риск гибели при пожаре, приведенный на рисунке 1.14, выше, чем в ЮФО и в среднем по стране. Это подтверждает необходимость повышения эффективности управления пожарным подразделением при планировании и отработке боевых действий для уменьшения пожарной опасности.

Следующим важным шагом является устранение пожара и очагов возгорания в кратчайший срок, а также повышение эффективности процесса поддержки управления пожарным подразделением. Эффективность поддержки управления пожарным подразделением оценивают по показателям оперативного реагирования, к которым относят временные показатели прибытия на пожар, его локализации, тушения и ликвидации последствий. Ошибки, допускаемые РТП при принятии им решений, отрицательно влияют на эффективность боевых действий по тушению пожара. Таким образом, для повышения эффективности процесса поддержки управления на пожаре, необходимо минимизировать возможные ошибки при принятии решения РТП.

Проанализируем показатели оперативного реагирования подразделений пожарной охраны и ошибки, допускаемые при пожаротушении.

1.2 Анализ показателей оперативного реагирования подразделений пожарной охраны и ошибок, допускаемых при тушении пожаров в жилых зданиях

В настоящее время существует определенный комплекс действий, определенный Боевым уставом подразделений пожарной охраны и другими руководящими документами, которому следует РТП [7, 8, 15]. Руководящие документы постоянно совершенствуются, что ускоряет процесс реагирования на возгорание. На рисунке 1.16 приведена динамика реагирования пожарной охраны в период с 2008 по 2019 годы [22].

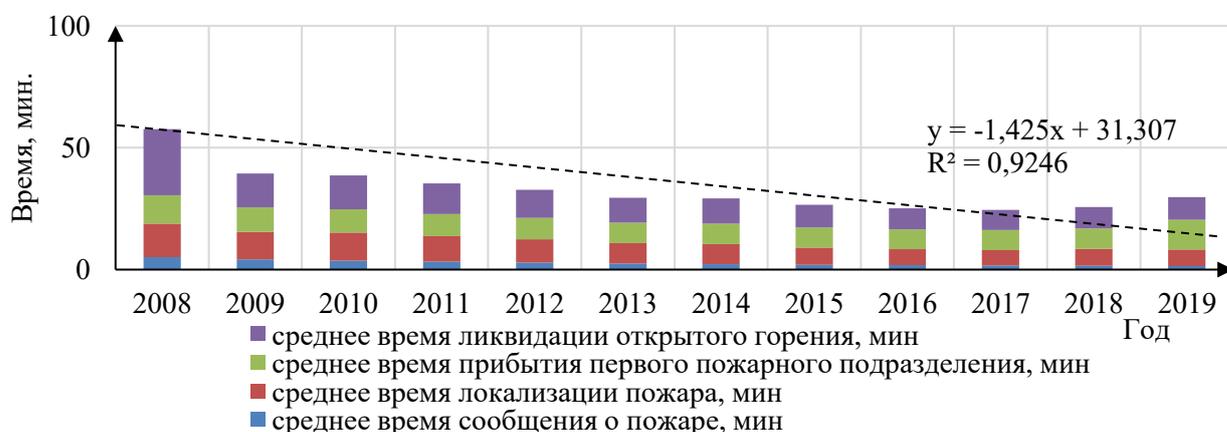


Рисунок 1.16 – Показатели оперативного реагирования подразделений пожарной охраны за 2008–2019 гг. в среднем по РФ

На рисунке 1.17 приведена динамика реагирования пожарной охраны в Краснодарском крае в период с 2008 по 2019 годы [22].

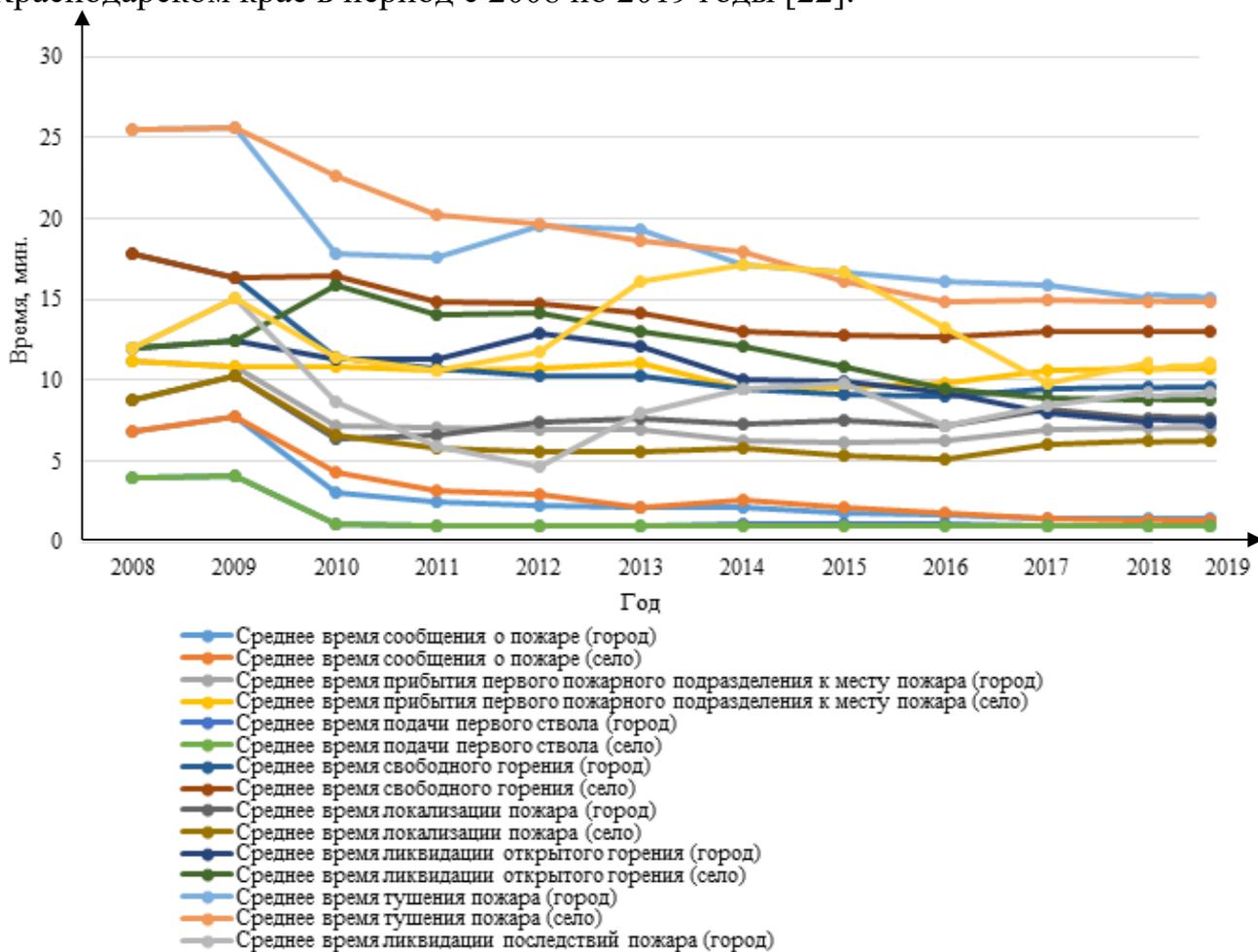


Рисунок 1.17 – Динамика оперативного реагирования подразделений пожарной охраны в Краснодарском крае охраны за 2008–2019 гг.

Среднее время сообщения о пожаре в пожарную охрану в целом по РФ и в Краснодарском крае имеет отрицательную динамику и снижается в среднем на 9,068 % в год. За 2017 год произошло его сокращение на 6,59 %. Сокращение времени сообщения о пожаре по городам и по поселкам городского типа в среднем составляет 7,93 % в год. В течение 2017 года значение данного показателя сократилось на 3,92 %. По сельской местности показатель сокращается в среднем на 10,70 % в год. В течение 2017 года значение времени сообщения о пожаре снизилось в среднем на 9,63 % [22].

На рисунке 1.18 приведено распределение пожаров в РФ по количеству личного состава, участвующего в тушении пожара [22].

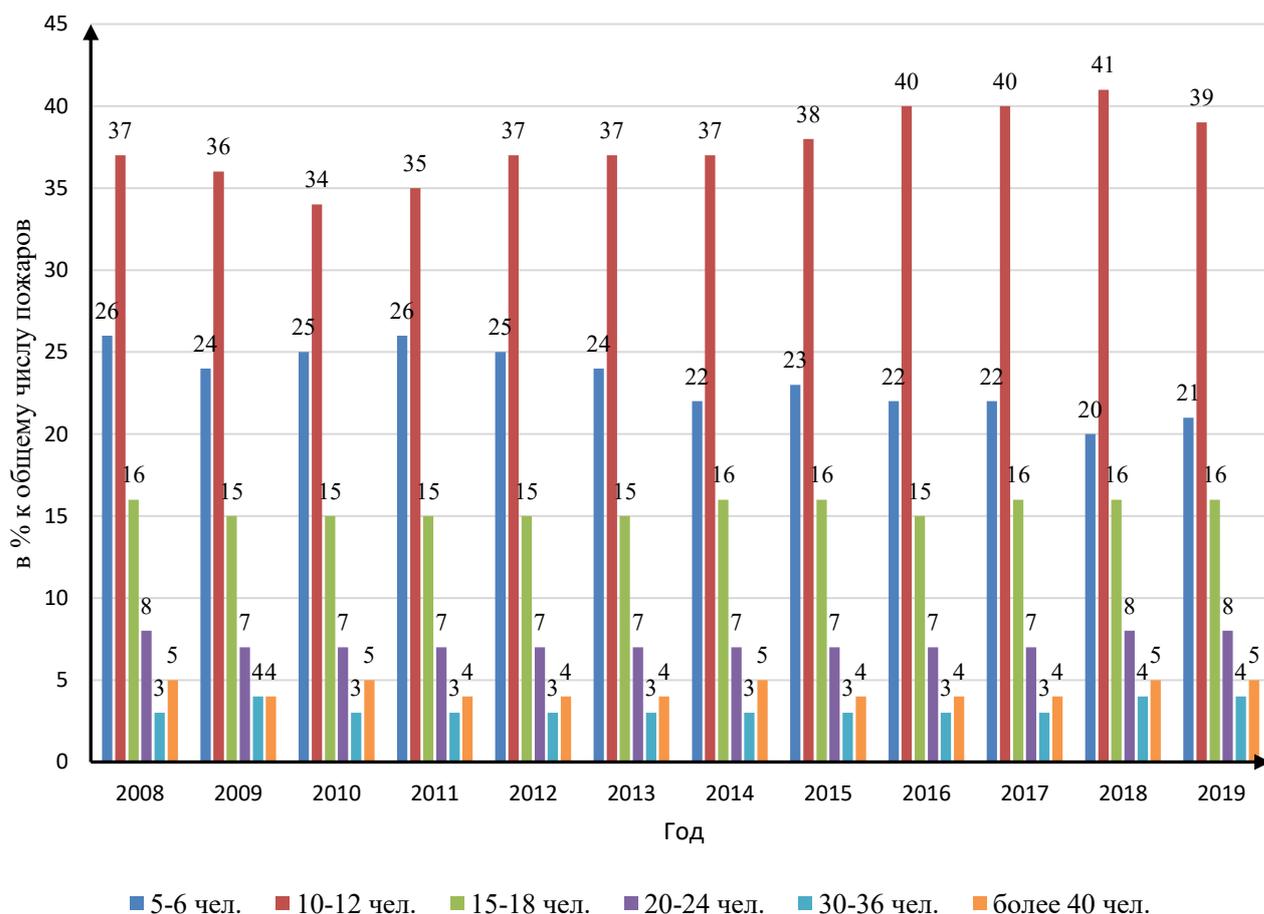


Рисунок 1.18 – Распределение пожаров в РФ количеству личного состава, участвующего в тушении пожара за 2008–2019 гг.

Анализ рисунка 1.18 позволяет сделать вывод, что количество личного состава, участвующего в тушении пожара не меняется более чем на 15 %.

На рисунке 1.19 приведено среднее время тушения пожаров в Краснодарском крае. В период с 2008 по 2019 годы среднее время тушения пожаров в городе уменьшилось на 5 минут, а в сельской местности на 2,5 минуты.

Показатели оперативного реагирования подразделений, используются для анализа эффективности деятельности подразделений пожарной охраны по реагированию и тушению пожаров. В отличие от статистических показателей количества пожаров и загораний, характеризующих эффективность деятельности пожарной охраны в целом, показатели оперативного реагирования направлены в первую очередь на оценку готовности подразделений пожарной охраны к тушению пожаров [131].

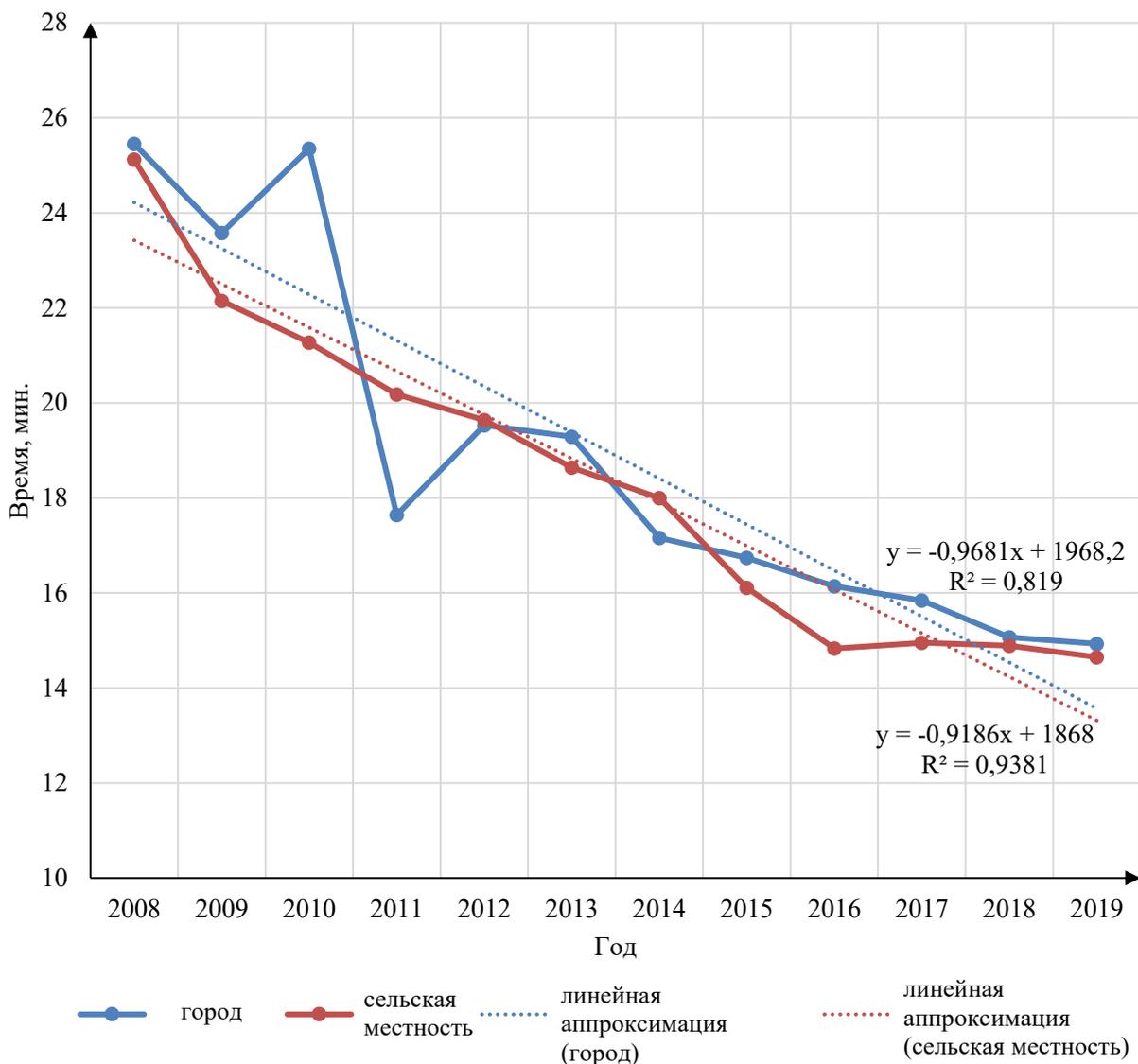


Рисунок 1.19 – Среднее время тушения пожара в Краснодарском крае за 2008–2019 гг.

В силу высокой социальной и государственной значимости повышения эффективности работы служб пожаротушения, возникает необходимость проведения анализа наиболее типичных ошибок, возникающих при пожаротушении. Согласно данным, которые приводят в своих исследованиях А. Н. Григорьев [67], М. В. Бондаренко [50], Ю. И. Синешук [116], наиболее типичными ошибками в процессе проведения оперативных действий во время тушения пожара выступают: неэффективное использование пожарной техники и оборудования, ошибочный выбор решающего направления, некачественно проведенная разведка (рисунок 1.20).

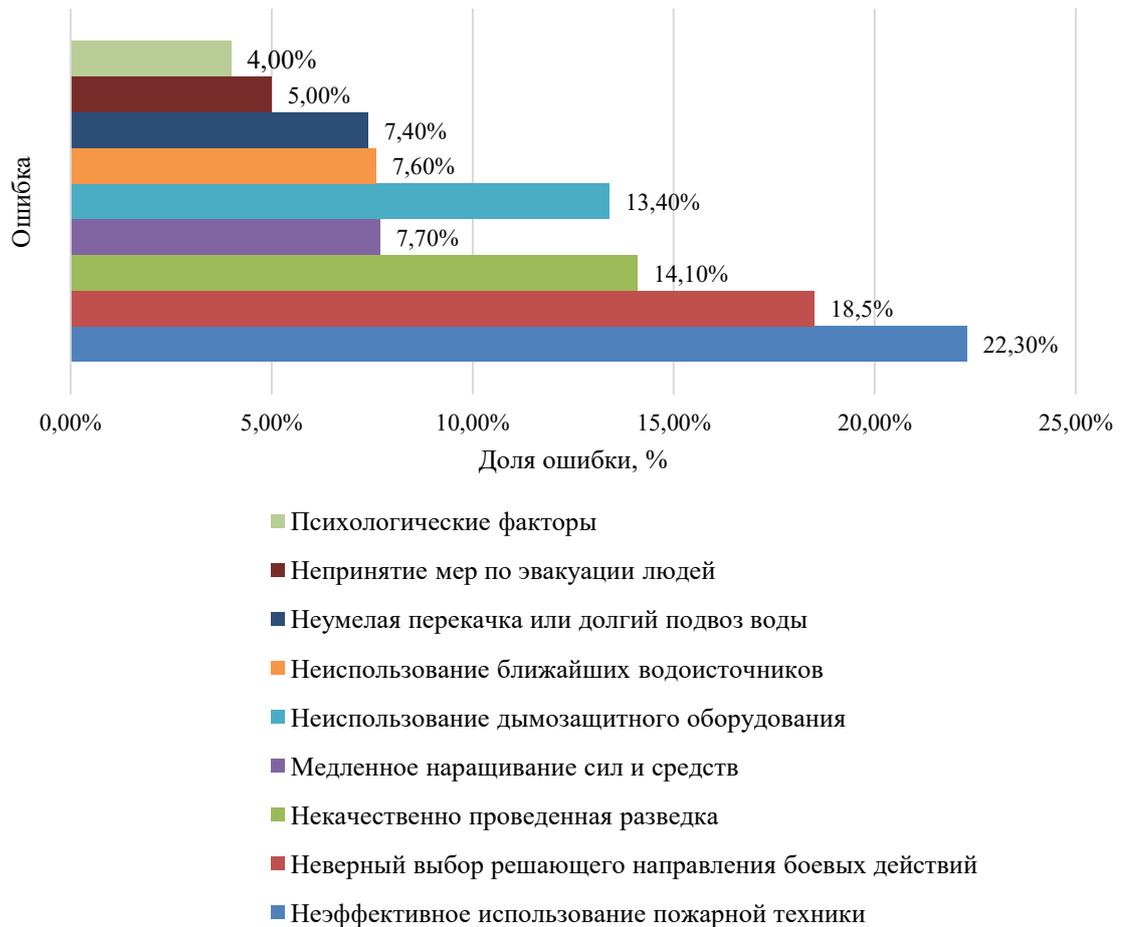


Рисунок 1.20 – Наиболее распространенные ошибки, допускаемые РТП при тушении пожаров [147]

Статистика гибели пожарных при ведении боевых действий по тушению пожаров в России приведена на рисунке 1.21 [22].

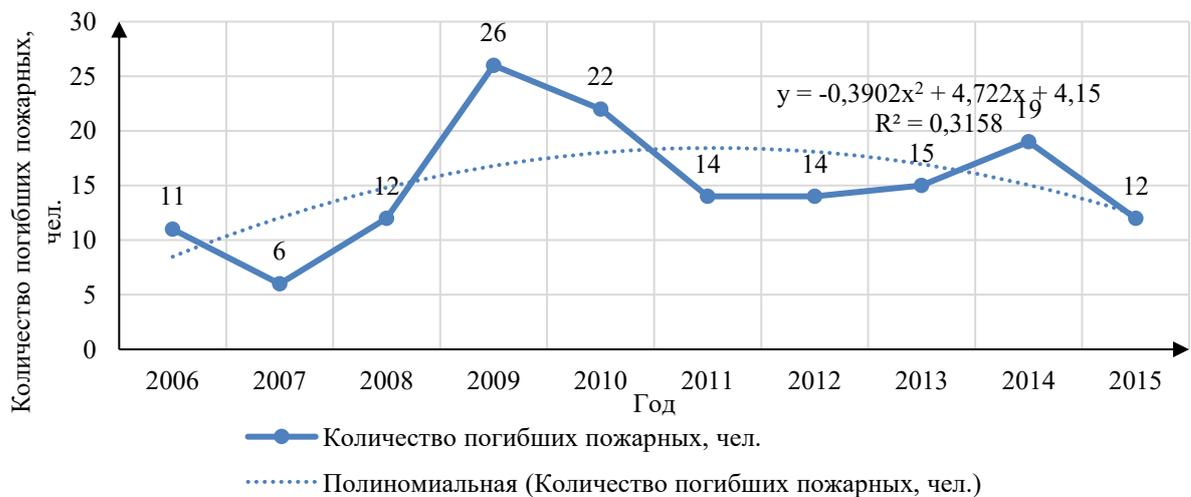


Рисунок 1.21 – Количество погибших пожарных при ведении боевых действий по тушению пожаров в РФ за 2006-2015 гг.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что ошибки при тушении пожаров в жилых зданиях в Российской Федерации и, в частности, в Краснодарском крае, связанные с принятием неверного управленческого решения по использованию пожарной техники и оборудования, проведению разведки, выбору решающего направления, занимают существенную долю от всех ошибок, допускаемых РТП. Это доказывает необходимость повышения эффективности процесса поддержки принятия решений РТП.

Разработка новых моделей и алгоритмов поддержки принятия решений РТП при планировании боевых действий по тушению пожара в жилых зданиях позволит повысить обоснованность принимаемых им решений, уменьшит долю ошибок, тем самым повысит эффективность управления ведением боевых действий по локализации и ликвидации пожара.

Выполним анализ основных характеристик развития пожара в жилых зданиях и параметров его тушения.

1.3 Анализ основных характеристик развития пожара и параметров его тушения

Пожар, как горение характеризуется площадью горения. Площадь пожара характеризуется линейной скоростью распространения пламени по поверхности материала (вещества) и фигурной, геометрической распространяемостью [78]. Для определения размеров площади пожара S_{Π} используются интегральные зависимости, в которых интегрируемой величиной по времени является скорость роста площади, зависящая от линейной скорости распространения пламени $v_{\text{л}}$:

$$S_{\Pi} = \int_0^t V_{S_{\Pi}}(V_{\text{л}}(t), x_1, \dots, x_n) dt, \quad (1.1)$$

где $V_{S_{\Pi}}$ – скорость роста площади пожара, м²/мин;

$V_{\text{л}}$ – линейная скорость распространения пламени, м/мин;

$x_i, i = \overline{1, n}$ – другие параметры, от которых зависит скорость роста площади пожара в зависимости от вида пожара;

t – время от начала пожара, мин.

На начальном этапе горения в помещении, когда площадь горения меньше площади помещения, при прямоугольной форме пожара с постоянным фронтом, скорость роста площади пожара $V_{S_{\text{п}}} = n \cdot a \cdot V_{\text{л}}$, выражение (1.1) примет следующий вид:

$$S_{\text{п}} = \int_0^t V_{S_{\text{п}}}(V_{\text{л}}(t), a, n) dt = \int_0^t n \cdot a \cdot V_{\text{л}}(t) dt, \quad (1.2)$$

где a – величина фронта пожара, м;

$V_{\text{л}}$ – линейная скорость распространения пламени, м/мин;

n – количество направлений развития пожара по горизонтали.

При таких же условиях при горении с постоянным фронтом, при развитии пожара в одном направлении ($n = 1$) и постоянной линейной скоростью $V_{\text{л}} = \text{const}$ распространения пламени, выражение (1.1) примет следующий вид:

$$S_{\text{п}} = \int_0^t V_{S_{\text{п}}}(V_{\text{л}}, t) dt = \int_0^t n \cdot a \cdot V_{\text{л}} dt, \quad (1.3)$$

где a – величина фронта пожара, м;

$V_{\text{л}}$ – линейная скорость распространения пламени, м/мин;

t – время от начала пожара, мин.

При круговой форме пожара с постоянным фронтом, так как скорость роста площади пожара $V_{S_{\text{п}}} = \pi \cdot V_{\text{л}}^2 \cdot t^2$, выражение (1.1) примет следующий вид:

$$S_{\text{п}} = \int_0^t V_{S_{\text{п}}}(V_{\text{л}}, t) dt = \int_0^t \pi \cdot V_{\text{л}}^2 \cdot t^2 dt, \quad (1.4)$$

где $V_{\text{л}}$ – линейная скорость распространения пламени, м/мин.

Графики зависимости линейной скорости распространения пламени от времени при фронте пожара $a = 3$ м, постоянной линейной скорости распространения пламени и скорости распространения пламени, линейно увеличивающейся во времени по закону $V_{\text{л}}(t) = k \cdot t$, при $k = 0,015$, $k = 0,05$, и при круговой форме пожара, приведены на рисунке 1.22.

На рисунке 1.22 изображены графики для круговой и прямоугольной формы распространения пожара. Площадь под данными функциями будет равна площади пожара.

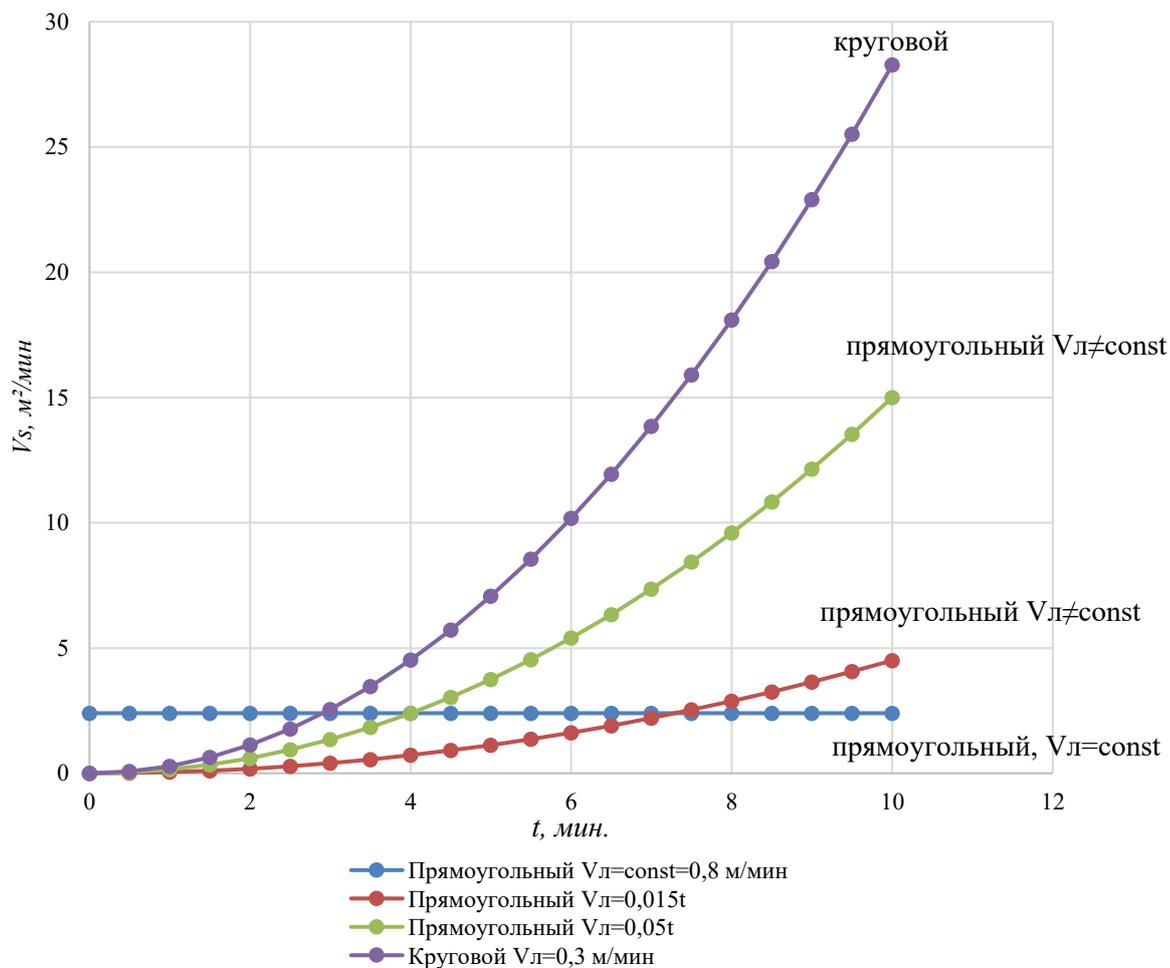


Рисунок 1.22 – Линейная скорость распространения пламени при прямоугольном и круговом виде пожара

Площадь ликвидации горения одним водяным пожарным стволом можно определить следующим образом [90, 91]:

$$S_{ЛГ} = \frac{Q_{СТ}}{I_{ТР}}, \quad (1.5)$$

где $Q_{СТ}$ – расход ПС, л·с⁻¹;

$I_{ТР}$ – требуемая интенсивность ликвидации горения, л·с⁻¹·м⁻².

Таким образом, условием локализации пожара может служить следующее неравенство:

$$V_{S_{ЛГ}} > V_{S_{П}},$$

где $V_{S_{ЛГ}} = \frac{S_{ЛГ}}{t}$ – скорость ликвидации площади горения.

В качестве оценки успешной локализации пожара может выступить следующее неравенство:

$$\frac{dS_{лр}}{dt} > \frac{dS_{п}}{dt}, \quad (1.6)$$

где $S_{лр}$ – площадь ликвидации горения;

$S_{п}$ – площадь пожара.

Данную оценку для условий начального этапа горения в жилом помещении (при площади горения меньше площади помещения) при прямоугольной форме пожара и круговой форме пожара с постоянным фронтом и постоянной линейной скоростью распространения огня запишем в следующем виде:

$$\frac{dS_{лр}}{dt} > \frac{d(n \cdot a \cdot V_{л})}{dt},$$

$$\frac{dS_{лр}}{dt} > \frac{d(\pi \cdot V_{л}^2 t^2)}{dt},$$

где a – величина фронта пожара, м;

$V_{л}$ – линейная скорость распространения пламени, м/мин;

t – время от начала пожара, мин.

В настоящее время при расчетах (классическая методика), в первые 10 минут свободного развития пожара в жилых зданиях, линейную скорость распространения пламени $V_{л}$ считают равной [131]:

$$V_{л} = \frac{1}{2} V_{л}^{\text{норм}}, \quad (1.7)$$

где $V_{л}^{\text{норм}}$ – нормативная линейная скорость распространения пламени.

После 10 минут горения, линейную скорость распространения пламени считают равной нормативной [100]:

$$V_{л} = V_{л}^{\text{норм}}. \quad (1.8)$$

После подачи огнетушащего вещества (ОТВ), до момента локализации пожара, нормативную линейную скорость распространения пламени в два раза уменьшают.

Основные характеристики развития пожара приведены на рисунке 1.23 и в таблице 1.6.

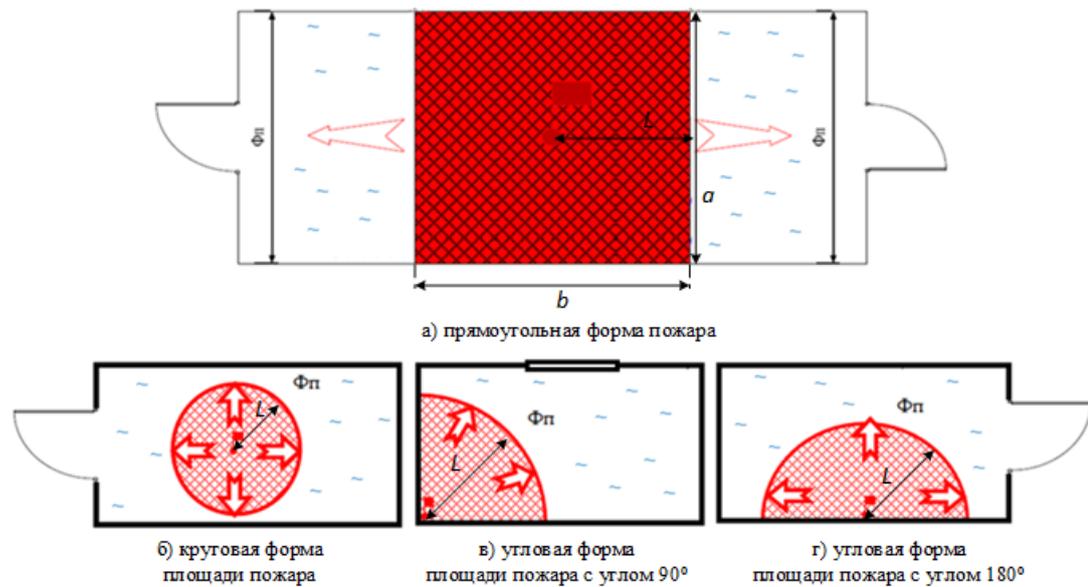


Рисунок 1.23 – Фронт горения на пожаре в жилом здании [78]

На рисунке 1.23 длина и ширина площади пожара, м, обозначены буквами b, a соответственно.

Таблица 1.6 – Основные характеристики развития пожара в жилом здании [14]

Параметр пожара	Вид развития пожара		
	круговой	угловой	прямоугольный
Площадь	$S_{\text{п}} = \pi \cdot L^2 = 0,75 \cdot D$	$S_{\text{п}} = k \cdot \pi \cdot L^2$	$S_{\text{п}} = a \cdot b = a \cdot 2 \cdot L$
Периметр	$P_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot L$	$P_{\text{п}} = L(2 + a)$	$P_{\text{п}} = 2(a + b) = 2(a + 2 \cdot L)$
Фронт	$\Phi_{\text{п}} = 2 \cdot \pi \cdot L$	$\Phi_{\text{п}} = a \cdot L$	$\Phi_{\text{п}} = a \cdot n$
Линейная скорость распространения пламени	$V_{\text{л}} = \frac{\Delta L}{\Delta t}$		$V_{\text{л}} = \frac{b}{\Delta t}$
Скорость роста площади пожара	$V_{\text{с}} = \frac{S_{\text{п}}}{t}$		
	$V_{S_{\text{п}}} = \pi \cdot V_{\text{л}}^2 \cdot t^2$	$V_{S_{\text{п}}} = \pi \cdot a \cdot V_{\text{л}}^2 \cdot t^2$	$V_{S_{\text{п}}} = n \cdot a \cdot V_{\text{л}}$
Скорость роста периметра пожара	$V_{P_{\text{п}}} = \frac{P_{\text{п}}}{\Delta t}$		$V_{P_{\text{п}}} = \frac{2 \cdot b}{\Delta t} = 2 \cdot V_{\text{л}}$
	$V_{P_{\text{п}}} = 2 \cdot \pi \cdot V_{\text{л}}$	$V_{P_{\text{п}}} = V_{\text{л}}(2 + a)$	
Скорость роста фронта пожара	$V_{\Phi_{\text{п}}} = \frac{\Phi_{\text{п}}}{\Delta t}$		Не изменяется
	$V_{\Phi_{\text{п}}} = 2 \cdot \pi \cdot V_{\text{л}}$	$V_{\Phi_{\text{п}}} = a \cdot V_{\text{л}}$	
Площадь горения	$S_{\text{г}} = \mu \cdot S_{\text{п}}$		

В таблице 1.6 приняты следующие обозначения:

- 1) k – угол распространения пламени, °;
- 2) n – количество направлений развития пожара в горизонтальном направлении, ед.;

3) P – коэффициент развития пожара (0,5 – для жилых зданий);

4) μ – величина горючей нагрузки ($\mu < 1$).

Более 64 % рассмотренных видов пожаров в Краснодарском крае возникает в жилом секторе в осенне-зимний период. При этом чаще всего для тушения используют ручные и лафетные ПС [22]. Основное преимущество использования ручных ПС заключается в возможностях ствольщика в случае необходимости быстро изменять позицию, геометрические параметры водяной струи (с распыленной на компактную) или прекращать подачу ОТВ. На рисунке 1.24 приведена классификации ПС.

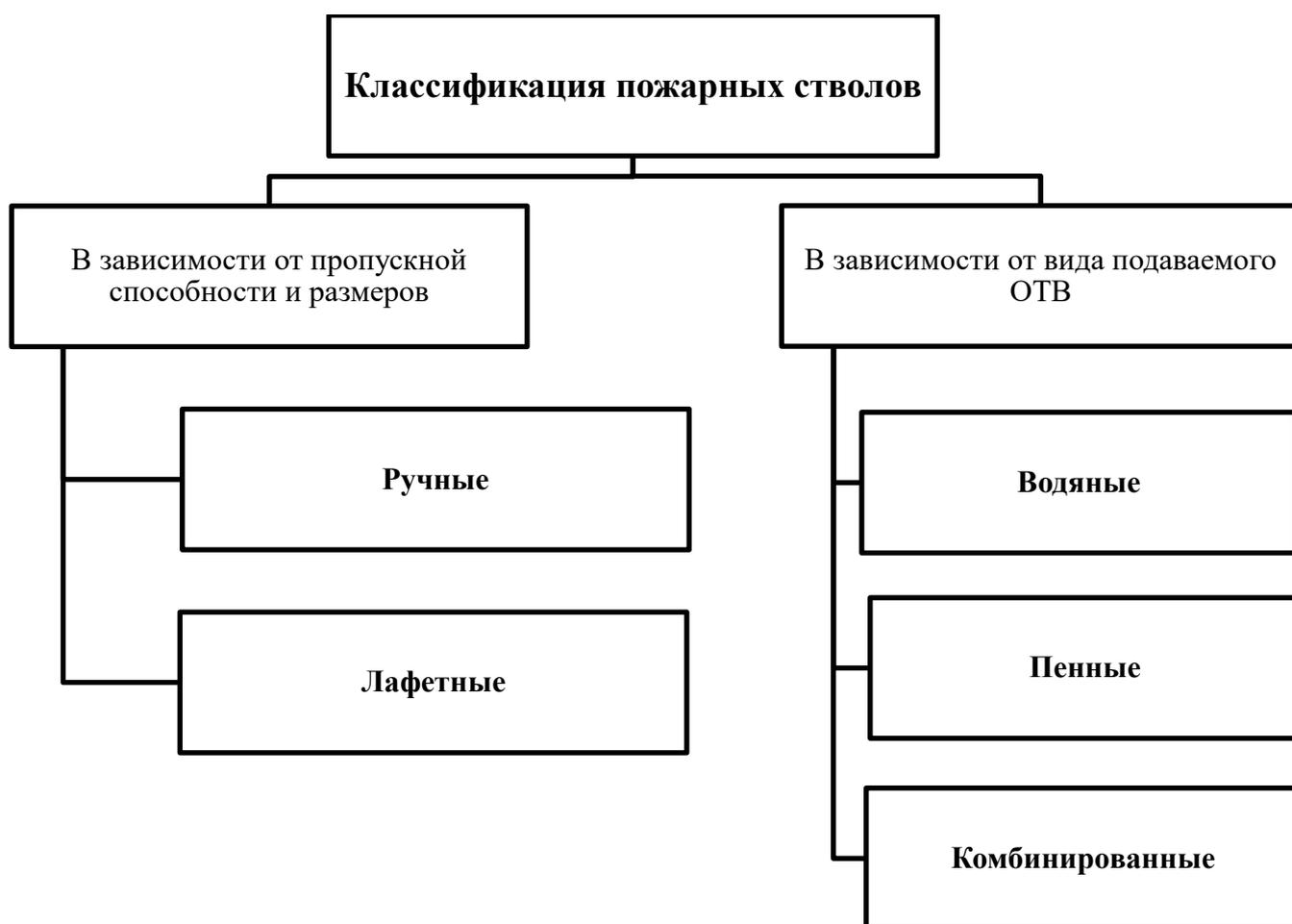


Рисунок 1.24 – Классификация ПС

В таблице 1.7 приведена статистика использования ПС при тушении пожаров в России [22]. Статистика за десять лет показывает, что использование ПС при тушении пожара уменьшается в зависимости от типа в среднем на 4 % в год.

Таблица 1.7 – Статистика использования ПС при тушении пожаров с 2008 по 2019 гг.

Вид пожарного ствола	Количество пожаров, ед.											
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ствол пожарный ручной РС-70:	9484	8517	8309	6896	6246	5427	5644	5309	5151	4314	4379	12048
1-3 ствола	8967	8085	7872	6553	5878	5117	5215	5000	4826	4058	4114	11621
4-6 стволов	370	370	359	284	309	256	349	242	276	212	217	347
7-10 стволов	464	46	57	47	49	33	59	49	44	34	38	55
более 10 стволов	50	50	20	12	10	11	21	18	5	10	10	25
Ствол пожарный ручной РС-50:	158956	151681	146385	138316	134652	125573	124004	118870	113668	108928	109628	379856
1-3 ствола	151454	144844	138692	131881	128305	119678	117173	112542	107917	103523	103736	373628
4-5 стволов	6806	6295	7036	5986	5922	5514	6293	5839	5362	4994	5449	5714
7-10 стволов	471	400	524	379	360	328	457	373	349	342	359	398
более 10 стволов	124	139	127	67	65	53	81	116	40	69	84	116
Ствол лафетный:	1220	1009	1010	976	861	826	973	802	748	678	668	862
1-3 ствола	1180	974	974	926	824	800	927	773	722	653	640	815
4-5 стволов	27	27	33	44	30	16	38	21	18	20	25	35
7-10 стволов	4	4	2	3	4	7	4	5	8	2	0	10
более 10 стволов	3	4	1	3	3	3	4	3	0	3	3	2
Ствол пенный:	2661	2156	2130	1909	1712	1710	1939	1914	1766	1659	1500	1720
1-3 ствола	2607	2130	2096	1867	1683	1659	1916	1887	1748	1645	1486	1701
4-5 стволов	29	22	26	37	26	48	20	24	16	14	11	14
7-10 стволов	2	0	2	4	0	1	2	1	2	0	2	3
более 10 стволов	0	3	6	1	3	2	1	2	0	0	1	2
Ствол порошковый:	70	34	40	39	57	63	64	65	62	70	47	57
1-3 ствола	64	32	35	31	49	58	58	54	47	70	42	55
4-5 стволов	5	2	3	7	7	5	5	11	15	0	5	1
7-10 стволов	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0
более 10 стволов	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
Ствол водопенный:	-	1417	1349	1471	1640	1643	1809	1656	1559	1349	1287	1698
1-3 ствола	-	1408	1333	1466	1630	1636	1805	1643	1552	1343	1274	1679
4-5 стволов	-	7	15	3	9	6	3	12	6	6	11	17
7-10 стволов	-	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
более 10 стволов	-	2	1	1	1	0	1	0	1	0	2	1
Ствол высокого давления:	-	1771	1611	1993	2367	2633	2914	2999	3249	3552	4038	17786
1-3 ствола	-	1766	1602	1989	2365	2630	2894	2982	3224	3536	3990	17714
4-5 стволов	-	0	5	1	2	2	15	14	23	15	39	53
7-10 стволов	-	2	1	1	0	0	4	2	2	1	5	9
более 10 стволов	-	1	2	2	0	1	1	1	0	0	4	10

Задачей ствольщиков является подача ОТВ на определенную площадь (площадь тушения) для ликвидации горения. При этом количество ОТВ, поданного на единицу площади за определенный промежуток времени – интенсивность подачи ОТВ на ликвидацию горения [108, 131].

Таким образом, для прекращения распространения огня, должно выполняться неравенство [71, 72, 128, 129]:

$$I_{\phi} > I_{\text{тр}}, \quad (1.9)$$

где $I_{\phi}, I_{\text{тр}}$ – фактическая и требуемая интенсивность подачи ОТВ.

По площади тушения и требуемой интенсивности ликвидации горения $I_{\text{тр}}$ определяют требуемый расход ОТВ и как следствие необходимое количество средств подачи ОТВ на площадь тушения (количество стволов). Таким образом, фактический расход ОТВ должен превышать требуемый расход [71, 72, 128, 129]:

$$Q_{\phi} > Q_{\text{тр}}, \quad (1.10)$$

где $Q_{\phi}, Q_{\text{тр}}$ – фактический и требуемый расход ОТВ для ликвидации горения.

Основные параметры тушения пожара приведены в таблице 1.8 [78].

Таблица 1.8 – Основные параметры тушения пожара

Параметр		Вид развития пожара		
		круговой	угловой	прямоугольный
Площадь тушения	по фронту	При $R > h_{\text{т}}$ $S_{\text{т}} = \pi \cdot h_{\text{т}} \cdot (2R - h_{\text{т}})$	При $R > h_{\text{т}}$ $S_{\text{т}} = \gamma \cdot \pi \cdot h_{\text{т}} \cdot (2R - h_{\text{т}})$	При $b > n \cdot h_{\text{т}}$ $S_{\text{т}} = n \cdot a \cdot h_{\text{т}}$
	по периметру	При $R > h_{\text{т}}$ $S_{\text{т}} = k \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) =$ $= k \cdot \pi \cdot h_{\text{т}} \cdot (2R - h_{\text{т}})$ $r = R - h_{\text{т}}$ $k = 1$ – при круговой форме развития пожара; $k = 0,5$ – при полукруговой форме развития пожара	При $R > h_{\text{т}}$ $S_{\text{т}} = k \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) =$ $= k \cdot \pi \cdot h_{\text{т}} \cdot (2R - h_{\text{т}})$ $r = R - h_{\text{т}}$ $k = 0,25$	При $b > 2 \cdot h_{\text{т}}$ $S_{\text{т}} = 2h_{\text{т}}(a + b - 2h_{\text{т}})$
Фактические	интенсивность подачи ОБ	$I_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{S_{\text{т}}}$		
	расход ОБ	$Q_{\phi} = \sum_{i=1}^m n_i \cdot q_{\text{ств}i}$		
	удельный расход ОБ	$q_{\text{уд}}^{\phi} = \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{р}i} \cdot q_{\text{ств}i}}{S_{\text{п}}^{\text{док}}}$		
Требуемые	расход ОБ	$Q_{\text{тр}} = S_{\text{т}} \cdot I_{\text{тр}}$		
	удельный расход ОБ	$q_{\text{уд}}^{\text{тр}} = t_{\text{р}} \cdot I_{\text{тр}}$		

В таблице 1.8 приняты следующие обозначения:

- 1) γ – угол распространения пламени, °;
- 2) β – величина влияния угла развития пожара на площадь тушения, °.

Организация тушения производится по периметру;

- 3) $q_{\text{ств}_i}$ – расход i -го пожарного ствола, л/с;
- 4) $t_{\text{р}_i}$ – время работы i -го пожарного ствола, л/с;
- 5) h_t – глубина тушения ПС, м;
- 6) m – число ПС, ед.;
- 7) $S_{\text{п}}^{\text{лок}}$ – площадь пожара на момент локализации, м².

Для различных водяных ПС при расчетах используют следующие значения глубины тушения:

- а) 5 м – для ручных водяных ПС;
- б) 10 м – для лафетных водяных стволов - 10 м;
- в) 15 м – для гидромониторов, «пушек».

В исследовании А.Н. Денисова [73] при тушении пожаров в жилых домах предлагается использовать следующие значения глубины тушения:

- а) 6–10 м – для жилых домов, а также подсобных построек I–III степени огнестойкости;
- б) 5–10 м – для жилых домов и подсобных построек IV степени огнестойкости, а также чердачных и подвальных помещений жилых зданий I–III степени огнестойкости.

Под глубиной тушения водяным ПС будем понимать геометрические параметры эллиптической фигуры площади тушения стволом, направленные вглубь площади горения [78, 91]. Более подробно понятие глубины тушения пожара рассмотрено в п. 2.2 исследования.

Таким образом, площадь тушения S_t можно отнести к основной расчетной характеристике. Основными количественными показателями, определяющими площадь тушения пожара, следует считать глубину и интенсивность тушения ПС [91]. На основе данных показателей возможно оценить необходимый

расход ОТВ и как следствие, требуемое количество сил и средств для локализации и ликвидации пожара в жилом здании.

В связи с тем, что обоснованность глубины тушения пожара для водяных ПС на данный момент применяется по аксиоматическому принципу, одной из задач данного исследования является определение глубины тушения в виде функциональной зависимости от гидравлических характеристик ПС. Количественное значение глубины тушения может служить критерием эффективности ведения боевых действий по тушению пожара пожарным подразделением и использоваться в моделях и алгоритмах поддержки принятия решения РТП при планировании тушения пожаров в жилых зданиях [78, 91].

Выполним анализ процесса управления пожарным подразделением и методов поддержки принятия управленческих решений, которые могут быть использованы при тушении пожара в жилых зданиях.

1.4 Анализ процесса управления пожарным подразделением и методов принятия решений при тушении пожара в жилых зданиях

Особенностью принятия управленческих решений во время локализации и ликвидации пожаров в жилых зданиях выступает нехватка времени на обдумывание тактики пожаротушения, из-за того, что оперативная обстановка стремительно изменяется (рисунок 1.25) [22, 89, 96].

При ведении боевых действий по тушению пожара в жилом здании должностным лицам и пожарному подразделению приходится работать в условиях постоянного дефицита сил и средств с нарастающей напряженностью оперативно-тактической обстановки. Ограниченность времени в совокупности с необходимостью соблюдения порядка организации тушения пожаров, увеличивают риск совершения ошибки руководителем пожарного подразделения. Принятие неверного управленческого решения приводит к непоправимым последствиям в виде человеческих жертв и материального ущерба [96].

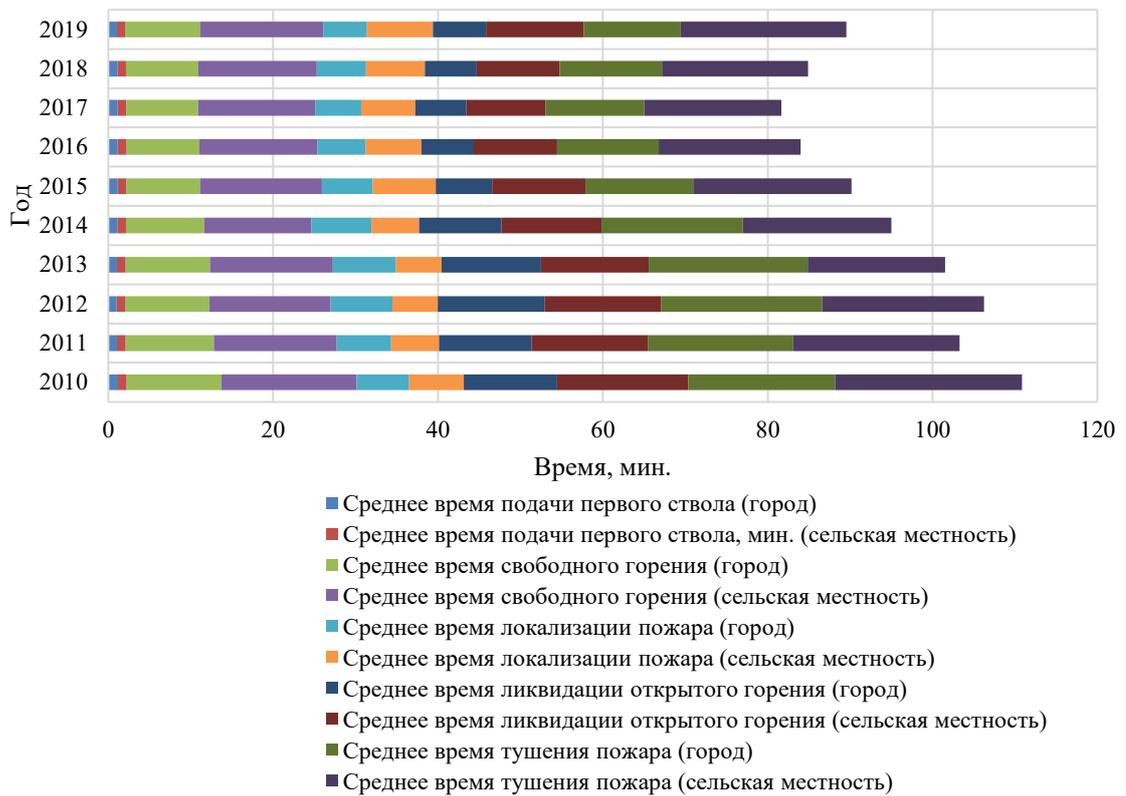


Рисунок 1.25 – Показатели тушения пожаров в период за 2010-2019 гг.

На практике РТП имеет ограниченное время для анализа боевых действий, и не всегда располагает полной и достоверной информацией. Данные, которые наиболее часто не предоставляются РТП приведены на рисунке 1.26 [87, 106].



Рисунок 1.26 – Проблемы информационного обеспечения РТП во время принятия управленческого решения по тактике пожаротушения

Выбор средства для тушения конкретного пожара должен приниматься с учетом характеристик объекта, где произошло возгорание. Таким образом, РТП должен быстро ориентироваться в выборе наиболее эффективного средства для ликвидации конкретного пожара.

Обязательным условием проведения боевых действий выступает соблюдение нормативных документов, затрагивающих вопросы организации пожаротушения [7, 8, 15, 17]. Некоторые нормативные требования, прописанные в боевом уставе пожарной охраны и являющиеся обязательными, фактически невозможно выполнить из-за нехватки времени и ресурсов. Эти требования, из-за территориального разноса данных мест, не всегда возможно физически выполнить.

Помимо несовершенства нормативно-распорядительных документов, РТП сталкивается и с другими проблемами (нехватка пожарно-технического оборудования, нехватка или недостаточная компетентность вновь назначенного личного состава). Целесообразно, чтобы противоречивая информация в руководящих документах носила не обязательный, а рекомендательный характер (со словами «возможно», «по возможности», «рекомендуется»). Это позволит РТП более широко применять свой опыт и знания.

Однако с учетом того, что каждый пожар уникален, и не все случаи прописаны в нормативно-распорядительных документах, то зачастую РТП полагается только на собственный опыт, знания, интуицию, что не всегда может гарантировать эффективного результата, так как принятие решения происходит в условиях неопределенности, быстрого изменения факторов внешней среды и многокритериального выбора [50, 100, 145, 151]. Получаемая на пожаре противоречивая информация (полезность информации отрицательна или равна нулю) мешает ЛПР адекватно оценивать сложившуюся ситуацию, затрудняет эффективное управление процессом ликвидации и локализации пожара. Кроме того, как правило, при принятии решений в условиях риска существуют альтернативные варианты ведения боевых действий по тушению пожара, из которых требуется выбрать наиболее рациональные [45, 47, 55, 69, 72].

В настоящее время составляется ряд документов предварительного планирования, основные среди которых: планы тушения пожаров, карточки тушения пожаров, план привлечения сил и средств гарнизонов для тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ, строевые записки

гарнизонов, расписание выезда и др. Тем не менее в этих документах есть ряд существенных недостатков, например, они создаются не на все объекты, которые есть в районе выезда пожарных частей, а только на определенные категории. При этом следует учитывать, что в подобной документации отражены не все факторы, влияющие на локализацию и ликвидацию пожара (не рассматривается выбор варианта (метода) тушения пожара, глубина тушения, удельный расход огнетушащего вещества, количество боевых позиций личного состава), поэтому не всегда документы предварительного планирования отражают действительную реальную обстановку, что усложняет поддержку принятия обоснованных управленческих решений для РТП.

На этапе отработки документов предварительного планирования (на вновь составленные планы тушения пожара и карточки тушения пожара, или в которые были внесены изменения по результатам корректировки, в обязательном порядке отрабатываются со всеми дежурными караулами подразделения пожарной охраны, в районе выезда которого находится объект, на который они составлены), а также при профилактической подготовке и проведении пожарно-тактических учений, у РТП возникает проблема «избытка информации», так как для принятия обоснованного решения требуется учесть все пункты многостраничных документов предварительного планирования, в которых достаточно сложно найти необходимую информацию. Из решений других авторов в работе М.М. Данилова [70] предлагается внести изменения в строевую записку, в работе Ф.А. Исайкина [101] предлагается изменение плана привлечения сил и средств, в работе С.А. Шкунова [159] предложено внести корректировки в расписание выезда в зависимости от ранжирования коэффициентов технической готовности пожарных автомобилей, в тоже время круг некоторых вопросов этой задачи требует дальнейшего изучения, а именно научное обоснование поддержки принятия управленческих решений РТП при планировании тушения пожаров в жилых зданиях. Данное исследование не противоречит с работами других авторов по тематике, а дополняет и расширяет границы исследования.

Современные условия функционирования пожарных подразделений

актуализируют вопрос модернизации и выбора наиболее рациональных моделей принятия управленческих решений в зависимости от обстановки.

Общая схема задачи управления пожарно-спасательным подразделением при тушении пожаров в жилых зданиях представлена на рисунке 1.27.

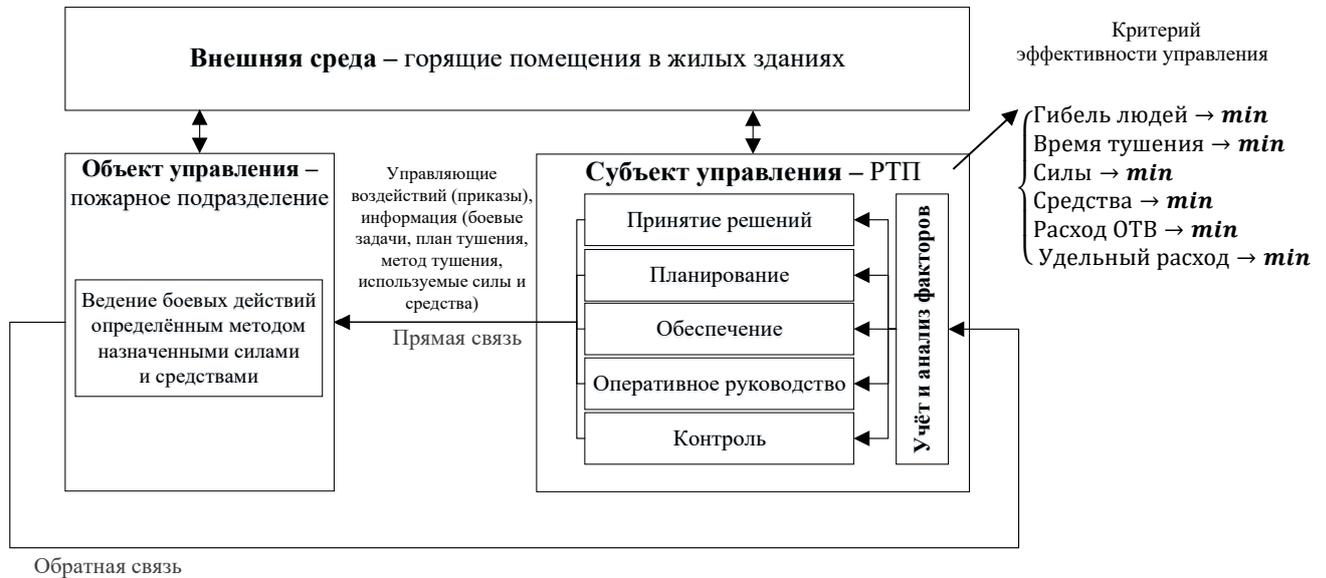


Рисунок 1.27 – Задача управления

Руководитель тушения пожара, на основе складывающейся оперативной обстановки, имеющихся сил и средств, руководит подразделением управляющими воздействиями, в качестве которых выступают его приказы.

Основные принципы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров [72, 78, 108]:

- силы и средства пожарно-спасательного подразделения должны быть соразмерны поставленной задаче в любой точке времени и пространства;
- управляющее воздействие и постановка задач управления при ведении боевых действий на пожаре должны быть формализованы в виде комплекса мер, которые оптимальны в аспектах времени и пространства, применяются на тактическом (оперативном, операционном) уровне управления и находятся в строгом соответствии к складывающейся ситуации.

В соответствии с теорией управления, эффективность решения задачи управления оценивается на основе выбранного критерия эффективности.

Таким образом, оптимальным решением задачи управления будет максимально быстрое тушение пожара с минимальными затратами сил, средств и минимальным материальным ущербом.

Процессы принятия решений и управления организацией тушения пожара можно представить в виде алгоритма (рисунок 1.28) [104, 112, 113, 141].

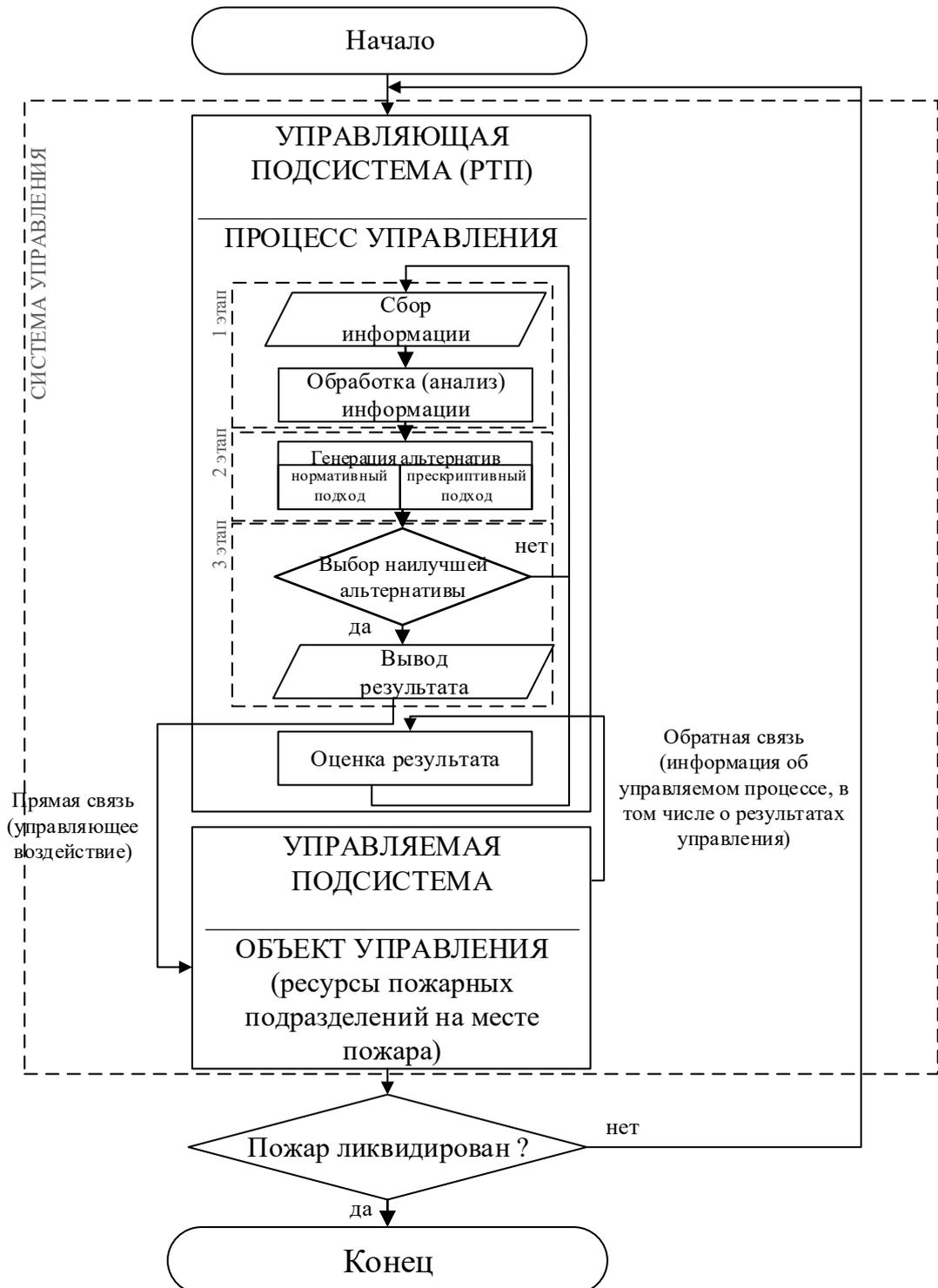


Рисунок 1.28 – Алгоритм процесса управления ресурсами пожарных подразделений (выбор наилучшей альтернативы)

Проанализируем процесс принятия решений РТП при планировании и отработке боевых действий по тушению пожара. Принятие решений – особый вид целенаправленной деятельности, который заключается в выборе одной из альтернатив, имеющихся у принимающего решение [141].

Процесс принятия решения в классическом понимании состоит из трех этапов. Первый этап включает в себя сбор и обработку информации, на втором этапе генерируются возможные альтернативы, а на третьем этапе происходит принятие окончательного решения. Окончательное решение – это альтернатива с наиболее благоприятными общими последствиями. Управляющая подсистема, которой является РТП, оказывают управляющее воздействие в виде управляющих команд (сигналов) на ресурсы пожарных подразделений на месте пожара (объект управления). В системе управления важную роль играет обратная связь (отчет о реализации управляющего воздействия).

По мнению исследователей [27, 38, 43, 104, 112], задачи первого этапа слабо формализуются. Это обуславливает повышенное внимание к третьему этапу – выбору наилучшей (оптимальной) альтернативы. Выбор альтернативы при выборе тактики ликвидации пожара может осуществляться в двух формах: без каких-либо расчетных обоснований (интуитивно), либо быть разумным. В первом случае результат выбора слабо формализуется и его практическая ценность мала. Во втором случае основой для принятия решения выступают логические рассуждения, информация о выборе может храниться и быть использована многократно в схожих ситуациях. Следовательно, в практической деятельности пожарных подразделений практическую значимость имеет исключительно разумный выбор.

Современная наука выделяет два наиболее перспективных подхода к принятию решений: нормативный и прескриптивный [104, 112]. Отличие данных подходов в большей мере заключается в ориентации на определенный уровень интеллекта и мышления человека, который принимает решение.

Нормативный подход к принятию решений предназначался для людей с высоким интеллектом, что, по сути, исключало его практическое применение.

Поэтому наиболее плодотворным стал прескриптивный подход, предписывающий действия человеку, обладающему нормальным интеллектом и готового к систематизированному обдумыванию решения конкретной, поставленной перед ним задачи. Такой подход не гарантирует нахождение наилучшей альтернативы, но обеспечивает выбор решения свободного от противоречий и непоследовательностей.

Поддержка принятия решений – совокупность формализованных процедур решения задач управления, которые возникают в процессе функционирования системы управления [104, 112, 113, 141]. Данные процедуры направлены на достижение основной цели системы управления.

Процесс управления, в том числе генерация и выбор альтернатив, осуществляемые управляющей подсистемой (РТП) (см. рисунок 1.28), требует наличие и использование различных методов поддержки принятия решений. Задача лица принимающего решения – использование тех методов, которые способствуют (прямо или косвенно) принятию оптимальных решений.

В зависимости от объемов, содержания задач управления, а также специфики взаимодействия управляющей и управляемой подсистем при тушении пожара выделим основные направления формализации процесса управления. Первое направление – индивидуальное принятие решения. Процесс управления реализуется единственным должностным лицом управляющей подсистемы (РТП). При такой структуре управления необходимо предусмотреть формализацию задач сбора, обработки и отображения необходимой для оперативного принятия решения информации. Данное направление характеризуется учетом результатов планирования боевых действий по тушению пожара, допускает возможность передачи (делегирования) полномочий по управлению прибывающим к месту пожара должностным лицам. Особенности методов первого направления является четкость формализации, ограничение по времени реализации. В связи с этим их применение в процессе тушения пожара должно быть строго регламентировано, а также разработаны методические рекомендации по применению данных методов. Методы первого направления являются более

приоритетными по важности, чем методы второго направления.

Второе направление – групповое (коллективное) принятие решения. Методы поддержки принятия решения, разрабатываемые в рамках второго направления, предусматривают наличие нескольких взаимодействующих должностных лиц в управляющей подсистеме. С организационной точки зрения методы поддержки принятия решений, создаваемые в рамках данного направления, являются более сложными, чем методы первого направления. Это вызвано большим объемом задач управления. В связи с тем, что прогнозирование возможной обстановки при тушении пожара фактически сводится к формированию гипотез относительно вероятного наличия факторов риска при ведении боевых действий, практическая сторона вопросов применения методов данного направления также носит субъективный характер. Особенностью поддержки управления в данном случае является обеспечение взаимодействия должностных лиц в процессе принятия решения. Основным недостатком методов второго направления является низкая оперативность по принятию конкретного решения. Методы второго направления вынесены за рамки исследования и в диссертационной работе не рассматриваются.

Классификация методов принятия решений, позволяющих решать задачи второго этапа процесса принятия решения (см. блок «генерация альтернатив» на рисунке 1.28) представлена на рисунке 1.29 [104, 112, 113, 141].

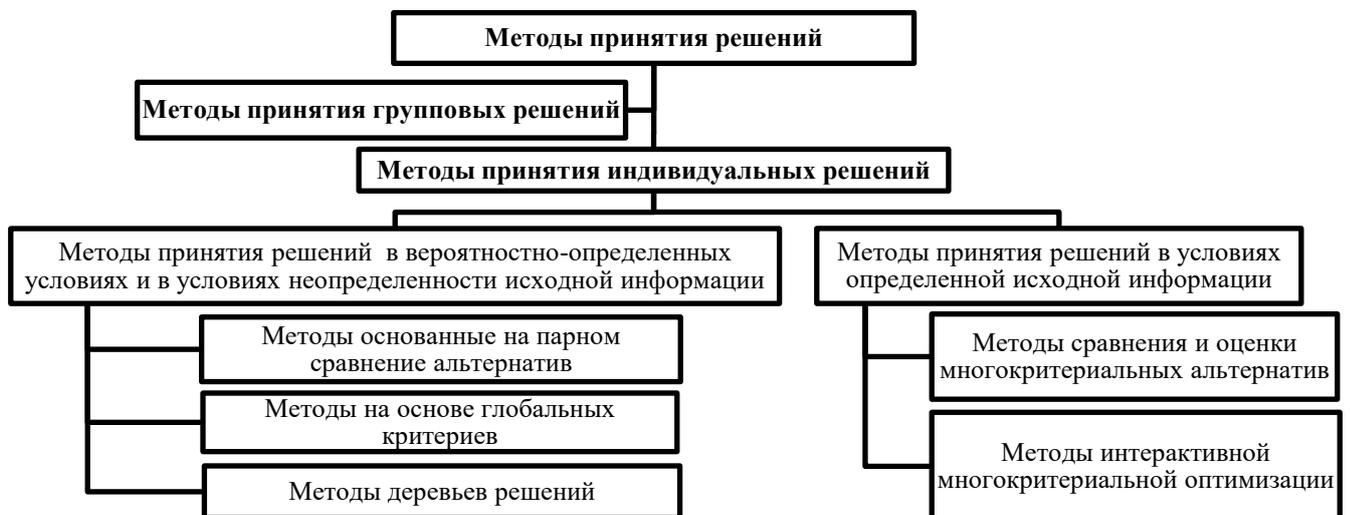


Рисунок 1.29 – Классификация методов принятия решений

При индивидуальном принятии решения ключевую роль играет лицо принимающее решение (ЛПР), задачами которого являются задание основных критериев выбора и принятие решений по выбору наиболее эффективной (оптимальной) альтернативы.

Анализ методов принятия решения показал, что задачу принятия решений можно представить в виде модели (кортежем):

$$ZPR = \langle Z, A, E, K, I, G, P \rangle,$$

где Z – постановка задачи (например, потушить пожар за минимальное время или с минимальными затратами ОТВ);

A – множество возможных альтернатив (например, вариантов ведения боевых действий по тушению пожара);

E – множество допустимых альтернатив (например, вариантов ведения боевых действий с учетом ограничений по имеемым силам и средствам);

K – множество критериев решения задачи (например, фактические расход и интенсивность подачи ОТВ, время локализации пожара);

I – исходы, отображение множества E во множество K ;

G – система предпочтений ЛПР;

P – набор решающих правил, которые отражают систему предпочтений ЛПР.

Согласно теории принятия решений, предполагается, что ЛПР имеет некоторую систему предпочтений, на которую он опирается при принятии решения [126]. Система предпочтений ЛПР – совокупность как правило не структурированных и не формализованных представлений, которые позволяют оценивать достоинства и недостатки сравниваемых решений [126]. Очевидно, что такая систем система предпочтений, основанная на знаниях и опыте, есть и у РТП. Таким образом, решением называется любой определенный выбор зависящих от предпочтений ЛПР. Оптимальными называются решения, по тем или другим признакам доминируют над остальными, т.е. являются более предпочтительными. Каждое решение из множества A приводит к определенному исходу. Последствия каждого исхода оцениваются по заданным во множестве K критериям. Для

каждого критерия из множества K должна быть задана шкала, которая может быть как числовой (дискретной или непрерывной), так и не числовой. Отображение множеств A и E во множестве I может быть детерминированным, вероятностными или неопределенным. В связи с этим задачи принятия решений можно разделить на две категории [104, 112, 113, 141]:

- а) задачи в условиях риска;
- б) задачи в условиях неопределенности.

Множество K должно содержать один критерий или несколько критериев. Таким образом задачи принятия решения можно разделить на две категории:

- а) задачи со скалярным критерием;
- б) задачи с векторным критерием (многокритериальное принятие решений).

Основные методы принятия решений представлены в таблицах 1.9 и 1.10.

Условия принятия управленческих решений РТП характеризуются в большинстве случаев наличием факторов неопределенности и многокритериального выбора альтернатив, реже – факторы внешней среды определены, но имеется необходимость многокритериального выбора.

Лексикографический метод и метод лексикографического упорядочивания основываются на предположении, что у ЛПР имеется возможность упорядочить рассматриваемые критерии по степени их важности. Главное достоинство данных методов заключается в отсутствии требования к соизмеримости отдельных критериев из множества K . Основное отличие методов – в методе лексикографического упорядочивания во множество допустимых альтернатив E включаются и те альтернативы, количественное значение выбранного критерия которых незначительно отличаются от максимальной величины. Размер множества A неограничен, но чем больше альтернатив, тем сложнее задача принятия решения. Основные операции лексикографического метода и метода лексикографического упорядочивания ранжирование элементов множества критериев K по степени их важности и сравнение элементов множества допустимых альтернатив E по шкале одного критерия. Множество A должно быть небольшим, выбираемые критерии только количественного типа.

Таблица 1.9 – Методы многокритериальной оптимизации [104, 113, 141]

Показатели применения	Методы многокритериальной оптимизации					
	Аксиоматические	Компенсационные	Прямые		Порогов несравнимости	Человеко-машинные процедуры
			Глобального критерия	Двойники аксиоматических		
Условия применения	Наличие функциональных зависимостей полезности	Наличие шкалы приведения критериев к эквивалентной полезности	Наличие шкалы приведения критериев эквивалентной полезности	Наличие шкалы важности критериев	Наличие ранжирования приоритетов критериев	Наличие математических моделей взаимного влияния критериев
Группы критериев	Экономические, ресурсные, временные, надежность	Экономические, ресурсные	Экономические, временные	Экономические, ресурсные, временные, надежность	Экономические, ресурсные, временные, надежность	Экономические, ресурсные, временные, надежность
Характер решения	Выбор боевых действий	Выбор варианта ввода СИС	Выбор решающего направления	Выбор решающего направления, выбор варианта ввода СИС, выбор боевых действий	Выбор схемы развертывания, выбор решающего направления, выбор варианта ввода СИС	Выбор варианта ввода СИС, выбор боевых действий

Таблица 1.10 – Классификация методов принятия решений по объему и сложности экспертной информации [113, 141]

Содержание информации	Тип информации	Группы методов принятия решений	
Экспертная информация не требуется	—	Доминирование Методы принятия решений на основе глобальных критериев	Принятие решений в условиях определенности
Информация о предпочтениях	Качественная	Лексикографическое упорядочение Сравнение разности критериальных оценок	
	Количественная оценка предпочтительности критериев	Метод «стоимость-эффективность» Методы линейной и нелинейной свертки Методы порогов несравнимости (ЭЛЕКТРА) Методы «Идеальной точки» Методы теории полезности	
	Количественная информация о замещениях	Кривые безразличия Методы теории ценности	
Информация о предпочтительных альтернативах	Оценка предпочтительности парных сравнений	Человеко-машинные процедуры на базе методов математического программирования	Принятие решений в условиях неопределенности
Информация о предпочтениях на множестве критериев и о последствиях альтернатив	Количественные или интервальные о последствиях	Методы принятия решений с дискретизацией неопределенности	
	Качественная о предпочтении и количественная о последствиях	Стохастическое доминирование Методы принятия решений в условиях риска и неопределенности	
	Качественная (порядковая) о предпочтениях и последствиях	Метод практического принятия решений Методы выбора статистически ненадежного решения	
	Качественная о замещениях и количественная о последствиях	Методы кривых безразличия для принятия решений в условиях риска и неопределенности Методы деревьев решений Методы деревьев решений	

В методе перестановок критериям из множества K должны соответствовать веса в количественном выражении. Количественные значения весов критериев определяются ЛПР. Альтернативы из множества E попарно упорядочиваются и для каждой пары формируются группы критериев, по которым одна альтернатива будет предпочтительнее другой. Основными операциями метода перестановок являются:

- а) назначение весов элементов множества критериев K ;
- б) сравнение элементов из множества допустимых альтернатив E по шкале одного критерия.

Главный недостаток метода перестановок – зависимость объема вычислений от размера множества возможных альтернатив A . С увеличением множества K количество перестановок также возрастает. Метод перестановок затруднительно применять при большом числе альтернатив во множестве A , так как число перестановок резко возрастает с ростом критериев из множества K . Элементы множества критериев K , используемые в данном методе, могут быть как количественного, так и качественного типа.

Цель метода попарного сравнения – выбор лучшей альтернативы из множества допустимых альтернатив E , ранжирование элементов множества E . Основная операция – попарное сравнение альтернатив из множества допустимых альтернатив E . Элементы множества критериев K , используемые в данном методе, могут быть как количественного, так и качественного типа.

К методам, основанным на количественном выражении предпочтений ЛПР на множестве критериев K , входят методы простого приращения, анализа иерархий и ЭЛЕКТРА.

Основными операциями метода простого приращения являются:

- а) назначение весов критериев из множества K ;
- б) сравнение альтернатив из множества допустимых альтернатив E по шкале одного элемента из множества критериев K .

Множество допустимых альтернатив E должно быть небольшим. Основным недостатком метода простого приращения является его

чувствительность к ошибкам ЛПР, так как ошибочное назначение весов критериев существенно изменяет окончательный результат. Элементы множества критериев K могут быть как количественного, так и качественного типа.

Цель метода анализа иерархий – ранжирование альтернатив. Основные операции метод анализ иерархий (аналитических иерархий) [141]:

- структурирование задачи в виде иерархии с уровнями «цели-критерии-альтернативы»;
- парное сравнение элементов каждого уровня;
- расчет коэффициентов важности элементов каждого уровня;
- расчет количественных показателей каждой альтернативы;
- выбор оптимальной альтернативы.

Элементы множества критериев K , используемые в данном методе, могут быть как количественного, так и качественного типа.

В методах ЭЛЕКТРА, к которым относят методы ЭЛЕКТРА 1 и ЭЛЕКТРА 2, из множества допустимых альтернатив E исключаются неэффективные альтернативы. Размер множества E должен быть небольшим. Основной операцией методов ЭЛЕКТРА являются попарное сравнение альтернатив из множества E по шкалам критериев из множества K . В ходе данной операции в допустимые альтернативы разбиваются на подмножества, где одна альтернатива равнозначна или предпочтительнее другой. Оценив все элементы множества E , исключаются неэффективные. Элементы множества K должны быть количественного типа. В методе ЭЛЕКТРА 2 у ЛПР имеется возможность задания порога чувствительности, который необходим для того, чтобы показать, насколько одна альтернатива будет предпочтительнее другой. Главный недостаток методов ЭЛЕКТРА является наличие сильной зависимости от субъективности ЛПР, в процессе задания порогов предпочтений.

В методе задания минимально допустимых значений критериев альтернатива из множества A включается во множество допустимых альтернатив E , если значения соответствующих ей критериев больше либо равны минимально допустимому значению. Таким образом у ЛПР имеется возможность

шкалирования (классификации) альтернатив. Размер множества E может быть любым. Элементы множества критериев K , используемые в методе задания минимально допустимых значений критериев, должны быть количественного типа.

Цель метода ОРКЛАСС (ординальной классификации) – решение задачи порядковой классификации. На рассматриваемом множестве альтернатив выделяют упорядоченные по предпочтительности классы решений. В самом простом случае альтернатива относит к одному из двух классов – допустимые альтернативы, недопустимые альтернативы. В методе ОРКЛАСС альтернативы упорядочивают по качеству и разбиваются на классы решений. Так, например, классы вариантов тушения пожара могут быть разбиты на три класса: предпочтительные, допустимые, недопустимые.

Особенностью метода ОРКЛАСС является использование вербального описания задач на языке ЛПР в присущей ему предметной области. Это помогает прохождению информации проверки на непротиворечивость, что является достоинством данного метода.

Метод ЗАПРОС (замкнутые процедуры у опорных ситуаций) основан на том, что каждая векторная оценка допустимой альтернативы создает у ЛПР образ некоего объекта, свойства которого характеризуются оценками по выбранным критериям. Основными образами для ЛПР является пара, соответствующая сочетаниям только лучшим или только худшим оценкам по всем выбранным критериям. В качестве опорной ситуации рассматривается идеальная альтернатива, содержащая только лучшие оценки по критериям. При дальнейших операциях данный образ является условным ориентиром для сравнения остальных альтернатив вдоль шкал пары критериев. По двум критериям значения могут изменяться, по остальным критериям значения фиксируются. В начале ЛПР сравнивает пару альтернатив, из которых первая – лучшая альтернатива по первому критерию, и вторая – лучшая альтернатива по второму критерию. Все остальные оценки считаются лучшими. При дальнейших операциях худшая альтернатива подлежит сравнению с альтернативой, которая получена из лучшей

альтернативы, снижением на одну градацию худшей оценки. В результате таких сравнений строится единая порядковая шкала оценок двух критериев, содержащая систему предпочтений ЛПР.

В методе ШНУР (шкала нормированных упорядоченных различий) используются возможности вычислительной техники, например – СППР, которая проводит попарные сравнения всех альтернатив по заданным правилам, для анализа их сходства и различия без участия ЛПР, но с использованием элементов экспертного пороса. Критерии, используемые в данном методе, могут быть как количественного, так и качественного типа. Метод ШНУР может являться дополнением к другим методам вербального анализа принятия решений.

Методы деревьев решений являются аксиоматическими методами принятия решения в условиях неопределенности и риска. Основная цель – получение количественных оценок полезности возможных исходов, являющихся результатами процессов принятия решений. Для оценки полезности необходимо иметь информацию о системе предпочтений ЛПР [19].

Пусть имеется множество из n альтернатив (вариантов действий) – $\{x_1, \dots, x_n\}$. При выборе некой альтернативы $x_i, i = \overline{1, n}$ возможно наступление исходов $C_{i1}, \dots, C_{ij}, C_{im}$ с соответствующими им значениями вероятностей $p_{i1}, \dots, p_{ij}, \dots, p_{im}$. Таким образом, каждый исход оценен количественного значения некоторой функции полезности, выбор наилучшей альтернативы осуществляется путем максимизации ожидаемой полезности $x^* = \arg \max \sum_{j=1}^m p_{ij} u_{ij}$, где u_{ij} – полезность исхода C_{ij} при выборе альтернативы x_i [19].

Основной недостаток деревьев решений заключается в необходимости определения всех возможных исходов. Если количество исходов слишком велико, возникает необходимость их агрегировать. Данный подход применяется только при конечном множестве возможных альтернатив.

Для принятия решений при решении некоторых задач используют аналитические модели системной динамики, позволяющие выявить зависимость процессов (явлений) друг от друга [156].

Особенностями системно-динамических моделей является то, что они абстрагируются от индивидуальных характеристик и особенностей объектов системы, физических характеристик среды, а представляют систему в терминах гидродинамики.

В системно-динамических моделях все переменные рассматриваются как непрерывные. Таким образом модель системной динамики представляет собой систему емкостей (уровней), потоков (трубопроводов), вентилях для регулировки скорости потоков и описывается системой дифференциальных уравнений вида:

$$\frac{dn(t)}{dt} = \text{вход}(t) - \text{выход}(t), \quad (1.11)$$

где t – время;

t_0 – начальный момент времени;

$n(t_0)$ – начальное состояние числа однотипных объектов в модели;

$n(t)$ – текущее состояние числа однотипных объектов в модели;

$$n(t) = \int_{t_0}^t (\text{вход}(t) - \text{выход}(t)) dt + n(t_0).$$

Одни из достоинств моделей системной динамики является отсутствие требования устойчивости к моделируемой системе. Таким образом, с помощью нескольких моделей системной динамики может быть описана любая социально-экономическая система, которые в математическом понимании в большинстве случаев являются неустойчивыми. Еще одним достоинством системно-динамических моделей является наличие возможности создания на их основе имитационных моделей.

В [126, 139] при решении ряда практических задач используется метод принятия решения с дискретизацией неопределенных факторов, особенностью данного метода является то, что каждый исход представляется в следующем виде:

$i \in I: i(a_1, a_2, \dots, a_l \dots a_m, b_1, b_2, \dots, b_k, \dots, b_q)$, где $a_l, l = \overline{1, m}$ – компоненты исхода, которые можно предсказать достоверно, $b_k, k = \overline{1, q}$ – неопределенные компоненты исхода.

При наличии априорной информации об условных распределениях критериальных оценок последствий дискретных альтернатив, для задач выбора альтернатив в условиях риска, используют методы стохастического доминирования [38, 160, 170]. Методы стохастического доминирования позволяют существенно уменьшить размеры множества допустимых альтернатив E . Зачастую применение данных методов позволяет определить лучшую альтернативу лишь по качественной, неполной информации о системе предпочтений G .

Фундаментом методов стохастического доминирования, аналогично методам теории полезности, лежит аксиома о максимизации ожидаемой полезности [154, 155, 157]. Отличием методов стохастического доминирования является то, что при их использовании не требуется точного знания функции полезности, а достаточно информации о ее классе принадлежности. Использование стохастического доминирования при многокритериальности заключается в построении функции ценности и ее качественной оценке и в большинстве случаев подходит для однокритериального выбора в условиях риска [154].

В методы принятия решений с использованием глобального критерия, оптимальная альтернатива из множества E выбирается на основе количественной оценки одного из критериев, используемых в статистике [27], исследовании операций [29], теории игр и принятия решения [19, 28]: максимина, минимакса, максимакса, Гурвица, Лапласа и др.

Рассмотрим методологию выбора наилучшей альтернативы из множества допустимых альтернатив E , в соответствии с аксиоматикой теории полезности. Согласно теории полезности задача принятия решения Z может быть представлена в следующем виде:

$$Z = \max \left[\bar{u}(x) = \int_R u(r) f(r/x) dr \right], \quad (1.12)$$

где $u(r)$ – многомерная функция, при принятии решения в условиях неопределенности – функция полезности; при принятии решения в условиях определенности – функция ценности;

$f(r/x)$ – функция плотности условного распределения критериальных оценок;

r – точка в критериальном пространстве.

Задача (1.12) может быть решена только после построения функции полезности $u(r)$ и функции плотности распределения $f(r/x)$ для всех $x \in A$. Задача усложняется при следующих условиях:

а) r^k является точкой в многомерном пространстве критериев оценки исходов: $R = R_1 \times R_2 \times \dots \times R_m$, то есть $r^k = (r_1^k, r_2^k, \dots, r_m^k)$;

б) множество альтернатив A не является счетным [53, 54].

За последние 20 лет достигнуты значительные успехи в преодолении проблемы под перечислением а). В работах [44, 47, 48, 55] предложены условия структурной независимости и методы их верификации. Это дало возможность представить многомерную функцию полезности в виде аддитивной, мультипликативной и других сравнительно простых функциональных форм. Это позволило резко увеличить. На основе работ [44, 47, 48, 55] теория полезности практически применена для принятия многокритериальных решений в условиях неопределенности в работах [19, 104, 121, 126, 141, 164–165].

Таким образом, аксиоматические методы базируются на аксиомах теории полезности, декомпозиционные – позволяют декомпозировать (разложить) многомерную функцию полезности, методы теории ожидаемой полезности – основываются на максимизации ожидаемой полезности. Эти методы, позволяют принимать обоснованное, продуманное решение и в условиях определенности, и в условиях неопределенности, что важно при планировании и отработке боевых действий на пожаре.

Основное достоинство методов теории полезности перед остальными рассмотренными методами состоит в том, что они наиболее системно и теоретически обоснованно подходят к структуризации системы предпочтений

ЛПР, а также позволяют наиболее полно использовать экспертные суждения ЛПР и статистические данные потушенных пожаров при анализе ситуации и выборе лучшей альтернативы при недетерминированной постановке задачи [104].

Практическое применение аксиом классической теории полезности в решении некоторых практических затруднено [80, 139]. В работе [105] предложена новая система аксиом теории, из которой исключены требования транзитивности и ацикличности отношения предпочтения. Благодаря этому, возможно применение аксиом теории полезности к процессу принятию решения РТП, который зачастую связан с непоследовательным и противоречивым выбором. В данной работе во всех рассматриваемых задачах принятия решений выполнялись все необходимые условия независимости критериев.

Методы теории полезности – это помощь для РТП при решении слабоструктуризованных многокритериальных задач, когда «объективной формулы с коэффициентами» не существует [57]. Еще одним достоинством данной теории является учет различных критериев вариантов решений и случайностей, способных оказать негативное влияние. Данные методы можно использовать для поддержки принятия управленческих решений РТП при планировании и отработке боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях. Одной из задач исследования является анализ процесса выбора метода тушения и разработка модели поддержки принятия решения РТП на основе теории полезности.

Принятие решения при планировании и отработке ведения боевых действий на пожаре – сложный процесс, зависящий от совокупности знаний, опыта, навыков, интуиции РТП. Использование теории полезности позволяет представить альтернативные способы ведения боевых действий по тушению пожара численно, в виде функции полезности и тем самым сравнивать и выбирать наиболее оптимальный вариант тушения пожара [86, 89].

На рисунке 1.30 в общем виде отображен формализованный алгоритм определения функции полезности при решении задачи принятия решений РТП.

В числе основных способов определения полезности или ценности варианта

тушения пожара могут выступать: экспертная оценка (знания и опыт РТП), статистические данные по ранее потушенным пожарам, методы аппроксимации.

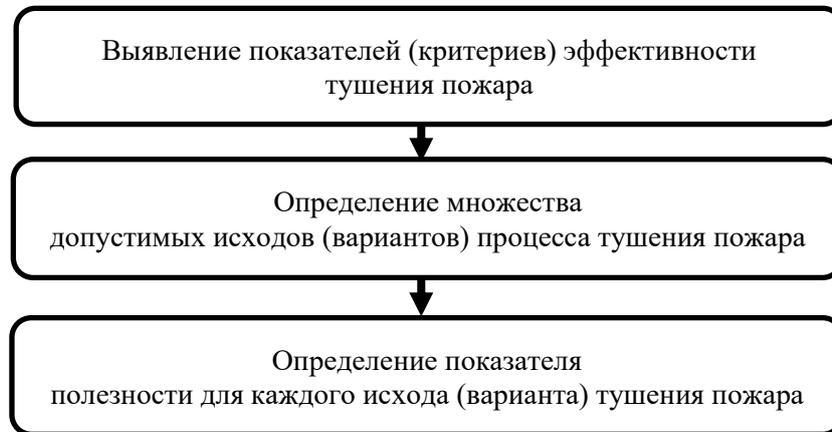


Рисунок 1.30 – Последовательность определения функции полезности при решении задачи принятия решений РТП

На практике наиболее часто применяются следующие виды представления функции полезности, представленные на рисунке 1.31 [155].

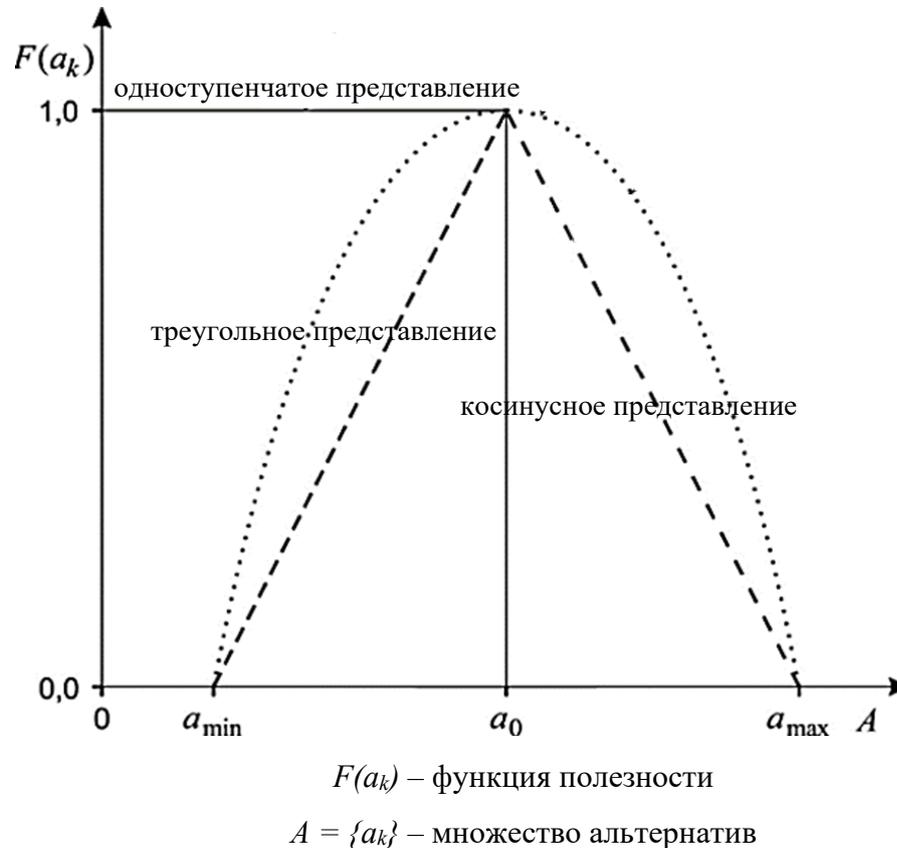


Рисунок 1.31 – Представление аппроксимации полезности [155]

Представление полезности в одноступенчатом виде используется для операций, в которых показателем исхода является временной интервал. Так, например, подобным образом может быть представлен интервал времени от прибытия до подачи первого ПС. В данном случае исходами a_k будет являться фактическое значение времени подачи ОТВ. Полезность системы при $a_k > a_0$, при $a_k < a_0$ равна 1 [155]. Треугольным или косинусным представлением, например, может представляться полезность значения интенсивности тушения пожара.

Таким образом, для решения задачи эффективного ведения боевых действий необходимо учитывать альтернативность, неясность многих ситуаций оперативной обстановки и совокупность проблемы принятия решений при тушении пожаров. Пренебрежительное отношение к каким-либо взаимосвязям между подсистемами системы управления (см. рисунок 1.28) может означать одностороннее, а, следовательно, ложное отражение реальности, что, в свою очередь, может стать причиной ошибок (см. рисунок 1.19) в решении задач, которые возникают перед РТП.

Проанализируем информационные системы (ИС), которые применяются для оперативного управления пожарными подразделениями, где реализованы рассмотренные выше методы принятия решений.

1.5 Анализ систем поддержки принятия решений, применяемых для управления пожарными подразделениями

Приоритетным направлением развития ГПС выступает наращивание темпов роста внедрения передовых информационных технологий, активизация их использования в деятельности пожарных подразделений. Работы по автоматизации и информатизации деятельности ГПС России ведутся с начала 1990-х гг. XX века. Ведущими разработчиками программ на сегодняшний день выступают: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), ФГБУ ВНИИПО МЧС России, ИБРАЭ РАН, ООО «ЦИЭКС», ООО «Центр инновационных технологий» и другие. Итогом работы стало создание весьма обширного перечня ИС, предназначенных

для решения оперативных и иных задач подразделений ГПС России.

На рисунке 1.32 отражена классификация компьютерных ИС, необходимых для оперативно-тактического управления ресурсами на пожаре в зависимости от типа ИС, которая формализовано пятью крупными блоками систем: адаптивные, экспертные, самообучающиеся, информационно-расчетные и системы с интеллектуальным интерфейсом. В каждой группе может быть проведена дальнейшая классификация на подсистемы. Логико-вероятные и расчетно-аналитические системы получили наибольшее распространение для решения тактико-оперативных задач в пожарных подразделениях.

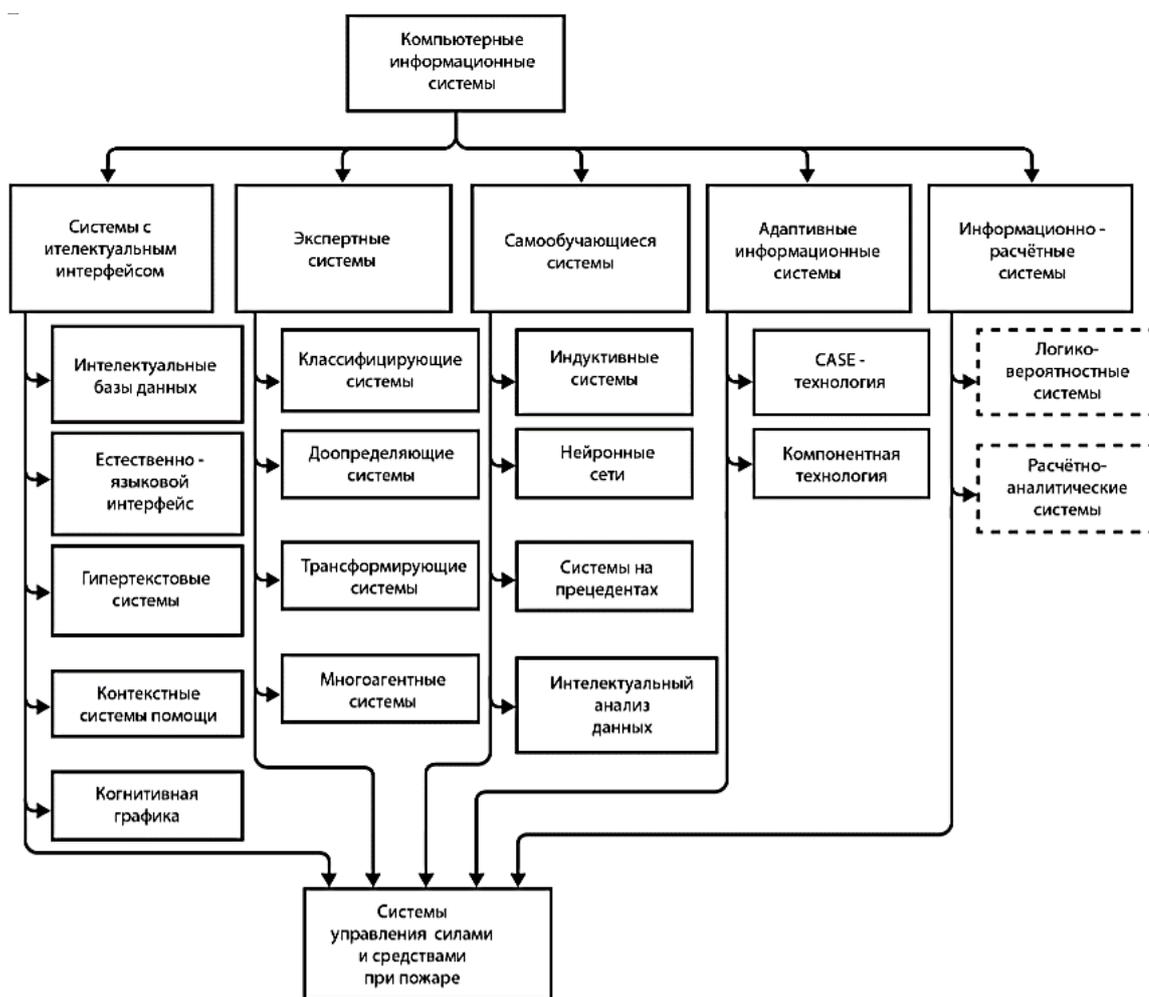


Рисунок 1.32 – Классификация компьютерных ИС

Самообучающиеся системы основаны на внесении корректировок в алгоритм программы с контролем эффективности таких изменений. Сейчас для предупреждения и прогнозирования чрезвычайных ситуаций активно внедряются

технологии искусственного интеллекта. Увеличивается космическая группировка спутников, совершенствуется система антикризисного управления. Для моделирования развития ситуаций, в том числе возможных последствий от ЧС, актуализируется и картографическая база данных (БД).

Адаптивные системы отличаются способностью адекватно отражать знания в проблемной области, быстрым реагированием на изменения условий внешней среды. В рамках адаптивных ИС наиболее часто используется модульный подход, в основе которого лежит использование стандартизированного интерфейса сервисов и программ. Использование адаптивных систем позволяет решить проблему дублирования функций, а также появляется возможность расширения функционала системы путем создания новых композитных приложений на базе уже имеющегося сервиса.

Информационно-расчетные системы имеют наибольшую прикладную значимость для тактико-оперативного решения задач управления имеющимися в пожарном подразделении ресурсами, их главная задача – автоматизация профессиональной деятельности личного состава пожарных подразделений. В данной группе систем отдельно выделяют системы поддержки принятия решения, цель которых состоит в автоматизации функциональных задач конкретных должностных лиц.

Системы с интеллектуальным интерфейсом осуществляют поиск неявной информации в БД или в тексте произвольного запроса.

Управление пожарными подразделениями с использованием систем поддержки принятия решений стало широко применяться с 2000 г. Одна из первых таких систем – автоматизированная СППР при привлечении пожарных подразделений на пожары, решающая задачу обоснованного выбора подразделения пожарной охраны. В СППР решают задачи по выбору оптимального маршрута с учетом фактического наличия пожарной техники в подразделениях.

Современные условия функционирования пожарных подразделений характеризуются стремительным ростом числа и усложнением решаемых задач.

Экспертная система (СППР) является оптимальным инструментом для накопления и передачи всего массива знаний в определенной области. Преимуществом указанного подхода выступает оперативность предоставления информации, полнота сведений, отсутствие ошибочных или непроверенных данных. Такого рода системы сопоставимы с консультацией эксперта в выбранной предметной области.

Пример работы системы с интеллектуальным интерфейсом отражен на рисунке 1.33 Система мониторинга «Арго СТРАЖ.5.0». Основываясь на информации о характере пожара, система рекомендует оптимальный алгоритм действий. Это помогает оперативному дежурному избежать ошибок и сократить время реагирования.

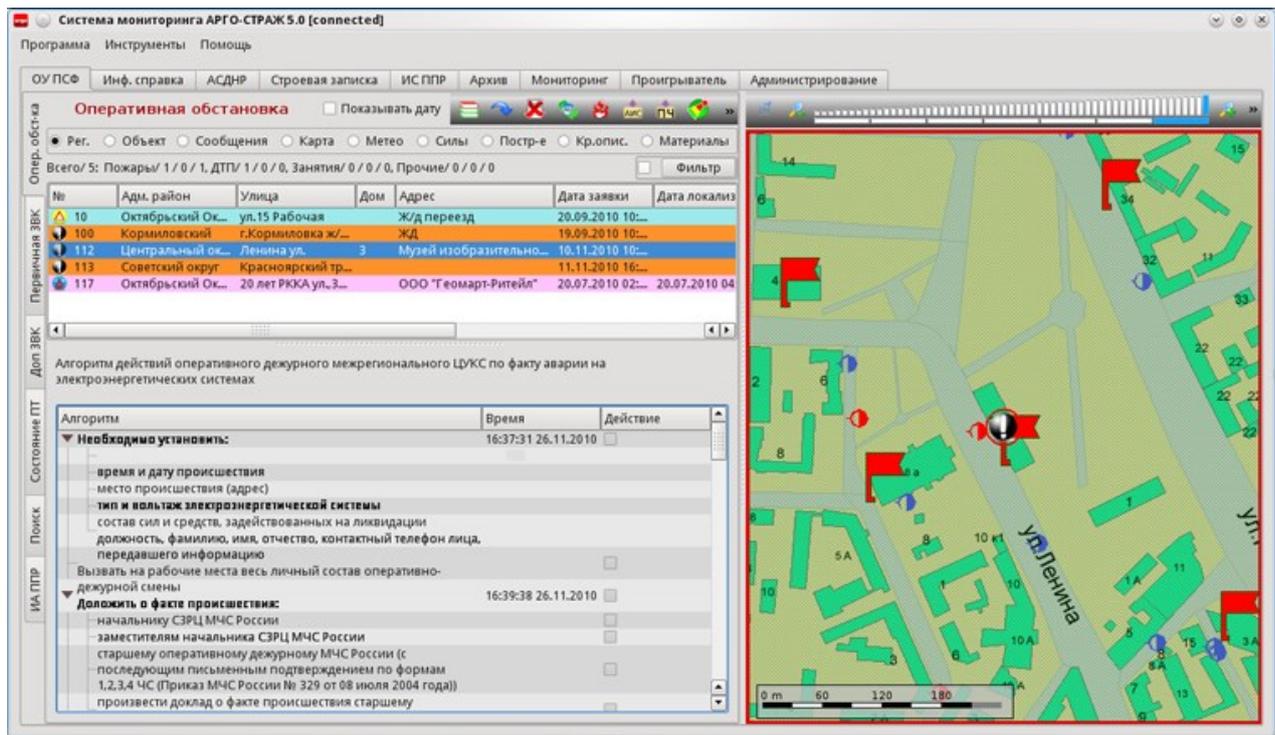


Рисунок 1.33 – Пример ИС с интеллектуальным интерфейсом

Решения задач в рамках ИС с интеллектуальным интерфейсом осуществляется посредством диалога между программным средством и пользователем.

В числе приоритетных направлений развития деятельности подразделений ГПС России выступают автоматизация процессов управления. На глобальном

уровне получила развитие автоматизированная геоинформационная СППР оперативного управления территориальными пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров и ликвидации техногенных аварий и катастроф на объектах (АГСППР и ОУ). Назначение данной ИС – автоматизация деятельности ГУ МЧС России, информационно-аналитическая поддержка управленческих решений должностных лиц (руководителей) территориальных органов управления МЧС России, оперативных штабов на пожаре и оперативных штабов по ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Процессы глобализации затрагивают все сферы жизнедеятельности, что обуславливает необходимость взаимодействия с мировым сообществом, в том числе и по вопросам предупреждения и ликвидации пожаров. Современные программно-технические средства способны обеспечить интеграцию с аналогичными системами сопредельных государств и профильных международных организаций. Данный шаг важен и для осуществления оперативного информирования зарубежных коллег о трансграничных чрезвычайных ситуациях. Пример интеграции АГСППР и ОУ с другими системами приведен на рисунке 1.34.

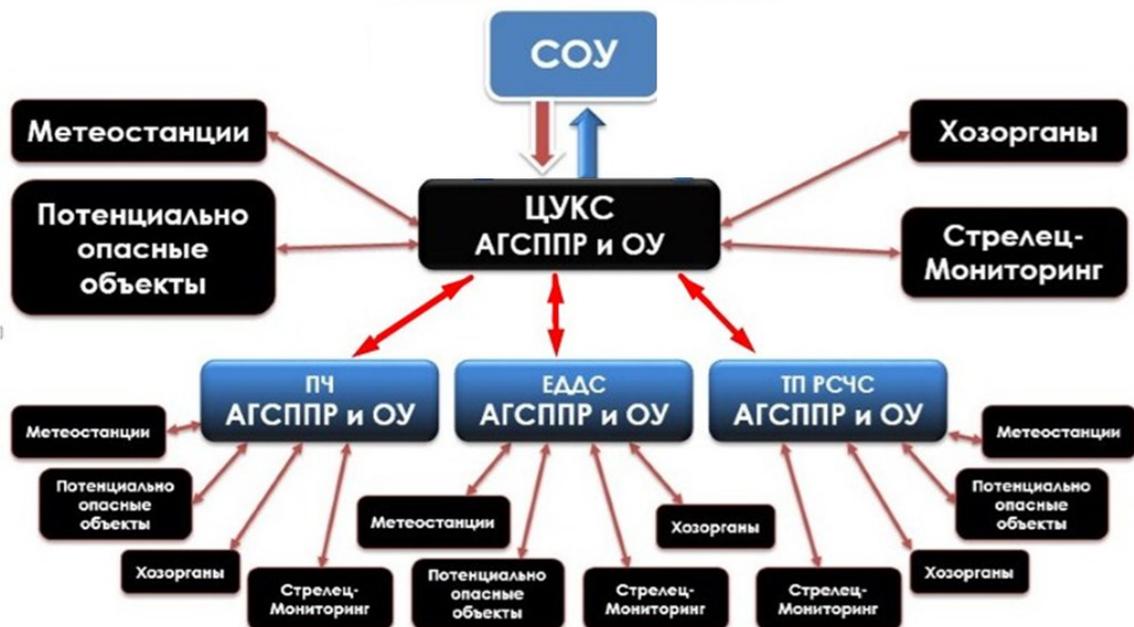


Рисунок 1.34 – Интеграция АГСППР и ОУ с другими системами. Связь ЦУКС с ПЧ ЕДДС

Использование системы позволяет повысить эффективность действий

гарнизона при ликвидации пожара за счет:

- 1) сокращения времени обработки поступившего сигнала о пожаре;
- 2) автоматизации поддержки и формирования управленческих решений по привлечению сил и средств для ликвидации пожара;
- 3) информационно-аналитической поддержки управленческих решений при ликвидации пожара;
- 4) хранения информации в БД с привязкой к объектам возгорания;
- 5) возможности автоматизации формирования отчетов;
- 6) ведение статистики, анализ оперативной обстановки;
- 7) единого информационного пространства.

Это позволяет уменьшить материальный ущерб от пожаров и повысить вероятность спасения человеческих жизней.

Национальный центр управления в кризисных ситуациях использует более пятидесяти ИС, к которым подключены автоматизированные рабочие места, в том числе и АРМ ГПС России. Для удобства пользования ИС в НЦУКС МЧС России создан специальный технологический портал в сети интернет.

Дальнейшая автоматизация деятельности подразделений ГПС России обусловлена необходимостью решать сложные функциональные задачи с высокой степенью эффективности. Ограниченность времени в совокупности с необходимостью соблюдения установленного регламента действий при возникновении чрезвычайной ситуации увеличивают риск совершения ошибки РТП. Принятие неверного решения приводит к непоправимым последствиям в виде человеческих жертв и материального ущерба.

РТП в случае возникновения чрезвычайной ситуации проводит субъективную оценку эффективности расстановки сил и средств с учетом его личных представлений о приоритетности решения задач на объектах возгорания. Для минимизации риска ошибочного решения целесообразно использовать специализированные компьютерные ИС. Так в системе АГСППР и ОУ (см. рисунок 1.34) реализован модуль АРМ РТП (рисунок 1.35).

АРМ обеспечивает РТП информацией по продолжительности работы

водяных ПС от пожарных машин, гидравлических характеристиках насадок ПС, ТТХ пожарных автоцистерн, автомобилей порошкового и комбинированного тушения, коленчатых автоподъемников, автомобилей газодымозащитной службы, характеристики штабных автомобилей, техники народного хозяйства, приспособленной для подачи ОТВ на пожар, характеристиках дыхательных аппаратов, ТТХ ручных и лафетных ПС и другими справочными данными.



Рисунок 1.35 – Функциональные подсистемы АГСППР и ОУ

Качество принятого управленческого решения базируется на ряде факторов: уровень профессиональной подготовки РТП, полноте информации об объекте возгорания и качестве систем автоматизированного управления и поддержки принятия решений.

Таким образом, качество автоматизации и информатизация процесса управления играют важную роль в эффективности принимаемых решений. Важной чертой всех существующих на сегодняшний день программных систем выступает то, что в основе принципа работы всех ИС лежат тщательно проработанные математические модели и обобщенные статистические данные практики работы ГПС России. Это позволяет обеспечивать высокий уровень

точности автоматизации процессов и минимизировать вероятность ошибки.

Системы классифицируются по целям, методам и сферам применения. Объединяет все системы то, что в основе каждой из них лежит пользовательский графический интерфейс, позволяющий осуществлять взаимодействие между оператором и системой посредством ввода определенной текстовой информации. Проанализируем достоинства и недостатки наиболее популярных систем поддержки принятия оперативных управленческих решений в пожарных подразделениях.

В Фонд программных средств ГПС [25, 26] входят разнообразные программы для ЭВМ, в их числе системы «Дежурная служба», «Пожаротушение», автоматизированная система по расчету интенсивности подачи пенных средств («Пена»), автоматизированная система по информационному обеспечению РТП при тушении пожаров в резервуарах («Резервуар»).

Наиболее функциональной и совершенной в техническом плане является автоматизированная система информационной ППР при тушении пожаров (АСИППР), для решения задач повышения обоснованности и качества принимаемых решений в которой реализованы подсистемы информационно-справочной, информационно-аналитической поддержки и подсистема генерации управленческих решений.

Иными словами, функциональное предназначение и круг пользователей, которым данная система предназначается уже совершенно иной. АСИППР имеет уже более сложный графический интерфейс, система позволяет реализовать существенно большее число задач.

В числе первых АСИППР была «Автоматизированная СППР при привлечении пожарных подразделений на пожары». Данная СППР позволяет обосновывать выбор подразделения пожарной охраны, от которого высылаются оперативные подразделения, вычисление наиболее оптимального маршрута следования к месту пожара, основанного на текущем и реальном количестве пожарной техники на момент времени поступления вызова.

В 2011 году был предложен метод поддержки управления, реализованный в

СППР при организации спасательных работ и пожаротушения в высотных зданиях с использованием CASE-технологий [26]. В данной системе выбор способа ликвидации пожара основывается на аддитивной функции от временных показателей. Постановка задачи выбора варианта тушения пожара является многокритериальной. Набор возможных вариантов тушения пожара зависит от числа допустимых способов ведения боевых действий по тушению пожара и спасания людей.

В 2013 году создана «Интеллектуальная СППР на базе нечетких нейронных сетей для РТП на территории Калининградского морского торгового порта» [26]. Для выбора маршрута движения пожарных внутри здания (портового сооружения) применена теория графов и искусственная нейронная сеть. Эффективность выбора маршрута основывается на анализе динамики площади пожара и высоты задымленной зоны в помещениях.

В 2013 году также был разработан «Программный комплекс по расчету сил МЧС России для ведения аварийно-спасательных и других неотложных работ». Данное программное средство предназначено для определения численности и состава сил МЧС России, сил гражданской обороны субъекта Российской Федерации и муниципального образования для решения задач в области гражданской обороны в мирное и военное время на территории субъекта Российской Федерации, а также для определения численности и технического оснащения территориальных подразделений ФПС, подразделений противопожарных служб (ППС) субъектов Российской Федерации, муниципальной, добровольной, частной пожарной охраны.

Комплекс программ для ЭВМ для поддержки принятия решений в условиях крупных пожаров и ЧС [26] предназначен для совершенствования управления при организации действий по тушению пожара и спасательных работ в жилых зданиях. Компьютерная система дополнена расчетом временных показателей при организации спасательных работ из высотных зданий.

В 2014 году в МГТУ им Н.Э. Баумана был разработан программный комплекс «ПАУР-Т». Он представляет собой информационно-аналитическую

подсистему анализа и управления техногенными рисками и поддержки принятия решений по эффективной защите личного состава критически важных объектов экономики и населения, проживающего на близлежащей территории, с применением веб-технологий, в том числе КВО экономики Республики Крым и г. Севастополь. Программный комплекс ПАУР-Т предназначен для анализа и управления рисками и поддержки принятия решений при возникновении чрезвычайных ситуаций.

В 2015 году был разработан «Программный комплекс «Региональная геоинформационно-картографическая модель риска потенциальных чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера на трансграничных территориях России» (ПК «Граница»). Данное программное средство содержит тематические БД региональной геоинформационно-картографической модели рисков ЧС, специализированные картографические БД региональной геоинформационно-картографической модели рисков ЧС на трансграничных территориях России. В основе ПК «Граница» с ГИС «Экстремум». Основное предназначение ПК «Граница» – снижение риска ЧС природного, техногенного и биолого-социального характера на трансграничных территориях РФ. ПК «Граница» обеспечивает прогнозирование последствий, поддержку принятия решений и анализ рисков при землетрясениях, цунами, лесных пожарах, наводнениях, чрезвычайных ситуациях на атомных электростанциях, чрезвычайных ситуациях на химически опасных объектах на трансграничных территориях РФ, а также прогнозирование рисков биолого-социальных чрезвычайных ситуаций на основе обработки статистической информации.

В 2016 году была разработана «Многоуровневая навигационно-информационная система мониторинга транспортных средств МЧС России на базе использования системы ГЛОНАСС». Эта ИС автоматизирует действия дежурных ПЧ и гарнизонов территориального уровня по реагированию на сообщения о пожарах и ЧС за счет обмена информацией с внешними автоматизированными системами, а также предоставляет навигационную и

управленческую информацию для обеспечения принятия решений ответственными должностными лицами на региональном и муниципальном уровнях [25].

Еще один блок программ – имитационные системы, такие как: CIS-KOSMAS, STRESS и ряд других [16, 25]. Системы данного типа позволяют осуществлять планирование деятельности подразделений ГПС РФ. Алгоритм работы построен на статистических закономерностях случайных процессов.

CIS-KOSMAS имеет возможность воспроизведения с высокой степенью точности всех деталей процесса функционирования оперативных служб ГПС России с полным сохранением логической структуры.

Практическая значимость CIS-KOSMAS заключается в том, что в процессе имитации руководство пожарных подразделений может решить обширный перечень задач. В частности, система предоставляет возможность изменить количество пожарных частей, обслуживающих определенную местность либо изменить их месторасположение, варьировать количество и типы имеющейся там техники, варианты диспетчеризации и другие параметры. Итогом моделирования выступает модель функционирования подразделения пожарной службы с учетом выбранных изменений.

Изменяя параметры функционирования подразделений ГПС РФ можно выявить наиболее эффективный с экономической и организационной точки зрения вариант. Достоинством системы является и то, что весь процесс моделирования наглядно отображается на экране монитора, а при изменении одного параметра оперативно отображаются изменения во всей системе.

Помимо формирования оптимальной инфраструктуры пожарной службы, программа дает возможность провести имитацию реальной или возможной экстренной ситуации, которая может возникнуть при изменении параметров городской среды или оперативной обстановки. Примером таких изменений может служить изменение скоростного режима на участках дорог, открытие новых объектов социальной инфраструктуры либо строительство жилых комплексов и т.п.

Программное средство «Дежурная служба» позволяет автоматизировать расчет сил и средств при разработке планов пожаротушения объекта [25].

Программное средство «Потребность» позволяет автоматизировать расчет потребности в основных автомобилях для организации противопожарной защиты населенного пункта [25].

Принятие эффективного управленческого решения невозможно без владения максимально полной информацией. Эту задачу помогает решить еще один класс программ, используемых в подразделениях ФПС России – программно-аппаратные комплексы мониторинга [25].

Наиболее распространенными системами мониторинга являются: ПАК «Стрелец-Мониторинг», «Радиоволна» и АГИСППРиОУЗ. Несмотря на то, что первостепенной задачей такого рода комплексов выступает своевременное предупреждение людей о возникновении чрезвычайной ситуации, их также можно отнести к разряду автоматизированных СППР.

В программно-аппаратные комплексы мониторинга заложен следующий функционал, помогающий объективно оценить оперативную ситуацию в целях дальнейшего принятия управленческого решения:

- обработка и передача оперативной информации о параметрах возгорания, угрозах возникновения крупных очагов возгорания, рисках развития сложных пожаров в зданиях с большим количеством пребывающих там людей;

- передача в режиме реального времени актуальной информации о распространении пожара на плане объекта.

Внедрение систем мониторинга особенно актуально для объектов социальной сферы, где одномоментно может находиться большое количество людей.

Обзорная характеристика основных групп автоматизированных систем управления, используемых в подразделениях ФПС России, позволяет нам сделать вывод о том, что они относятся к разным классам программ, предназначены для решения узконаправленных задач и в этой связи имеют функционал, не выходящий за рамки решения поставленной задачи.

Помимо классификации ИС по типам, существует возможность деления по функциям управления. В теории управления выделяется такие функции: организация, планирование, контроль и ряд других. Планирование является одной из наиболее важных функций управления. Классификации ИС по функциям управления приведена на рисунке 1.36.

Данный перечень не является исчерпывающим, в практической деятельности пожарных подразделений используются и другие аналогичные программные средства и модули.

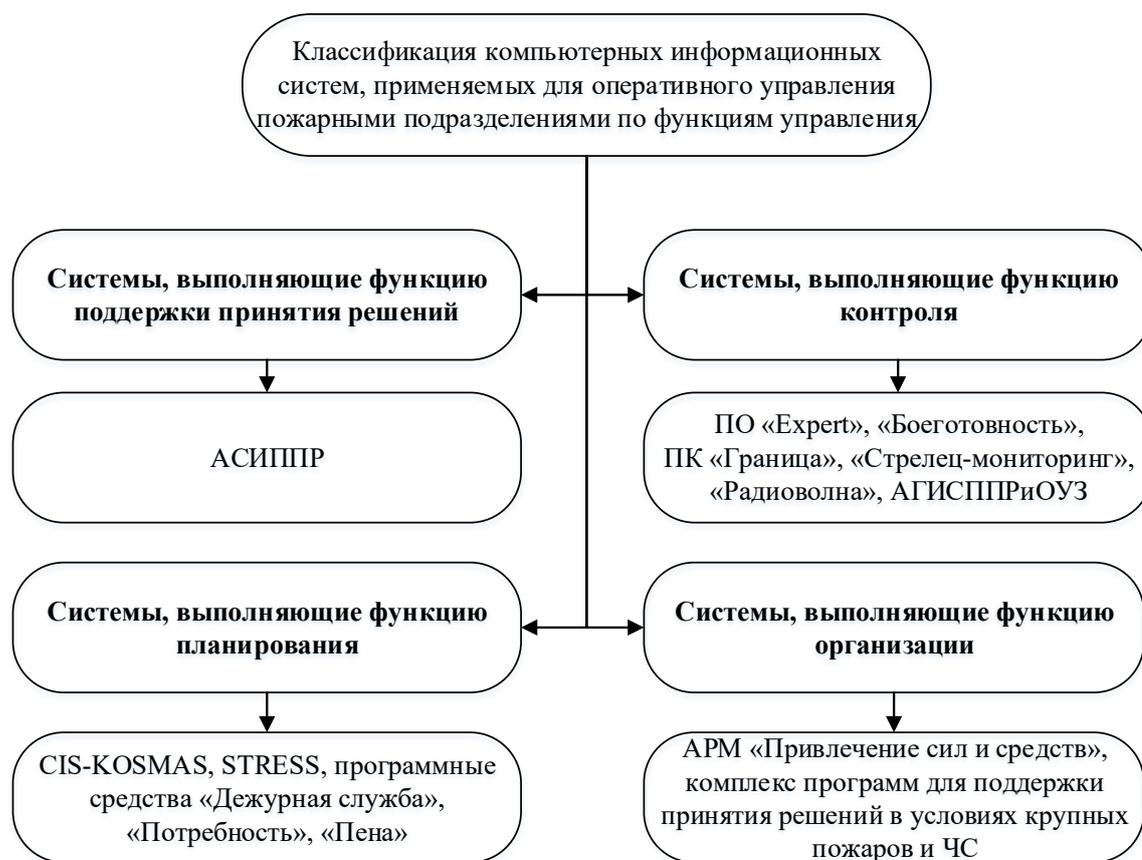


Рисунок 1.36 – Классификации ИС по функциям управления

Контрольная функция управления предполагает отслеживание всех изменений в объекте и проведении качественной оценки таких изменений. Для эффективной работы пожарных подразделений важным условием является профессионализм. Контроль за работоспособностью личного состава ГПС и экспресс-диагностика осуществляется посредством ПС «Боеготовность» [25], для

тестирования и оценки организационно-управленческой компетентности сотрудников органов управления ГПС используется ПС Expert [25].

АСИППР автоматизирует управленческую и информационно-аналитическую деятельность РТП.

Ряд программ может реализовывать не одну, а несколько функций управления, в ходе проведенной классификации мы выделяли главное назначение ИС.

Достоинством специализации систем управления по функциям управления выступает то, что интерфейс таких программных средств не перегружен информацией и отображает только тот комплекс задач, которые может выполнить должностное лицо на своем уровне. АСИППР предназначен для использования руководителями пожарных подразделений, что существенно сокращает время на принятие управленческого решения и снижает вероятность ошибки. Аналогичный эффект имеет и разделение автоматизированных систем управления по областям применения. Например, автоматизированную систему по расчету интенсивности подачи пенных средств («Пена») [25] имеет смысл использовать только при локализации и ликвидации пожаров при помощи пенных средств.

Таким образом, проведя анализ динамики пожаров и материального ущерба от пожаров в жилых зданиях, показателей оперативного реагирования подразделений пожарной охраны и ошибок, допускаемых при тушении пожара в жилых зданиях, основных расчетных характеристик при ликвидации горения в жилых зданиях, процесса принятия решений и управления организацией тушения при локализации и ликвидации пожаров в жилых зданиях, методов поддержки принятия управленческих решений при тушении пожара и СППР, применяемых для оперативного управления пожарными подразделениями для повышения эффективности управления пожарно-спасательными подразделения при планировании боевых действий на пожаре в жилых зданиях необходимо:

– разработать модель и алгоритмы, повышающие эффективность принятия решения РТП при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях;

– разработать модели определения глубины тушения пожара ручными ПС и на их основе алгоритм поддержки принятия решения РТП.

1.6 Выводы по главе 1

1. Динамика пожаров в Российской Федерации имеет отрицательную направленность. С 2008 по 2018 годы количество пожаров уменьшилось на 75,5 тыс. Но в связи с экономическим развитием страны, пожарная нагрузка и материальный ущерб от пожаров год от года возрастают. Прямой материальный ущерб в городах в период с 2008 год по 2019 год вырос на 3950 млн рублей. В 2019 году наблюдался скачок количества пожаров, который достиг 471,4 тыс., из них 265,7 тыс. произошли в городах, а 205,7 – в сельской местности.

2. В Российской Федерации и Краснодарском крае риск столкновения с пожаром (опасными факторами пожара) в среднем уменьшается на 3,4 % в год, риск гибели при пожаре в среднем уменьшается на 2,75 % в год, риск гибели от пожара уменьшается в среднем на 7,7 % в год. Риск гибели при пожаре в Краснодарском крае выше, чем в Южном федеральном округе и в среднем по Российской Федерации. Необходимо повышать эффективность управления пожарным подразделением при ведении боевых действий на пожаре для уменьшения пожарной опасности.

3. Наибольшее количество пожаров и гибель людей происходит в 2-17 этажных жилых зданиях различной степени огнестойкости. Целесообразно разрабатывать новые модели и алгоритмы поддержки принятия решения РТП применительно к тушению пожаров в данной категории зданий.

4. Повышение уровня автоматизации в подразделениях ФПС России положительно влияет на эффективности деятельности пожарных подразделений. За период 2012–2018 гг. количество пожаров уменьшилось на 18,3 %, количество погибших при них людей – на 32,9 %. Степень автоматизации и уровень оперативного управления подразделениями территориальных и местных гарнизонов пожарной охраны повышались в соответствии с целевыми индикаторами ФЦП «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период

до 2017 года» [6] за счет внедрения специализированных СППР.

Это свидетельствует о необходимости дальнейшей автоматизации деятельности пожарных подразделений, в том числе процесса поддержки принятия решений РТП.

5. Применение СППР для оперативного управления пожарными подразделениями позволяет осуществлять решение текущих задач с высокой степенью точности, так как минимизируется влияние субъективных мнений и оценок. Корректность управленческих решений обусловлена использованием в системах сложных математических моделей, обладающих высокой степенью точности выбора необходимых параметров. Скорость обработки данных в ИС в разы превышает возможности человека. Таким образом, использование автоматизированных систем управления отвечает современным тенденциям развития общества по пути цифровизации, в то же время обеспечивается повышение скорости принятия решения и его обоснованность.

6. Повышение эффективности управленческих решений при планировании организации тушения пожаров в жилых зданиях является актуальной задачей и имеет высокую степень практической значимости. Принятие решений РТП происходит в условиях неопределенности, быстрого изменения факторов внешней среды и многокритериального выбора, что требует разработки новых эффективных моделей и алгоритмов поддержки принятия решения, основанных в том числе и на теории полезности.

7. Эффективность применения сил и средств, с целью достижения успеха при решении задач пожаротушения зависит от организации работы должностных лиц и применяемых методов. Уровень качества управления напрямую зависит от научной обоснованности организации и методов управленческой деятельности.

8. Принятие решений РТП происходит в условиях неопределенности, быстрого изменения факторов внешней среды и многокритериального выбора и наиболее важным этапом является выбор наилучшей альтернативы. С учетом требований, предъявляемых к методам, моделям и алгоритмам поддержки принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре (возможность решения многокритериальных задач в условиях определенности и

неопределенности, в четкой и в нечеткой среде, учет структуры предпочтения РТП) принято решение использовать в диссертационном исследовании методы теории полезности.

ГЛАВА 2 МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РУКОВОДИТЕЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРОВ

2.1 Модель поддержки принятия решений руководителя тушения пожара на основе оценки функции ценности вариантов тушения пожара

2.1.1 Применение аксиом теории полезности к задачам поддержки принятия решений руководителя тушения пожара при выборе варианта тушения пожара

В первой главе исследования доказано, что для поддержки принятия решений РТП может быть использована теория полезности. Рассмотрим процесс принятия решения как статическую детерминированную задачу. В случае если выбор производится в условиях определенности, эту функцию называют функцией ценности. В случае если выбор производится в условиях риска или неопределенности, такую функцию называют функцией полезности [155, 157].

При принятии решения в условиях определенности аксиомы теории полезности имеют следующий вид [94]. Пусть $vo^1, vo^2, vo^3 \in VO$ – многокритериальные векторные оценки альтернатив $a_1, a_2, a_3 \in A$, где $A = A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n \in E^n$ – пространство многокритериальных оценок; A – множество допустимых альтернатив.

На множестве VO зададим отношение доминирования $>$ и операцию $\widehat{v\delta} = pvo^1 + (1 - p) \cdot vo^2, 0 \leq p \leq 1$. В этом случае если:

а) для любых vo^1 и vo^2 имеет место одно из соотношений $vo^1 \sim vo^2, vo^1 > vo^2, vo^2 > vo^1$ – аксиома связности (упорядоченности) отношений.

Данные отношения означают следующее:

$vo^1 > vo^2$ – для РТП предпочтительней альтернатива с векторной оценкой vo^1 ;

$vo^2 > vo^1$ – для РТП предпочтительней альтернатива с векторной оценкой vo^2 ;

$vo^1 \sim vo^2$ – для РТП безразлично, какую альтернативу выбрать;

б) из $vo^1 > vo^2, vo^2 > vo^3$ следует $vo^1 > vo^3$ – аксиома транзитивности.

Эта аксиома означает, что если для РТП альтернатива с векторной оценкой vo^1 предпочтительней альтернативы с векторной оценкой vo^2 , а альтернатива с векторной оценкой vo^2 предпочтительней альтернативы с векторной оценкой vo^3 , то альтернатива с векторной оценкой vo^1 будет предпочтительней альтернативы с векторной оценкой vo^3 ;

в) из $vo^2 > vo^3 > vo^1$ следует существование такой вероятности p , что $pvo^1 + (1 - p)vo^2 \sim vo^3$ – аксиома растворимости.

Эта аксиома означает, что если для РТП существует отношение предпочтения альтернатив $vo^2 > vo^3 > vo^1$, то существует такое значение вероятности p , что полезность альтернативы с векторной оценкой vo^3 может быть выражена через полезность остальных двух альтернатив следующим образом $vo^3 = pvo^1 + (1 - p)vo^2$.

г) из $vo^1 > vo^3 > vo^2$ следует существование такой α , что $vo^3 > \alpha vo^2 + (1 - \alpha)vo^1$ – архимедова аксиома. Согласно архимедовой аксиоме в задаче принятия решений не должно быть альтернатив, неизмеримо превосходящих другие альтернативы. Таким образом имеется числовая функция, которая ставит каждому $vo \in VO$ в соответствие такое действительное число $V(vo)$, что:

$$vo^1 \geq vo^2 \leftrightarrow V(vo^1) \geq V(vo^2),$$

$$vo^1 \sim vo^2 \leftrightarrow V(vo^1) = V(vo^2).$$

В данном случае функциями ценности $V(vo)$ называют численные представления отношения $>$, которое отвечает вышеприведенным аксиомам, а также допускают произвольные линейные преобразования. В случае построения функции ценности $V(vo)$, удовлетворяющей (2.1), любое монотонное преобразование такой функции, например, $\ln V(vo); a + b \cdot V(vo), b > 0$ – таким

же образом удовлетворяет выражению (2.1) и представляет из себя численное представление той же системы предпочтений.

Кроме приведенных выше аксиом существования, применимы также аксиомы независимости (структурные условия независимости). Имеющие весомое значение на практике и обеспечивающие декомпозицию многомерной функции ценности, облегчая таким образом ее построение.

Разделим множество критериев VO на два дополняющих друг друга подмножества Z и Y , то есть $Z, Y \subseteq VO, Z \cup Y = VO, Z \cap Y = \emptyset$. Воспользуемся понятием независимости по предпочтению [155]:

Утверждение 1. Множество критериев Y независимо по предпочтению от дополняющего его множества Z тогда и только тогда, когда структура условного предпочтения в пространстве Y при фиксировании Z' не зависит от Z' . Более формально, Y не зависит от Z в том и только в том случае, если для некоторого Z' :

$$(y', z) \geq (y'', z') \rightarrow (y', z) \geq (y'', z), \text{ при всех } z, y', y''.$$

Если РТП считает, что подмножество критериев Y не зависит по предпочтению от дополняющего подмножества Z , то ему достаточно структурировать свои предпочтения по y при фиксированном z' , поскольку не требуется повторять эту работу для других уровней z . В данном случае имеет смысл построить функцию ценности V_Y , определенную для y , не конкретизируя Z' . Такая функция должна удовлетворять лишь следующему условию:

$$(y', z) \geq (y'', z) \leftrightarrow V_Y(y') \geq V_Y(y''). \quad (2.1)$$

Если Y не зависит по предпочтению от Z , то многомерная функция ценности $V(v) = V(y, z)$ зависит от y через функцию ценности $V_Y(y)$.

При этом критерии $VO_1, VO_2, VO_3, \dots, VO_m$ взаимно независимы по предпочтению, если каждое подмножество Y множества критериев VO не зависит по предпочтению от своего дополнения.

Условие существования аддитивной функции ценности: для критериев $VO_1, VO_2, \dots, VO_n, n \geq 3$ аддитивная функция ценности:

$$V(vo) = V(vo_1, vo_2, \dots, vo_n) = \sum_{j=1}^n V_j(vo_j), \quad (2.2)$$

где $V_j(v_{oj})$ – функция ценности по критерию v_{oj} , существующая тогда и только тогда, когда критерии взаимнонезависимы по предпочтению.

Вместо использования аддитивные функции ценности в наиболее общем виде (2.3), проще масштабировать функции ценности и каждой многомерной функции ценности так, чтобы они изменялись от нуля до единицы. В этом случае (2.3) преобразовываем к виду

$$V(vo) = V(vo_1, vo_2, \dots, vo_n) = \sum_{j=1}^n k_j V_j(vo_j), \quad (2.3)$$

где $0 \leq V \leq 1, 0 \leq V_j \leq 1, j = 1, 2, \dots, n$ и $\sum_{j=1}^n k_j = 1, k_j > 0$.

Для случая, если при принятии решения имеется большое число критериев, используем гипотезы:

Гипотеза 1. Если каждая пара критериев не зависит по предпочтению от своего дополнения, то критерии взаимно независимы по предпочтению.

Гипотеза 2. Если X и Z пересекающиеся подмножества множества критериев $VO = \{VO_1, VO_2, \dots, VO_n\}$ но ни одно из них не содержится в другом, а их объединение $Z \cup Y$ не совпадает с VO , и если каждое из подмножеств X и Z не зависит по предпочтению от своего дополнения, то любое из следующих множеств критериев: $X \cup Z, X \cap Z, X \setminus Z, Z \setminus X, X \setminus Z \cup Z \setminus X$ независимо по предпочтению от своего дополнения.

Таким образом, модель поддержки принятия решения РТП заключается в оценке функции ценности для каждого варианта тушения пожара, которая представляется в следующем виде:

$$V(r)_j = k_1 \cdot V_1(r_1) + k_2 \cdot V_2(r_2) + \dots + k_n \cdot V_n(r_n) = \sum_{i=1}^n k_i V_i(r_i), \quad (2.4)$$

где r_i – частные критерии эффективности j -го варианта тушения пожара;

$V_i(r_i)$ – функции ценности частных критериев эффективности j -го варианта тушения пожара;

k_i – шкалирующие коэффициенты функций ценности частных критериев эффективности j -го варианта тушения пожар;

$j = \overline{1, m}, m$ – количество вариантов тушения пожара;

n – количество критериев эффективности тушения пожара;

при этом $V(r), V_i(r_i), \in [0,1], \sum_{i=1}^n k_i = 1$.

Задачей РТП в данном случае будет нахождение варианта тушения пожара с максимальной ценностью:

$$\max \{V(R)_j\} = \max \{V(r_1, r_2, \dots, r_n)_j\} = \max \{\sum_{i=1}^n k_i V_i(r_i)\}, \quad (2.5)$$

где $i = \overline{1, n}; n \geq 3; n$ – число критериев, для вариантов тушения пожара;

$j = \overline{1, m}; m$ – число вариантов тушения пожара.

В каждом частном критерии эффективности в (2.4) выражается взаимосвязь между РТП и управляемыми силами, средствами и обстановкой. Таким образом, у РТП появляется возможность оценивать альтернативные варианты тушения пожара по частным критериями эффективности и объединяющей данные критерии многомерной функции ценности для каждого варианта тушения пожара. Каждый вариант тушения пожара может быть выражен численно и сравним с остальными альтернативными вариантами ведения боевых действий с огнем.

Определим одномерную функцию ценности для различных критериев вариантов тушения пожара.

2.1.2 Формализация одномерных функций ценности для различных вариантов тушения пожара

Возможность декомпозиции многомерной функции ценности для варианта тушения пожара существенно облегчает задачу ее построения, так как в значительной мере освобождает РТП от сравнения и оценки многомерных альтернатив [94, 96].

Введем следующие обозначения:

r_j^1 – лучшее (наиболее предпочтительное) значение по критерию $R_j, j = \overline{1, n}$,

r_j^0 – худшее (наименее предпочтительное) значение критерия $R_j, j = \overline{1, n}$,

$(r_j^0, r_{j-}) = r_1, r_2, \dots, r_{j-1}, r_j^0, r_{j+1}, \dots, r_n$ – вектор, составленный из худшего значения по критерию R_j и некоторых фиксированных значений по остальным критериям;

$(r_j^1, r_{j-}') = (r_1', r_2', \dots, r_{j-1}', r_j^1, r_{j+1}', \dots, r_n')$ – вектор, составленный из лучшего значения r_j^1, j – того критерия и фиксированных значений по остальным критериям, причем $r_i \geq r_i', i = 1, 2, \dots, j-1, j+1, n$.

Если имеет место независимость критериев R_1, R_2, \dots, R_n , по предпочтению, то многомерная функция ценности $V(r)$ может быть представлена в виде

$$V(r) = \sum_{j=1}^n k_j V_j(r_j), \quad (2.6)$$

где $V_j(r_j^0) = 0; V_j(r_j^1) = 1; 0 < k_j < 1; \sum_{j=1}^n k_j = 1$

Функцию V_j , выражающую оценку значения r_j , можно считать j -ой компонентой функции ценности варианта тушения пожара, а k_j – шкалирующим коэффициентом, приписанным критерию R_j .

Поэтому построение функции ценности для варианта тушения пожара $V(r)$ – заключается в определении подходящих, то есть удовлетворяющих (2.6) и соответствующих предпочтениям РТП, функций V_j и шкалирующих коэффициентов $k_j, j = \overline{1, n}$.

Поскольку V_j , нормализована посредством $V_j(r_j^0) = 0$ и $V_j(r_j^1) = 1$, то ее построение практически начинается с определения точки, субъективно средней по ценности в интервале от r_j^0 до r_j^1 , т.е. должно быть найдено такое значение $r_j^{0,5}$, для которого $V_j(r_j^{0,5}) = 0,5$, или значение, для которого интервалы $(r_j^0, r_j^{0,5})$ и $(r_j^{0,5}, r_j^1)$ эквивалентны по разности ценности.

Значение $r_j^{0,5}$ удовлетворяет указанному требованию, если из $(r_j^0, r_{j-}) \sim (r_j^{0,5}, r_{j-}')$ следует $(r_j^{0,5}, r_{j-}) \sim (r_j^1, r_{j-}')$. Таким образом, если РТП уступает некоторое количество единиц по остальным критериям, переходя от r_{j-} к r_{j-}' для того, чтобы перейти от r_j^0 к $r_j^{0,5}$, то должен согласиться уступить ровно столько же единиц, за переход от $r_j^{0,5}$ к r_j^1 . После определения точки $r_j^{0,5}$

аналогично осуществляется поиск точек $r_j^{0,25}$ и $r_j^{0,75}$, средних по ценности в интервалах $(r_j^0, r_j^{0,5})$ и $(r_j^{0,5}, r_j^1)$ соответственно. Вышеприведенное позволяет представить j -ую компоненту функции ценности графически.

Дальнейшие шаги зависят от требований, предъявляемых к точности построения $V_j(r_j)$. Если необходимо построить функцию ценности с большей точностью, то, применяя приведенную выше процедуру, можно определить точки $r_j^{0,125}$, $r_j^{0,375}$, и т. д. При этом необходима проверка согласованности количественных оценок РТП путем определения точки, средней по ценности между точками $r_j^{0,25}$ и $r_j^{0,75}$. В случае, если полученное значение существенно отличается от ранее определенного $r_j^{0,5}$, то возникает необходимость выяснения и устранения причины несогласованности в данных оценках РТП.

Приведем пример принятия решения в случае многокритериальной статической детерминированной задачи выбора варианта тушения пожара при фронтальном методе тушения. Результат решения задачи принятия решения в данном случае, можно сформулировать как, упорядочивание по ценности вариантов (способов) тушения пожара (альтернатив). Упорядочивание альтернатив должно осуществляться по степени их удовлетворения следующему требованию – ликвидировать горение на наибольшей площади пожара минимальными силами и средствами. Рассмотрим 10 вариантов тушения пожара в жилом здании II степени огнестойкости.

Для формирования векторных оценок возможных альтернатив предлагается использовать следующие критерии, в порядке их упорядоченности:

- 1) расход ОТВ, л/с – r_1 ;
- 2) время тушения пожара, мин – r_2 ;
- 3) глубина тушения, м – r_3 ;
- 4) количество личного состава, ед. – r_4 .

Значения этих критериев по вариантам тушения пожара приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Характеристика сравниваемых вариантов тушения пожара

Вариант тушения пожара	Критерии – $r_j, j = \overline{1,4}$			
	$r_1, \text{л/с}$	$r_2, \text{мин}$	$r_3, \text{м}$	$r_4, \text{ед.}$
1	20	13	5	8
2	27	17	3	15
3	30	10	6	15
4	28	20	4	16
5	29	15	5	15
6	23	14	6	12
7	28	12	3	14
8	24	15	4	5
9	28	18	5	10
10	30	18	6	5

В таблице 2.2 приведены лучшие (наиболее предпочтительные) и худшие (наименее предпочтительные значения) по каждому критерию r_j .

Таблица 2.2 – Диапазон изменения критериев эффективности вариантов тушения пожара

№ п/п	Критерий	Единицы измерения	Худшее значение критерия r_j^0	Лучшее значение критерия r_j^1
1	Расход ОТВ	л/с	30	20
2	Время тушения пожара	мин	20	10
3	Глубина тушения	м	6	3
4	Количество личного состава	ед.	18	5

Данные в таблице 2.2 взяты на основе анализа тушения реальных пожаров в Краснодарском крае за период с 2008 по 2018 годы, являются обобщенными и взяты в качестве примера. Таким образом, таблица 2.2 представляет для РТП информацию о диапазоне изменения значений критериев r_j в данной задаче принятия решения.

Для поиска точек равноценности использован метод графической интерпретации. Точка начала координат соответствует «наихудшим» значениям критериев r_j^0 . Положительным направлениям осей соответствует «улучшение значений критерия r_j ». Таким образом кривые безразличия, которые соединяют равноценные точки, имеют вид, представленный на рисунке 2.1.

При решении задачи принятия решения неавтоматизированным способом определяем пару точек равноценности и в дальнейшем используем их при

вычислении шкалирующих коэффициентов k_j . Не существует «объективных» решений многокритериальных задач, так как не существует единой структуры предпочтения у всех специалистов в данной области человеческих знаний, поскольку опыт и пристрастия у каждого свои [112].

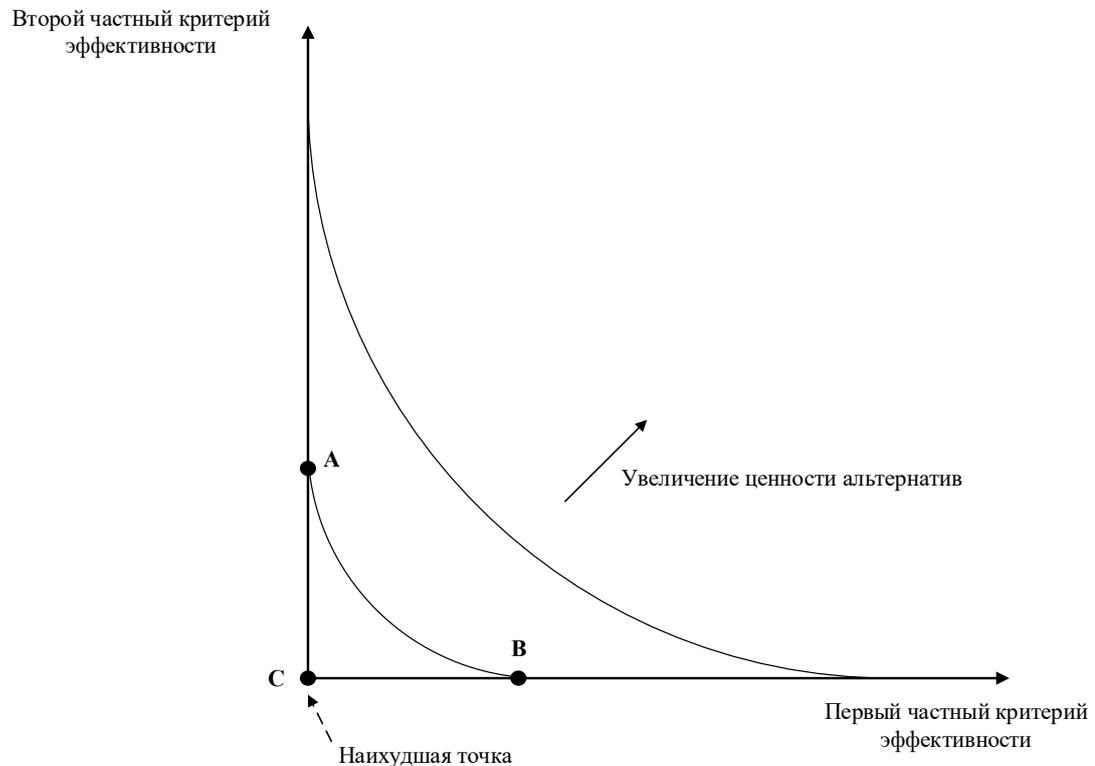


Рисунок 2.1 – Карта безразличия для двух частных критериев эффективности: точки A и B - точки равноценности

Используя порядок критериев, указанный в таблицах 2.1 и 2.2, вычислим точки равноценности оперируя парами критериев. Результаты вычислений представлены на рисунках 2.2 – 2.7.

На рисунке 2.2 изображено «пространство» двух критериев:

- 1) r_1 – расход ОТВ, л/с;
- 2) r_2 – время тушения пожара, мин.

Точка C (30; 20) соответствует худшим значениям по обоим критериям, то есть $r_1^0 = 30$ л/с и $r_2^0 = 20$ мин.

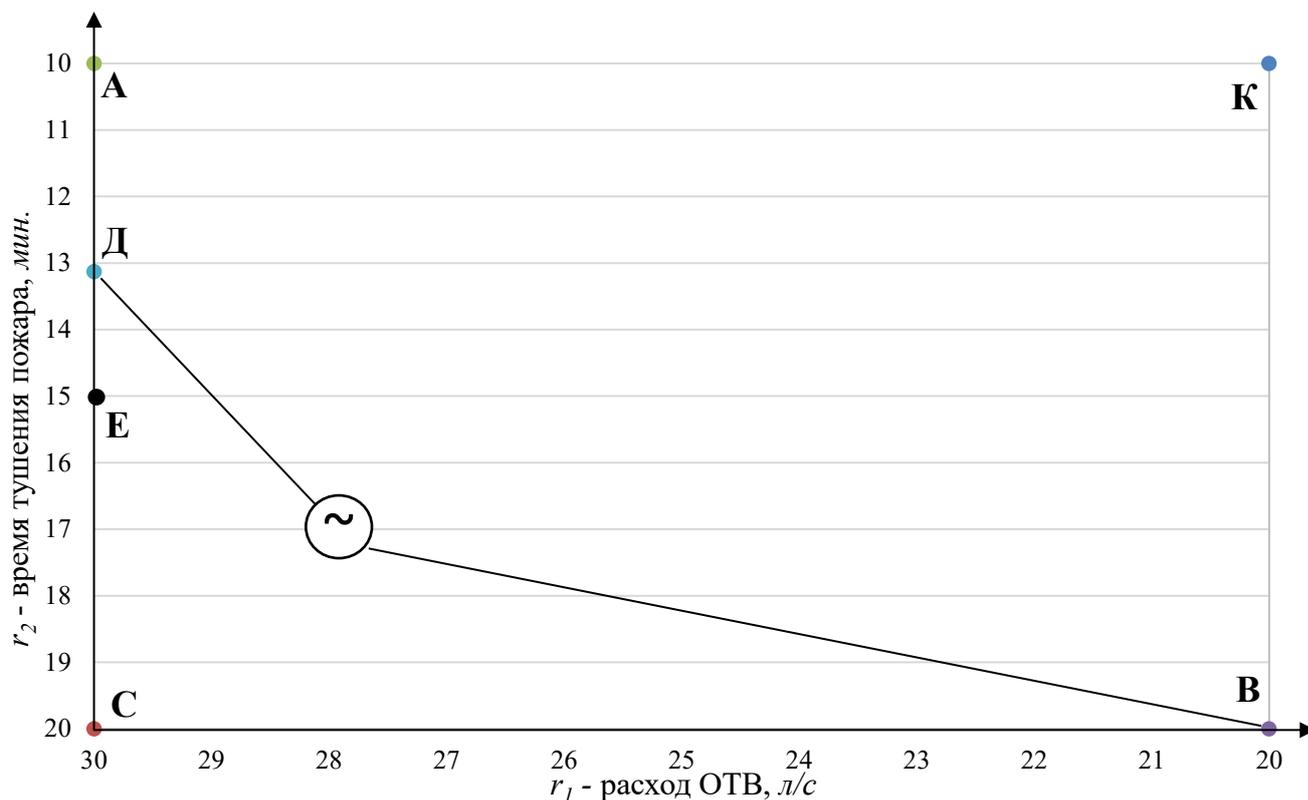


Рисунок 2.2 – Точки равноценности для 1 и 2-го критериев

Для решения задачи по улучшению критериев, влияющих на тушение, необходимо переместиться: в точку A (30; 10), улучшив значение критерия r_2 от $r_2^0 = 20$ мин до $r_2^1 = 10$ мин или в точку B (20; 20), улучшив значение критерия r_1 от $r_1^0 = 30$ л/с до $r_1^1 = 20$ л/с. При этом существует ограничение – переместиться в точку K (20; 10), улучшив значения обоих критериев сразу, невозможно. Используя метод дихотомии и, разделив отрезок $[CA]$ на оси r_2 пополам – получим точку E (30; 15). Вернувшись в точку C (30; 20) РТП должен сделать выбор между другой парой точек: B (20; 20) и E (30; 15). В данной точке сокращение расхода ОТВ будет приводить к увеличению времени тушения пожара. Используем точку C (20; 30) в качестве опорной. При дальнейших вычислениях, РТП постепенно уменьшая отрезок «неопределенности», сужает «зону поиска точек равноценности» ищет точку на оси r_2 , которая для была бы равноценна точке B (20; 20). Указать сразу эту точку равноценности при неавтоматизированном способе довольно сложно, так как интервал поиска узкий. Таким образом, точка равноценности, которую ищет РТП, должна лежать между

$r_2 = 15$ и $r_2 = 12,5$ на оси расхода ОТВ. Очередной итерацией применения метода дихотомии, найдена точка $D(30, 13.125)$, которая соответствует статистическим данным по тушению пожаров.

На данном этапе РТП решает, что найдены две точки равноценности. Подобным образом найдены еще две точки равноценности при рассмотрении следующие пар критериев: $\{r_1; r_3\}$, $\{r_1; r_4\}$. Выявленные точки равноценности приведены на рисунках 2.3–2.4.

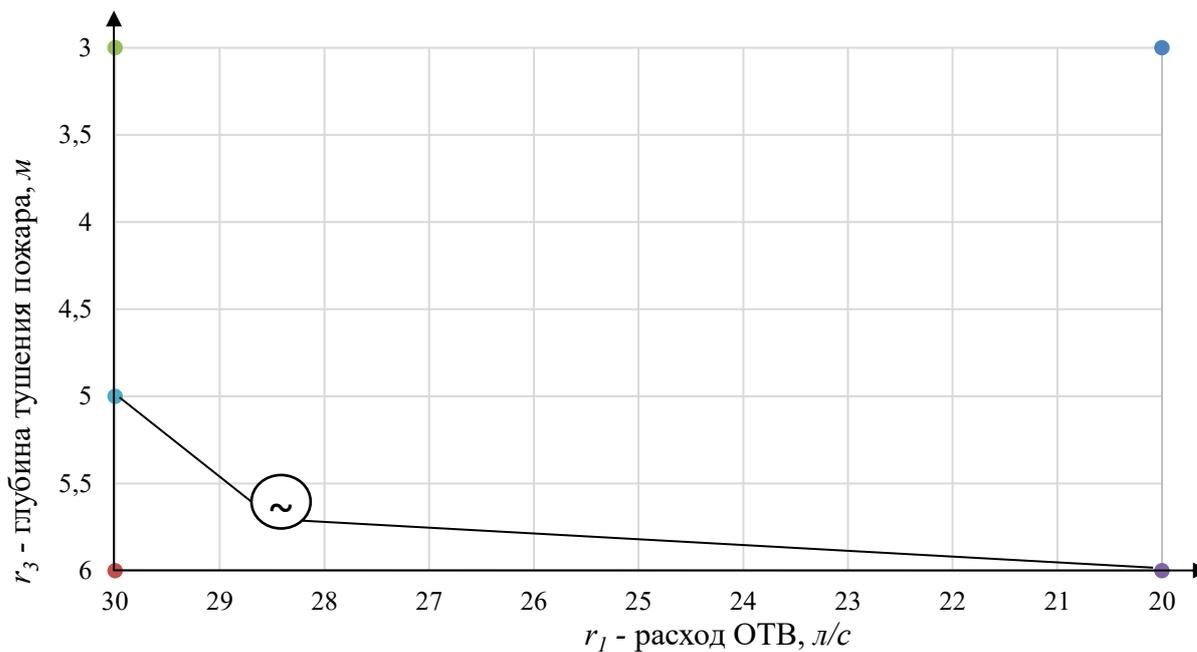


Рисунок 2.3 –Точки равноценности 1 и 3-го критериев

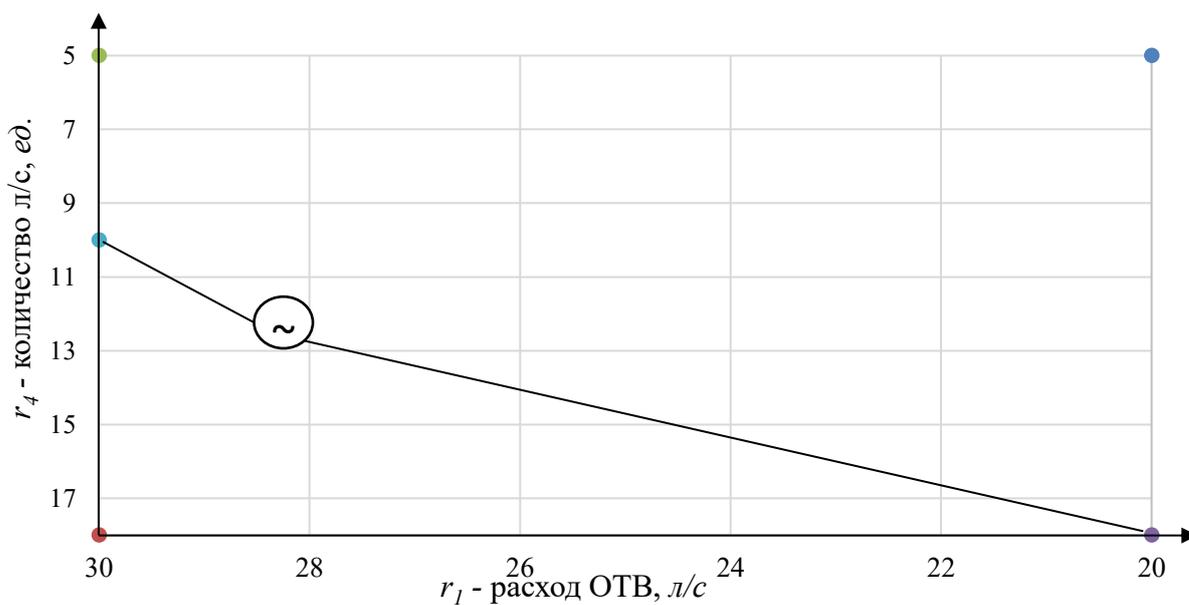


Рисунок 2.4 –Точки равноценности 1 и 4-го критериев

На рисунке 2.5 построен график одномерной функции ценности для первого критерия $V_1(r_1)$. Воспользуемся известными точками $V_1(20) = 1,0$; $V_1(30) = 0,0$ – по условиям нормирования функции ценности $V_j(r_j)$. Из статистических данных по пожарам в качестве новой точки воспользуемся точкой $V_1(24) = 0,50$. На этом графике по оси абсцисс располагаются значения критерия r_1 – расход ОТВ, л/с, а по оси ординат – значения $V_1(r_1)$ функции ценности этого критерия (в условных единицах), нормированной от 0 до 1. Затем последовательно находятся еще две точки $r_1^{0,75} = 22$ л/с и $r_1^{0,625} = 23$ л/с, следовательно, $V_1(21) = 0,875$. По шести точкам $r_1^0, r_1^{0,5}, r_1^{0,625}, r_1^{0,75}, r_1^{0,875}, r_1^1$ была проведена линия, которая графически отображает функцию ценности первого критерия $V_1(r_1)$ РТП, в данной задаче принятия решения.

Аналогично, строятся остальные три одномерные функции ценности для критериев $r_j, j = 2 - 4$, представленные на рисунках 2.6–2.8.

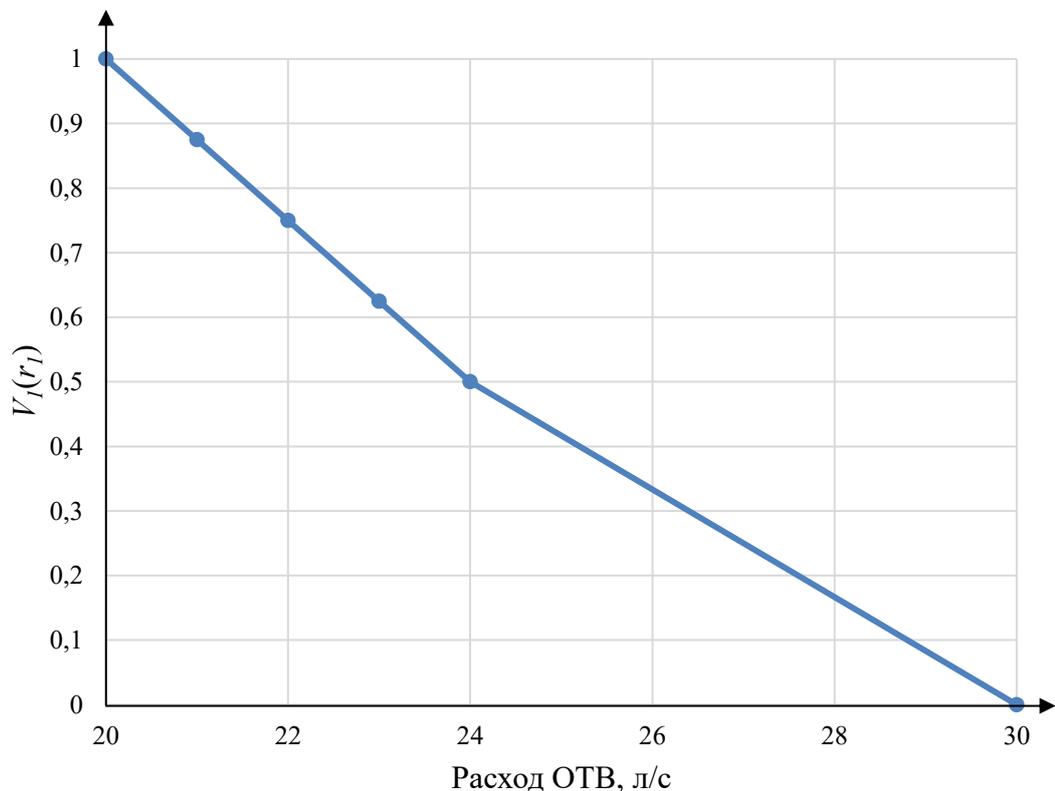


Рисунок 2.5 – Одномерная функция ценности $V_1(r_1)$ 1-го частного критерия эффективности

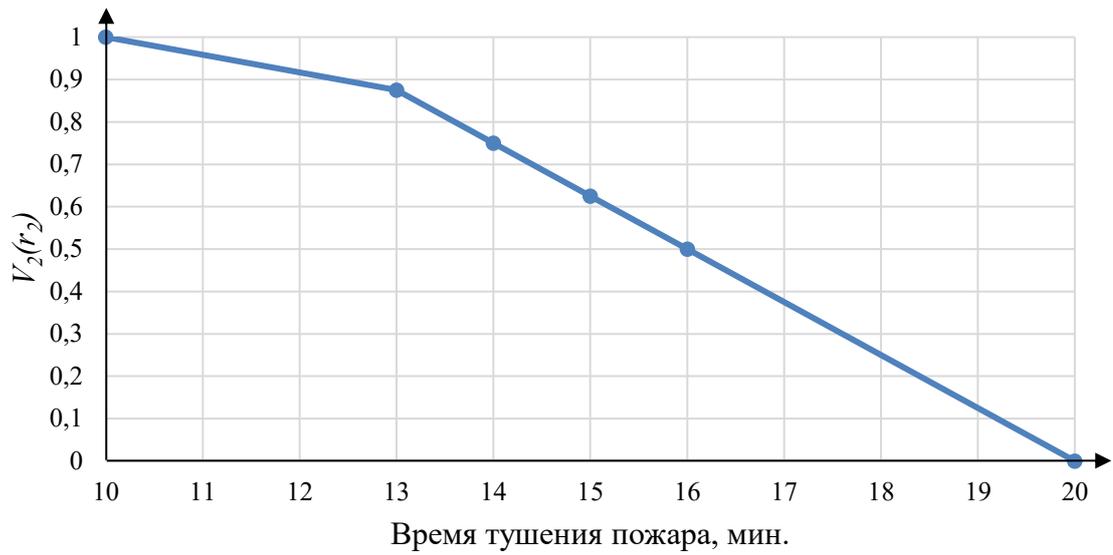


Рисунок 2.6 – Одномерная функция ценности $V_2(r_2)$ 2-го частного критерия эффективности

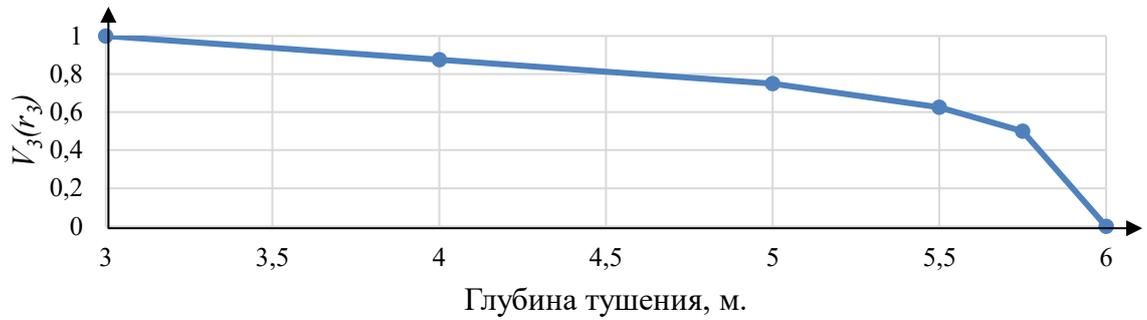


Рисунок 2.7– Одномерная функция ценности $V_3(r_3)$ 3-го частного критерия эффективности

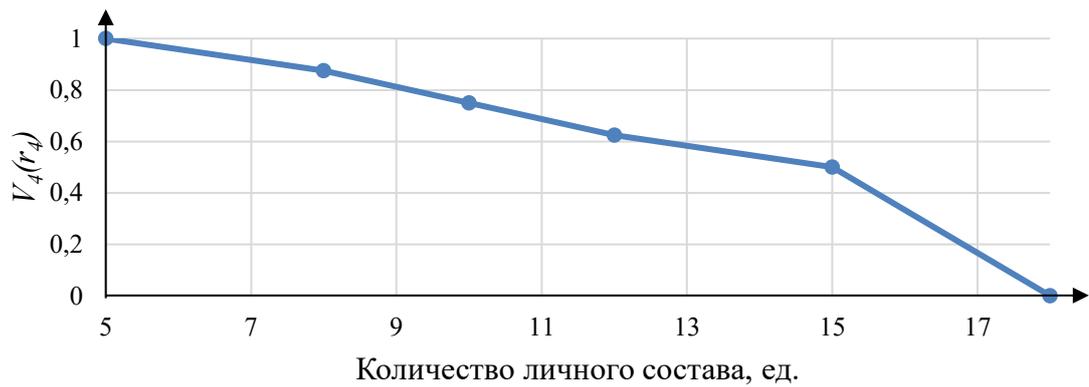


Рисунок 2.8 – Одномерная функция ценности $V_4(r_4)$ 4-го частного критерия эффективности

2.1.3 Построение многомерной функции ценности решения руководителя тушения пожара

Для расчета частных коэффициентов (шкалирующих) перед переменными многомерной функции ценности, соответствующих частным критериям эффективности, вернемся к рисункам 2.2-2.4. На рисунке 2.2 точка В (20; 20) равноценна точке Д (30; 13). Все остальные три критерия зафиксированы на своих худших уровнях r_j^l , $j = 3 - 4$. Точки В и Д равноценны.

Запишем, чему равна ценность в точке В:

$$V(B) = k_1 \cdot v_1(20) + k_2 \cdot v_2(20) + \sum_{j=3}^4 k_j v_j(r_j^0),$$

$$V(B) = k_1 \cdot 1 + k_2 \cdot 0 + 0 = k_1.$$

Запишем, чему равна ценность точки Д (30; 13):

$$V(D) = k_1 \cdot v_1(30) + k_2 \cdot v_2(13,125) + \sum_{j=3}^4 k_j v_j(r_j^0),$$

$$V(D) = k_1 \cdot 0 + k_2 \cdot 0,875 = 0,875k_2.$$

Так как $V(B) = V(D)$, следовательно

$$k_2 = \frac{1}{0,875} k_1 = 1,14k_1.$$

Аналогично, с использованием соответствующих точек равноценности (см. рисунки 2.3–2.4), составим уравнения для остальных критериев:

$$k_1 V_1(20) + k_3 V_3(6) = k_1 V_1(30) + k_3 V_3(5),$$

$$k_1 V_1(20) + k_4 V_4(18) = k_1 V_1(30) + k_4 V_4(10),$$

Выразив коэффициенты через k_1 получим:

$$k_3 = 1,33 k_1,$$

$$k_4 = 1,33k_1.$$

Добавив к уравнениям уравнение нормировки $\sum_{j=1}^4 k_j = 1$, получим систему линейных уравнений:

$$\begin{cases} k_2 = 1,14 \cdot k_1, \\ k_3 = 1,33 \cdot k_1, \\ k_4 = 1,33 \cdot k_1, \\ k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = 1. \end{cases} \quad (2.7)$$

Решая систему уравнений (2.7), получаем следующие значения шкалирующих коэффициентов:

$$k_1 = 0,208,$$

$$k_2 = 0,238,$$

$$k_3 = 0,277,$$

$$k_4 = 0,277.$$

При этом

$$\sum_{j=1}^4 k_j = 1. \quad (2.8)$$

Следовательно, многомерная (четырёхмерная, для рассмотренной выше задачи) функция ценности решения РТП может быть представлена в виде

$$V(r) = 0,208 \cdot V_1(r_1) + 0,238 \cdot V_2(r_2) + 0,277 \cdot V_3(r_3) + 0,277 \cdot V_4(r_4) \quad (2.9)$$

2.1.4 Принятие решения о выборе варианта тушения пожара на основе оценки критерия максимальной ценности

Значение функций ценности для значений характеристик вариантов тушения пожара, представленных в таблице 2.1, приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Значения функций ценности для характеристик вариантов тушения пожара

Вариант тушения пожара	Критерии – $r_j, j = \overline{1,4}$			
	r_1 , чел.	r_2 , м ²	r_3 , ед.	r_4 , л/м ² ·с
1	0,625	0,875	0,750	0,875
2	0,250	0,375	1,000	0,500
3	0,000	1,000	0,000	0,500
4	0,163	0,000	0,875	0,360
5	0,083	0,625	0,750	0,500
6	0,625	0,750	0,000	0,625
7	0,163	0,920	1,000	0,570
8	0,500	0,625	0,875	1,000
9	0,163	0,250	0,750	0,750
10	0,000	0,250	0,000	1,000

Определение многомерной функции ценности для вариантов тушения пожара (ведения боевых действий) приведено в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Значения многомерной ценности варианта тушения пожара

Вариант тушения пожара i	$k_j \cdot r_j, j = \overline{1,4}$				$V_i(r)$
	$k_1 \cdot r_1$	$k_2 \cdot r_2$	$k_3 \cdot r_3$	$k_4 \cdot r_4$	
1	0,130	0,208	0,208	0,242	0,788
2	0,052	0,089	0,277	0,139	0,557
3	0,000	0,238	0,000	0,139	0,376
4	0,034	0,000	0,242	0,100	0,376
5	0,017	0,148	0,208	0,139	0,512
6	0,130	0,178	0,000	0,173	0,482
7	0,034	0,219	0,277	0,158	0,687
8	0,104	0,148	0,242	0,277	0,772
9	0,034	0,059	0,208	0,208	0,509
10	0,000	0,059	0,000	0,277	0,336

Таким образом, РТП должен выбрать вариант с максимальным значением функции ценности. На рисунке 2.9. все варианты тушения пожара размещены в порядке возрастания их ценности слева-направо.

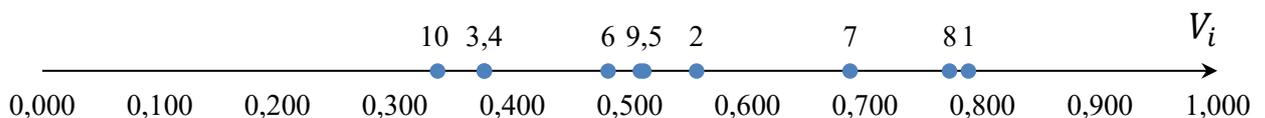


Рисунок 2.9 – Размещение вариантов тушения пожара по значению ценности

На рисунках 2.10–2.19 приведены результаты расчета в виде диаграмм «единичный квадрат», которые также могут представлять интерес для визуализации расчетов. На рисунке 2.20 представлена диаграмма «единичный квадрат» многомерной функции ценности для вариантов пожаротушения.

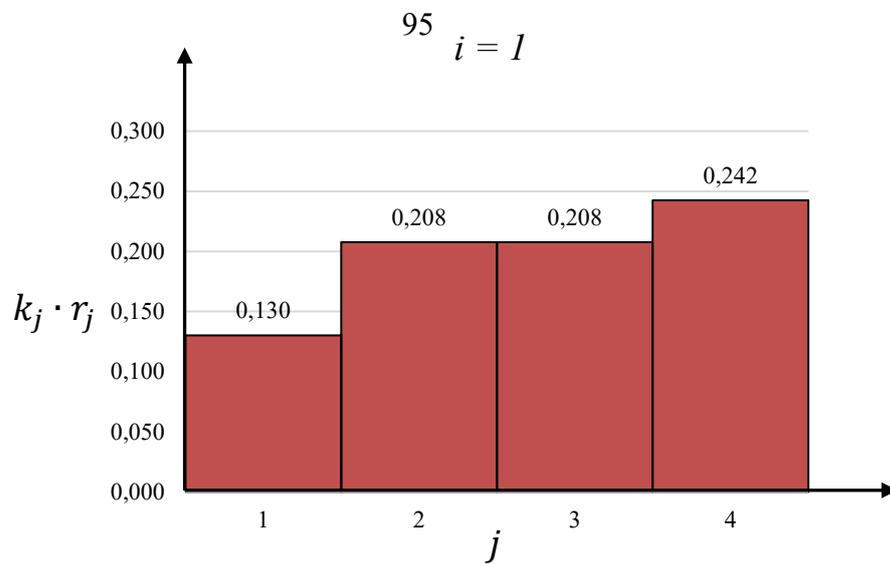


Рисунок 2.10 – Диаграмма «единичный квадрат» для 1-го варианта тушения

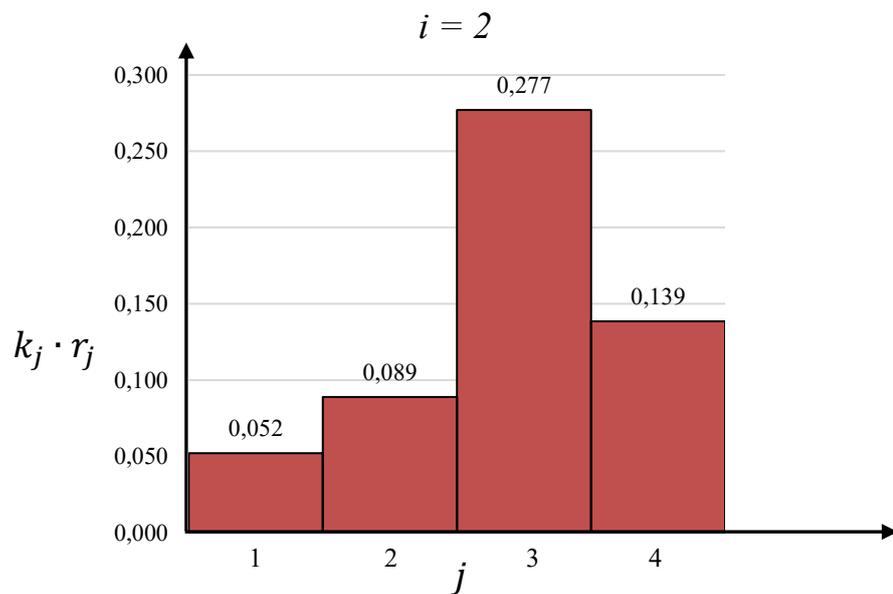


Рисунок 2.11 – Диаграмма «единичный квадрат» для 2-го варианта тушения

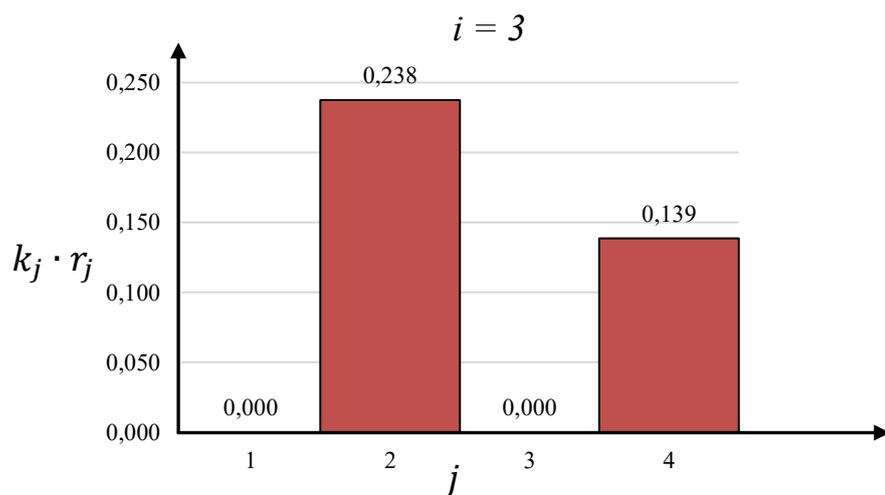


Рисунок 2.12 – Диаграмма «единичный квадрат» для 3-го варианта тушения

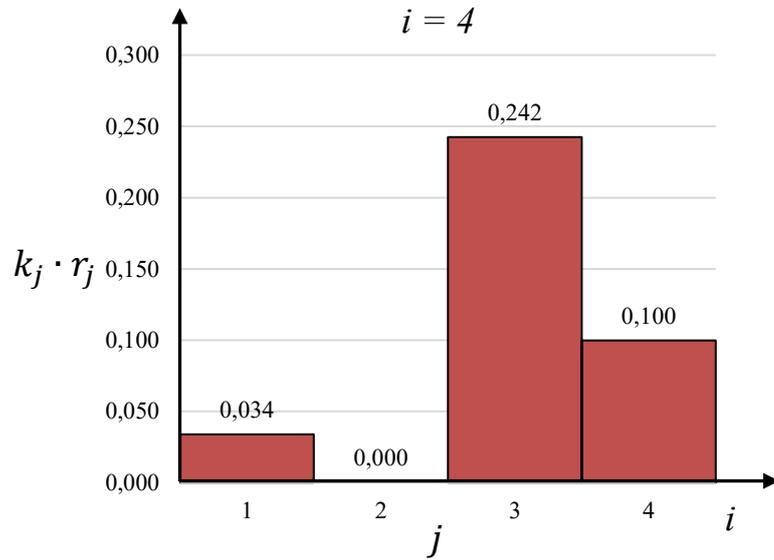


Рисунок 2.13 – Диаграмма «единичный квадрат» для 4-го варианта тушения

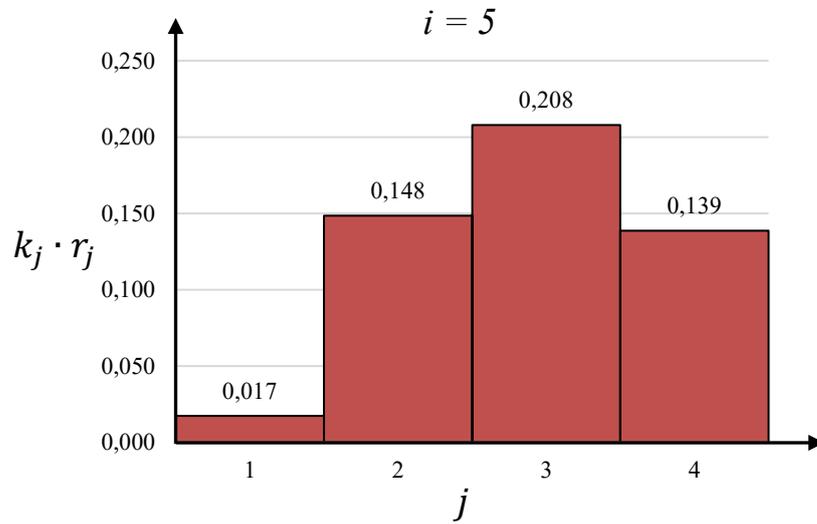


Рисунок 2.14 – Диаграмма «единичный квадрат» для 5-го варианта тушения

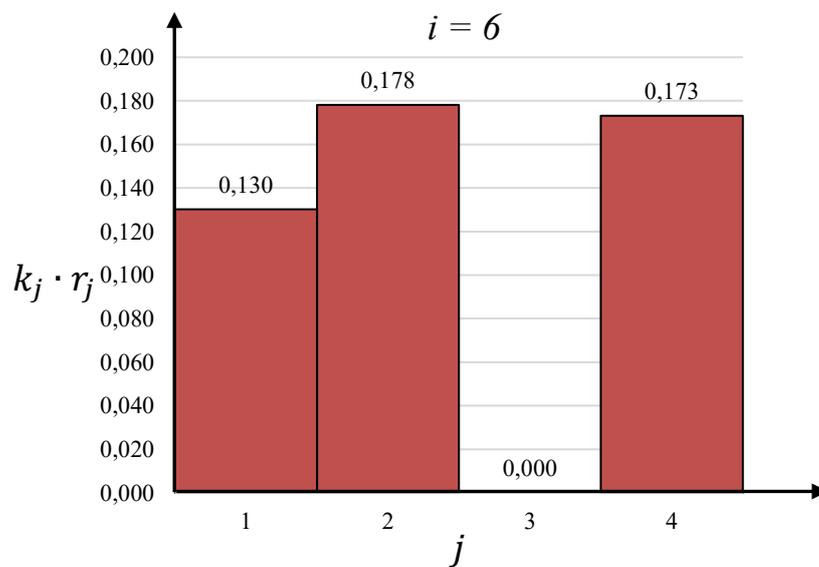


Рисунок 2.15 – Диаграмма «единичный квадрат» для 6-го варианта тушения

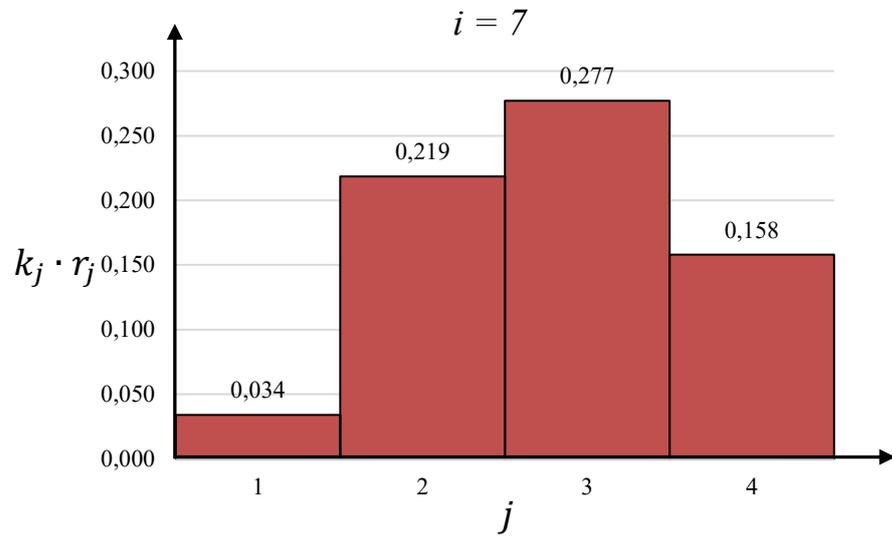


Рисунок 2.16 – Диаграмма «единичный квадрат» для 7-го варианта тушения

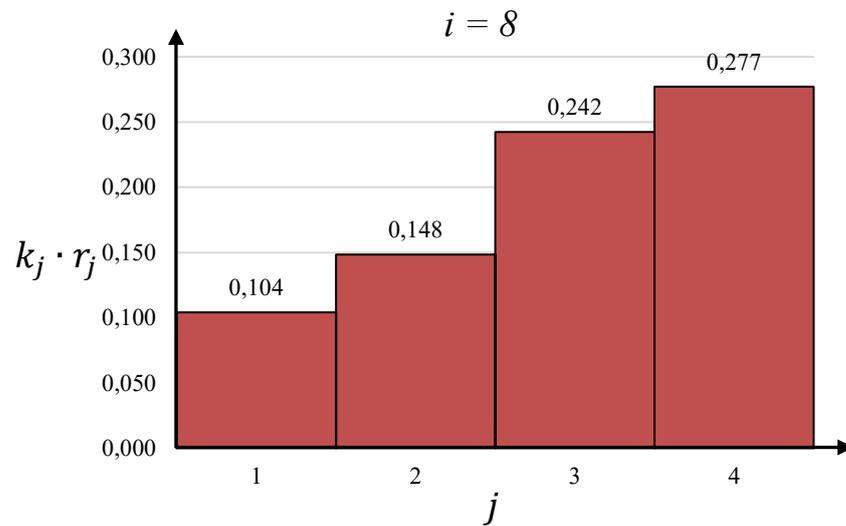


Рисунок 2.17 – Диаграмма «единичный квадрат» для 8-го варианта тушения

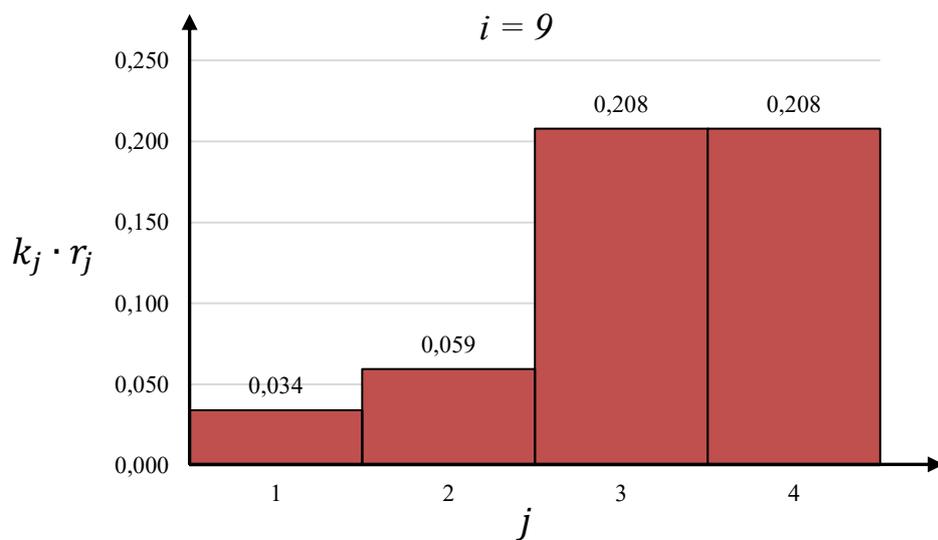


Рисунок 2.18 – Диаграмма «единичный квадрат» для 9-го варианта тушения

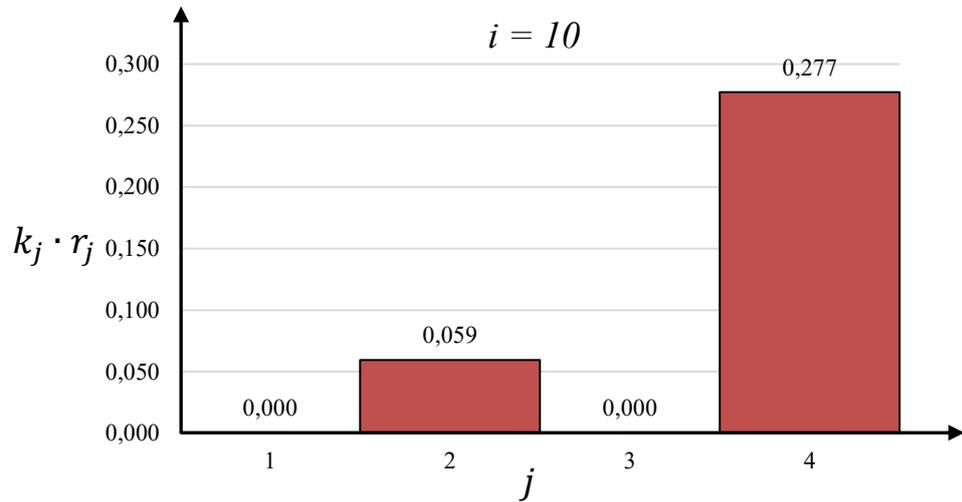


Рисунок 2.19 – Диаграмма «единичный квадрат» для 10-го варианта тушения

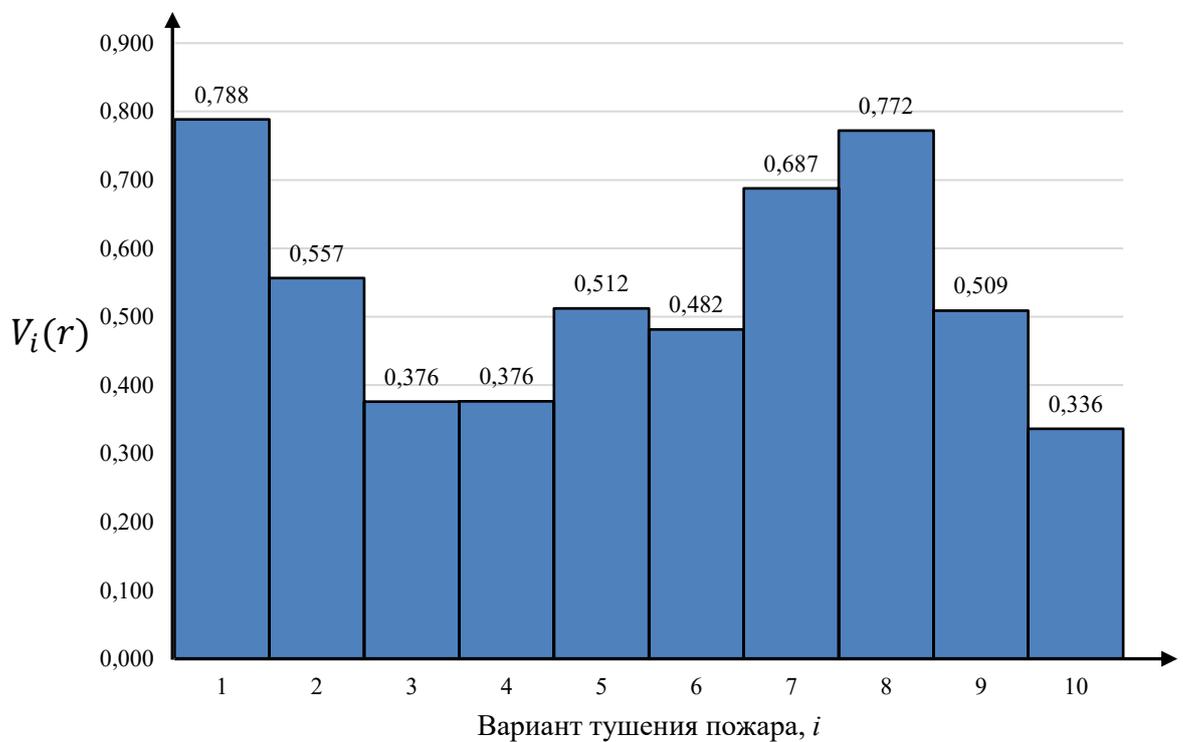


Рисунок 2.20 – Сравнительная диаграмма ценностей вариантов тушения пожара

Незначительно изменим шкалирующие коэффициенты так, чтобы они сохраняли неизменный ранговый порядок критериев. Данная операция необходима для выполнения анализ чувствительности принимаемого решения [155]. Таким образом, если в данной задаче принятия решения критерии расположены по убыванию важности в следующей последовательности r_1, r_3, r_2, r_4 , и шкалирующие коэффициенты базового варианта равны: $k_{1(баз)} = 0,189$; $k_{3(баз)} = 0,154$; $k_{2(баз)} = 0,146$; $k_{5(баз)} = 0,142$; $k_{6(баз)} = 0,142$; $k_{4(баз)} = 0,116$; $k_{7(баз)} =$

0,111, то можно изменять их в границах интервалов точности, k_i , которые подсчитаны в таблице 2.5:

$$\forall i \in \overline{2, m-1}, \widetilde{k}_i \in \left[\frac{k_{i+1}+k_i}{2}; \frac{k_{i-1}+k_i}{2} \right] \quad (2.10)$$

$$\widetilde{k}_1 \in \left[\frac{k_1+k_2}{2}; 1 - \sum_{i=2}^{m-1} \left(\frac{k_{i+1}+k_i}{2} \right) - \frac{k_m+k_{m-1}}{2} \right] \quad (2.11)$$

$$\widetilde{k}_m \in \left[1 - \sum_{i=2}^{m-1} \left(\frac{k_{i-1}+k_i}{2} \right) - \frac{k_i+k_2}{2}; \frac{k_m+k_{m-1}}{2} \right] \quad (2.12)$$

Таблица 2.5 – Интервалы точности определения шкалирующих коэффициентов

j	k_j , базовый	$\frac{k_{j+1} + k_j}{2}$	$\frac{k_{j-1} + k_j}{2}$	$\sum_{j=2}^6 \frac{k_{j-1} + k_j}{2}$	$\sum_{j=2}^6 \frac{k_{j+1} + k_j}{2}$	\widetilde{k}_j интервал точности
1	0,208	0,223	-	-	-	[0,223; 0,297]
2	0,238	0,257	0,223	0,257	0,223	[0,223; 0,257]
3	0,277	0,277	0,257	0,534	0,480	[0,257; 0,277]
4	0,277	-	0,277	-	-	[0,243; 0,277]

Проанализируем диаграмму на рисунке 2.20, отражающую ценность вариантов тушения пожара пожарными подразделениями при базовом варианте значений шкалирующих коэффициентов. Значения четырехмерной функции ценности, соответствующие вариантам 1, 7 и 8, превышают соответствующие значения для остальных вариантов тушения пожара. РТП рекомендуется сделать выбор первого варианта, ценность которого максимальна $V_5 = 0,788$.

В соответствии с предложенной моделью (2.4), предлагается алгоритм поддержки принятия решений РТП на основе оценки функции ценности для вариантов тушения пожара, который представлен на рисунке 2.21.

Особенностью данного алгоритма является наличие двух этапов поддержки принятия решения. На первом этапе по результатам расчетов функции ценности для вариантов тушения пожара принимается предварительное решение. На втором этапе после проверки чувствительности принятого решения к изменению шкалирующих коэффициентов в пределах их интервалов точности РТП принимается окончательное решение.

Таким образом, у РТП появляется возможность при планировании боевых действий выбрать один из вариантов тушения пожара на основе сравнения значений многомерной функций ценности в данном примере по четырем критериям эффективности – расходу ОТВ, количеству личного состава, времени тушения и глубине тушения пожара.

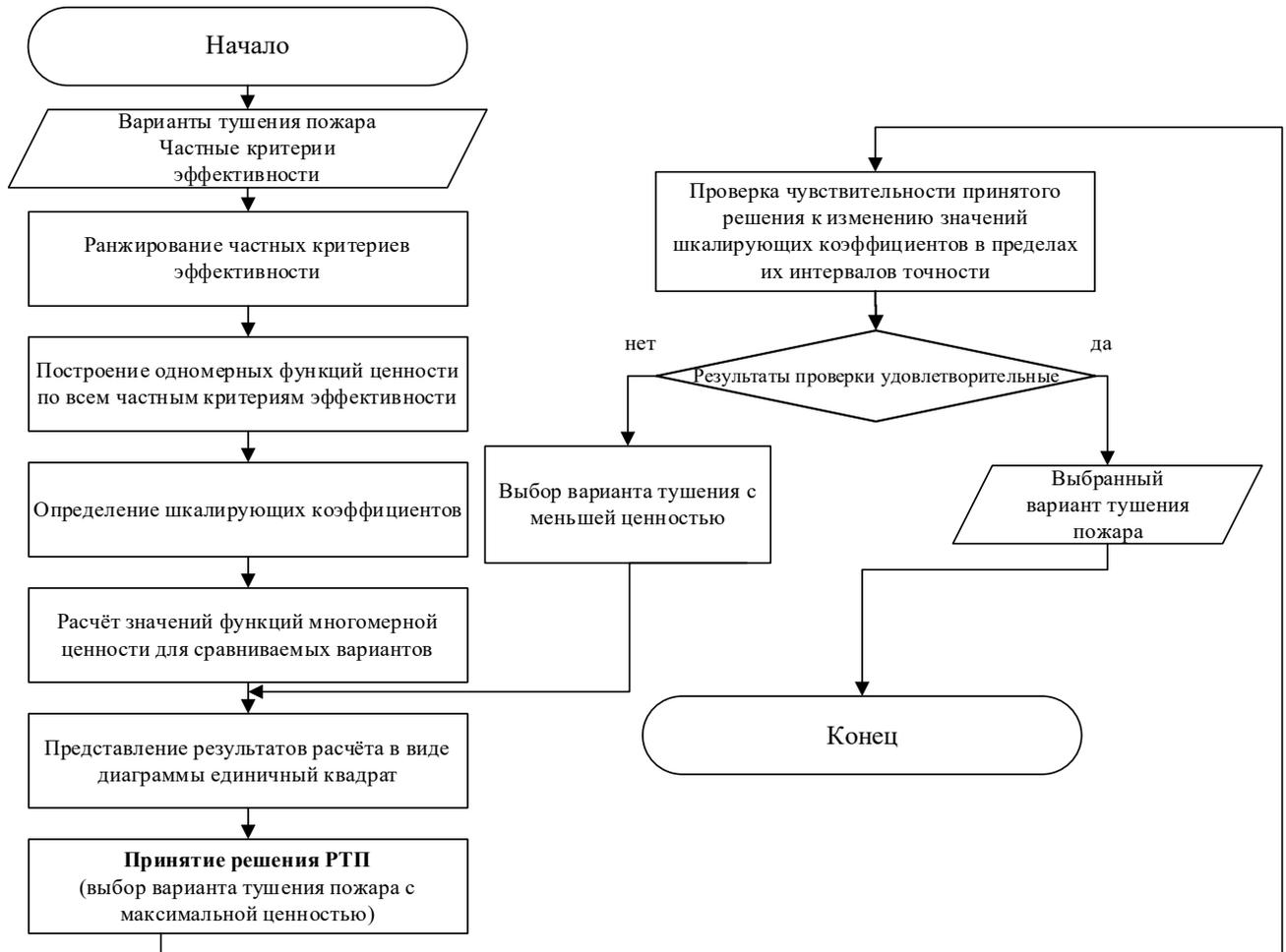


Рисунок 2.21 – Алгоритм поддержки принятия решений РТП на основе оценки функции ценности, решающий задачу выбора наиболее эффективного варианта тушения пожара

Результаты вычисления четырехмерной функции ценности могут быть представлены в виде сравнительной диаграммы, каждый столбец которой соответствует одному из вариантов тушения пожара. Эффективность альтернатив ведения боевых действий с равными значениями функции ценности одинакова.

2.2 Модели определения параметра глубины тушения пожара для поддержки принятия управленческих решений

2.2.1 Модель глубины пожаротушения на основе расхода водяного пожарного ствола

Результатом решения задачи управления РТП по подаче ОТВ ствольщиком в очаг пожара при тушении пожаров в небольших по площади помещениях, рассматриваемых в исследовании, осуществляется прямыми струями. Траектория струи при тушении из ручного ПС прямой струей представлена на рисунке 2.22 [78, 81].

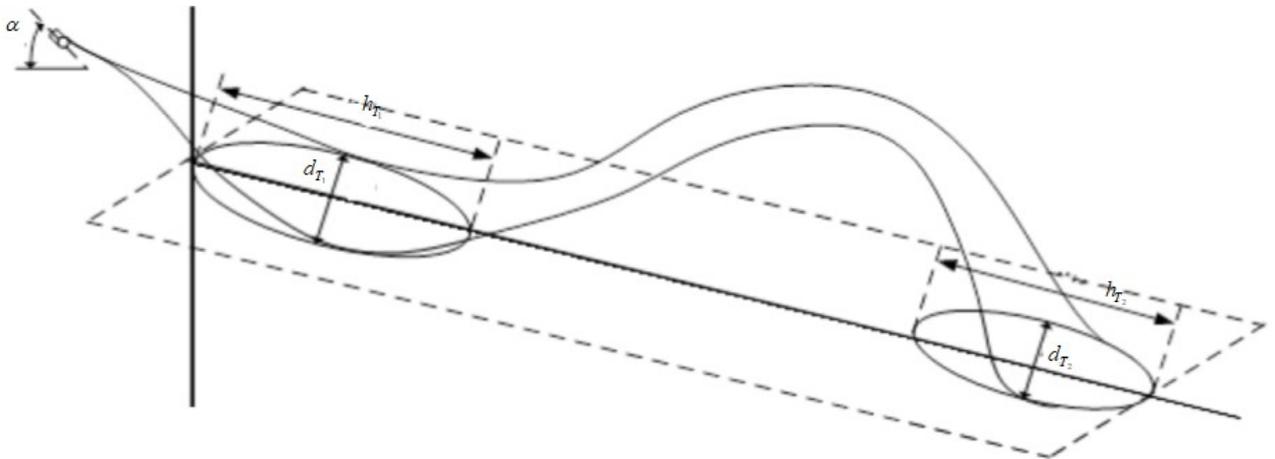


Рисунок 2.22 – Траектория струи при тушении из ручного ПС прямой струей:
 α – угол наклона струи, h_{T1}, h_{T2} – глубина тушения, d_{T1}, d_{T2} – ширина тушения

В данном случае, площадь тушения ПС представляет собой эллипс. На рисунке 2.22 представлено два таких эллипса тушения – первичный, параметры которого определяются глубиной тушения h_{T1} и шириной тушения d_{T1} и вторичный, который образован после «отскока» ОТВ от поверхности и параметры которого задаются глубиной тушения h_{T2} и шириной тушения d_{T2} .

В связи с тем, что в исследовании рассматривается организация тушения в небольших по площади помещениях, расстояние между первичным и вторичным эллипсом незначительно и их можно принять за один эллипс.

Примем точки попадания ОТВ на поверхность, представляющую собой плоскость, за независимые две случайные величины X и Y , подчиненных нормальному закону распределения с параметрами $m_x, \sigma_x^2, m_y, \sigma_y^2$, где m_x, m_y - математические ожидания случайных величин, σ_x^2, σ_y^2 - дисперсии случайных величин. В данном случае плотность распределения координат попадания ОТВ на поверхность можно представить в следующем виде:

$$f(x, y) = f_X(x) \cdot f_Y(y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2} - \frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}}. \quad (2.13)$$

В данном случае, область попадания ОТВ при тушении пожара прямой струей можно представить в виде эллипса (рисунок 2.23).

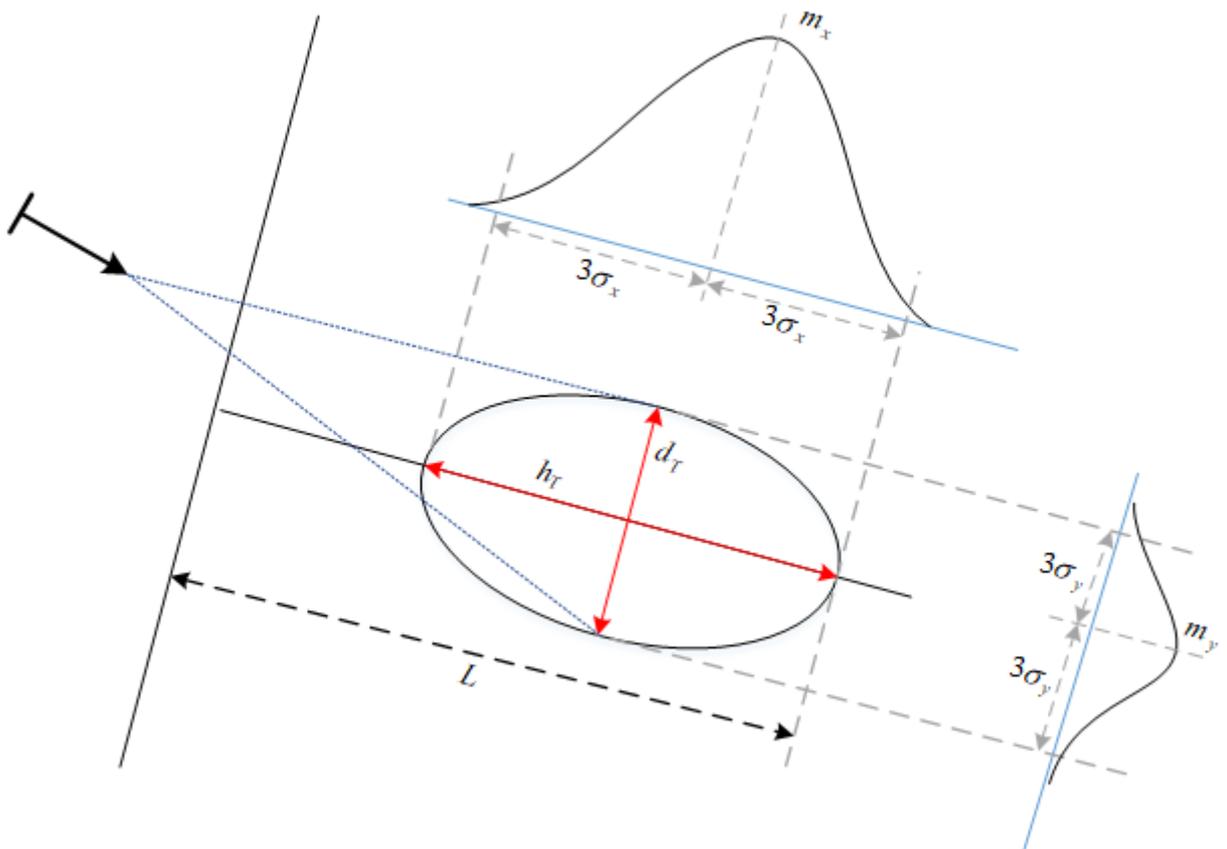


Рисунок 2.23 – Эллипс рассеивания ОТВ на поверхности при тушении из ручного ПС прямой струей: h_r – глубина тушения, d_r – ширина тушения, L – максимальная длина «отскока» струи

В связи с тем, что главные оси совпадают с главными осями эллипса, примем центр координат также в центре эллипса. Тогда плотность распределения координат можно записать в следующем виде:

$$f(x, y) = f_x(x) \cdot f_y(y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} e^{-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}}. \quad (2.14)$$

Запишем уравнение получившегося эллипса в каноническом виде:

$$\frac{x^2}{(k\sigma_x)^2} + \frac{y^2}{(k\sigma_y)^2} = 1, \text{ где } k = \text{const}. \quad (2.15)$$

Таким образом, в знаменателях записаны размеры осей в долях среднеквадратических отклонений случайных величин. В данном случае, уравнение эллипса можно записать в следующем виде:

$$\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} = k^2, \text{ где } k = \text{const}. \quad (2.16)$$

Основываясь на правиле трех сигм, применительно к данному случаю утверждающего, что вероятность того, что ОТВ попадет в область за эллипсом мала (0,003), примем $k = 3$, как и изображено на рисунке 2.23. Тогда уравнение эллипса примет следующий вид:

$$\frac{x^2}{\sigma_x^2} + \frac{y^2}{\sigma_y^2} = k^2 = 3^2 = 9. \quad (2.17)$$

Тогда глубину и ширину тушения можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} h_T &= 2k\sigma_x = 6\sigma_x; \\ d_T &= 2k\sigma_y = 6\sigma_y; \end{aligned} \quad (2.18)$$

где σ_x, σ_y – среднеквадратические отклонения струи по глубине и ширине тушения.

В данном случае площадь эллипса будет представлять собой площадь ликвидации горения ПС:

$$S = \pi h_T d_T. \quad (2.19)$$

Для упрощения модели с целью использования при практических расчетах, примем $\sigma_x = \sigma_y$. В данном случае, эллипс будет представлять собой окружность с диаметром равным $h_T = d_T$.

Если рассматривать общую глубину тушения всеми ПС, согласно условию (1.6) должно выполняться следующее неравенство:

$$\frac{dS_{лг}}{dt} > \frac{dS_{п}}{dt},$$

где $S_{лг}$ – площадь ликвидации горения,

$S_{п}$ – площадь пожара.

Площадь ликвидации горения одним водяным ПС определяется следующим образом [91]:

$$S_{лг} = \frac{Q_{СТ}}{I_{ТР}} \quad (2.20)$$

где $Q_{СТ}$ – расход ПС, л·с⁻¹;

$I_{ТР}$ – требуемая интенсивность ликвидации горения, л·с⁻¹·м⁻².

Идеализированная площадь ликвидации горения водяным ПС совпадает с площадью окружности, тогда:

$$\frac{\pi h_T^2}{4} = \frac{Q_{СТ}}{I_{ТР}} \quad (2.21)$$

где $\pi \approx 3,14$;

h_T^n – идеализированная глубина тушения пожара, м.

Выразив из выражения (2.21) глубину тушения получим:

$$h_T^n = \sqrt{\frac{4Q_{СТ}}{\pi I_{ТР}}}. \quad (2.22)$$

Тогда если $S_{лг} = \frac{\pi h_T^2}{4}$, можно сформулировать условие успешной локализации пожара:

$$h_T > \sqrt{\frac{4Q_{СТ}}{\pi I_{ТР}}}, \quad (2.23)$$

где h_T – глубина тушения любыми пожарными стволами, м;

$Q_{СТ}$ – расход ПС, л·с⁻¹;

$I_{ТР}$ – требуемая интенсивность ликвидации горения, л·с⁻¹·м⁻².

Выражение (2.23) представляет глубину тушения пожара, как функцию от расхода ПС и интенсивности подачи воды при ликвидации горения. Примем, что интенсивность подачи воды на тушение конкретного пожара не изменяется во времени ($I_{TP} = const$).

Среднюю интенсивностей подачи воды:

$$I_{TP}^{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_{TP}^i \quad (2.24)$$

где I_{TP}^{cp} – средняя интенсивность подачи воды при ликвидации горения на группе объектов, принадлежащих одной категории, $л \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}$;

I_{TP}^i – соответствующая интенсивность для конкретного i -го объекта, $л \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}$ $i = \overline{1, n}$.

На рисунке 2.24 представлена графическая зависимость глубины тушения от расхода ПС [81, 82].

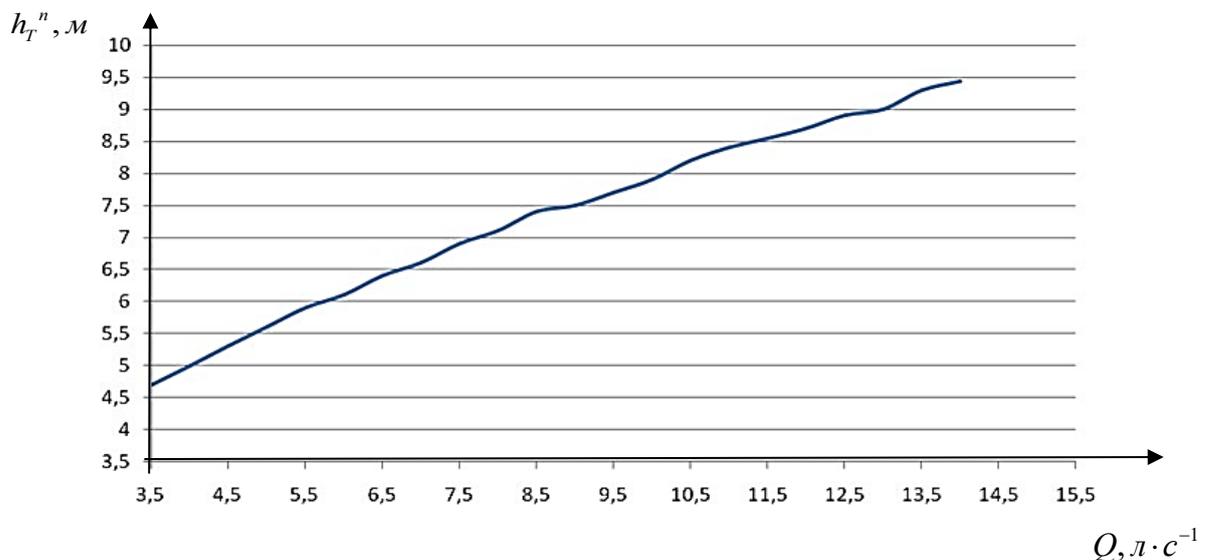


Рисунок 2.24 – Графическая зависимость глубины тушения от расхода ПС

Основываясь на данных, представленных на рисунке 2.24, можно сделать вывод, что глубина тушения ПС увеличивается прямо пропорционально квадратному корню расхода ОТВ.

Недостатком данного подхода является ограниченность его применения вследствие того, что при ликвидации горения могут применяться водяные ПС различных расходов.

2.2.2 Модель глубины пожаротушения по напору воды перед насадком водяного пожарного ствола

Расход воды из ПС зависит от напора перед его насадком [129]:

$$Q_{CT} = 1000 \frac{\pi d^2}{4} \cdot \sqrt{2gH} \quad (2.25)$$

где d – диаметр насадка ПС, м;

H – напор воды перед насадком ПС, м вод. ст.;

Q_{CT} – расход ПС, $л \cdot с^{-1}$.

Таким образом, возможно регулировать глубину тушения пожара с помощью изменения величины напора воды перед насадком ПС.

Глубина тушения пожара может быть выражена следующим образом:

$$h_T^n = \frac{2}{\sqrt{1000\pi \left(\frac{d}{4}\right)^2 \sqrt{2gH_{CT}}}} \quad (2.26)$$

где d – диаметр насадка ПС, м;

g – ускорение свободного падения, $м/с^2$;

H_{CT} – напор перед насадком ПС, м вод. ст.

С учетом выражения (2.25) выражение (2.26) примет следующий вид:

$$h_T^n = d \sqrt{\frac{1000\sqrt{2gH}}{I_{TP}}} \quad (2.27)$$

Найдём функциональную зависимость глубины тушения водяным ПС от напора перед насадком для стволов диаметрами 13, 19, 25 мм при фиксированной требуемой интенсивности, равной $0,17 л \cdot с^{-1} \cdot м^{-2}$.

На рисунке 2.25 приведена зависимость глубины тушения ПС диаметром насадка 13 мм от напора в области от 20 до 60 м вод. ст. На рисунке 2.26 приведена зависимость глубины тушения пожарным ПС диаметром насадка 19 мм от напора в области от 20 до 60 м вод. ст. На рисунке 2.27 приведена зависимость глубины тушения ПС диаметром насадка 25 мм, но с тем лишь условием, что данный ПС будет относиться к лафетному и напор перед его насадком должен

составлять 60 м вод. ст. поэтому область значений напора примем от 50 до 80 м вод. ст.

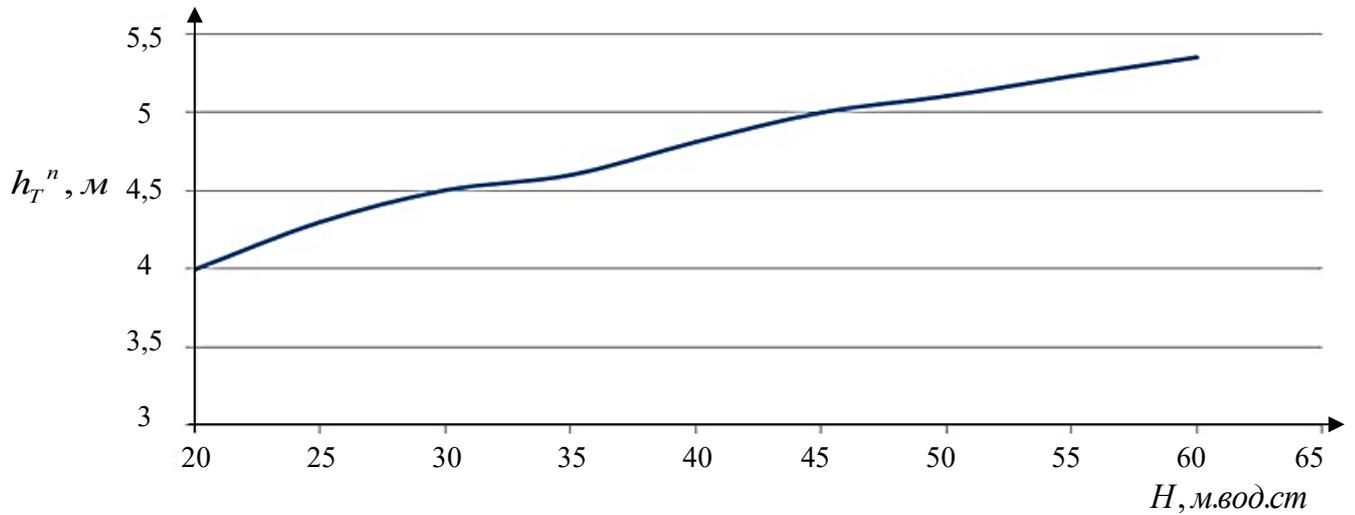


Рисунок 2.25 – Зависимость глубины тушения ПС (диаметр 13 мм) от напора перед насадком

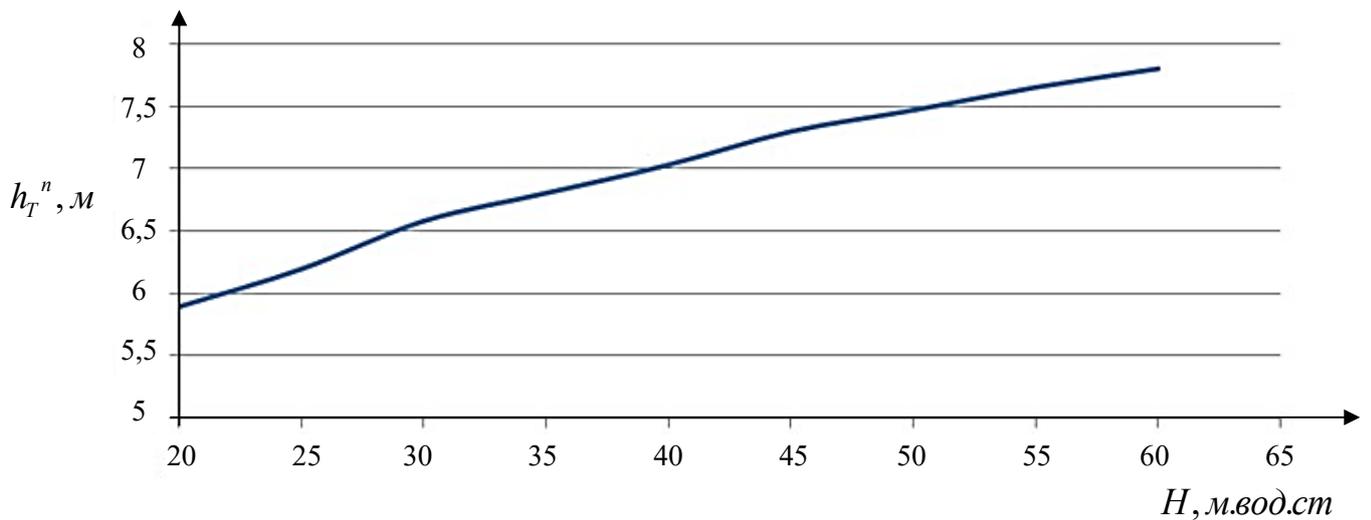


Рисунок 2.26 – Зависимость глубины тушения ПС (диаметр 19 мм) от напора перед насадком

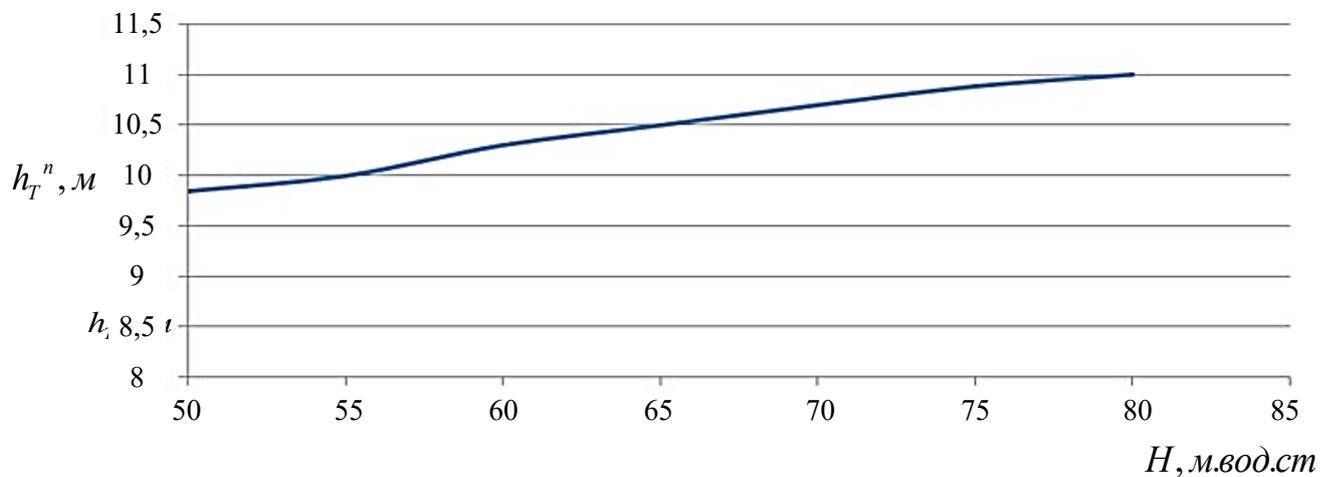


Рисунок 2.27 – Зависимость глубины тушения ПС (диаметр 25 мм) от напора перед насадком

Приведем выражение (2.27) к следующему виду:

$$h_T^n = 66,5d \sqrt{\frac{\sqrt{H}}{I_{TP}}}. \quad (2.28)$$

В том случае, если напор перед насадком ручного водяного ПС составляет 35 м вод. ст., то выражение (2.27) примет вид:

$$h_{\text{ручного}}^{\text{ствола}} = 0,37d, \quad (2.29)$$

где d – диаметр насадка, мм.

Для лафетного ПС напор перед насадком должен составлять 60 м.вод.ст. и глубина тушения будет определяться следующим выражением:

$$h_{\text{лафетного}}^{\text{ствола}} = 0,43d, \quad (2.30)$$

где d – диаметр насадка, мм.

Таким образом, расчетная глубина тушения аналитически может быть представлена двумя способами, как функция от расхода воды из ПС и определяться выражением (2.22) и как функция от напора перед его насадком и определяться выражением (2.28). При усреднении интенсивности подачи воды ПС на тушение пожара и соблюдении условий его эффективности работы, а именно при поддержании необходимого напора перед насадком ствола, глубину тушения для ручных ПС можно определить выражением (2.29) и выражением (2.30) для лафетных ПС, как функцию от диаметра насадка ствола.

В главе 3 исследования приведены результаты натурального эксперимента по определению глубины тушения пожара ручным водяным ПС с диаметром насадка 13 мм, которые подтверждают полученные теоретические данные.

Далее предлагается алгоритм оценки количества сил и средств при планировании боевых действий по тушению пожара, который основан на моделях определения глубины тушения пожара по напору перед насадком ПС.

2.3 Алгоритм поддержки принятия решения руководителя тушения пожара на основе оценки скорости роста площади пожара

Данный алгоритм поддержки принятия решения РТП основан на предложенных выше моделях определения глубины и интенсивности тушения пожара водяными ПС.

Пусть $S_{\text{пожара}}$ – площадь пожара, которую необходимо потушить; $x_i, i = \overline{1, n}$ – число водяных ПС, n – число типов ПС.

Шаги алгоритма:

1. Оценить площадь пожара $S_{\text{пожара}}$, боевые действия по тушению которого ведет пожарное подразделение.

2. Определить необходимую глубину тушения пожара:

$$h_{\text{необх.}} = 2\sqrt{\frac{S_{\text{пожара}}}{\pi}}.$$

3. Определить глубину тушения пожара одним из способов:

$$\text{а) } h = \sum_{i=1}^n x_i d_i \sqrt{\frac{1000\sqrt{2gH_i}}{I_{\text{ТР}_i}}},$$

где x_i – число водяных ПС i -го типа;

d_i – диаметр водяных ПС i -го типа;

H_i – напор перед насадком ПС i -го типа;

$I_{\text{ТР}_i}$ – интенсивность подачи воды на ПС i -го типа;

$i = \overline{1, n}$, n – число типов ПС.

$$\text{б) } h = \sum_{i=1}^m 0,37d_i + \sum_{j=1}^l 0,43d_j,$$

где d_i – диаметр ручных водяных ПС i -го типа;

d_j – диаметр лафетных ПС j -го типа;

m, l – число типов ручных и лафетных ПС соответственно.

4. В случае если выполняется условие $h \geq h_{необх.}$ дополнительных ПС для тушения пожара не требуется. В противном случае для тушения пожара требуются дополнительные ПС.

Предложенный выше алгоритм поддержки принятия решений РТП представлен на рисунке 2.28.

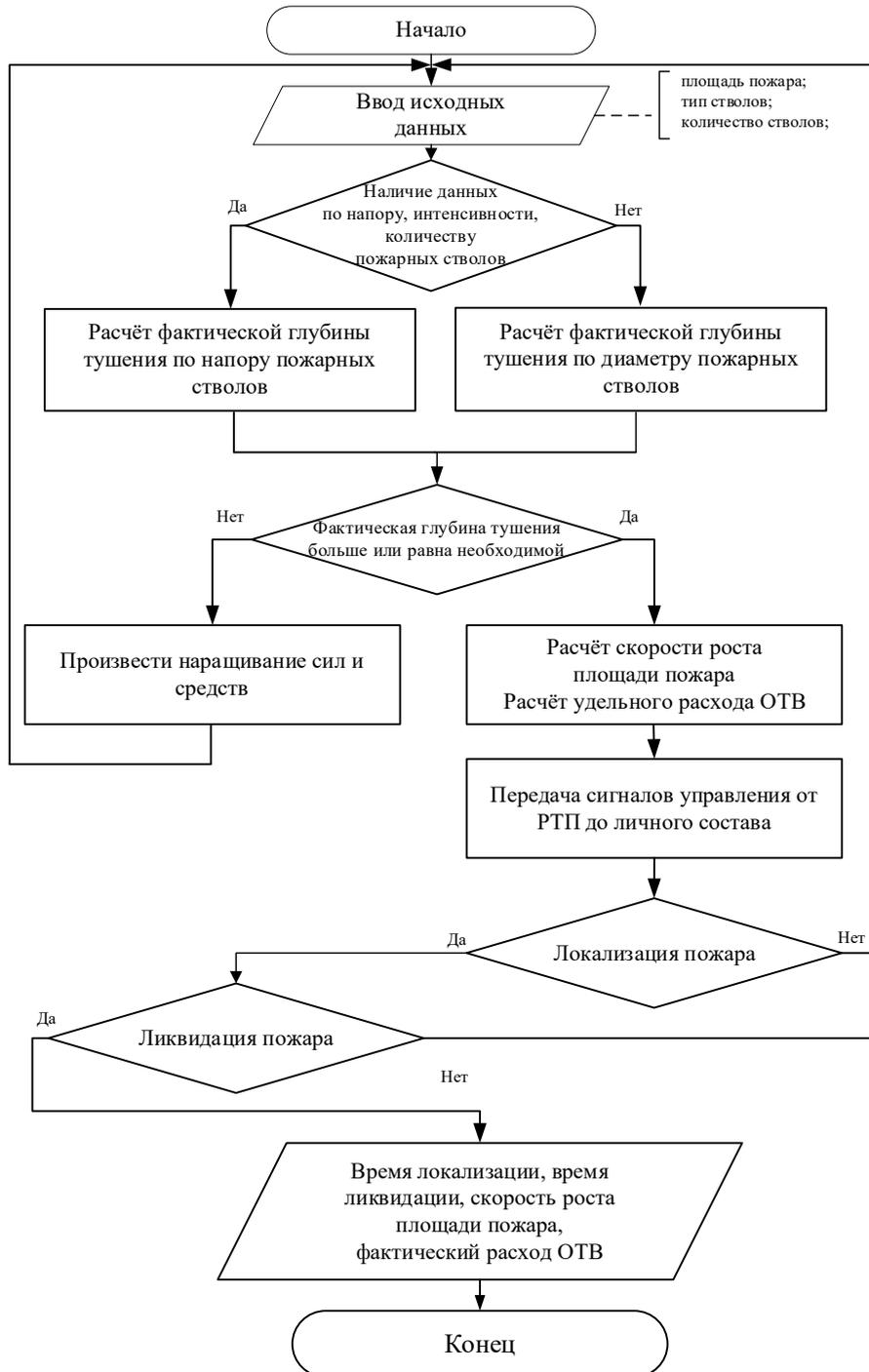


Рисунок 2.28 – Алгоритм поддержки принятия решений РТП при планировании боевых действий на основе оценки скорости роста площади пожара, решающий задачу оценки достаточности имеющихся сил и средств для локализации и ликвидации пожара

На рисунке 2.29 представлена глубина тушения для водяного ручного ПС, используемая при расчетах согласно руководящим документам (5 м) и глубина тушения согласно формуле (2.22). Для расчета взят ручной ПС с диаметром насадка 13 мм и напором воды от 20 до 50 м вод. ст. На рисунке 2.29 показано, что максимальная разница в значениях составляет 1,01 м при напоре воды 20 м вод. ст. Таким образом, предлагаемый способ вычисления глубины тушения повышает точность в среднем на 9 %.

В следующей главе представлен эксперимент по определению глубины тушения водяным ручным ПС с диаметром насадка 13 мм и путем проверки статистических гипотез доказана адекватность выражения (2.22) и его сходимость с эмпирическими данными.

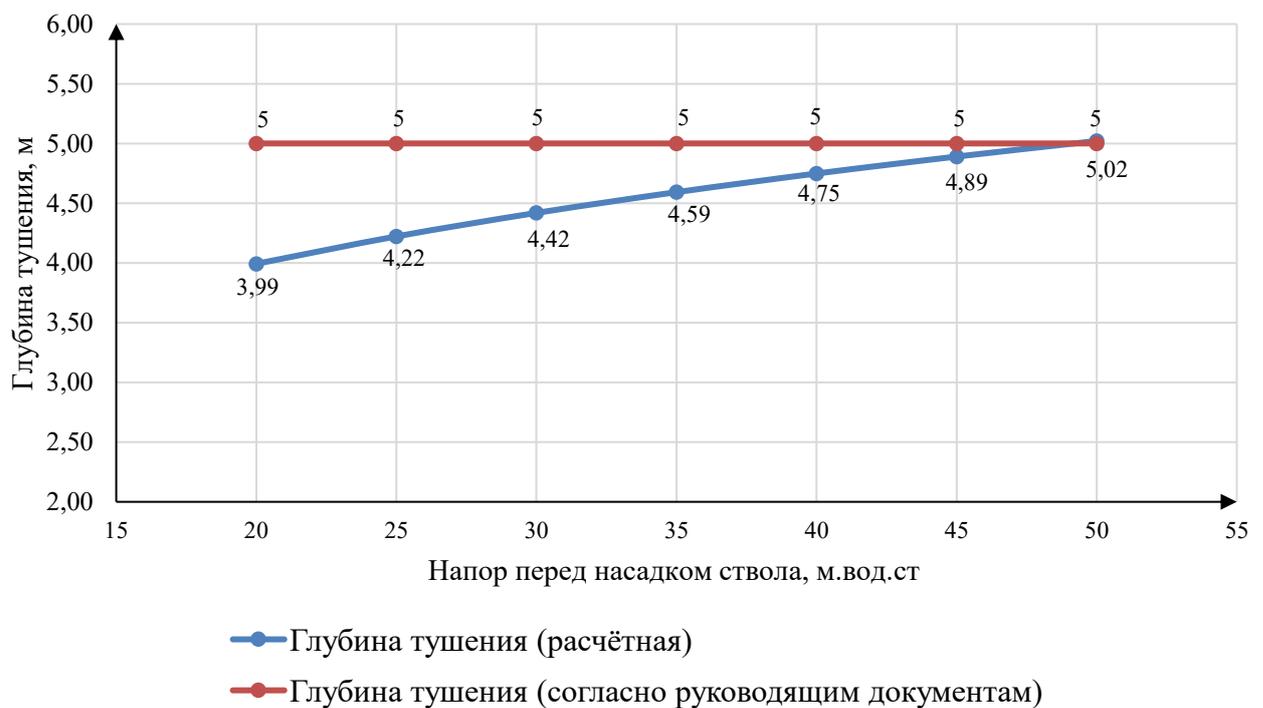


Рисунок 2.29 – Глубина тушения для ручного водяного ПС с диаметром насадка 13 мм и интенсивностью подачи воды от 20 до 50 м вод. ст.

Данный алгоритм (см. рисунок 2.28) лег в основу Программы для ЭВМ SiS calculation [98]. Экранные снимки данной программы представлены на рисунках 2.30–2.33.

Расчёты по тушению пожара

Форма площади пожара

Круговая

Угловая с углом развития пожара 90 градусов

Прямоугольная: количество направлений развития пожара 1

ширина горящей полосы (а), м. 0,5

длина горящей полосы (b), м. 3

Принцип расстановки сил и средств

По всей площади

По периметру

По фронту

Типы и количество пожарных стволов

	На тушение	На защиту	Напор на насадке пожарного ствола, м.в.ст.
РС (50) 13 мм	1	0	40
РС (70) 19 мм	0	0	40
РС (70) 25 мм	0	0	40
С изменяемым расходом воды	0	0	40
Диаметр, мм	13		
Расход, л/с	13		

Внутренний диаметр рукавов, мм 66 непрорезиненный

Исходные данные

Площадь защиты объекта, кв.м 0

Время ввода пожарных стволов, мин. 9

Линейная скорость распространения горения 0,5

Интенсивность подачи ОТВ (л/кв.м в сек) 0,06

Требуемый расход ОТВ для защиты, л/с 0

Напор на насосе пожарного автомобиля, м.в.ст. 100

Производительность пожарного насоса, л/с 40

Высота подъёма пожарного ствола, м 0

Высота подъёма местности, м 0

Количество личного состава, занятых на позициях с одним пожарным стволом по тушению пожара 3

Количество личного состава, занятых на позициях по защите с одним пожарным стволом 3

Количество личного состава, занятых на посту безопасности 3

Количество связанных 0

Количество личного состава для одного отделения 4

Количество выдвижных трёхколенных лестниц 0

Количество личного состава на постах безопасности 0

Расчёт

Рисунок 2.30 – Главная экранная форма

Расчёты по тушению пожара

Форма площади пожара

Круговая

Угловая с углом развития пожара 90 градусов

Прямоугольная: количество направлений развития пожара 1

ширина горящей полосы (а), м. 0,5

длина горящей полосы (b), м. 3

Принцип расстановки сил и средств

По всей площади

По периметру

По фронту

Типы и количество пожарных стволов

	На тушение	На защиту	Напор на насадке пожарного ствола, м.в.ст.
РС (50) 13 мм	1	0	40
РС (70) 19 мм	0	0	40
РС (70) 25 мм	0	0	40
С изменяемым расходом воды	0	0	40
Диаметр, мм	13		
Расход, л/с	13		

Внутренний диаметр рукавов, мм 66 непрорезиненный

Исходные данные

Площадь защиты объекта, кв.м 100

Время ввода пожарных стволов, мин. 9

Линейная скорость распространения горения 0,5

Интенсивность подачи ОТВ (л/кв.м в сек) 0,06

Требуемый расход ОТВ для защиты, л/с 0

Напор на насосе пожарного автомобиля, м.в.ст. 30

Производительность пожарного насоса, л/с 40

Высота подъёма пожарного ствола, м 0

Высота подъёма местности, м 0

Количество личного состава, занятых на позициях с одним пожарным стволом по тушению пожара 3

Количество личного состава, занятых на позициях по защите с одним пожарным стволом 3

Количество личного состава, занятых на посту безопасности 3

Количество связанных 0

Количество личного состава для одного отделения 4

Количество выдвижных трёхколенных лестниц 0

Количество личного состава на постах безопасности 0

Расчёт

Рисунок 2.31 – Главная экранная форма с выделением отдельных параметров, влияющих на недостаток сил и средств

Интенсивность подачи ОТВ

Здания и сооружения	Степень огнестойкости	Вид ОТВ	Интенсивность подачи ОТВ
Жилые дома и подсобные постройки	I-III	вода	0,03
Жилые дома и подсобные постройки	IV	вода	0,10
Жилые дома и подсобные постройки	V	вода	0,15
подвальные помещения		вода	0,15

Линейная скорость распространения горения

Наименование объекта	Минимальное значение	Максимальное значение
Жилые дома I-V степени огнестойкости	0,5	0,8
Административные здания I-V степени огнестойкости	1,0	1,5
Библиотеки, книгохранилища, архивохранилища	0,5	1,0

Рисунок 2.32 – Формы для ввода табличных исходных данных

	Планирование(класс. расчёт)	Прогнозирование(класс. расчёт v1)	Прогнозирование(класс. расчёт v2)	Нормативная методика(Цель №2)
Площадь пожара,кв.м	15,904	15,904	15,904	60
Площадь тушения,кв.м	15,904	15,904	15,904	
Требуемый расход ОТВ на тушение,л/с	0,954	0,954	0,954	
Требуемый расход ОТВ на защиту,л/с	0	0	0	
Требуемый расход ОТВ на тушение и защиту,л/с	0,954	0,954	0,954	3,6
Требуемое количество пожарных насосов на тушение и защиту,ед.	1	1	1	
Требуемое количество водяных стволов на тушение и защиту,ед.	1/1/1/1	1/1/1/1	1/1/1/1	1/1/1/1
Фактический расход ОТВ на тушение и защиту,л/с	3,6	3,6	3,6	
Требуемое количество пожарных машин, ед.	1	1	1	1
Предельное расстояние по подаче ОТВ от пож.машин на водосточниках,ед.	100,584	100,584	100,584	
Численность личного состава,ед.	4	4	4	4

Рисунок 2.33 – Форма вывода результатов моделирования

Программа для ЭВМ позволяет вычислить следующие характеристики:

- площадь пожара;
- площадь тушения;
- требуемый расход огнетушащих веществ на тушение;
- требуемый расход огнетушащих веществ на защиту;
- требуемое количество водяных стволов;
- требуемое количество пожарных насосов;
- фактический расход огнетушащих веществ;

- требуемое количество пожарных машин;
- предельное расстояние по подаче огнетушащих веществ от пожарных машин на водоисточниках;
- численность личного состава.

Программа для ЭВМ может быть использована в качестве информационного сопровождения функционирования системы управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров в жилых зданиях, для анализа произошедших пожаров, а также для профессиональной подготовки личного состава пожарной охраны.

Фрагменты исходного кода программы для ЭВМ приведены в приложении А.

2.4 Алгоритм поддержки принятия решения руководителя тушения пожара при фронтальном методе тушения пожара

Первичным тактическим подразделением пожарной охраны, способным самостоятельно вести боевые действия на пожаре, включая выполнение задач по спасанию людей и материальных ценностей, является отделение, которое имеет на вооружении автоцистерну, насосно-рукавный автомобиль или насос. Два и более отделения составляют караул, являющийся основным тактическим подразделением пожарной охраны. Для эффективного управления пожарными подразделениями на пожарах, РТП должен знать их тактические возможности [71, 72].

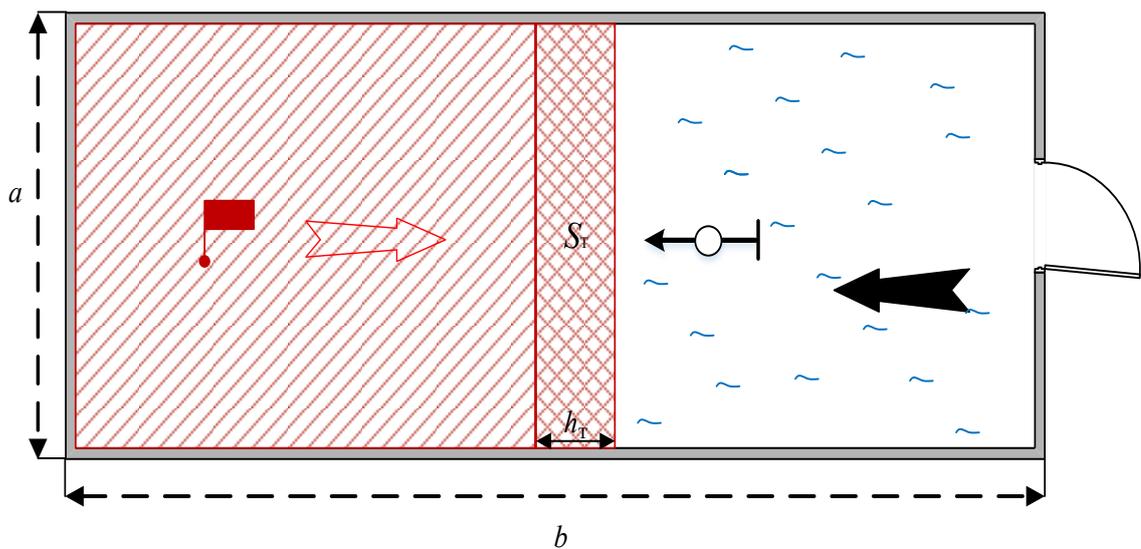
Практический опыт показывает, что ключевое влияние на продолжительность боевого развертывания оказывают следующие показатели [71]:

- а) количество пожарных;
- б) количество, масса пожарно-технического вооружения (ПТВ);
- в) расстояние и высота на которые необходимо подать ПС.

Прибывая на пожар, личный состав ПСП реализует поставленные задачи управления и принятые решения РТП, осуществляя подачу ОТВ в очаг пожара на глубину тушения, при этом в 97 % случаев используются водяные ПС [74, 78].

Для того, чтобы ограничить распространение огня в плоскости горения, в начальный период тушения ОТВ подаются по фронту распространяющегося пожара.

При тушении пожаров в жилых зданиях, в основном состоящих из помещений прямоугольной формы небольшой площади, когда до момента прибытия первых ПСП огнем охвачена лишь часть помещения, здания, целесообразно выполнять задачу наступления навстречу распространяющемуся огню. В данном случае возможно применение метода фронтального тушения пожара, схематично представленного на рисунке 2.34 [86].



a – ширина
 b – длина
 S_T – площадь тушения
 h_T – глубина тушения

Рисунок 2.34 – Ведение боевых действий при фронтальном методе тушения пожара

Требуемый расход ОТВ во времени остается постоянным для конкретного пожара. Данная величина прямо пропорционально зависит от ширины площади пожара, требуемой интенсивности подачи ОТВ и глубины тушения:

$$Q_{\text{тр1}} = a \cdot I_{\text{тр}} \cdot h_{\text{т}}, \quad (2.31)$$

где a – ширина площади пожара, м;

$I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи ОТВ, л/(м²·с);

$h_{\text{т}}$ – глубина тушения ПС, м.

При фронтальном методе тушения требуемый расход ОТВ для локализации пожара может быть вычислен следующим выражением:

$$Q_{\text{тр}2} = (S_{\text{т}} - a \cdot h_{\text{т}}) \cdot I_{\text{тр}}. \quad (2.32)$$

При фронтальном методе ведения боевых действий, изменение площади пожара и расходов ОТВ при локализации пожара приведено на рисунке 2.35 [85, 86, 88].

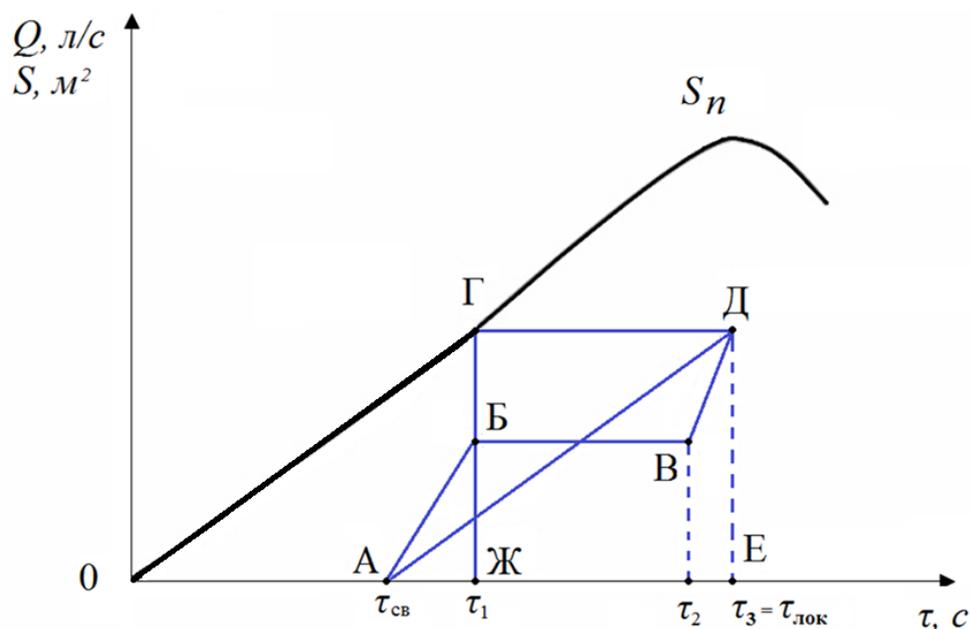


Рисунок 2.35 – Площадь пожара и расход ОТВ при локализации пожара:
 $ОГ$ – требуемый расход ОТВ в единицу времени ($Q_{\text{тр}}$); $АБ$ – усредненный фактический расход ОТВ, подаваемого первым пожарным подразделением (Q_{ϕ_1}); $ВД$ – усредненный фактический расход ОТВ, подаваемого следующим пожарным подразделением (Q_{ϕ_2}); $АД$ – усредненный фактический расход ОТВ, поданного на тушение пожара (Q_{ϕ}); $БЖ$ – фактический расход ОТВ для ограничения распространения огня по его фронту ($Q_{\text{тр}1}$); $ДЕ$ – общий требуемый расход ОТВ для выполнения достаточного условия локализации ($Q_{\text{тр}}$); A – начало подачи ОТВ первыми пожарными подразделениями; B – подача ОТВ первыми пожарными подразделениями к моменту, когда создается равенство расходов $Q_{\phi_1} = Q_{\text{тр}1}$; $В$ – подача ОТВ первыми пожарными подразделениями к началу подачи ОТВ следующими пожарными подразделениями; $Д$ – подача ОТВ первыми пожарными подразделениями к моменту, когда создается равенство расходов $Q_{\phi_2} = Q_{\text{тр}2}$; τ_1 – время сосредоточения сил и средств первого пожарного подразделения; τ_2 – время от окончания сосредоточения сил и средств первого пожарного подразделения до начала введения сил и средств следующих пожарных подразделений; τ_3 – время сосредоточения сил и средств следующего пожарного подразделения; $\tau_{\text{св}}$ – время от начала возгорания до введения сил и средств первого пожарного подразделения

В связи с использованием при расчетах одинаковой глубины тушения для различных видов стволов могут возникать неточности и ошибки в вычислениях, приводящие РТП к принятию неправильного решения. Используем для вычисления глубины тушения пожара h_T результаты, полученные в разделе 2.2 исследования. Тогда согласно зависимости (2.22) выражения (2.31) и (2.32) примут следующий вид:

$$Q_{\text{тр}_1} = a \cdot I_{\text{тр}} \cdot d \cdot \sqrt{\frac{1000\sqrt{2gH}}{I_{\text{тр}}}} = a \cdot d \cdot \sqrt{1000 \cdot I_{\text{тр}} \cdot \sqrt{2gH}}, \quad (2.33)$$

$$Q_{\text{тр}_2} = (S_T - a \cdot h_T) \cdot I_{\text{тр}} = (S_T - a \cdot d \cdot \sqrt{\frac{1000\sqrt{2gH}}{I_{\text{тр}}}}) \cdot I_{\text{тр}}, \quad (2.34)$$

где d – диаметр водяного ПС, мм;

$I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи ОТВ, л/(м²·с);

a – ширина площади пожара, м;

H – напор перед насадком ПС, м вод. ст.;

g – ускорение свободного падения, м/с².

В данном случае, общий расход, необходимый для тушения пожара, может быть вычислен следующим образом:

$$Q_{\text{тр}} = Q_{\text{тр}_1} + Q_{\text{тр}_2} \quad (2.35)$$

Требуемый расход ОТВ в этом случае (см. рисунок 2.35) можно представить в следующем виде:

$$Q_{\text{лок}} = Q_{\text{тр}} = v_{\text{тр}}(\tau_{\text{св}} + \tau_1), \quad (2.36)$$

где $v_{\text{тр}}$ – требуемая скорость сосредоточения ОТВ, л/с².

Фактический расход ОТВ можно представить, как:

$$Q_{\text{ф}} = \overline{v_{\text{ф}}} \cdot \tau_{\text{лок}}, \quad (2.37)$$

где $\overline{v_{\text{ф}}}$ – фактическая усредненная скорость сосредоточения ОТВ, л/с², подаваемых на тушение всеми силами и средствами пожарных подразделений:

$$\overline{v_{\text{ф}}} = \frac{Q_{\text{ф}}}{\tau_{\text{лок}}}. \quad (2.38)$$

Таким образом, можно обозначить условие успешной локализации пожара:

$$\bar{v}_\phi > v_{\text{тр}}, \quad (2.39)$$

где $v_{\text{тр}} = v_\Pi \cdot I_{\text{тр}}$, v_Π – скорость роста площади пожара, м²/с,

или, при выполнении следующего условия:

$$Q_\phi > Q_{\text{тр}}, \quad (2.40)$$

где $Q_\phi, Q_{\text{тр}}$ – фактический и требуемый расходы ОТВ.

При нехватке средств условие (2.39) может не выполняться, но и при таких обстоятельствах необходимо в кратчайшие сроки подавать ПС по фронту распространения огня. В связи с тем, что ширина фронта распространения огня является константой, в некоторых случаях скорость локализация пожара может быть и меньше скорости роста его периметра.

Площадь пожара в момент локализации определяется следующим выражением:

$$S_{\text{лок}} = v_\Pi (\tau_{\text{св}} + \tau_1), \text{ м}^2 \quad (2.41)$$

где v_Π – скорость роста площади пожара, м²/мин.

Приравняв правые части выражений (2.36) и (2.37), определим время локализации пожара определим:

$$\tau_{\text{лок}} = \frac{v_{\text{тр}}(\tau_{\text{св}} + \tau_1)}{v_\phi}, \text{ с.} \quad (2.42)$$

Время локализации пожара будет зависеть от промежутка времени свободного развития пожара, требуемой и фактической скоростей сосредоточения расходов ОТВ.

При невозможности проведения наступления по направлению распространения огня, необходимо использовать другой метод пожаротушения [78, 141, 147, 164].

Представим алгоритм поддержки принятия решения РТП при фронтальном методе тушения пожара на основе оценки тактических возможностей пожарного подразделения, которые могут выражаться через скорость сосредоточения расхода ОТВ (рисунок 2.36).

$\tau_{св}$ – время от начала возгорания до введения сил и средств первого пожарного подразделения
 τ_1 – время сосредоточения сил и средств первого пожарного подразделения
 S_T – площадь тушения, м²
 a – ширина площади пожара, м
 d – диаметр насадка ПС, м
 H – напор перед насадком ПС, м.вод.ст.
 I_{mp} – требуемая интенсивность подачи ОТВ, л/м² · с
 $\bar{V}_ф$ – фактическая усреднённая скорость сосредоточения ОТВ, л/с²

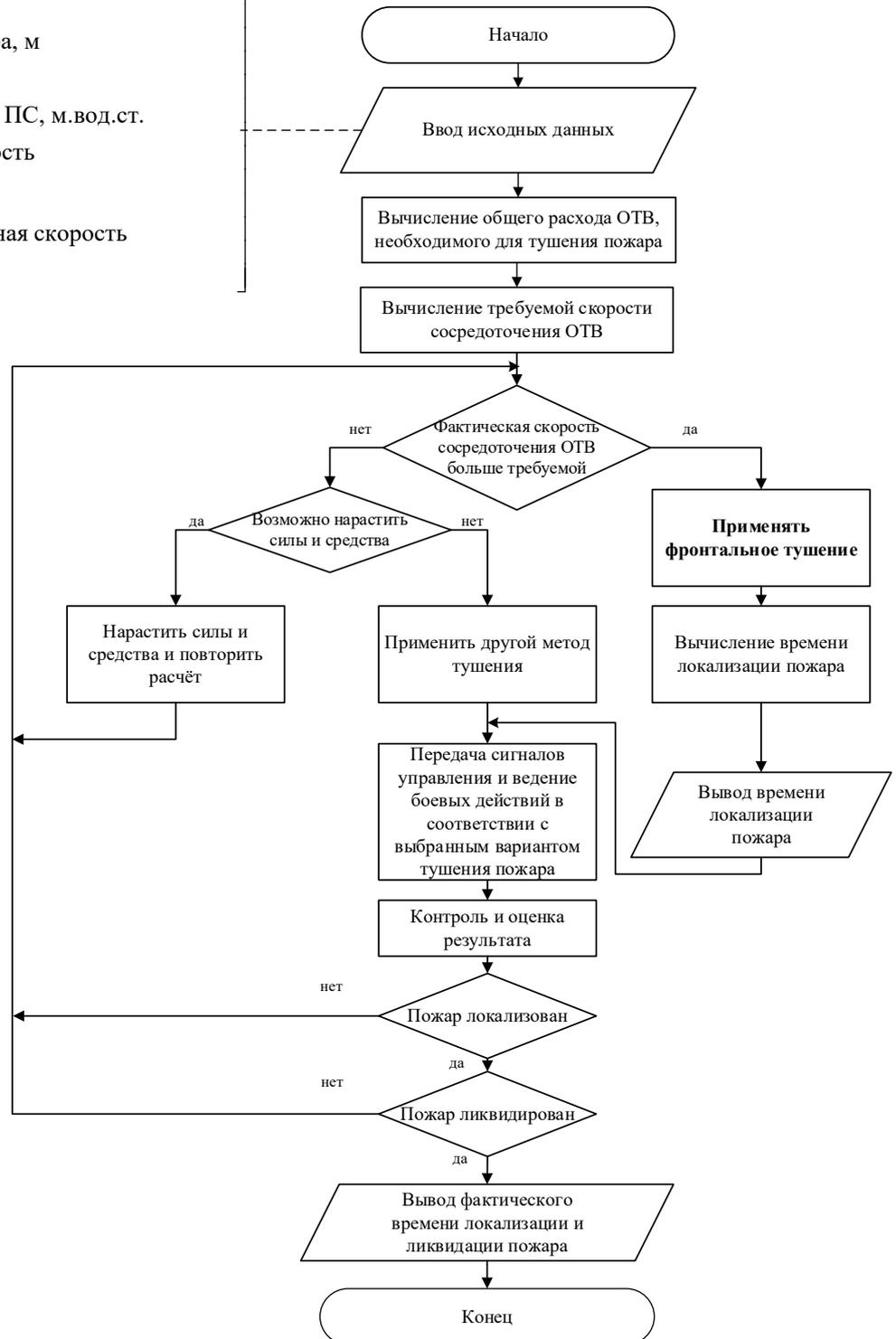


Рисунок 2.36 – Алгоритм поддержки принятия решения РТП при фронтальном методе тушения пожара, решающий задачу оценки возможности применения фронтального метода тушения для локализации и ликвидации пожара

Алгоритм поддержки принятия решений РТП при фронтальном методе тушения на основе оценки тактических возможностей пожарного подразделения рекомендован для планирования тушения пожаров в современных жилых зданиях. Также послужил основой для разработки программы ЭВМ «Экспресс-оценка опасных факторов пожара» (свидетельство о государственной регистрации № 2018661392 от 07.09.2018).

Программное средство «Экспресс-оценка опасных факторов пожара» для смартфонов на базе операционной системы Android предназначено для определения времени наступления ОФП, что в свою очередь помогает РТП принять управленческое решение [93]. Экранные формы программы для ЭВМ приведены на рисунке 2.37.

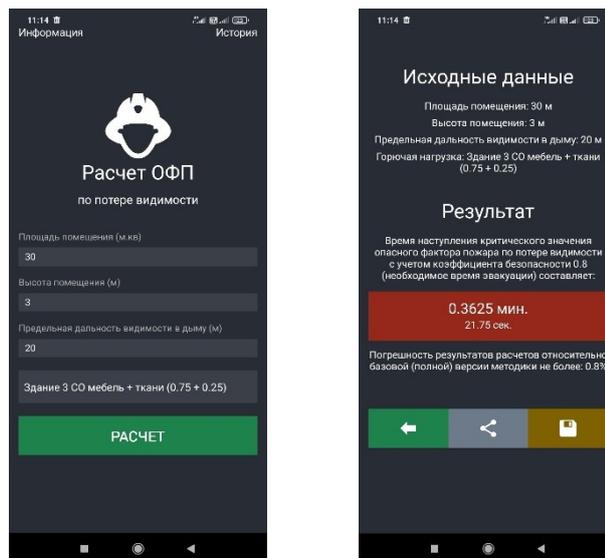


Рисунок 2.37 – Экранные формы мобильного приложения для поддержки принятия решений РТП

Предложенные в алгоритме поддержки принятия решения РТП при фронтальном методе тушения пожара математические соотношения могут быть рассмотрены в терминах системной динамики. Пусть V_T – скорость тушения пожара. Скорость роста площади пожара при его прямоугольном развитии (см. таблицу 1.6):

$$V_S = n \cdot a \cdot V_T^2,$$

где n – количество направлений развития пожара по горизонтали;

V_l – линейная скорость распространения пламени.

Тогда если условие успешной локализации пожара (2.40), то получается, что при $Q_\phi = Q_{тр}$ скорость тушения пожара равна скорости роста площади пожара: $V_T = V_S$. Тогда справедливо соотношение:

$$\frac{V_T}{V_S} = \frac{Q_\phi}{Q_{тр}}. \quad (2.43)$$

Скорость тушения пожара в данном случае будет равна:

$$V_T = \frac{Q_\phi}{Q_{тр}} V_S. \quad (2.44)$$

В данном случае, тушение пожара можно представить в виде модели системной динамики, предложенной Дж. Форрестером [156]. Особенностью данных моделей является абстрагирование от индивидуальных объектов системы и рассмотрение только агрегированных количественных характеристик потоков таких объектов, взаимовлияния и взаимозависимость динамики этих потоков. Все переменные рассматриваются как непрерывные и отдельные события в системе не выделяются. Процессы рассматриваются протекающими в непрерывном времени. Модели системной динамики позволяют построить модель системы любой природы в терминах гидродинамики. Элементами модели являются такие абстракции, как накопители (емкости, запасы) и вентили (клапаны). Емкости между собой связываются между собой системой трубопроводов, потоки в которых регулируются с помощью вентиля. Графическая интерпретация модели системной динамики фронтального метода тушения пожара представлена на рисунке 2.38 [97].

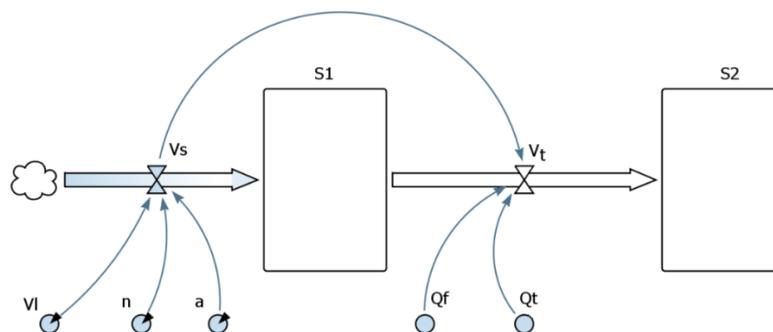


Рисунок 2.38 – Системно-динамическая модель фронтального метода тушения пожара

На данной диаграмме прямоугольниками изображены накопители (запасы, уровни, емкости), а потоки – трубопроводами со стрелками, ведущими в прямоугольник или из него [156]. На каждом трубопроводе изображен вентиль, который может регулировать поток, либо держать его в полностью открытом или полностью закрытом состоянии. Облако символизирует источник потока.

Накопитель S1 моделирует площадь пожара, а накопитель S2 – потушенную площадь. Вентиль Vs регулирует поток, моделирующий прирост площади пожара. Вентиль Vt регулирует поток, вытекающий из накопителя S1, то есть моделирует тушение пожара. Таким образом, тушение пожара можно представить, как полное опустошение накопителя S1.

Данную модель можно представить в виде системы дифференциальных уравнений [97]:

$$\begin{cases} \frac{dS_1}{dt} = V_s - V_t = n \cdot a \cdot V_l \left(1 - \frac{Q_\phi}{Q_{тр}}\right), \\ \frac{dS_2}{dt} = V_t = \frac{Q_\phi}{Q_{тр}} V_s. \end{cases} \quad (2.45)$$

Параметры модели на рисунке 2.38 и в системе дифференциальных уравнений (2.45) приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Параметры системно-динамической модели фронтального метода тушения пожара

Обозначение на рисунке 2.38	Обозначение в выражении (2.45)	Наименование	Тип в терминах системной динамики
S1	S_1	Площадь пожара	Накопитель
S2	S_2	Площадь потушенного пожара	Накопитель
Vs	V_s	Скорость роста площади пожара	Поток
Vt	V_t	Скорость тушения пожара	Поток
Vl	V_l	Линейная скорость распространения пожара	Параметр
n	n	Количество направлений развития пожара	Параметр
a	a	Ширина площади пожара	Параметр
Qf	Q_ϕ	Фактический расход ОТВ	Динамическая переменная
Qt	$Q_{тр}$	Требуемый расход ОТВ	Динамическая переменная

В предложенной модели, фактический расход ОТВ задан динамической переменной. С помощью данной переменной возможно моделирование прибытия на тушение пожара дополнительных сил и средств. Каждое новое средство, приступающее к тушению пожара, будет увеличивать значение переменной Q_{ϕ} . При выполнении условия $\frac{Q_{\phi}}{Q_{\text{тр}}} > 1$ площадь начнет уменьшаться. Скорость тушения пожара будет тем выше, чем больше значение отношения $\frac{Q_{\phi}}{Q_{\text{тр}}}$.

Основные достоинства предложенной системно-динамической модели фронтального метода тушения пожара:

- 1) возможность имитационного моделирования фронтального метода тушения пожара;
- 2) возможность задания параметров модели не детерминированными, а случайными значениями с заданными законами распределения.

Результаты имитационного моделирования с задаваемыми условиями (см. таблицу 2.6) наглядно показывают эффективность боевых действий с пожаром.

На основе предложенной системно-динамической модели в 3.3 с помощью имитационного моделирования в среде AnyLogic произведена оценка эффективности алгоритма поддержки принятия решений РТП при фронтальном методе тушения пожара на основе оценки тактических возможностей пожарного подразделения, которая подтвердила его эффективность.

2.5 Выводы по главе 2

1. Процесс принятия решений при управлении пожарными подразделениями рассмотрен как статически детерминированная задача. Показано, что задачи выбора варианта тушения пожара, могут решаться при помощи методов теории полезности. Критерием, позволяющим провести ранжирование вариантов тушения пожара, отбросить безусловно неперспективные и оставить для дальнейшего рассмотрения небольшую группу вариантов, т. е. сузить множество допускаемых альтернатив в условиях

определенности, является максимум многомерной функции ценности метода. Разработаны модель и алгоритм поддержки принятия решений РТП на основе оценки функции ценности, позволяющие выбрать наиболее ценный вариант тушения пожара.

2. Приведено теоретическое обоснование по выбору оптимального варианта тушения пожара на основе сравнения значений функций ценности для каждого варианта. Приведенные теоретические положения по выбору варианта ввода сил и средств на локализацию и ликвидацию применены к реальным условиям тушения пожара на основе статистических данных.

3. Предложено использовать значение глубины тушения в качестве критерия эффективности ведения боевых действий по тушению пожара при расчете сил и средств в алгоритмах поддержки принятия решений РТП. Разработаны модели определения глубины тушения пожара ручными пожарными словами на основе расхода ПС и по напору воды перед его насадком. Аналитически глубина тушения может быть представлена двумя способами:

- как функция от расхода воды из ПС (2.22);
- как функция от напора перед насадком ПС (2.28).

4. При усреднении интенсивности подачи воды пожарными стволами на тушение пожара и соблюдении условий эффективности работы пожарных стволов, а именно при поддержании необходимого напора перед насадком ПС, глубину тушения для ручных пожарных стволов можно определить, как функцию от диаметра насадка ствола (2.29), (2.30).

5. Разработан алгоритм поддержки принятия решения РТП на основе оценки скорости роста площади пожара. Данный алгоритм позволяет оценить достаточность количества сил и средств при планировании и отработке боевых действий по тушению пожара с использованием водяных пожарных стволов.

6. Разработан алгоритм поддержки принятия решения РТП при фронтальном методе тушения пожара. Данный алгоритм позволяет РТП определить возможность использования фронтального метода тушения пожара имеющимися силами и средствами.

7. Полученные модель и алгоритмы рекомендованы для составления документов предварительного планирования действий пожарно-спасательных подразделений, а также для экспертизы и анализа организации ведения боевых действий на пожаре. Так, например, при составлении планов тушения пожара полученные результаты могут применяться для:

- расчета возможных параметров пожара в разделе «Прогноз развития пожара»;

- расчета рекомендуемых средств и способов тушения пожара, расчета необходимого количества сил и средств, организации тушения пожаров при различных вариантах в разделе «Организация тушения пожара подразделениями пожарной охраны».

8. Для реализации и апробации полученных моделей и алгоритмов необходимо:

- разработать методику проведения экспериментов по определению глубины тушения водяными ручными пожарными стволами;

- провести натурный эксперимент по определению глубины тушения водяными пожарными стволами;

- эмпирически определить зависимость глубины тушения от основных гидравлических характеристик водяных пожарных стволов;

- сравнить теоретическую и эмпирическую зависимости глубины тушения водяными пожарными стволами от расхода воды из ПС и от напора воды перед насадком пожарного стола;

- выполнить анализ применимости предложенных моделей и алгоритмов к реальным условиям на основе данных о ранее потушенных пожарах.

Данные исследования выполнены в главе 3.

ГЛАВА 3 ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗРАБОТАННОЙ МОДЕЛИ И АЛГОРИТМОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ РУКОВОДИТЕЛЯ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

3.1 Оценка эффективности модели поддержки принятия решений руководителя тушения пожара для планирования боевых действий на основе оценки функции ценности вариантов тушения пожара

Оценка эффективности модели поддержки принятия решений РТП при планировании боевых действий на основе оценки функции ценности вариантов тушения пожара производилась путем анализа результатов ее применения к реальным пожарам (по описаниям пожаров и последствий от них государственного статистического учета), произошедшим за последние 10 лет в Российской Федерации и Краснодарском крае. Результаты анализа тушения пожаров в жилых домах позволили сделать вывод, что принятие решения на основе предлагаемой модели в большинстве случаев может повысить эффективность принятия решения РТП, сократить количество боевых позиций личного состава, участвующих в тушении пожара и сокращении расхода ОТВ для ликвидации горения.

Приведен один из примеров применения модели поддержки принятия решений РТП на основе оценки функций ценности вариантов тушения пожара. В качестве исходных данных для моделирования выбран пожар, произошедший на 3 этаже 14-этажного жилого дома в межквартирном пространстве, который характеризовался фронтальным распространением и был ограничен несущими стенами задания. Схема пожара на момент ввода первых пожарных стволов представлена на рисунке 3.1. Количественные и качественные характеристики пожара приведены в таблицах 3.1, 3.2. Силы и средства, привлекаемые для тушения пожара приведены в таблице 3.3.

В результате тушения пожара пожарно-спасательными подразделениями не допущено распространение огня, спасено 5 и эвакуировано 10 человек.

Таблица 3.1 – Временные данные пожара

Показатель	Время
Сообщение в подразделение	13 час. 10 мин
Проверка р/связи	13 час. 11 мин
Задержки	13 час. 12 мин
Прибытие	13 час. 14 мин
Подан ствол на тушение	13 час. 16 мин
Информация о спасении 1 чел.	13 час. 19 мин
Прибытие сил и средств	13 час. 24 мин
Всего спасено 5 чел., эвакуировано 10 чел.	13 час. 30 мин
Ликвидация	13 час. 30 мин
Расстояние от подразделения	1,6 км

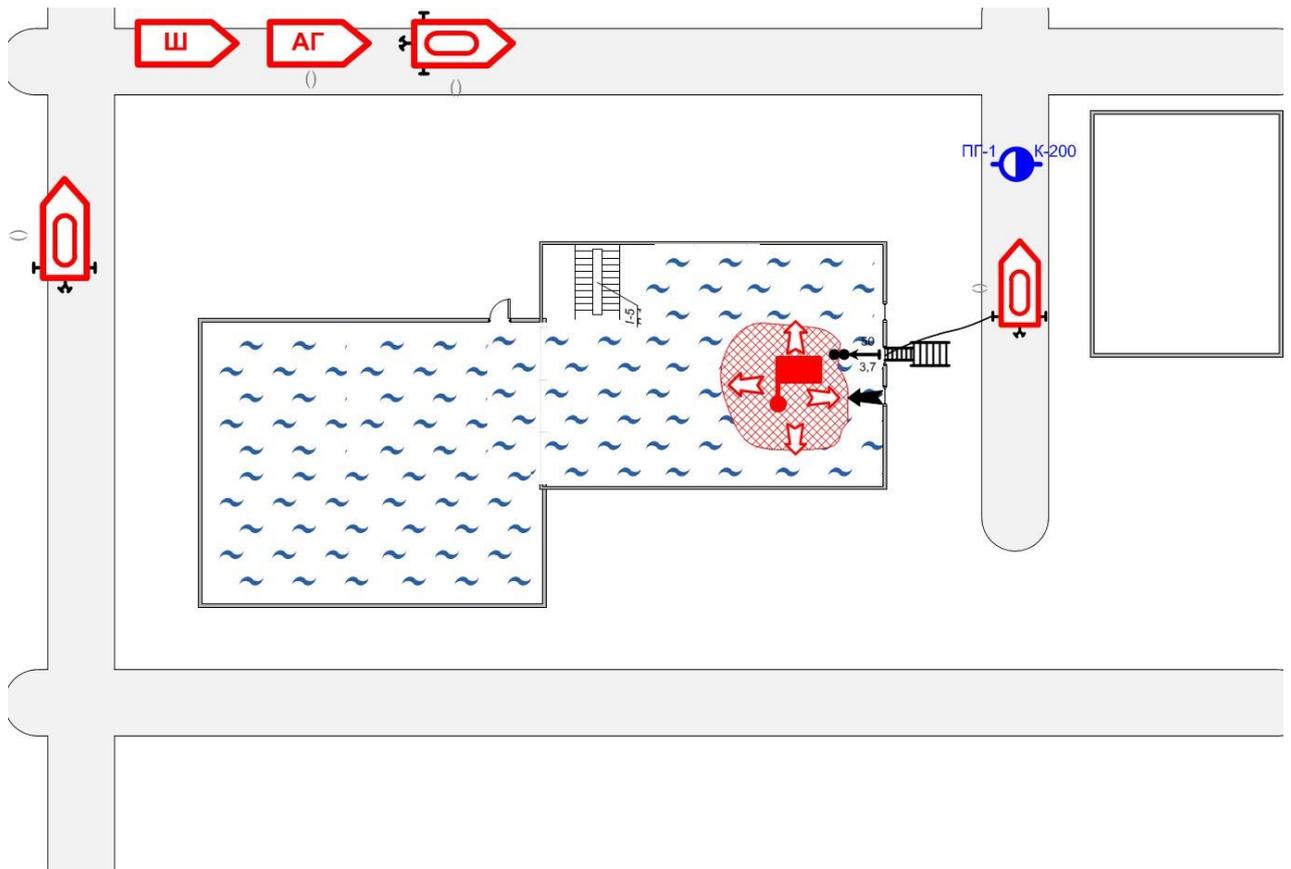
Таблица 3.2 – Параметры пожара

Параметр	Значение
Площадь пожара ($S_{п}$)	6 м ²
Площадь тушения ($S_{т}$) (распыленной водяной струей)	6 м ²
Количество автомобилей, которое необходимо установить на ПГ	1
Количество стволов на тушение пожара ($N_{ст}$)	1 ствол РС-50
Требуемый расход ОТВ ($Q_{тр}$)	0,28 л/с
Фактический расход ОТВ ($Q_{фак}$)	3,5 л/с
Количество отделений ($N_{отд}$)	4
Интенсивность нормативная для жилых зданий	0,06

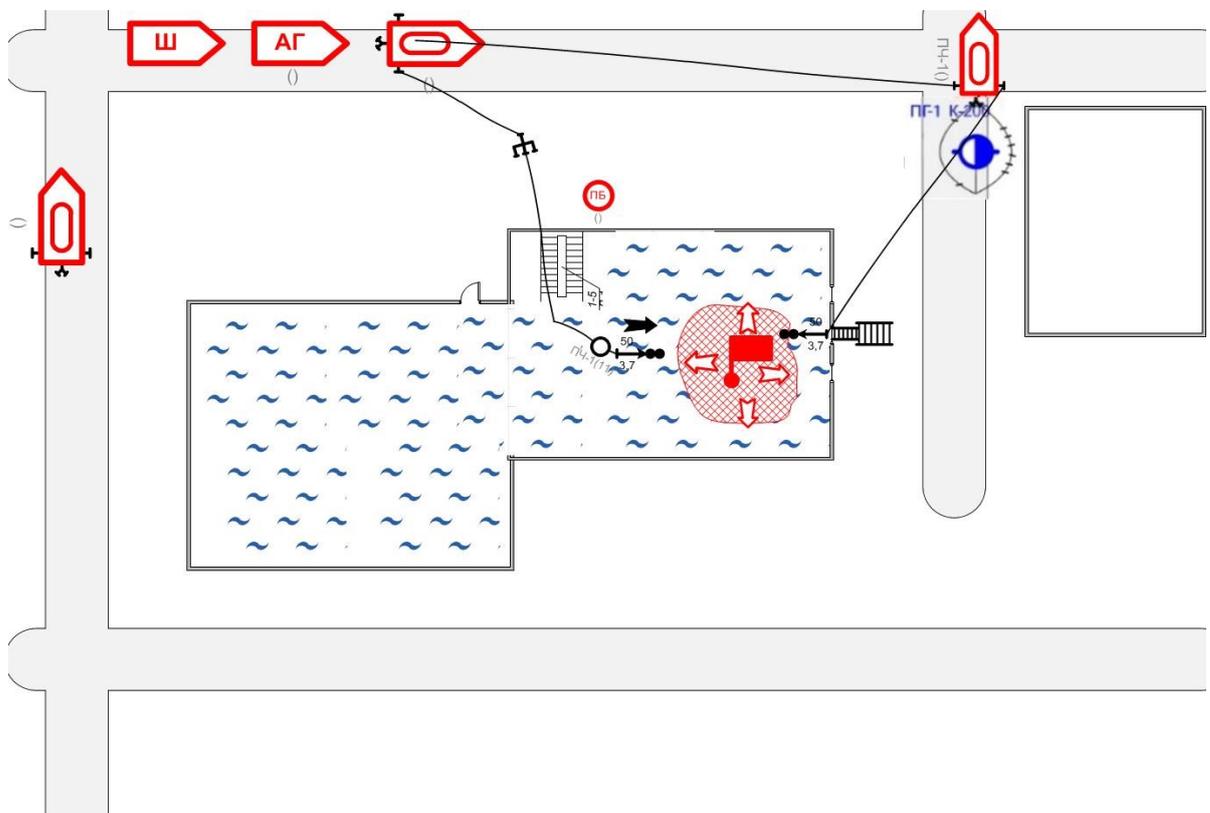
Таблица 3.3 – Силы и средства пожарно-спасательного гарнизона, привлекаемые по рангу пожара

Номер подразделения	Вид техники	Количество личного состава	Количество звеньев ГДЗС
СПСЧ	АШ	3	–
1ПСЧ	АЦ, АГ	8	2
2 ПСЧ	АЦ	4	–
4 ПСЧ	АЦ	4	–
Общее количество личного состава	19		

Но анализ схемы пожара показывает, что наличие исправного пожарного гидранта, расположенного на расстоянии 20 м от места пожара и особенности конструкции здания, предполагают и другие альтернативные варианты тушения пожара. Альтернативные варианты тушения пожара представлены на рисунке 3.2.



а



б

Рисунок 3.2 – Альтернативные схемы (варианты) тушения пожара: а – вариант 1;
б – вариант 2

При альтернативной схеме тушения пожара вариант 1, представленного на рисунке 3.2, *а*, подразделение 1 ПСЧ не принимает участие в тушении пожара и общее количество личного состава, участвующего в тушении пожара уменьшается на 8 человек.

Вычислим фактическую интенсивность подачи ОВ:

$$I_{\phi} = \frac{Q_{\phi}}{S_T} = \frac{3,5}{6} = 0,58 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Вычислим фактическую глубину тушения пожара, согласно выражению (2.15):

$$h_T^n = \sqrt{\frac{4Q_{\phi}}{\pi I_{\phi}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 3,5}{3,14 \cdot 0,58}} = 2,77 \text{ м}.$$

Вычислим глубину тушения пожара согласно предложенной в исследовании модели по выражению (2.21):

$$h_{\text{ручного}}^{\text{ствола}} = 0,37d = 0,37 \cdot 13 = 4,81 \text{ м}.$$

Данное значение глубины тушения используем в альтернативных вариантах тушения пожара.

Согласно выражения (2.32) должно выполняться условие $Q_{\phi} > Q_{\text{тр}}$. В связи тем, что требуемый расход ОТВ равен 0,28 л/с (см. таблицу 3.2), примем в альтернативных вариантах тушения пожара критерий расход ОТВ равным 0,3 л/с.

Фактическое время от момента подачи пожарного ствола до ликвидации пожара составляет 16 минут. При альтернативном варианте 1 (см. рисунок 3.2, *а*) пожара расход ОТВ и количество личного состава, участвующего в тушении пожара, меньше, чем при фактической схеме, примем время тушения за наихудшее значение критерия время тушения пожара в таблице 3.2 равным 20 минутам. При альтернативном варианте 2 (рисунок 3.2, *б*) время подачи стволов меньше, чем при фактическом варианте тушения пожара и альтернативного варианта 1. Примем время тушения за наихудшее значение критерия время тушения пожара для альтернативного варианта 2 (см. таблицу 3.2) равным 14 минутам.

Критерии тушения пожара фактического и альтернативных вариантов тушения представлены в таблице 3.4. Приоритетным критерием выбран расход ОТВ, так как он является необходимым условием локализации пожара.

Таблица 3.4 – Критерии тушения пожара

j	Критерий	Единицы измерения	Фактическая схема тушения	Альтернативная схема тушения (вариант 1)	Альтернативная схема тушения (вариант 2)
1	Расход ОТВ	л/с	3,5	0,3	0,3
2	Время тушения пожара	мин.	16	20	14
3	Глубина тушения	м	2,77	4,81	4,81
4	Количество личного состава	ед.	19	11	16

Найдем значения функций ценности для каждого критерия в соответствии с п. 2.1.2 исследования. В связи с тем, что расход в данном случае наиболее приоритетным критерием выбран расход ОТВ, чтобы не учитывать влияние этого критерия на решение, примем значение функции ценности для него равным единице. Данные значения приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Значение одномерных функций ценности для критериев тушения пожара

j	Критерий r_j	Единицы измерения	Одномерная функция ценности критериев $V(r_j)$		
			Фактическая схема тушения	Альтернативная схема тушения (вариант 1)	Альтернативная схема тушения (вариант 2)
1	Расход ОТВ	л/с	1,0	1,0	1,0
2	Время тушения пожара	мин	0,5	0	0,75
3	Глубина тушения	м	1,0	0,75	0,75
4	Количество личного состава	ед.	0	0,7	0,27

Согласно многомерной функции ценности (2.9), найдем произведение шкалирующих коэффициентов для каждого критерия и значение многомерной функции ценности всех схем тушения пожара. Результаты вычислений приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Результаты вычислений многомерной функции ценности

Критерий	Фактическая схема тушения	Альтернативная схема тушения (вариант 1)	Альтернативная схема тушения (вариант 2)
$0,208 \cdot V(r_1)$	0,208	0,208	0,208
$0,238 \cdot V(r_2)$	0,119	0	0,179
$0,277 \cdot V(r_3)$	0,277	0,208	0,208
$0,277 \cdot V(r_4)$	0	0,194	0,075
Многомерная функция ценности	0,6	0,61	0,669

Сводная диаграмма единичный квадрат для всех критериев приведена на рисунке 3.3.

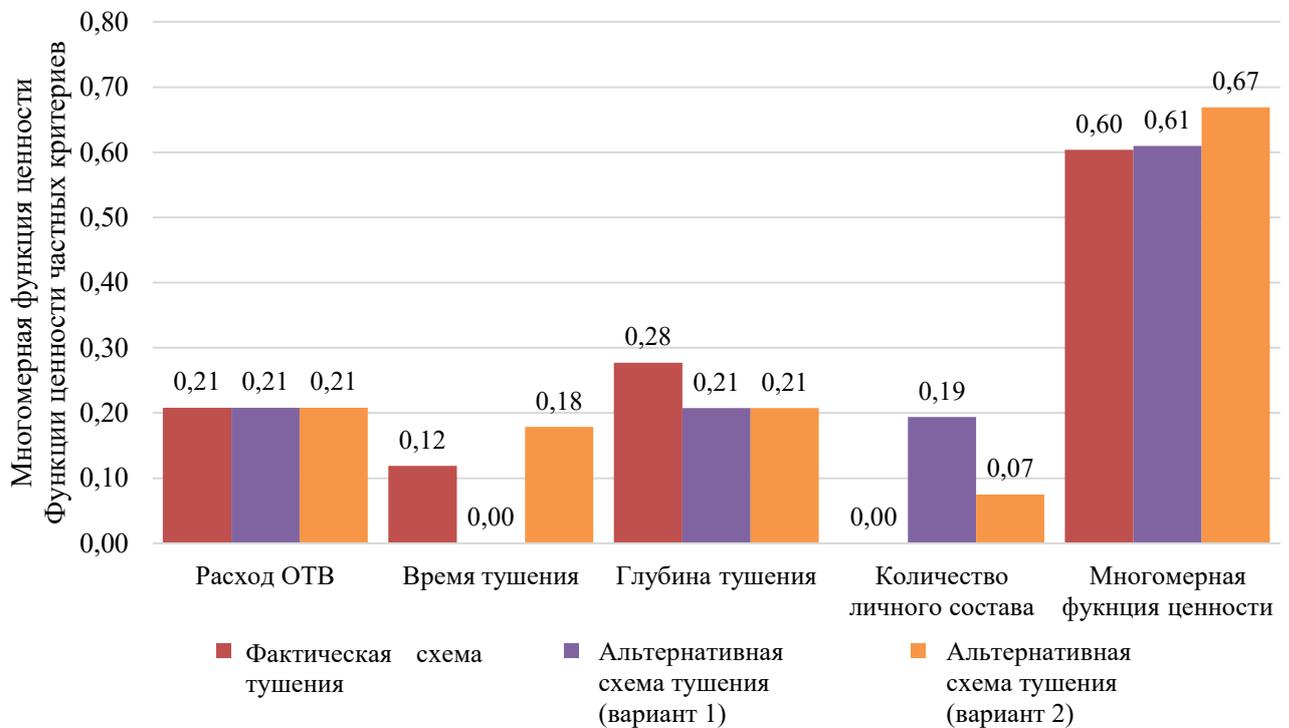


Рисунок 3.3 – Сводная диаграмма единичный квадрат

Анализ таблицы 3.6 и рисунка 3.3 позволил сделать вывод, что даже без учета расхода ОТВ альтернативные варианты тушения пожара имеют немного большую ценность, чем фактический вариант тушения пожара.

Вычислим объем затраченного ОТВ при фактической схеме тушения пожара:

$$V_{\phi} = 16 \cdot 60 \cdot 3,5 = 3360 \text{ л.}$$

Вычислим расход ОТВ при альтернативных вариантах тушения пожара:

$$V_{\phi}' (\text{вариант 1}) = 20 \cdot 60 \cdot 0,3 = 360 \text{ л};$$

$$V_{\phi}' (\text{вариант 2}) = 14 \cdot 60 \cdot 0,3 = 252 \text{ л}.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что при использовании предлагаемых моделей определения параметра глубины тушения пожара (п. 2.2) и модели поддержки принятия решения на основе оценки функции ценности для вариантов тушения пожара (п.2.1) в данном случае, возможно уменьшить объем затраченного ОТВ в 8 раз, количество личного состава на боевых позициях, участвующего в тушении в 1,7 раз.

3.2 Оценка эффективности алгоритма поддержки принятия управленческих решений руководителя тушения пожара при планировании ведения боевых действий на основе оценки скорости роста площади пожара

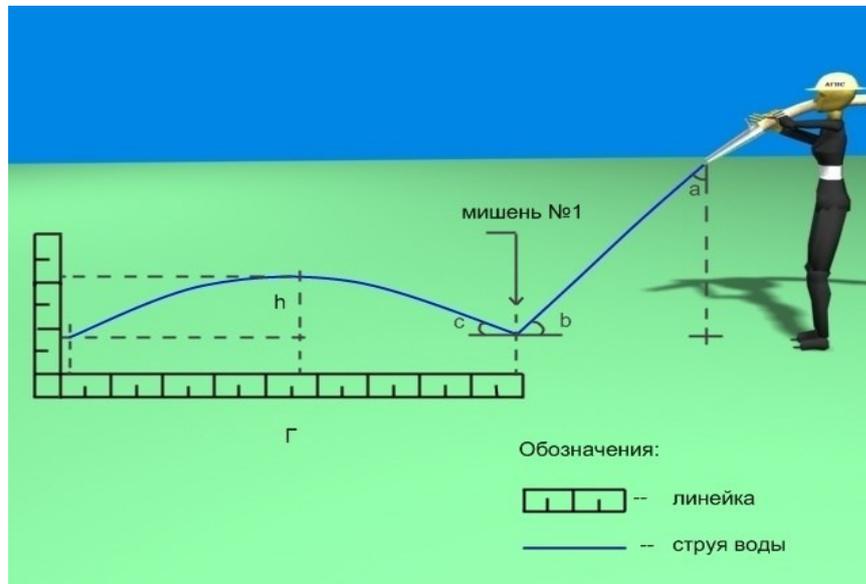
Оценку эффективности алгоритма поддержки принятия управленческих решений РТП при планировании ведения боевых действий на основе оценки скорости роста площади пожара выполним путем проверки адекватности полученных в 2.2 выражений для определения глубины тушения пожара ручными водяными пожарными стволами, которые лежат в основе данного алгоритма. Для этого проведем серию экспериментов по определению глубины тушения пожара и сравним полученные экспериментальные данные с аналитическими расчетами.

3.2.1 Методика постановки эксперимента по определению глубины тушения ручными водяными пожарными стволами

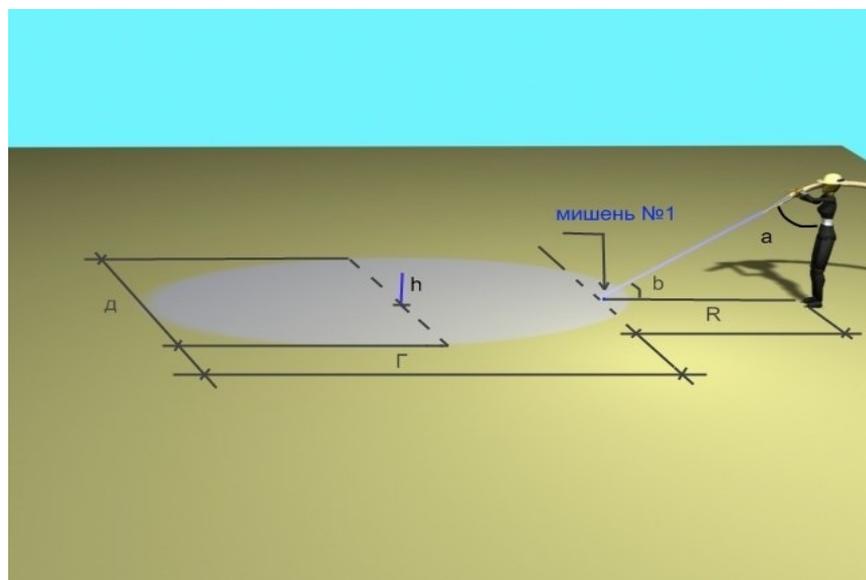
Серия экспериментов по определению глубины тушения ручными водяными пожарными стволами проводилась для оценки эффективности модели определения глубины тушения пожара ручным водяным ПС путем сравнения результатов опыта с полученной теоретической зависимостью (2.32). В связи с

тем, что данная модель является основой алгоритма поддержки принятия решений РТП при планировании боевых действий на основе оценки скорости роста площади пожара в 2,3, предполагается, что при сходимости теоретической и эмпирической зависимостей, будет доказана и эффективность данного алгоритма.

Принципиальная схема эксперимента приведена на рисунке 3.4.



a



б

Рисунок 3.4 – Схема проведения эксперимента: *a* – вид сбоку; *б* – проекция на плоскость

Предлагается следующая методика проведения эксперимента. Ствольщик располагает ствол на высоте 1,5 метра под углом b к поверхности удара воды, целясь в мишень, расположенную на расстояниях 2,5 метра ($b = 30^\circ$), 1,5 метра

($b = 45^\circ$) и 0,9 метра ($b = 60$). При этом определяется визуально (на основе фото- и видеофиксации) по семиметровой линейке, расположенной горизонтально за началом мишени, и вертикальной линейке – высота отскока и эллипс.

По вертикально расположенной линейке замеряется высота подъема отскока воды при отражении от поверхности h и длину r пика подъема купола воды на высоту h и из следующих выражений:

$$h = \frac{tgc}{r}, \quad (3.1)$$

$$k = \frac{b}{2c}, \quad (3.2)$$

$$V_0 = \sqrt{2gH_{cm}}, \quad (3.3)$$

$$\bar{V}_0 = \frac{V_0}{k}, \quad (3.4)$$

Напор перед насадком ПС варьируется от 20 м вод. ст. до 50 м вод. ст. Результаты каждого эксперимента заносятся в таблицу. Далее строится функциональная зависимость глубины тушения ручным водяным ПС. Полученные экспериментальные данные сравниваются с теоретическими результатами, полученными в главе 2.

3.2.2 Эксперимент по определению глубины тушения для ручного водяного пожарного ствола с диаметром насадка 13 миллиметров

Для определения глубины тушения ствольщик целится струей воды из пожарного ручного ствола диаметром насадка 13 мм в мишень при углах наклона $b=30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$. При этом глубина тушения определяется визуально с помощью линейки. Начальная скорость истечения жидкости определяется по выражению 3.4.

Результаты проведения эксперимента по определению глубины тушения для ручного водяного ствола приведены в таблице 3.7 и на рисунках 3.5, 3.6, 3.7.

Таблица 3.7 – Результаты эксперимента по определению глубины тушения ручным ПС с диаметром насадка 13 мм

$N_{\text{опыта}}$	$H_{cm}, \text{ м.вод.см}$	$V_0, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$	$\bar{V}_0, \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$	K	$h_m^n, \text{ м.}$
$b = 30^\circ$					
1	20	19,8	10,7	1,85	3,5
2		19,8	11	1,80	3,5
3	25	22,15	12,1	1,81	4,0
4		22,15	12,4	1,78	4,2
5	30	24,3	12,8	1,89	4,4
6		24,3	12,6	1,93	4,3
7	35	26,2	13,0	2,00	4,6
8		26,2	13,3	1,97	4,8
9	40	28,0	13,3	2,1	4,8
10		28,0	13,1	2,14	4,7
11	45	29,7	13,6	2,18	5,0
12		29,7	13,7	2,17	5,1
13	50	31,0	14	2,21	5,3
14		31,0	14	2,21	5,3
$b = 45^\circ$					
1	20	19,8	9,2	2,15	3,6
2		19,8	9,1	2,17	3,7
3	25	22,15	9,1	2,43	3,1
4		22,15	9,87	2,24	3,4
5	30	24,3	10,7	2,27	4,0
6		24,3	11,2	2,17	4,4
7	35	26,2	11,6	2,25	4,7
8		26,2	11,85	2,21	4,9
9	40	28,0	12,00	2,33	5,0
10		28,0	12,00	2,33	5,0
11	45	29,7	12,09	2,45	5,1
12		29,7	12,21	2,43	5,2
13	50	31,0	12,45	2,49	5,4
14		31,0	12,45	2,49	5,4
$b = 60^\circ$					
1	20	19,8	7,00	2,83	2,5
2		19,8	7,16	2,76	2,7
3	25	22,15	7,40	2,99	2,8
4		22,15	7,40	2,99	2,8
5	30	24,3	7,44	3,26	3,0
6		24,3	7,44	3,26	3,0
7	35	26,2	7,92	3,3	3,2
8		26,2	7,79	3,36	3,1
9	40	28,0	8,16	3,43	3,4
10		28,0	8,16	3,43	3,4
11	45	29,7	8,28	3,59	3,5
12		29,7	8,85	3,36	4,0
13	50	31,0	9,18	3,38	4,3
14		31,0	9,18	3,38	4,3

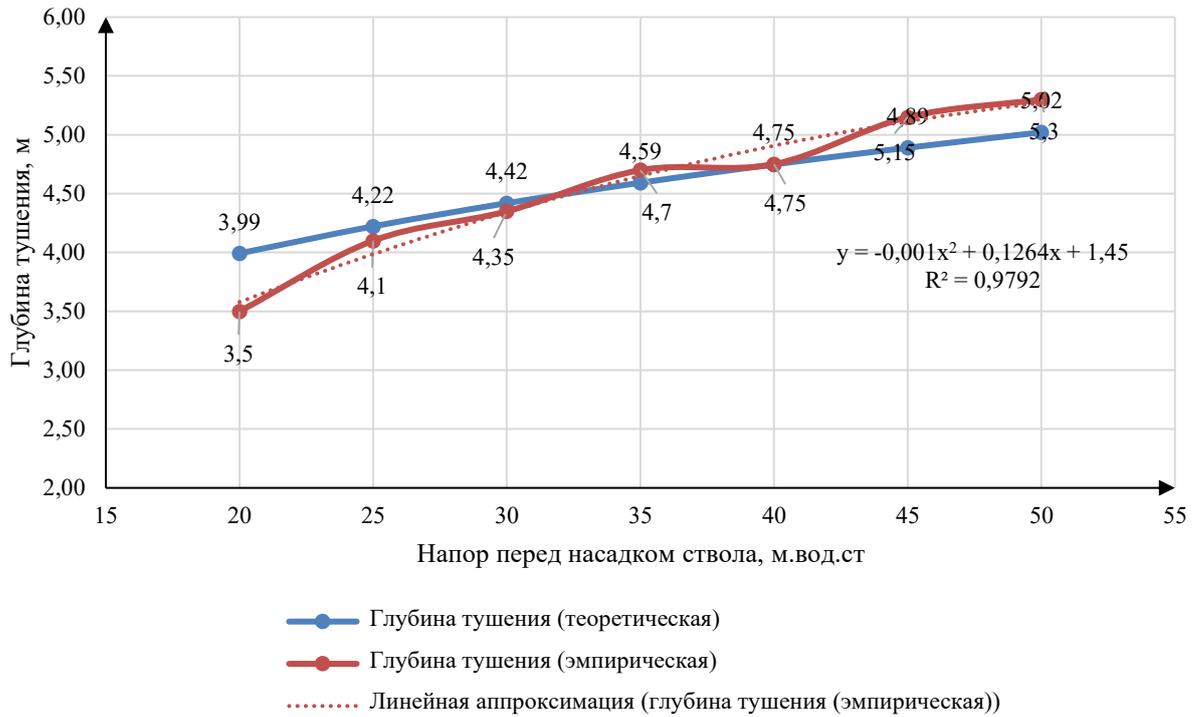


Рисунок 3.5 – Зависимость глубины тушения ручным ПС от напора перед насадком ствола ($b = 30^\circ$)

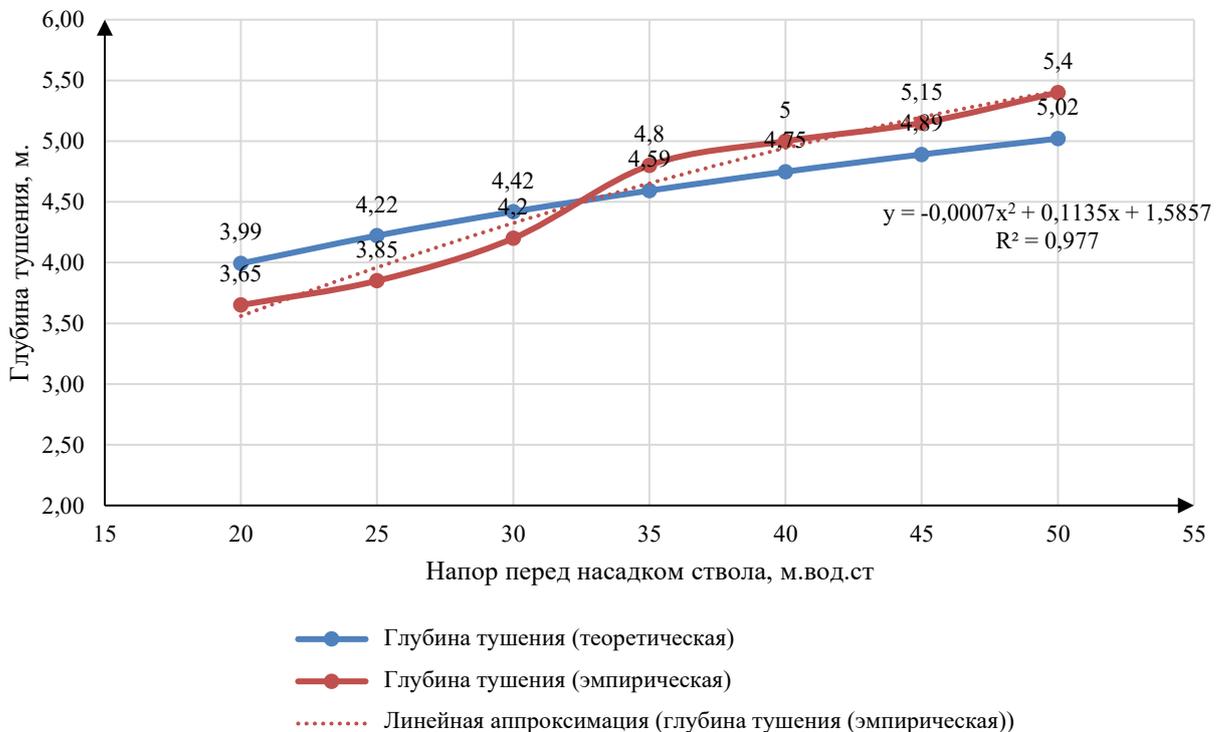


Рисунок 3.6 – Зависимость глубины тушения ручным ПС от напора перед насадком ствола ($b = 45^\circ$)

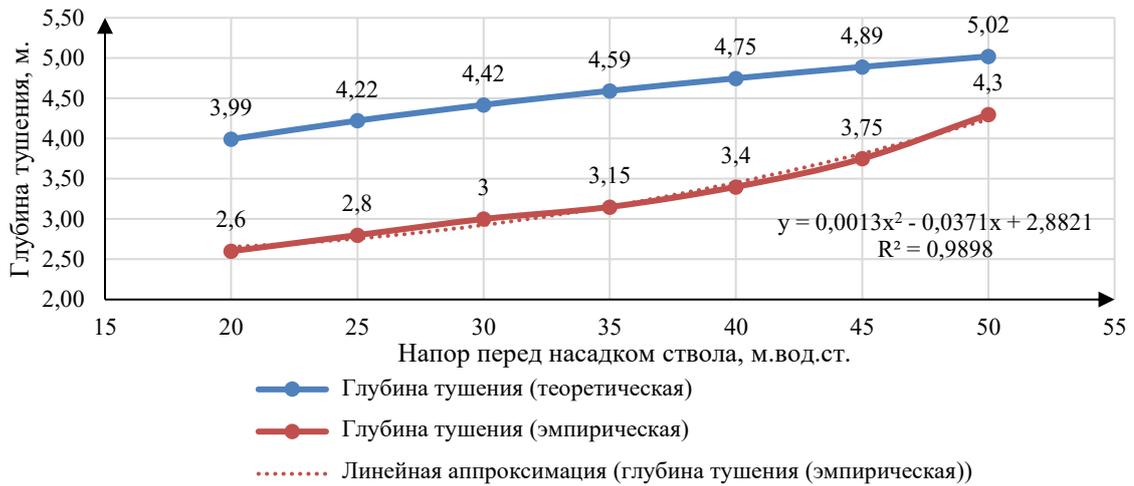


Рисунок 3.7 – Зависимость глубины тушения ручным ПС от напора перед насадком ствола ($b = 60^\circ$)

Проверим однородность теоретической и эмпирической зависимостей глубины тушения ПС от напора перед насадком. Выполним статистическую проверку гипотезы о том, что теоретическая зависимость (по выражению (2.32)) и эмпирическая зависимость (по результатам эксперимента) глубины тушения принадлежат одной генеральной совокупности. Проверку гипотезы об однородности выборок выполним с помощью критерия согласия Колмогорова-Смирнова. Статистика Колмогорова-Смирнова с учетом того, что объемы выборок равны, имеет вид [29]:

$$\lambda = \sqrt{\frac{n^2}{2n}} \max |h_{m_1}^n - h_{m_2}^n| = \sqrt{\frac{n}{2}} \max |h_{m_1}^n - h_{m_2}^n|, \quad (3.5)$$

где $h_{m_1}^n, h_{m_2}^n$ – глубина тушения ПС по двум выборкам объема n .

В связи с небольшим объемом выборок и высокой вероятностью ошибки второго рода при использовании критерия Колмогорова-Смирнова, для проверки однородности выборок также воспользуемся критерием Крамера-Мизеса (омега-квадрат) [29]:

$$\omega_n^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |h_{m_1}^n - h_{m_2}^n|^2, \quad (3.6)$$

где $h_{m_1}^n, h_{m_2}^n$ – глубина тушения ручным ПС, полученная по двум выборкам объема n .

Для обоих критериев нулевая гипотеза об однородности выборок отвергается, если наблюдаемое значение критерия больше критического для выбранного уровня значимости, и принимается в противном случае. Результаты проверки статистической гипотезы о согласованности эмпирической и теоретической функциональных зависимостей глубины тушения ПС с использованием критериев Колмогорова-Смирнова и Крамера-Мизеса приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Результаты проверки гипотезы о согласованности теоретической и эмпирической зависимостей глубины тушения ПС от напора воды перед его насадком

$N_{опыта}$	$H_{ст}$	$h_{m_1}^n, М$ (по результатам эксперимента)	$h_{m_2}^n, М$ (по формуле 2.32)	$ h_{m_1}^n - h_{m_2}^n $	$ h_{m_1}^n - h_{m_2}^n ^2$	$\max h_{m_1}^n - h_{m_2}^n $	Критерий Колмогорова-Смирнова		Критерий Крамера-Мизеса	
							λ	$\lambda_{крит}$ $\alpha = 0,05$	ω_n^2	$\omega_{n_{крит}}^2$ $\alpha = 0,05$
$b = 30^\circ$										
1	20	3,5	3,99	0,49	0,24	0,49	1,29	1,36	0,04	0,46
2		3,5	3,99	0,49	0,15					
3	25	4	4,22	0,22	0,05					
4		4,2	4,22	0,02	0,00					
5	30	4,4	4,42	0,02	0,00					
6		4,3	4,42	0,12	0,01					
7	35	4,6	4,59	0,01	0,00					
8		4,8	4,59	0,21	0,04					
9	40	4,8	4,75	0,05	0,00					
10		4,7	4,75	0,05	0,00					
11	45	5	4,89	0,11	0,01					
12		5,1	4,89	0,21	0,04					
13	50	5,3	5,02	0,28	0,08					
14		5,3	5,02	0,28	0,08					
$b = 45^\circ$										
1	20	3,6	3,99	0,39	0,98	0,42	1,11	1,36	0,01	0,46
2		3,7	3,99	0,29	0,79					
3	25	3,8	4,22	0,42	1,25					
4		3,9	4,22	0,32	0,67					
5	30	4	4,42	0,42	0,18					
6		4,4	4,42	0,02	0,00					
7	35	4,7	4,59	0,11	0,01					
8		4,9	4,59	0,31	0,10					
9	40	5	4,75	0,25	0,06					
10		5	4,75	0,25	0,06					
11	45	5,1	4,89	0,21	0,04					
12		5,2	4,89	0,31	0,10					
13	50	5,4	5,02	0,38	0,14					
14		5,4	5,02	0,38	0,14					
$b = 60^\circ$										
1	20	2,5	3,99	1,49	2,22	1,49	3,94	1,36	1,67	0,46
2		2,7	3,99	1,29	1,66					
3	25	2,8	4,22	1,42	2,02					
4		2,8	4,22	1,42	2,02					
5	30	3	4,42	1,42	2,02					

Окончание таблицы 3.8

6		3	4,42	1,42	2,02					
7	35	3,2	4,59	1,39	1,93					
8		3,1	4,59	1,49	2,22					
9	40	3,4	4,75	1,35	1,82					
10		3,4	4,75	1,35	1,82					
11	45	3,5	4,89	1,39	1,93					
12		4	4,89	0,89	0,79					
13	50	4,3	5,02	0,72	0,52					
14		4,3	5,02	0,72	0,52					

Определим оптимальный угол наклона ПС. Вычислим среднее значение коэффициента потерь k по следующему выражению:

$$k_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i \quad (3.7)$$

Средние значения коэффициента потерь по результатам эксперимента приведены в таблице 3.9 и на рисунке 3.8.

Таблица 3.9 – Средние значения коэффициента при проведении экспериментов

Эксперимент №1 Мишень №1 ($b=30^\circ$)	Эксперимент №2 Мишень №2 ($b=45^\circ$)	Эксперимент №3 Мишень №3 ($b=60^\circ$)
$k_{cp} = 2,00$	$k_{cp} = 2,15$	$k_{cp} = 3,23$

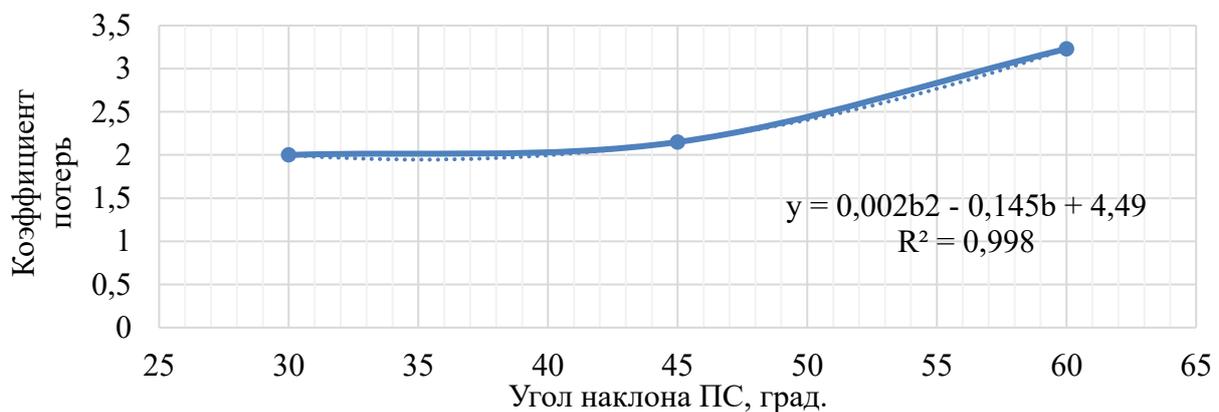


Рисунок 3.8 – Значение коэффициента потерь в результате проведения экспериментов

Аппроксимировав полученные экспериментальные данные, построим полиномиальную зависимость второй степени коэффициента потери энергии на соударение воды о поверхность от угла наклона ручного ПС ствольщиком:

$$k = 0,002b^2 - 0,145b + 4,49. \quad (3.8)$$

Анализ рисунка 3.8, видео- и фотоматериалов позволил сделать вывод о том, что для минимальных потерь энергии струи воды при соударении воды о поверхность угол падения должен находиться в интервале от 30 до 45°, следовательно, угол наклона ствола, исходя из выражения (3.8), должен быть в интервале от 30 до 45°. В связи с тем, что при угле наклона 60° коэффициент потерь высок, при дальнейшем анализе будем учитывать только результаты опытов для углов 30 и 45°.

Для определения зависимости параметра глубины тушения от угла наклона ПС при $b = 30^\circ$ и $b = 45^\circ$ выполнен корреляционный анализ (таблица 3.10). Оценка наличия связи между глубиной тушения и углом наклона ПС выполнена на основе корреляционного отношения [29]:

$$\eta_y = \sqrt{\frac{\sigma_y^2}{s_y^2}}, \quad (3.9)$$

где $\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^l (\bar{h}_i - \bar{h})^2 n_i$ – межгрупповая дисперсия (число опытов $N = 14$);

\bar{h}_i – внутригрупповое среднее;

\bar{h} – межгрупповое среднее;

l – число интервалов варьирования факторов;

s_y^2 – общая дисперсия переменной;

n_i – число испытаний на i -ом уровне.

Таблица 3.10 – Результаты корреляционного анализа

i	b	\bar{h}_i	\bar{h}	σ_y^2	s_y^2	η_y	Теснота связи согласно таблице Чеддока
1	30	4,51	4,457	0,0027	0,6414	0,004	отсутствует
2	45	4,41					

Для оценки зависимости глубины тушения от угла наклона ПС при $b = 30^\circ$ и $b = 45^\circ$ выполним однофакторный дисперсионный анализ (F -статистику). В результате эксперимента фактор (угол наклона ПС) имел два уровня ($b = 30^\circ$, $b = 45^\circ$). На каждом уровне производилось по 14 испытаний.

Выполним статистическую проверку следующих гипотез: H_0 – фактор (угол наклона ПС) незначимо влияет на отклик (глубина тушения ПС) и H_0 – фактор (угол наклона ПС) значимо влияет на отклик (глубина тушения ПС) и H_1 .

Общая сумма квадратов Q отклонений наблюдений от общего среднего:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (h_{ij} - \bar{h})^2 = \sum_{i=1}^n k(\bar{h}_i - \bar{h})^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k (h_{ij} - \bar{h}_i)^2, \quad (3.10)$$

где \bar{h}_i – внутригрупповое среднее;

\bar{h} – межгрупповое среднее;

h_{ij} – значение фактора на i -м интервале варьирования при j -м испытании;

$i = \overline{1, n}$, n – число интервалов варьирования фактора;

$j = \overline{1, k}$, k – число испытаний на i -м уровне.

Данное выражение является основным тождеством дисперсионного анализа, которое в общем случае записывается в виде: $Q = Q_1 + Q_2$, где Q_1 – сумма квадратов отклонений выборочного среднего от общего среднего (отклонения между группами или уровнями); Q_2 – сумма квадратов отклонений наблюдений от выборочных средних на уровне (внутригрупповое отклонение на одном уровне).

Несмещенными оценками межгрупповой и внутригрупповой дисперсии будут S_1^2 и S_2^2 :

$$S_1^2 = Q_1 / (n-1), \quad (3.11)$$

$$S_2^2 = Q_2 / (n(k-1)). \quad (3.12)$$

Для дальнейшей оценки значимости фактора используется критерий Фишера, анализирующий статистику $F = S_1^2 / S_2^2$. Для этого используется $F_{1-\alpha}$ распределение, где α – уровень значимости. Причем первая оценка имеет $(n-1)$ степень свободы (n – число слагаемых, по которым определено их среднее), а вторая оценка – $n(k-1)$ степень свободы (n сумм по k слагаемых, в каждой из которых определено среднее).

Если полученное значение $F > F_{1-\alpha}(n-1, n(k-1))$, то гипотеза H_0 о незначимости фактора опровергается. Значит, анализируемый фактор значим для исследуемого отклика.

Результаты дисперсионного анализа представлены в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Результаты дисперсионного анализа

Номер испытания	Уровни фактора (угла наклона ПС)	
	$A_1 (b = 30^\circ)$	$A_2 (b = 45^\circ)$
1	3,1	3,0
2	3,3	3,1
3	4,0	3,1
4	4,2	3,4
5	4,4	4,0
6	4,3	4,4
7	4,6	4,7
8	4,8	4,9
9	4,8	5,0
10	4,7	5,0
11	5,0	5,1
12	5,1	5,2
13	5,3	5,4
14	5,3	5,4
Факторная сумма отклонений Q_1	0,0514	
Остаточная сумма квадратов отклонений Q_2	16,5986	
Межгрупповая дисперсия S_1^2	0,0514	
Внутригрупповая дисперсия S_2^2	0,6384	
Наблюдаемое значение критерия Фишера ($F = S_1^2 / S_2^2$)	0,081	
Критическое значение критерия Фишера ($F_{крит}$)	4,223	

Наблюдаемое значение критерия Фишера меньше критического значения, значит, гипотеза H_1 о значимости влияния фактора опровергается. Таким образом,

можно сделать вывод, что угол наклона ПС в диапазоне от 30 до 45° незначимо влияет на глубину тушения.

3.3 Оценка эффективности алгоритма поддержки принятия решений руководителя тушения пожара при фронтальном методе тушения пожара

Проверим сходимость результатов аналитической модели, лежащей в основе алгоритма поддержки принятия решений РТП при фронтальном методе тушения на основе оценки тактических возможностей пожарного подразделения и результатов имитационного моделирования.

Представим процесс фронтального тушения пожара в виде предложенной в 2.3 модели системной динамики (см. рисунок 2.38, таблицу 2.6).

Представим условный пожар с прямоугольным распространением по одному направлению со следующими параметрами:

- 1) время свободного развития пожара – 10 мин (на 10 минуте подали ствол);
- 2) линейная скорость распространения огня – 2 м/мин;
- 3) время сосредоточения сил и средств первого пожарного подразделения – 11 мин;

4) ширина фронта пожара – 10,5 м;

5) фактический расход ОТВ, поданных первым пожарным подразделением:

$$Q_{\phi_1} = 0,6Q_{\text{тр}};$$

6) время сосредоточения сил и средств второго пожарного подразделения – 14 мин;

7) фактический расход ОТВ, поданных вторым пожарным подразделением:

$$Q_{\phi_1} = 0,7Q_{\text{тр}}.$$

Условия условного пожара были сформированы на основании реальных пожаров в 2–17 этажных зданиях.

Схема расстановки сил и средств и ведения боевых действий условного пожара представлена на рисунке 3.9.

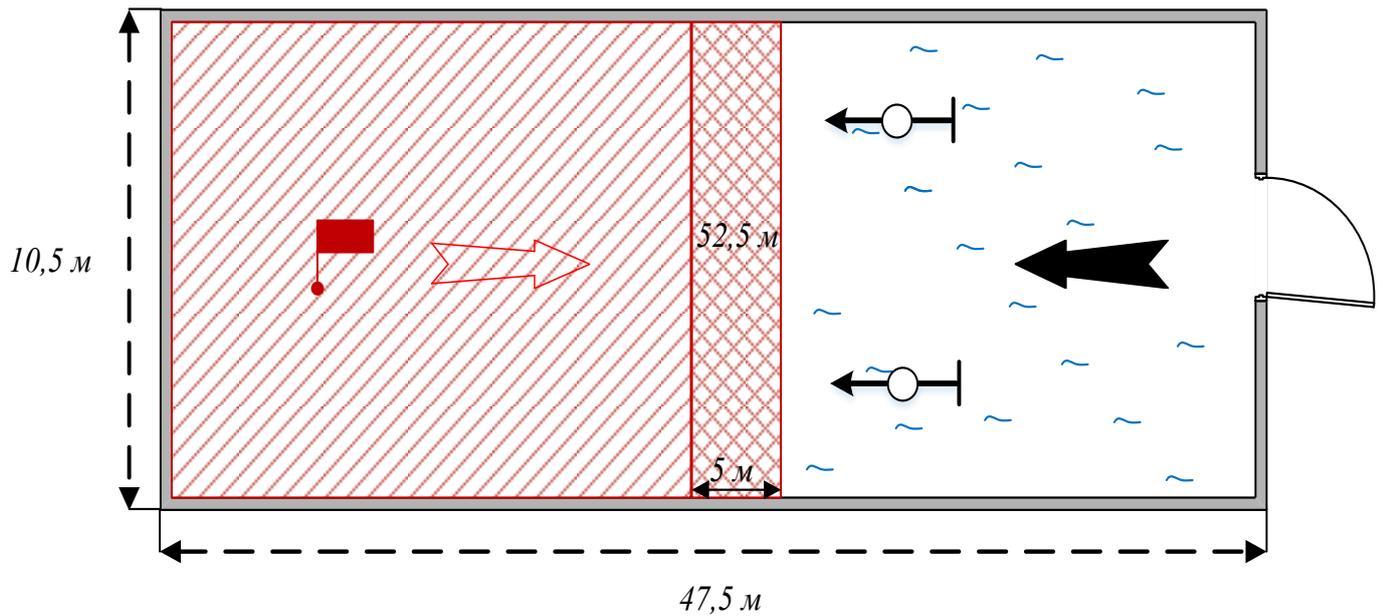


Рисунок 3.9 – Графическая интерпретация схемы ведения боевых действий при фронтальном методе тушения условного пожара

Результаты имитационного моделирования условного пожара с использованием системно-динамического подхода в среде AnyLogic 8.5 представлены на рисунке 3.10. Анализ рисунка 3.10 позволил сделать вывод о сходимости результатов имитационного моделирования и аналитической модели, что подтверждает эффективность предложенного алгоритма поддержки принятия решений руководителя тушения пожара при фронтальном методе тушения пожара.

Выполним анализ возможности тушения пожара фронтальным методом на основе оценки тактических возможностей пожарного подразделения на реальном пожаре. Исходные данные пожара приведены в таблице 3.12.

Сосредоточение и введение сил и средств на тушения пожара приведены в таблице 3.13. На рисунке 3.11 приведено изменение площади пожара и расхода ОТВ на основе расчетов. На рисунке 3.12 приведено изменение периметра пожара при локализации пожара методом фронтального тушения на основе расчетов.

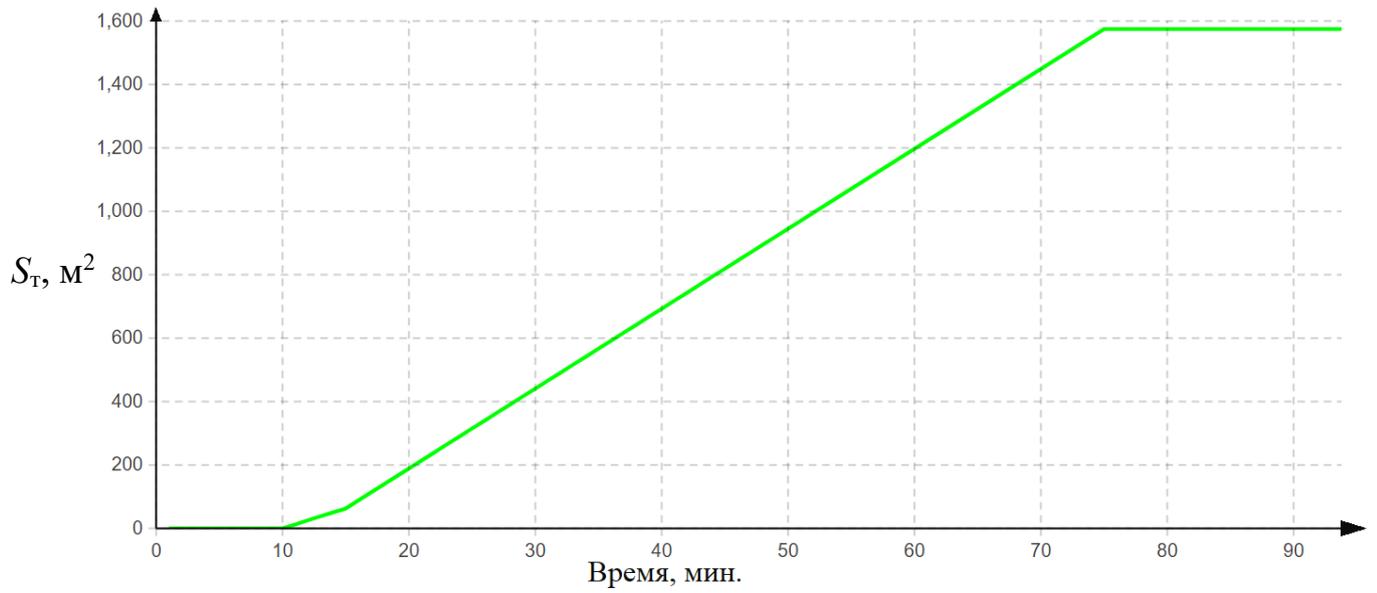
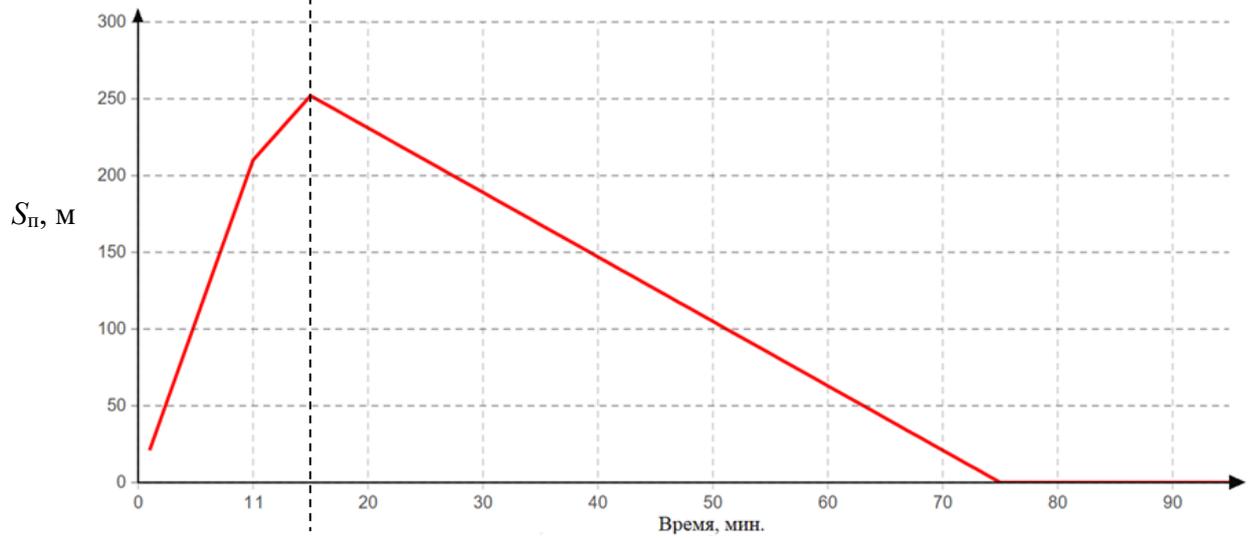
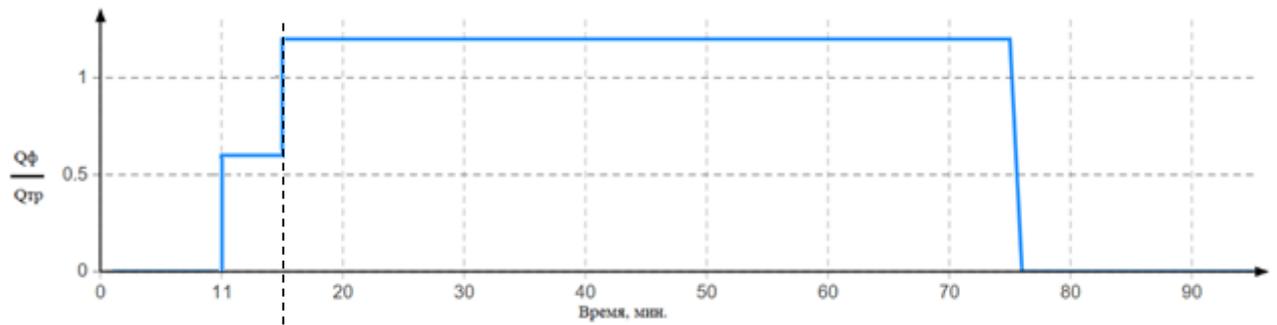
*a**б*

Рисунок 3.10 – Результаты имитационного моделирования: *a* – динамика площади тушения S_T ; *б* – динамика расхода ОТВ и динамика изменения площади пожара

Таблица 3.12 – Исходные данные пожара

Адрес	г. Краснодар, Революционные переулок, дом 5
Характеристики здания	Дата постройки – 1938 г, трехэтажное, III степени огнестойкости, отдельно стоящее, жилое, стены кирпичные, перекрытия деревянные, кровля металлическая по деревянной обрешетке, выполненной по деревянным стропилам, Г-образной формы размером 12×50 м и 12×60 м, высота 12 м, подвал отсутствует, газифицировано, электрифицировано, 7-ми подъездное (84 квартиры), прописано 294 человека.
Наличие плана тушения и карточки пожара	не составлялись
Привлекаемые для тушения силы и средства	Силы и средства Краснодарского местного гарнизона пожарной охраны по повышенному рангу пожара (вызов 4)
Средняя скорость роста пожара	0,633 м ² /с

Для жилых домов III степени огнестойкости интенсивность подачи воды при тушении пожаров составляет 0,03 л/(м²·с). Ширина площади пожара составляет 12 м. Глубину тушения примем равной 5 м.

1. Определим требуемый расход ОТВ во времени по выражению (2.16) с учетом этажности здания и двумя фронтами:

$$Q_{\text{тр}} = 2 \cdot 3 \cdot a \cdot I_{\text{тр}} \cdot h_{\text{т}} = 6 \cdot 12 \cdot 0,03 \cdot 5 = 10,8 \text{ л/с},$$

где a – ширина площади пожара, м;

$I_{\text{тр}}$ – требуемая интенсивность подачи ОТВ, л/(м²·с);

$h_{\text{т}}$ – глубина полосы тушения ПС, м.

2. Определим требуемый расход ОТВ для локализации пожара на остальных направлениях, согласно выражения (2.17):

$$Q_{\text{тр}2} = (S_{\text{т}} - a \cdot h_{\text{т}}) \cdot I_{\text{тр}} = (2 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 5 - 12 \cdot 5) \cdot 0,03 = 9 \text{ л/с},$$

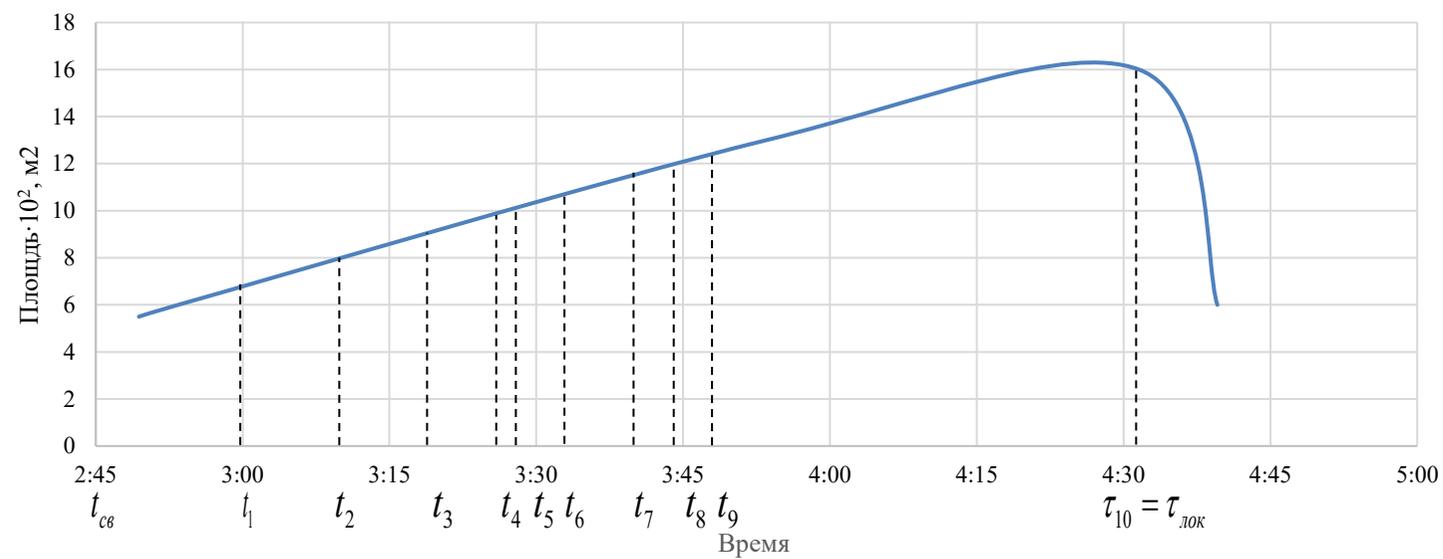
где $S_{\text{т}}$ – площадь тушения, м².

Таким образом, общий расход необходимый для тушения пожара:

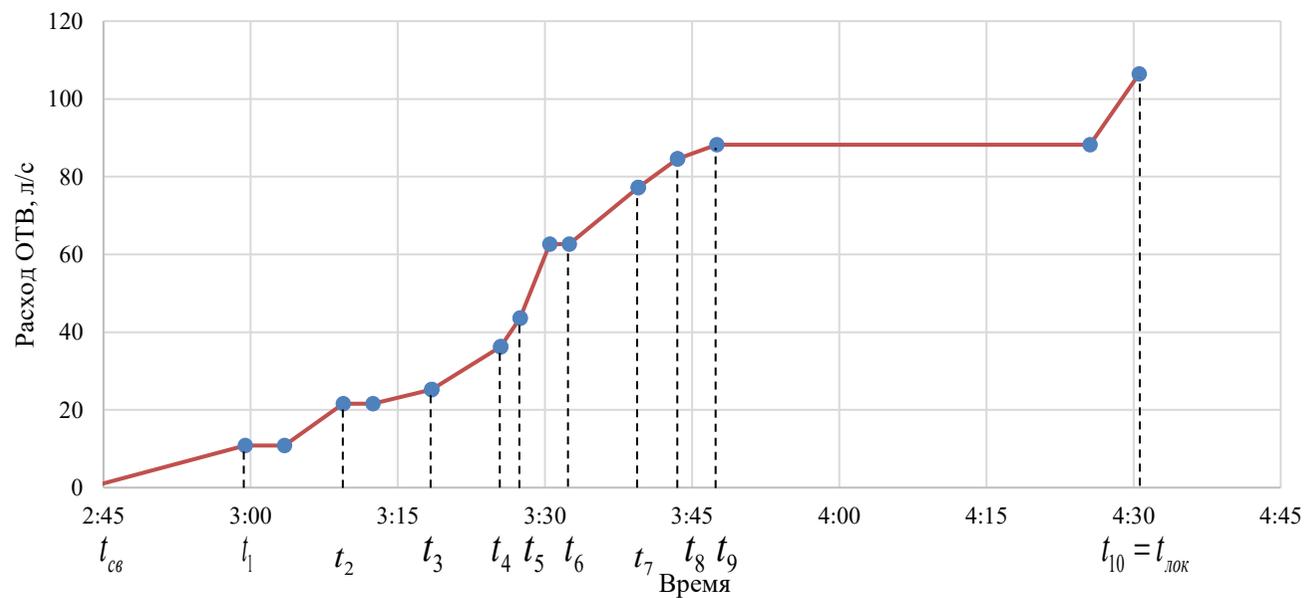
$$Q_{\text{тр}} = Q_{\text{тр}1} + Q_{\text{тр}2} = 10,8 + 9 = 19,8 \text{ л/с}.$$

Таблица 3.13 – Сосредоточение и введение сил и средств на тушение пожара

Подразделения и пожарная техника	Время следования, мин	Время прибытия к месту вызова	Время введения стволов	Количество и тип стволов			Время работы стволов, мин	Обозначение момента времени сосредоточения на рисунке 3.11	Интенсивность подачи ОТВ, л/с	Площадь пожара 10 ²
				РС-50	РС-70	ПЛС				
ПЧ-1: АЦ-40 (43253)	1	02 ч 54 мин	03 ч 00 мин	1	–	–	130	t_1	3,6	6 м ²
АЦ-40 (433114)	1	02 ч 54 мин	03 ч 00 мин	1	–	–	130	t_1	3,6	6 м ²
АЛ-30 (43114)	1	02 ч 54 мин		–	–	–	–	–	–	–
ПЧ-2: АЦ-40 (431412)	1	02 ч 54 мин	03 ч 00 мин	1	–	–	130	t_1	3,6	6 м ²
АЦ-40 (433104)	1	02 ч 54 мин		–	–	–	–	–	–	–
ПЧ-1: АЦ-40 (43253)	9	03 ч 04 мин	03 ч 10 мин	1	–	–	120	t_2	3,6	13 м ²
АЦ-40 (5557)	9	03 ч 04 мин	03 ч 10 мин	1	–	–	120	t_2	3,6	13 м ²
АЛ-30 (131)	9	03 ч 04 мин		–	–	–	–	–	–	–
АГ-20 (4230)	13	03 ч 04 мин		–	–	–	–	–	–	–
ПЧ-3: АЦ-40 (433114)	9	03 ч 04 мин	03 ч 10 мин	1	–	–	120	t_2	3,6	13 м ²
АЦ-40 (131)	8	03 ч 04 мин	03 ч.28 мин	–	1	–	102	t_5	7,4	13 м ²
СЧ: АЦ-40 (43206)	20	03 ч 24 мин	03 ч 28 мин	1	–	–	102	t_5	3,6	16 м ²
АЛ-30 (131)	24	03 ч 24 мин		–	–	–	–	–	–	–
АГ-12 (3205)	24	03 ч 24 мин		–	–	–	–	–	–	–
УКС-400 (131)	28	03 ч 28 мин		–	–	–	–	–	–	–
АКП-30 (53213)	28	03 ч 28 мин		–	–	–	–	–	–	–



а



б

Рисунок 3.11 – Изменение площади пожара и расхода ОТВ: а – изменение площади пожара; б – изменение расходов ОТВ

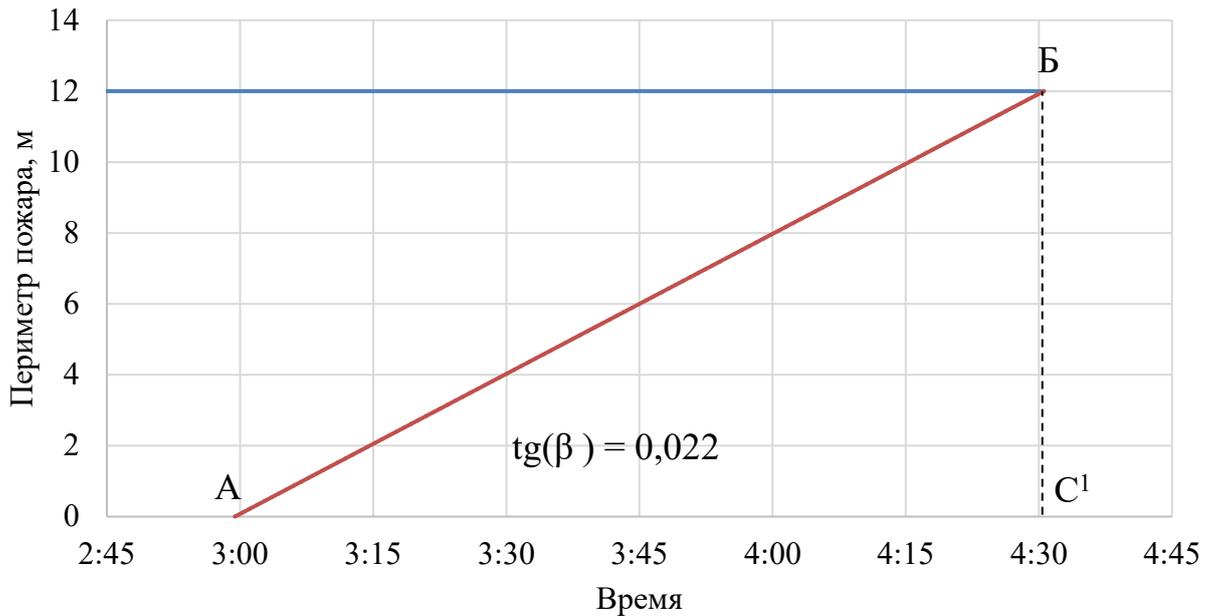


Рисунок 3.12 – Изменение периметра пожара при локализации пожара методом фронтального тушения

3. Оценим тактические возможности имеющихся сил и средств первого пожарного подразделения, когда площадь пожара составляла 600 м^2 . С 03 ч 00 мин тушение пожара было организовано тремя пожарными стволами РС-50. Расход воды ПС РС-50 составляет $3,6 \text{ л/с}$, таким образом фактическая интенсивность подачи ОТВ составляла около $13,8 \text{ л/с}$, что являлось недостаточным и площадь пожара продолжала увеличиваться.

4. Вычислим требуемую скорость сосредоточения расхода ОТВ, согласно выражения (2.23):

$$v_{\text{тр}} = v_{\text{п}} \cdot I_{\text{тр}} = 0,633 \cdot 0,03 = 0,019,$$

где $v_{\text{п}}$ – скорость роста площади пожара, $\text{м}^2/\text{с}$.

5. По рисунку 3.12 определим фактическую усредненную скорость сосредоточения расхода ОТВ, подаваемых на тушения всеми силами и средствами:

$$\bar{v}_{\text{ф}} = 0,022.$$

Таким образом, проверим условие успешной локализации пожара согласно выражения (2.22): $\bar{v}_{\text{ф}} > v_{\text{тр}}$. Так как данное условие выполняется ($0,022 > 0,019$) считаем, что данный пожар будет успешно локализован. Предложенная модель

поддержки принятия решения при фронтальном методе тушения пожара может использоваться и при тушении пожаров площадью более 30 м².

На рисунке 3.13 представлены средние показатели затрат на ОТВ при условной цене за 1000 л равной 100000 рублей. На рисунке 3.14 даны сравнительные сведения о размере материального ущерба от пожара в жилых зданиях при использовании предлагаемых модели и алгоритмов.

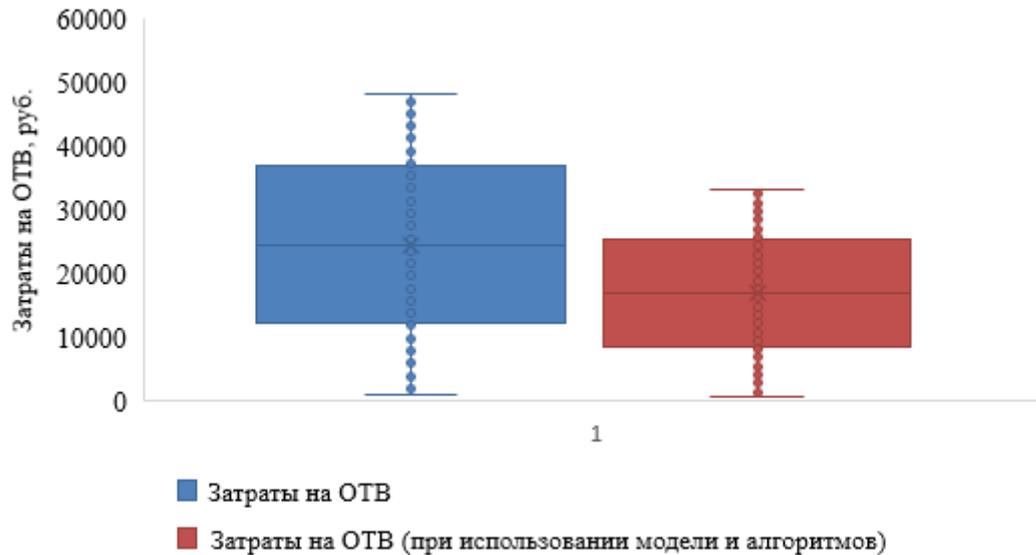


Рисунок 3.13 – Затраты на ОТВ

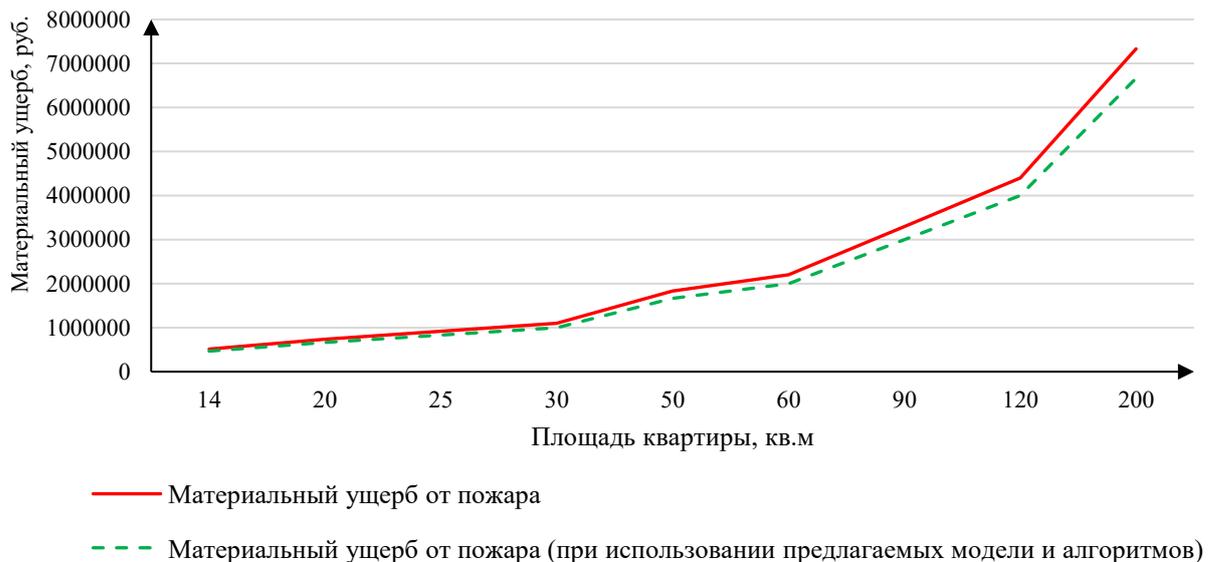


Рисунок 3.14 – Материальный ущерб от пожара в жилых зданиях

На основе анализа проведенной работы и рисунков 3.13 и 3.14 можно сделать вывод об экономической эффективности полученных в диссертации

научных результатов. Анализ применимости предложенных моделей к реальным пожарам, произошедшим за последние годы показывает их положительный экономический эффект.

3.4 Выводы по главе 3

1. Оценка эффективности предложенной в исследовании модели и алгоритмов поддержки принятия решений РТП на основе анализа массива данных по произошедшим пожарам показала, что возможно уменьшить объем затраченного ОТВ в среднем 1,45 раза, количество боевых позиций личного состава, участвующего в организации тушения пожара в среднем в 1,4 раза.

2. Проведена серия экспериментов по определению глубины тушения водяными ПС. Эмпирически получена функциональная зависимость глубины тушения, от основных гидравлических характеристик водяных пожарных стволов с диаметром насадка 13 мм. Для минимальных потерь энергии струи воды при соударении воды о поверхность угол падения должен находиться в интервале от 30 до 45°. Проведено сравнение теоретической и эмпирической функциональных зависимостей по глубине тушения водяными пожарными стволами. В результате экспериментальных исследований полученные данные по глубине тушения совпадают с расчетными данным при углах наклона ПС 30 и 45°.

3. Определение значения параметра глубины тушения, в силу возможной точности значимый аспект, в проектировании ручных пожарных стволов и оценке эффективности их применения в тех или иных условиях ведения боевых действий пожарными подразделениями.

4. Результаты экспериментов по определению глубины тушения ручным водяным ПС применяется в учебном процессе для наглядного представления обучающимися основных расчетных характеристик стволов, а также при проектировании и использовании новых средств подачи ОТВ в зону горения. Оптимальный угол наклона ствола к плоскости тушения может использоваться при разработке методик, использования средств ликвидации горения.

5. Выполнена оценка эффективности алгоритма поддержки принятия решения РТП при фронтальном методе тушения на основе оценки тактических возможностей пожарного подразделения, имитационного моделирования и применения его к реальному пожару. Сходимость результатов аналитической модели, лежащей в основе алгоритма и результатов имитационного моделирования, а также результатов применения аналитической модели, лежащей в основе алгоритма, к массиву данных по пожарам подтвердили его эффективность.

Заключение

В ходе исследования для повышения эффективности принятия решений РТП при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях на основе методов теории полезности получены следующие основные научные и практические результаты.

Проведен анализ динамики пожаров и материального ущерба от пожаров в жилых зданиях. Обосновано, что динамика пожаров в Российской Федерации имеет отрицательную направленность, но прямой материальный ущерб в городах в период с 2008 по 2019 годы вырос на 3950 млн рублей. В Российской Федерации и Краснодарском крае в среднем уменьшается риск столкновения с пожаром (ОФП) на 3,4 % в год, риск гибели при пожаре – на 2,75 % в год, риск гибели от пожара – на 7,7 % в год. Риск гибели при пожаре в Краснодарском крае выше, чем в Южном федеральном округе и в среднем по Российской Федерации.

Проведен комплексный анализ процесса принятия управленческих решений РТП. Обосновано, что данная задача решается в условиях ограничения времени, условиях неопределенности, быстрого изменения факторов внешней среды и многокритериального выбора. Наиболее важным этапом принятия решения РТП является выбор наилучшей альтернативы из возможных вариантов тушения пожара.

С учетом требований, предъявляемых к моделям поддержки принятия управленческих решений для планирования и отработки ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях, сделан выбор в пользу методов теории полезности, так как они наиболее полно подходят для решения многокритериальных задач в условиях определенности и неопределенности, в четкой и в нечеткой среде, с учетом структуры предпочтения РТП. Было выявлено 9 наиболее часто встречающихся ошибок при принятии управленческих решений РТП, предложены пути их снижения за счет повышения степени автоматизации системы управления, в том числе внедрением систем поддержки

принятия решений РТП, в основе которых модели и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений.

На основе применения теории полезности к решению задачи поддержки принятия решения РТП для планирования ведения боевых действий разработана модель поддержки принятия решения РТП на основе оценки функции ценности, позволяющая выбрать рациональный вариант ведения боевых действий по тушению пожара.

Разработан алгоритм поддержки принятия решения РТП на основе оценки скорости роста площади пожара, позволяющий РТП оценить достаточность количества сил и средств при планировании и отработке боевых действий по тушению пожара с использованием водяных пожарных стволов.

Разработан алгоритм поддержки принятия решения РТП при фронтальном методе тушения пожара, позволяющий РТП определить возможность использования фронтального метода тушения пожара имеющимися силами и средствами.

Разработанная модель поддержки принятия решения РТП на основе оценки функции ценности вариантов тушения пожара, а также алгоритмы поддержки принятия решения РТП на основе оценки скорости роста площади пожара и поддержки принятия решения РТП при фронтальном методе тушения пожара повышают эффективность планирования ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях.

Для обоснования сил и средств пожаротушения в алгоритме поддержки принятия решений РТП на основе функции ценности вариантов тушения пожара разработана модель определения параметра глубины тушения пожара по расходу ПС и по напору воды перед его насадком, позволяющая повысить точность значения данного параметра для расчетов сил и средств при планировании и отработке боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях. Проведена серия экспериментов по определению глубины тушения водяными пожарными стволами. Проверка гипотезы о согласованности теоретической и эмпирической зависимости параметра глубины тушения по критерию Колмогорова – Смирнова

для уровня значимости 0,05 показали сходимость теоретических и практических результатов для углов наклона водяного пожарного ствола 30 и 45°.

На основе анализа применимости полученных научных результатов к массиву проработанных статистических данных и описаний реальных пожаров проведена оценка их достоверности, которая доказала эффективность разработанных моделей и алгоритмов поддержки принятия решений РТП. Полученные результаты позволяют увеличить точность вычислений по расчету сил и средств при планировании и отработке боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях в среднем на 9 %, уменьшить объем затраченного огнетушащего вещества в среднем в 1,45 раза, сократить количество боевых позиций личного состава на тушение пожара в среднем в 1,4 раза.

Доказана экономическая эффективность разработанной модели и алгоритмов поддержки принятия решения РТП при планировании ведения боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях, заключающаяся в сокращении материального ущерба от пожара в среднем на 8 %.

Научные результаты, полученные в диссертационной работе, позволяют повысить качество экспертизы и анализа результатов планирования ведения боевых действий с пожаром после его тушения. Полученные результаты рекомендованы к использованию для составления документов предварительного планирования действий по тушению пожаров, для организаций, занимающихся разработкой и производством пожарной техники и оборудования для пожарных подразделений, для интеграции в современные системы поддержки принятия решений подразделений пожарной охраны.

Таким образом, полученные научные результаты в совокупности позволяют сделать вывод о том, что цель, поставленная в диссертационном исследовании, достигнута, задачи диссертационного исследования решены в полном объеме.

Список сокращений и условных обозначений

АД	– автомобиль дымоудаления
АРМ	– автоматизированное рабочее место
АСИППР	– автоматизированная система принятия решений
АЦ	– пожарная автоцистерна
БД	– база данных
вод. ст.	– водяного столба
ГИС	– геоинформационная система
ГДЗС	– газодымозащитная служба
ЗАПРОС	– замкнутые процедуры у опорных ситуаций
ГПС	– Государственная противопожарная служба Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
ДФО	– Дальневосточный федеральный округ
ИС	– информационная система
ЛПР	– лицо принимающее решение
МЧС	– Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий
ОРКЛАСС	– ординальная классификация
ОТВ	– огнетушащее вещество
ОФП	– опасные факторы пожара
ПГ	– пожарный гидрант
ПК	– программный комплекс
ПС	– пожарный ствол
ПСЧ	– пожарно-спасательная часть
ПТВ	– пожарно-техническое вооружение
ПФО	– Приволжский федеральный округ

ПЧ	– пожарная часть
РТП	– руководитель тушения пожара
СЗФО	– Северо-Западный федеральный округ
СиС	– силы и средства
СКФО	– Северо-Кавказский федеральный округ
СППР	– система поддержки принятия решений
СПСЧ	– специализированная пожарно-спасательная часть
СФО	– Сибирский федеральный округ
ТТХ	– тактико-технические характеристики
УФО	– Уральский федеральный округ
ЦФО	– Центральный федеральный округ
ЧС	– чрезвычайная ситуация
ШНУР	– шкала нормированных упорядоченных различий
ЮФО	– Южный федеральный округ

Список литературы

1. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/3143> (дата обращения: 10.01.2021).

2. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 69-ФЗ «О пожарной безопасности» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/federalnye-zakony/840> (дата обращения: 11.02.2021).

3. Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/33514> (дата обращения: 22.03.2021).

4. Указ Президента Российской Федерации от 16 октября 2019 г. № 501 «О стратегии в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. – <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/ukazy-prezidenta-rf/3208> (дата обращения: 09.02.2021).

5. Указ Президента Российской Федерации от 1 января 2018 г. № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/42744> (дата обращения: 14.02.2021).

6. Постановление Правительства Российской Федерации от 30 декабря 2012 г. № 1481 (ред. от 07.06.2017) «О федеральной целевой программе «Пожарная безопасность в Российской Федерации на период до 2017 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/576> (дата обращения: 20.01.2021).

7. Приказ МВД России от 5 июля 1995 г. № 257 «Об утверждении нормативных правовых актов в области организации деятельности государственной противопожарной службы» (в ред. Приказа МВД России от 06.05.2000 № 477) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_16130/ (дата обращения: 19.02.2021).

8. Приказ МЧС РФ от 31 марта 2011 г. № 156 Об утверждении Порядка тушения пожаров подразделениями пожарной охраны [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/55071543/> (дата обращения: 19.02.2021).

9. Приказ МЧС России от 5 августа 2009 г. № 457 «Об утверждении программы развития федерального государственного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty> (дата обращения: 08.02.2021).

10. Приказ МЧС России от 20 апреля 2017 г. № 179 «О совершенствовании системы управления МЧС России» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/71730342/> (дата обращения: 12.03.2021).

11. Приказ МЧС России от 8 октября 2018 г. № 431 «О внесении изменений в порядок учета пожаров и их последствий» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://base.garant.ru/72125364/> (дата обращения: 04.04.2021).

12. Решение коллегии МЧС России № 15 от 5 декабря 2014 г. «О концепции развития системы управления МЧС России до 2030 года» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty> (дата обращения: 14.04.2021).

13. ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения [Текст]. – М.: Стандартинформ, 1981. – 13 с. (дата обращения: 20.03.2021).

14. СП11.13130.2009. Свод правил «Места дислокации подразделений пожарной охраны. Порядок и методика определения» [Текст]. – М., 2009. – 15 с.

15. Боевой устав пожарной охраны. Утвержден Приказом МЧС России от 16.10.2017 г. № 444 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71746130/> (дата обращения: 20.03.2021).

16. Компьютерная имитационная система CIS-COSMAS® и компьютерная система STRES® [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.М. Алехин // Инновационная деятельность: сборник. – М.: ООО Издательский дом Лидер-М, 2010. – 52 с.

17. Методические рекомендации по действиям подразделений ФПС при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ 26.05.2010 г.: Письмо № 43-2007-18 ГУ МЧС по г. Москве [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_256383/ (дата обращения: 10.04.2021).

18. Мультимедийный аналог трансформируемого макета здания: руководство пользователя [Текст]. – М.: Академия МЧС России, 2012. – 12 с.

19. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения [Текст] / пер. с англ.; под ред. Р.Р. Ягера. – М.: Радио и связь, 1986. – 408 с.

20. Пожарные риски. Вып. 2. Динамика пожарных рисков [Текст] / под ред. Н.Н. Брушлинского. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2005. – 82 с.

21. Пожарные риски. Вып. 4. Управление пожарными рисками [Текст] / под ред. Н.Н. Брушлинского и Ю.Н. Шебеко. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2006. – 148 с.

22. Пожары и пожарная безопасность: статистические сборники – [Электронный ресурс]. – М.: ВНИИПО. – Режим доступа: <http://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny/federalnyy-bank-dannykh-rozhary/> (дата обращения: 05.03.2021).

23. Пожарные риски. Вып. 1. Пожарные риски. Основные понятия [Текст] / под ред. Н.Н. Брушлинского. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2004. – 47 с.

24. Пожарные риски. Динамика, управление, прогнозирование [Текст] / под ред. Н.Н. Брушлинского, Ю.Н. Шебеко. – М.: ФГУ ВНИИПО, 2007. – 370 с.

25. Программные средства, базы, банки данных фонда алгоритмов, программ, баз и банков данных Государственной противопожарной службы МЧС России [Электронный ресурс]. – М.: ВНИИПО. – Режим доступа: <http://vniipo.ru/institut/informatsionnye-sistemy-reestry-bazy-i-banki-danny/> (дата обращения: 10.01.2021).

26. Перечень баз и банков данных, специального программного обеспечения, находящихся на учете в Фонде алгоритмов и программ ГОЧС МЧС России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/deyatelnost/informacionnye-sistemy/perechen-baz-i-bankov-dannyh-specialnogo-programmnogo-obespecheniya-nahodyashchih-sya-na-uchete-v-fonde-algoritmov-i-programm-gochs-mchs-rossii> (дата обращения: 05.02.2021).

27. Статистические модели и многокритериальные задачи принятия решений: сборник статей [Текст]. – М.: Статистика, 1979. – 184 с.

28. Учебно-тренажерный комплекс с ситуационными моделями пожаров и 3D-моделью местности: руководство пользователя [Текст]. – М.: Академия МЧС России, 2012. – 12 с.

29. Айвазян, С.А. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности [Текст] / С.А. Айвазян, В.М. Бухштабер, И.С. Енюков, Л.Д. Мешалкин; под ред. С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 607с.

30. Абрамов, А.П. Совершенствование информационной поддержки управленческих решений при ликвидации информационной поддержки управленческих решений при ликвидации чрезвычайных ситуаций техногенного характера (на примере тушения пожаров): автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.13.10 /Абрамов Антон Павлович. – М., 2004. – 24 с.

31. Акатьев, В.А. Оценка риска чрезвычайных ситуаций техногенного характера методами теории надежности [Текст] / В.А. Акатьев, А.И. Овсяник, О.И. Чурбанов; под общ. ред. Ю.Л. Воробьева // В сборнике: Региональные и отраслевые проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций в мирное и военное время доклады и выступления. – 1999. – С. 346–347.

32. Александров, А.Г. Оптимальные и адаптивные системы [Текст] / А.Г. Александров. – М.: Высшая школа, 1989. – 264 с.
33. Андрейчиков, А.В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике [Текст] / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2000. – 368 с.
34. Андрейчиков, А.В. Интеллектуальные информационные системы [Текст] / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 424 с.
35. Афанасьев, К.А. Применение экспертных систем для поддержки принятия решений руководящим составом ГПС и метод определения компетентности экспертов [Текст] / К.А. Афанасьев, В.М. Климовцов, Н.Г. Топольский // Материалы 9-го международного форума «Технологии безопасности». – М., 2004. – С. 405–407.
36. Багриновский, К.А. Интеллектуальная система в отраслевом планировании [Текст] / К.А. Багриновский, В.В. Логвинец; отв. ред. В.Н. Буркова. – М.: Наука, 1998. – 136 с.
37. Бедило, М.В. Основы моделирования информационной системы поддержки управления обеспечением пожарной безопасности на удаленных объектах: учебное пособие [Текст] / М.В. Бедило, С.Ю. Бутузов, Е.В. Гвоздев, А.А. Рыженко. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – 192 с.
38. Беллман, Р. Принятие решений в расплывчатых условиях [Текст] / Р. Беллман, Л. Заде // Вопросы анализа и процедуры принятия решений: пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – С. 172–175.
39. Белозеров, В.В. Синергетика безопасности в жилых зданиях [Текст] / В.В. Белозеров, Т.Б. Долаков, С.Н. Олейников, А.В. Периков. – М.: Академия Естествознания, 2017. – 184 с.
40. Бондаренко, М. В. Совершенствование деятельности дежурной службы пожаротушения: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.13.10 / Бондаренко Михаил Владимирович. – М., 2002. – 18 с.

41. Борисов, А.Н. Диалоговые системы принятия решений на базе мини-ЭВМ [Текст] / А.Н. Борисов, Э.Р. Виллюмс, Л.Я. Сукур. – Рига: Зинатне, 1986. – 195 с.
42. Борисов, А.Н. Методическое обеспечение технологии принятия решений [Текст] / А.Н. Борисов // Системы обработки знаний в автоматизированном проектировании. – Рига: Изд-во Риж. техн. ун-та, 1992. – С. 12–15.
43. Борисов, А.Н. Принятие решений на основе нечетких моделей [Текст] / А.Н. Борисов, О.А. Крумберг, И.П. Федоров. – Рига: Зинатне, 1990. – 184 с.
44. Браун, Р. Количественный и вербальный анализ решений: сравнительное исследование возможностей и ограничений [Текст] / Р. Браун, О.И. Ларичев // Экономика и математические методы. – 1998. – Т. 34. – № 4. – С. 97–107.
45. Бречалов, С.Л. Моделирование процессов управления боевыми действиями подразделений пожарной охраны на основе теории массового обслуживания: автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.13.18 / Бречалов Сергей Леонидович. – СПб., 2005. – 24 с.
46. Брушлинский, Н.Н. Основы теории пожарных рисков и ее приложения [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.А. Клепко; под ред. Н.Н. Брушлинского. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – 82 с.
47. Брушлинский, Н.Н. Математические методы и модели управления в Государственной противопожарной службе: учебник [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов. – М.: Академия МЧС России, 2011. – 173с.
48. Брушлинский, Н.Н. Анализ основных пожарных рисков в странах мира и в России [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, М.П. Григорьева // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26. – № 2. – С. 72–80.
49. Брушлинский, Н.Н. Безопасность городов. Имитационное моделирование городских процессов и систем [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, Е.М. Алехин, П. Вагнер, Ю.И. Коломиец. – М.: ФАЗИС, 2004. – 172 с.
50. Брушлинский, Н.Н. О статистике пожаров и о пожарных рисках [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов // Пожаровзрывобезопасность. – 2011. – Т. 20. – № 4. – С. 40–48.

51. Быковский, В.И. Применение методики психологического моделирования для разработки психологического сценария деловых игр по тушению пожаров [Текст] / В.И. Быковский, П.М. Евграфов // Крупные пожары: предупреждение и тушение: Материалы XVI науч.-практ. конф. ВНИИПО. – М., 2001. – С. 461–464.

52. Бутузов, С.Ю. Методологические основы быстродействующих автоматизированных информационно-управляющих систем интегральной безопасности высокорисковых объектов [Электронный ресурс] / С.Ю. Бутузов // Технологии техносферной безопасности. – 2007. – № 1 (11) – 5 с. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21816302> (дата обращения: 23.04.2020).

53. Вендров, А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем [Текст] / А.М. Вендров. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 176 с.

54. Вентцель, Е.С. Исследование операций [Текст] / Е.С. Вентцель. – М.: Сов. радио, 1972. – 552 с.

55. Верещако, О.Ю. Пакет прикладных программ имитации развития пожара и расчета сил и средств [Текст] / О.Ю. Верещако // Проблемы предотвращения и тушения пожаров на объектах народного хозяйства: материалы XI науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1992. – С. 154–155.

56. Вилисов, В.Я. Система моделей для анализа эффективности реагирования подразделений противопожарной службы [Электронный ресурс] / В.Я. Вилисов, В.Л. Семиков, С.П. Алексеев // Технологии техносферной безопасности. – 2019. – № 3 (85). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-3/04-03-19.ttb.pdf> (дата обращения: 29.03.2020).

57. Вилюмс, Э.Р. Уменьшение объема экспертной информации при моделировании принятия решений в условиях неопределенности [Текст] / Э.Р. Вилюмс, А.В. Малин. – Рига: РПИ, 1980. – С. 83–90.

58. Виноградская, Т.М. Принципы построения автоматизированной системы «ВЫБОР» [Текст] / Т.М. Виноградская // Автоматизация проектирования систем управления. – М.: Статистика. – 1979. – № 2. – С. 176–184.

59. Волков, О.М. Экспертная система для планирования тушения пожара при горении жидкости в резервуаре и проливе [Текст] / О.М. Волков и др. // Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ: материалы XII Всероссийской науч.- практ. конф. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1993. – С. 123–124.

60. Володин, С.Н. Методика исследования тактических возможностей подразделений по тушению пожаров [Текст] / С.Н. Володин // Крупные пожары: предупреждение и тушение: материалы XVI науч.- практ. конф. ВНИИПО. – М., 2001. – С. 432–435.

61. Глуховенко, Ю.М. Организационное проектирование многофункциональной пожарно-спасательной службы [Текст] / Ю.М. Глуховенко, В.Б. Коробко. – М.: АРС, 2003. – 291 с.

62. Гнатуш, А. Case-технологии [Текст] / А. Гнатуш // IT менеджер. – 2004. – №4. – С. 68–78.

63. Гнеденко, Л.С. Метод ЗАПРОС решения слабоструктуризованных проблем выбора при многих критериях [Текст] / Л.С. Гнеденко, Ю.А. Зуев, О.И. Ларичев. – М.: ВНИСИ, 1979. – 75 с.

64. Говаленков, С.В. Автоматизация моделирования пожарных ситуаций в резервуарных парках [Текст] / С.В. Говаленков, Н.А. Горбенко, А.Е. Басманов // Снижение риска гибели людей при пожарах: материалы XVIII науч.- практ. конф. Ч. 3. – М.: ВНИИПО, 2003. – С. 249–258.

65. Горстко, А.Б. Оптимальные решения в экономике [Текст] / А.Б. Горстко, Л.В. Канторович. – М.: Наука, 1972. – 231 с.

66. Глебов, В.С. Пособие для ствольщика пожарной охраны [Текст] / В.С. Глебов. – Перово: министерство коммунального хозяйства РСФСР, 1955. – 75 с.

67. Григорьев, А.Н. Поддержка принятия управленческих решений при тушении крупных пожаров в общественных зданиях: автореф. дис.... канд.тех. наук: 05.13.10 / Григорьев Алексей Николаевич.– М., 2012. – 24 с.

68. Гундар, С.В. Коррекция парадигм управления безопасностью [Текст] / С.В. Гундар // Актуальные проблемы пожарной безопасности: тезисы докладов

XXI Международной научно-практической конференции. Ч. 2. – М.: ВНИИПО МЧС России, 2009. – С. 90–92.

69. Гундар, С.В. Модель оперативно-тактических действий пожарных подразделений при ликвидации пожаров и других чрезвычайных ситуаций [Текст] / С.В. Гундар, А.Н. Денисов, В.Т. Олейников, Хьюнг Нгуен Минь // Пожарная безопасность. – 2009. – № 2. – С. 57–66.

70. Данилов, М. М. Модели и алгоритмы поддержки управленческих решений при тушении пожаров нефтяных резервуаров: дис.... канд.тех. наук: 05.13.10 / Данилов Михаил Михайлович.– М., 2015. – 182 с.

71. Девлишев, П.П. Пожарная тактика: учебное пособие для пожарно-технических училищ и начальствующего состава пожарной охраны [Текст] / П.П. Девлишев, Н.М. Евтюшкин, И.Ф. Кимстач. – М.: Стройиздат, 1984. – 590 с.

72. Демидов, П.Г. Пожарная тактика: учебник [Текст] / П.Г. Демидов, Я.С. Повзик. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1976. – 362 с.

73. Денисов, А.Н. Моделирование сосредоточения и введения сил и средств для планирования боевых действий пожарных подразделений при пожарах в резервуарных парках: автореф. дис.... канд. тех. наук: 05.13.10 / Денисов Алексей Николаевич. – М.: Академия ГПС МВД России, 2002. – 25 с.

74. Денисов, А.Н. Тушение пожаров в зданиях с пустотами [Текст] / А.Н. Денисов, А.В. Подгрушный // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2009. – № 1. – С. 53–56.

75. Денисов, А.Н. Метод оперативного управления пожарными подразделениями [Текст] / А.Н. Денисов; под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Труды XVII международной конференции. – М.: РГГУ, 2009. – С. 323–327.

76. Денисов, А.Н. Методика расчета времени реагирования подразделений пожарной охраны на ликвидацию чрезвычайных ситуаций [Текст] / А.Н. Денисов, В.В. Роечко, В.А. Пряничников // Инновационная деятельность: сборник. – М.: Издательский дом Лидер-М, 2010. – 52 с.

77. Денисов, А.Н. Математическая формализация общей научной концепции детерминированного процесса пожаротушения мобильными средствами [Текст] / А.Н. Денисов // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2017. – № 4. – С. 9–14.

78. Денисов, А.Н. Методы, модели и алгоритмы поддержки управления пожарно-спасательными подразделениями при тушении пожаров: дис. ...д-ра тех. наук: 05.13.10 / Денисов Алексей Николаевич. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2018. – 406 с.

79. Догалаков, А.Г. Истина как проблема научного познания [Текст] / А.Г. Догалаков. – Балашов: Изд-во БГПИ, 1999. – 168 с.

80. Дубров, А.М. Моделирование рискованных ситуаций в экономике и бизнесе: учебное пособие [Текст] / А.М. Дубров, Б.А. Лагоша, Е.Ю. Хрусталеv; под ред. Б.А. Лагоши. – М.: Финансы и статистика, 1999. – 176 с.

81. Журавлев, Н.М. Определение площади тушения пожара ручными водяными пожарными стволами при выработке управленческих решений [Текст] / Н.М. Журавлев, А.Ю. Намычкин, Д.В. Тараканов, Н.М. Хыонг, М.В. Шевцов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2008. – № 2 – С. 59–61.

82. Журавлев, Н.М. Экспериментальное обоснование граничных условий при истечении воды из пожарного лафетного ствола [Текст] / Н.М. Журавлев, А.Ю. Намычкин, Д.В. Тараканов, Н.М. Хыонг, М.В. Шевцов // Материалы семнадцатой научно-технической конференции «Системы безопасности» СБ – 2008. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008 – С. 185–187.

83. Журавлев, Н.М., Коррекция парадигм управления безопасностью [Текст] / С.В. Гундар, А.Н. Денисов, В.Б. Захаревский // Актуальные проблемы пожарной безопасности: Тезисы докладов XXI Международной научно-практической конференции. – Ч.2. – М.: ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2009. – С. 90–92.

84. Журавлев, Н.М. Первый закон пожарной тактики [Текст] / Н.М. Журавлев, С.В. Гундар, А.Н. Денисов, М.В. Шевцов // Актуальные проблемы обеспечения безопасности в Российской Федерации. Третья

межведомственная научно-практическая конференция (17 апреля 2009 года). – Екатеринбург: УрИ ГПС МЧС России, 2009. – Ч. 1. – С. 124.

85. Журавлев, Н.М. Метод оперативного управления пожарными подразделениями [Текст] / Н.М. Журавлев, А.Н. Денисов, В.Б. Захаревский, М.В. Шевцов; под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы // Проблемы управления безопасностью сложных систем: Труды XVII международной конференции. – М.: РГГУ, 2009. – С. 323–327.

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

87. Журавлев, Н.М. Методы и принципы управления системой пожарной безопасности [Текст] / Н.М. Журавлев // Перспективы развития информационных технологий. II ежегодная всероссийская научно-практическая конференция с международным участием. – Новосибирск: ЦНРС, 2010. – С. 268–273.

88. Журавлев, Н.М. Формализация и постановка задачи пожарным подразделениям при тушении пожара [Электронный ресурс] / Н.М. Журавлев, А.Н. Денисов // Технологии техносферной безопасности. – 2010. – № 2 (30). – Режим доступа <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2010-2/05-02-10.ttb.pdf> (дата обращения: 10.10.2020).

89. Журавлев, Н.М. Условия выбора и задачи принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре [Текст] / Н.М. Журавлев // Материалы 20-й научно-технической конференции «Системы безопасности» – СБ-2011. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2011. – С. 211–215.

90. Журавлев, Н.М. Сравнительный анализ отказов конструктивных элементов основных пожарных автомобилей [Текст] / Н.М. Журавлев, С.А. Шкунов // 2-й межвузовский научно-практический семинар: «Надежность и долговечность машин и механизмов». – Иваново 2011. – С. 25–31.

91. Журавлев, Н.М. Глубина тушения пожара как основание для ресурсного обоснования сил и средств пожарных подразделений [Электронный ресурс] / А.Н.

Денисов, Н.М. Журавлев, М.В. Шевцов, В.Б. Захаревский // Технологии техносферной безопасности. – 2011. – № 5 (39). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-5/02-05-11.ttb.pdf> (дата обращения: 01.06.2020).

92. Журавлев, Н.М. Формализация задач управления ресурсами пожарной охраны в компьютерных информационных системах [Электронный ресурс] / Н.М. Журавлев, А.Н. Денисов // Технологии техносферной безопасности. – 2012. – № 2 (43). – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2011-5/02-05-11.ttb.pdf> (дата обращения: 10.04.2021).

93. Журавлев, Н.М. Свид. 2018661392 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для ЭВМ «Экспресс-оценка опасных факторов пожара» [Текст] / Н.М. Журавлев, Е.А. Ягодка; заявители и правообладатели Журавлев Николай Михайлович (RU), Ягодка Евгений Александрович (RU). – № 2018661392; заявл. 05.07.2018; опубл. 07.09.2018, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

94. Журавлев, Н.М. Алгоритм принятия управленческих решений для руководителя тушения пожара в условиях неопределенности [Электронный ресурс] / Н.М. Журавлев // Инновационные исследования как локомотив развития современной науки: от теоретических парадигм к практике»: электронный сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции. – М.: НИЦ МИСИ. – 2019. – С.193-196. – Режим доступа – <http://conference-nicmisi.ru/innovatsionnye-issledovaniya-kak-lokomotiv-razvitiya-sovremennoj-nauki-ot-teoreticheskikh-paradigm-k-praktike.html> (дата обращения: 04.03.2021).

95. Журавлев, Н.М. Об оценке эффективности решений задач управления пожарной безопасностью на примере анализа пожарных рисков [Текст] / Н.М. Журавлев // Материалы VII Международной научно-практической конференции «Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации» в 2 ч. Ч. 2. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. – 173 с.

96. Журавлев, Н.М. Анализ причин для разработки системы поддержки принятия управленческих решений руководителя тушения пожаров [Электронный

ресурс] / Н.М. Журавлев, А.Н. Денисов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». – 2020. – № 2. – Режим доступа: https://igps.ru/Content/publication/documents/Вестник%202-2020_637668011213574218.pdf html (дата обращения: 17.03.2021).

97. Журавлев, Н.М. Поддержка принятия решения руководителя тушения пожара на основе системно-динамической модели фронтального тушения пожара [Текст] / Н.М. Журавлев // Материалы IV всероссийской научно-практической конференции «Приоритетные направления развития Российской науки». – СПб., 2020 г. – С. 17–21.

98. Журавлев, Н.М. Свид. 2021613498 Российская Федерация. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. Программа для ЭВМ «SiS calculation» [Текст] / Н.М. Журавлев, А.Н. Денисов; заявители и правообладатели Журавлев Николай Михайлович (RU), Денисов Алексей Николаевич (RU). – № 2021613498; заявл. 01.03.2021; опубл. 09.03.2021, Реестр программ для ЭВМ. – 1 с.

99. Зуев, Н.Ю. Информационная система экспертной поддержки управления пожарной безопасностью производственных объектов [Текст] / Н.Ю. Зуев, Р.Ш. Хабибулин, Е.А. Мешалкин, Б.М. Пранов, В.В. Симаков, А.Г. Мусайбеков, А.В. Спиридонов, К.А. Белкин // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2019. – № 3. – С. 21–25.

100. Иванников, В.П. Справочник руководителя тушения пожара [Текст] / В.П. Иванников, П.П. Ключ. – М.: Стройиздат, 1987. – 288 с.

101. Исайкин, Ф.А. Разработка автоматизированной системы поддержки принятия решений о привлечении пожарных подразделений на пожары в крупном городе: дис.... канд.тех. наук: 05.13.06 / Исайкин Федор Андреевич. – М., 1999. – 149 с.

102. Калганов, В.А. Программные средства служб пожаротушения гарнизона [Текст] / В.А. Калганов, А.А. Медведков, В.И. Першин // Научно-техническое обеспечение противопожарных и аварийно-спасательных работ:

материалы XII Всероссийской науч.- практ. конф. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1993. – С. 77–79.

103. Кафидов, В.В. Нерешенные вопросы исследований систем безопасности [Текст] / В.В. Кафидов // В сборнике: Труды XXII международной конференции «Проблемы управления безопасностью сложных систем». – М.: ИПУ РАН, 2014. – С. 62–66.

104. Кини, Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения [Текст] / пер. с англ.; Р.Л. Кини, Х. Райфа. под ред. И.Р. Шахова. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

105. Кирута, А.Я. Оптимальный выбор распределений в сложных социально-экономических задачах вероятностный подход [Текст] / А.Я. Кирута, А.М. Рубинов, Е.Б. Яновская. – Л.: Наука, 1980. – 166 с.

106. Климовцов, В.М. Разработка методов и алгоритмов решения управленческой задачи определения сил и средств для тушения пожаров в крупном городе: автореф. дис. ...канд тех. наук: 05.13.10 / Климовцов Василий Михайлович. – М., 2005. – 24 с.

107. Климовцов, В.М. Системы поддержки принятия управленческих решений при тушении пожаров [Текст] / В.М. Климовцов [и др.]. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2008. – 102 с.

108. Ключ, П.П. Пожарная тактика: учебное пособие [Текст] / П.П. Ключ, А.М. Матвейкин, Я.С. Повзик. – М.: Стройиздат, 1990. – 335 с.

109. Колганов, В.А. Автоматизированная система информационного обеспечения РТП и служб пожаротушения [Текст] / В.А. Колганов, А.А. Медведков, Б.Ф. Туркин // Управление противопожарной службой: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО, 1993. – С. 76–82.

110. Кофман, А. Введение в теорию нечетких множеств [Текст] / пер. с англ.; А. Кофман. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

111. Костюченко, Д.В. Модели и алгоритмы управления пожарными рисками на объектах жилого сектора: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.13.10 / Костюченко Дмитрий Константинович. – М., 2016. – 24 с.

112. Ларичев, О.И. Анализ процессов принятия человеком решений при альтернативах, имеющих оценки по многим критериям [Текст] / О.И. Ларичев // Автоматика и телемеханика. – 1981. – № 8. – С. 131–141.

113. Ларичев, О.И. Наука и искусство принятия решений [Текст] / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 1979. – 200 с.

114. Ларичев, О.И. Объективные модели и субъективные решения [Текст] / О.И. Ларичев. – М.: Наука, 1987. – 144 с.

115. Малько, В.А. Модель и алгоритмы реорганизации региональной системы обеспечения пожарной безопасности на основе оценки пожарных рисков: дис. .канд. тех. наук: 05.13.10 / Малько Валерий Анатольевич. – М: 2019. – 167 с.

116. Матюшин, Ю.А. Обстановка с пожарами в Российской Федерации в I квартале 2017 года [Текст] / Ю.А. Матюшин, Т.А. Чечетина // Пожарная безопасность. – 2017. – № 2. – С. 144–162.

117. Мешалкин, Е.А. Оценка пожарных рисков: недостатки и перспективы [Электронный ресурс] / Е.А. Мешалкин, В.А. Бурбах, Н.Н. Вантыкшев // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 5 (57). – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23104532> (дата обращения: 15.05.2021).

118. Мешалкин, Е.А. О достаточности и парадоксах требований пожарной безопасности [Текст] / Е.А. Мешалкин, С.П. Антонов // В книге: Сборник материалов VII научно-практической конференции «Ройтмановские чтения»: сб. материалов VII научно-практической конференции. – М: Академия ГПС МЧС, 2019. – С. 21–26.

119. Минаев, В.А. Модели оптимального распределения кадровых ресурсов противопожарной службы на основе типологизации территорий по пожарным рискам [Текст] / В.А. Минаев, Н.Г. Топольский, Б.Н. Коробец, Дао Ань Туан // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 6. – С. 18–30.

120. Мистров, Л.Е. Метод обоснования стратегий управления ресурсом пожарной безопасности сложных объектов [Текст] / Л.Е. Мистров, О.В. Литвинов // Проектирование и технология электронных средств. – 2013. – № 1. – С. 42–47.

121. Моторыгин, Ю.Д. Системный анализ описания процессов возникновения и развития пожара: автореф. дис.докт. тех. наук: 05.13.01 / Моторыгин Юрий Дмитриевич – СПб, 2011. – 246 с.

122. Моторыгин, Ю.Д., Прогнозирование опасных факторов пожара: учебное пособие [Текст] / В.А. Ловчиков, Ф.А. Дементьев, Ю.Н. Бельшина – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС, 2013. – 108 с.

123. Овсяник, А.И. О методике исследования достаточности мероприятий по обеспечению безопасности функционирования региона страны [Электронный ресурс] / А.И. Овсяник, С.Л. Копнышев, В.Н. Бурков, А.В. Щепкин // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 2 (72). – 8 с. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-2/39-02-17.ttb.pdf> (дата обращения: 20.01.2020).

124. Овсяник, А.И. Тенденции развития систем обеспечения безопасности жизнедеятельности критически важных объектов [Текст] / А.И. Овсяник, С.А. Дмитриев // В книге: Управление развитием крупномасштабных систем MLS'D'2012 материалы шестой международной конференции. – 2012. – С. 262–263.

125. Овсяник, А.И. Управление территориальными рисками на основе выбора комплекса защитных мероприятий [Текст] / А.И. Овсяник, О.А. Косоруков, О.В. Виноградов, А.В. Кокаев // В сборнике: Совершенствование гражданской обороны в Российской Федерации. Материалы III научно-практической конференции. – 2006. – С. 45–49.

126. Орловский, С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации [Текст] / С.А. Орловский. – М.: Наука, 1981. – 208 с.

127. Остудин, Н.В. Модели и алгоритмы информационно-аналитической поддержки антикризисного управления: дис. ... канд. тех. наук: 05.13.10 / Остудин Никита Вадимович. – СПб., 2017. – 150 с.

128. Панарин, В.М. Пожарная тактика: учебник [Текст] / В.М. Панарин, Я.С. Повзик, А.М. Столяренко. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984. – 480 с.

129. Панин, Е.Н. Аналитический метод определения оптимальной интенсивности подачи воды [Текст] / Е.Н. Панин // Тактика и процессы пожаротушения: сб. науч. тр. – М.: ВНИИПО МВД СССР, 1989. – С. 96–100.

130. Плат, П.В. Модели и методы построения и размещения сил и средств Государственной противопожарной службы (на примере Северо-Западного региона) [Текст] / П.В. Плат. – СПб., 2009. – 145 с.

131. Повзик, Я.С. Пожарная тактика [Текст] / Я.С. Повзик. – М.: ЗАО «Спецтехника», 1999. – 411 с.

132. Повзик, Я.С. Пожарная техника: справочник [Текст] / Я.С. Повзик, И.В. Рыбкин, К.Н. Степанов. – М.: Спецтехника, 2003. – 400 с.

133. Погорельская, К.В. Моделирование и оптимизация системы управления оперативной деятельностью гарнизона пожарной охраны (на примере Псковской обл.): автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.13.10 / Погорельская Ксения Викторовна. – СПб., 2007. – 24 с.

134. Подгрушный, А.В. Четыре подхода к тактике тушения пожаров [Электронный ресурс] / А.В. Подгрушный // Материалы 12-й научно-технической конференции «Системы безопасности» – СБ-2003. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2003. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/konf/2003/sb-2003/sec-2/4.pdf> (дата обращения: 24.11.2020).

135. Пранов, Б.М. О некоторых подходах к моделированию и прогнозированию временных рядов пожарной статистики [Электронный ресурс] / Б.М. Пранов // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 5 (57). – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23104562> (дата обращения: 19.07.2020).

136. Прус, Ю.В. Управление техногенными, природными и пожарными рисками на основе динамической стохастической модели угроз в социотехнической системе [Текст] / Ю.В. Прус, Н.Л. Присяжнюк, А.А. Чистякова // В книге: XXIX Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию ФГБУ ВНИИПО МЧС России. Материалы конференции: В 2-х частях. – М.: ВНИИПО, 2017. – С. 193–195.

137. Пузач, С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности: монография [Текст] / С.В. Пузач. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.

138. Разливанов, И.Н. Математическое моделирование процессов развития пожара и пожаротушения в условиях ограниченности сил и средств: автореф. дис.канд. тех. наук: 05.13.18 / Разливанов Игорь Николаевич. – СПб., 2009. – 24 с.

139. Райфа, Г. Анализ решений (введение в проблему выбора в условиях неопределенности) [Текст] / пер. с англ.; Г. Райфа. – М.: Наука, 1977. – 406 с.

140. Рябинин, И.А. Логико-вероятностный анализ и его современные возможности [Текст] / И.А. Рябинин // БИОСФЕРА. – 2010. – № 1. – С. 23–28.

141. Саати, Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий [Текст] / пер. с англ.; Т. Саати. – М.: Радио и связь, 1989. – 316 с.

142. Седнев, В.А. Повышение эффективности автоматизированных систем и информационных ресурсов в территориальных подсистемах РСЧС [Текст] / В.А. Седнев, В.М. Клецов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2013. – № 1. – С. 50–56.

143. Седнев, В.А. Научно-методический подход поддержки принятия должностными лицами РСЧС решений на реализацию мероприятий по обеспечению электроэнергетической безопасности субъектов Российской Федерации [Текст] / В.А. Седнев, А.В. Смуров // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2014. – № 6. – С. 24–43.

144. Семиков, В.Л. Теория организации в схемах и таблицах [Текст] / В.Л. Семиков, В.Д. Ушаков. – М., 2010. – 257 с.

145. Семиков, В.Л. Проблема совершенствования управления обеспечения деятельности подразделений пожарной охраны - причины и пути решения [Текст] / В.Л. Семиков, Ба Т. Нгуен // В сборнике: Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы. Обеспечение безопасности при чрезвычайных

ситуациях. Материалы VII Международной научно-практической конференции. – СПб: УГПС МЧС, 2015. – С. 108–110.

146. Семиков, В.Л. Важные направления развития инноваций в системах безопасности [Текст] / В.Л. Семиков // Ежегодная международная научно-техническая конференция Системы безопасности. – 2017. – № 26. – С. 39–42.

147. Синешук, Ю.И. Информационно-расчетное обеспечение принятия решений по применению сил и средств руководителем ликвидации чрезвычайной ситуации и тушения пожаров [Текст] / Ю.И. Синешук, С.Н. Терехин, А.В. // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2015. – № 1. – С. 89–94.

148. Станкевич, Т.С. Особенности алгоритма реализации нейро-нечетких моделей системы информационно-аналитической поддержки управления тушением пожаров на стратегически важных приграничных объектах морского типа [Текст] / Т.С. Станкевич, С.Ю. Бутузов, А.А. Рыженко // В сборнике: V Международный Балтийский морской форум материалы форума. Составитель Кострикова Н.А. – 2017. – С. 565–569.

149. Степанов, О.И. Экспериментальное обоснование создания позиций по тушению с применением специальных пожарных автомобилей [Текст] / О.И. Степанов, А.Н. Денисов // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 11. – С. 58-66.

150. Субачев, С.В. Совершенствование подготовки персонала противопожарной службы на основе технологий имитационного моделирования пожаров в зданиях: автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.13.10 / Субачев Сергей Владимирович. – М., 2004. – 24 с.

151. Тараканов, Д.В. Поддержка принятия управленческих решений при тушении крупных пожаров на основе многокритериальной оптимизации: автореф. дис. ...канд. тех. наук: 05.13.10 / Тараканов Денис Вячеславович. – М., 2011. – 24 с.

152. Тельнов, Ю.Ф. Интеллектуальные информационные системы: учебное пособие [Текст] / Ю.Ф. Тельнов. – М.: Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права, 2003. – 118 с.

153. Топольский, Н.Г. Информационно-аналитическое обеспечение поддержки управления поисково-спасательными работами [Текст] / Н.Г. Топольский, В.Л. Семиков, О.В. Яковлев, Ю.В. Прус, Д.С. Береснев // Системы управления и информационные технологии. – 2016. – № 4-1 (66). – С. 194–196.

154. Фишберн, П.С. Методы оценки аддитивных ценностей [Текст] / П.С. Фишберн // Статистическое измерение качественных характеристик: пер. с англ. – М.: Статистика, 1972. – С. 8–34.

155. Фишберн, П.С. Теория полезности для принятия решений: пер. с англ. [Текст] / П.С. Фишберн. – М.: Наука, 1977. – 352 с.

156. Форрестер, Д. Мировая динамика [Текст] / Д. Форрестер. – М.: АСТ, 2003. – 384 с.

157. Фаркар, П.Х. Декомпозиция многомерных функций полезности с помощью фракционных гиперкубов [Текст] / П.Х. Фаркар // Статистические модели и многокритериальные задачи принятия решений: пер. с англ. – М.: Статистика, 1979. – С. 63–95.

158. Шихалев, Д.В. Поддержка принятия решений по управлению эвакуацией людей при пожаре [Текст] / Д.В. Шихалев, Р.Ш. Хабибулин // В сборнике: Фундаментальные проблемы системной безопасности материалы школы-семинара молодых ученых. – 2014. – С. 202–205.

159. Шкунов С.А., Информационно-аналитическая поддержка управления переоснащением парка пожарных автомобилей: дис.... канд.тех. наук: 05.13.10 / Шкунов Сергей Александрович.– М., 2018. – 143 с.

160. Юдин, Д.Б. Задачи и методы стохастического программирования [Текст] / Д.Б. Юдин. Изд. 2. – М.: Красанд, 2010. – 392 с.

161. Fire in the United States 1989–1998 [Текст]. – Twelfth Edition. August, 2001. – 268 p.

162. Fishburn, P.C. Sensitivity of decisions to probability estimation errors: A reexamination [Текст] / P.C. Fishburn, H.H. Isaacs, A.N. Murphy // *Operations Reserch*, 1968. – Vol. 16. – No. 2. – Pp. 254–267.

163. Fishburn, P.C. Expected utility theories: A review note [Текст] / P.C. Fishburn // *Lecture Notes Economics a. Math. Systems*, 1978. – Vol. 141. – Pp. 197–207.

164. Keefer, D.L. Allocation planning for R&D with uncertainty and multiple objectives [Текст] / D.L. Keefer. – *IEEE Trans. Eng.Management*, 1978. – Vol. EM-25. – No.1. – Pp. 8–14.

165. Keefer, D.L. Approximations and sensitivity in multiobjective resource allocation [Текст] / D.L. Keefer, S.M. Pollack. – *Operations Research*, 1980. – Vol. 28. – Pp. 114–128.

166. Krisher, J.P. An annotated bibliography of decision analytic applications to health care [Текст] / J.P. Krisher. – *Operations Research*. – 1980. – Vol. 28. – No. 1. – Pp. 97–107.

167. Larichev, O.I. A practical methodology of solving multicriterion problems with subjective criteria [Текст] / O.I. Larichev // *Conflicting objectives in decisions*. Ed.by D. Bell, R.L. Keeney, H.Raiffa. – N.Y.: Wiley, 1977. – Pp. 197–208.

168. Särdaqvist, S. An Engineering Approach to Fire-Fighting Tactics [Текст] / S. Särdaqvist. – Lund, 1996. – 83 p.

169. Savage, L.T. The foudations of statistics [Текст] / L.T. Savage. – N.Y.: Dover Publ., 1972. – 310 p.

170. Wickson, R.G. Stochastic orderings from partially known utility functions [Текст] / R.G. Wickson // *Math. Operations Research*, 1977. – Vol.2. – No. 12. – Pp. 242–252.

171. Wanguo, He. Optimal Model of Fire Fighting and Rescue Operational Plan Based on Utility Function [Электронный ресурс] / Wanguo He, Hao Xie. – *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2020. – Vol. 782. – Режим доступа: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/782/5/052045/meta> (дата обращения: 10.02.2021).

Приложение А
(справочное)

**Фрагменты исходного кода компьютерной программы поддержки принятия
управленческих решений руководителя тушения пожара**

```

var
  Form1: TForm1;
  Nz, Nt: array [0..3] of integer; // Количество стволов на
защиту и тушение
  Hstv: array [0..3] of real; // Напор на насадке пожарного
ствола
  Sz: real; //Площадь защиты объекта
  Nls_z: integer; // Количество личного состава, занятых на
позициях по защите с одним пожарным стволом
  Vl: real; //Линейная скорость распространения горения
  Itr: real; //Интенсивность подачи ОТВ требуемая
  Tsv: real; // Время ввода пожарных стволов
  Hn: real; //Напор на насосе пожарного автомобиля
  Zprib: real; //Высота подъема пожарного ствола
  Zm: real; //Высота подъема местности
  Nls_p:integer; //Количество личного состава занятых на
позициях с одним пожарным стволом
  Nl: integer; //Количество выдвижных трехколенных лестниц
  Nsv: integer; // Количество связанных
  Nls_otd: integer; //Количество личного состава для одного
отделения
  Npb:integer; //Количество личного состава на посту
безопасности
  a:real; //угол развития пожара
  nap:integer;// количество направление развития пожара
  W:real;//ширина горящей полосы
  H: real; //длина горящей полосы
  D: real; //диаметр стволов с изменяемым расходом воды
  Qp:real; //Производительность пожарного насоса
  t:real; //Время распространения горения
  Sp, R: real; //Площадь пожара
  Ht, Ht1, Ht2 :real; //Глубина тушения
  St:real;//Площадь тушения
  Qtr_t:real;//Требуемый расход ОТВ на тушение пожара
  Qtr_z:real;//Требуемый расход ОТВ на защиту
  Qtr:real;//Требуемый расход ОТВ на тушение и защиту
  Nprib, Nprib_t, Nprib_z:real; //количество технических
приборов подачи огнетушащего средства на тушение пожара и
защиту
  Qprib:real; //Расход имеемых стволов
  Qf,Qf_t,Qf_z,Qmax: real;//Фактический расход, на тушение, на
защиту
  Nm: real; //количество пожарных машин
  sor: real;//Соппротивление одного рукава длиной 20 метров
  Lpr:real; //Предельное расстояние по подаче ОТВ от пожарных
машин
  Hr:real; //Напор у разветвления
  Nls:real; //Количество личного состава

```

```

Nst:string;//Количество стволов
Qst: array [0..3] of real;//Производительность пожарных
стволов
keyL:boolean;//показывает факт недостаточности предельного
расстояния
implementation
uses Unit2, Unit3, Unit4;
{$R *.dfm}
procedure TForm1.ComboBox1Change(Sender: TObject);
begin
if
(ComboBox1.ItemIndex>0) and (ComboBox2.ItemIndex=0) and (ComboBox3.
ItemIndex=0) then ComboBox19.ItemIndex:=1;
end;
procedure TForm1.ComboBox2Change(Sender: TObject);
begin
if (ComboBox2.ItemIndex>0) or (ComboBox3.ItemIndex>0) then
ComboBox19.ItemIndex:=2;
end;
procedure TForm1.ComboBox3Change(Sender: TObject);
begin
if (ComboBox2.ItemIndex>0) or (ComboBox3.ItemIndex>0) then
ComboBox19.ItemIndex:=2;
end;
procedure TForm1.Edit1Click(Sender: TObject);
begin
Form2.Show;
end;
procedure TForm1.Edit3Click(Sender: TObject);
begin
Form3.Show;
end;
procedure Raschet(ht:real);
begin
if
(Form1.RadioGroup1.ItemIndex=1) and (Form1.RadioButton1.Checked=T
rue) then
if (R<=Ht) then St:=Sp else St:=pi*Ht*(2*R-Ht) else
if
(Form1.RadioGroup1.ItemIndex=2) and (Form1.RadioButton1.Checked=T
rue) then
if (R<=Ht) then St:=Sp else St:=pi*Ht*(2*R-Ht) else
if
(Form1.RadioGroup1.ItemIndex=1) and (Form1.RadioButton2.Checked=T
rue) then
begin
a:=StrToFloat(Form1.ComboBox16.Text);
St:=pi*Ht*(2*R-Ht);

```

```

    if (R<=Ht) then St:=Sp;
    if a=90 then St:=3.57*Ht*(2*R-Ht);
    if a=180 then St:=3.57*Ht*(1.4*R-Ht);
    if a=270 then St:=3.57*Ht*(1.8*R-Ht);
  end else
if
(Form1.RadioGroup1.ItemIndex=2) and (Form1.RadioButton2.Checked=T
rue) then
  begin
    a:=StrToFloat (Form1.ComboBox16.Text);
    St:=pi*Ht*(2*R-Ht);
    if (R<=Ht) then St:=Sp;
    if a=90 then St:=0.25*pi*Ht*(2*R-Ht); if a=180 then
St:=0.5*pi*Ht*(2*R-Ht);
    if a=270 then St:=0.75*pi*Ht*(2*R-Ht);
  end else
if
(Form1.RadioGroup1.ItemIndex=2) and (Form1.RadioButton3.Checked=T
rue) then
  begin
    if H>2*Ht then St:=2*Ht*(W+H-2*Ht) else St:=Sp;
  end else
if
(Form1.RadioGroup1.ItemIndex=1) and (Form1.RadioButton3.Checked=T
rue) then
  begin
    if H>nap*Ht then St:=nap*W*Ht else St:=Sp;
  end
else St:=Sp;
Qtr_t:=St*Itr;
Qtr_z:=0.25*Sz*Itr;
Qtr:=Qtr_z+Qtr_t;
//Qprib:=(Nt[0]+Nz[0])*3.6+(Nt[1]+Nz[1])*7+(Nt[2]+Nz[2])*10+(Nt
[3]+Nz[3])*StrToFloat (Form1.ComboBox18.Text);
Nprib_t:=Qtr_t/Qp;
Nprib_z:=Qtr_z/Qp;
Nprib:=Nprib_t+Nprib_z;
Nst:=IntToStr(ceil(Qtr/Qst[0]))+'/' +IntToStr(ceil(Qtr/Qst[1]))+
'/' +IntToStr(ceil(Qtr/Qst[2]))+'/' +IntToStr(ceil(Qtr/Qst[3]));
Qf_t:=(Nt[0])*Qst[0]+(Nt[1])*Qst[1]+(Nt[2])*Qst[2]+(Nt[3])*Qst[
3];
Qf_z:=(Nz[0])*Qst[0]+(Nz[1])*Qst[1]+(Nz[2])*Qst[2]+(Nz[3])*Qst[
3];
Qf:=Qf_t+Qf_z;
//Начало. Вычисление количества пожарных машин
Nm:=0;
if (Nt[0]>=1) or (Nz[0]>=1) then Nm:=Nm+1;
if (Nt[1]>=1) or (Nz[1]>=1) then Nm:=Nm+1;

```

```

if (Nt[2]>=1) or (Nz[2]>=1) then Nm:=Nm+1;
if (Nt[3]>=1) or (Nz[3]>=1) then Nm:=Nm+1;
//Конец. Вычисление количества пожарных машин
//Начало. Расчет предельного расстояния по подаче ОТВ от
пожарных машин
  sop:=0.015;
  if Form1.CheckBox1.Checked=False then
  case Form1.ComboBox19.ItemIndex of
    0: begin sop:=0.13; Qmax:=10.2; end;
    1: begin sop:=0.034; Qmax:=17.1; end;
    2: begin sop:=0.015; Qmax:=23.3; end;
    3: begin sop:=0.0035; Qmax:=30; end;
    4: begin sop:=0.0020; Qmax:=30; end;
    5: begin sop:=0.00046; Qmax:=30; end;
  end;
  if Form1.CheckBox1.Checked=True then
  case Form1.ComboBox19.ItemIndex of
    0: begin sop:=0.24; Qmax:=10.2; end;
    1: begin sop:=0.0077; Qmax:=17.1; end;
    2: begin sop:=0.030; Qmax:=23.3; end;
    3: begin sop:=0.030; Qmax:=30; end;
    4: begin sop:=0.030; Qmax:=30; end; 5: begin sop:=0.030;
Qmax:=30; end;
  end;
  Hr:=0;
  if (Form1.ComboBox1.ItemIndex>0) or (Form1.ComboBox5.ItemIndex>0)
  then
    if StrToFloat(Form1.Edit6.Text)>Hr then
    Hr:=StrToFloat(Form1.Edit6.Text);
    if (Form1.ComboBox2.ItemIndex>0) or (Form1.ComboBox6.ItemIndex>0)
    then
      if StrToFloat(Form1.Edit7.Text)>Hr then
      Hr:=StrToFloat(Form1.Edit7.Text);
      if (Form1.ComboBox3.ItemIndex>0) or (Form1.ComboBox7.ItemIndex>0)
      then
        if StrToFloat(Form1.Edit8.Text)>Hr then
        Hr:=StrToFloat(Form1.Edit8.Text);
        if (Form1.ComboBox4.ItemIndex>0) or (Form1.ComboBox8.ItemIndex>0)
        then
          if StrToFloat(Form1.Edit9.Text)>Hr then
          Hr:=StrToFloat(Form1.Edit9.Text);
          //Qmax:=Qp;
          Hr:=Hr+10;
          Lpr:=20*(Hn-(Hr+Zm+Zprib))/(sop*sqr(Qmax));
          if Lpr<0 then Lpr:=0;
          //Конец. Расчет предельного расстояния по подаче ОТВ от
          пожарных машин

```

```

Nls:=Nls_p*(Nt[0]+Nt[1]+Nt[2]+Nt[3])+Nls_z*(Nz[0]+Nz[1]+Nz[2]+Nz[3])+Nm+Nl+Nsv+Npb;
end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var i,j:integer;
begin
  keyL:=False;
  ComboBox19.Color:=clWindow;
  Edit5.Color:=clWindow;
  Edit10.Color:=clWindow;
  Edit11.Color:=clWindow;
  Qst[0]:=3.6;
  Qst[1]:=7;
  Qst[2]:=10;
  Qst[3]:=StrToFloat(ComboBox18.Text);
  Nt[0]:=StrToInt(ComboBox1.Text);
  Nt[1]:=StrToInt(ComboBox2.Text);
  Nt[2]:=StrToInt(ComboBox3.Text);
  Nt[3]:=StrToInt(ComboBox4.Text);
  Nz[0]:=StrToInt(ComboBox5.Text);
  Nz[1]:=StrToInt(ComboBox6.Text);
  Nz[2]:=StrToInt(ComboBox7.Text);
  Nz[3]:=StrToInt(ComboBox8.Text);
  Hstv[0]:=StrToFloat(Edit6.Text);
  Hstv[1]:=StrToFloat(Edit7.Text);
  Hstv[2]:=StrToFloat(Edit8.Text);
  Hstv[3]:=StrToFloat(Edit9.Text);
  Sz:=StrToFloat(Edit2.Text);
  Nls_z:=StrToInt(ComboBox9.Text);
  Nls_p:=StrToInt(ComboBox10.Text);
  Vl:=StrToFloat(Edit3.Text);
  Itr:=StrToFloat(Edit1.Text);
  Tsv:=StrToFloat(Edit4.Text);
  Hn:=StrToFloat(Edit5.Text);
  Zprib:=StrToFloat(Edit10.Text);
  Zm:=StrToFloat(Edit11.Text);
  Nl:=StrToInt(ComboBox12.Text);
  Nsv:=StrToInt(ComboBox13.Text);
  Npb:=StrToInt(ComboBox20.Text);
  Qp:=StrToFloat(Edit14.Text);
  Nls_otd:=StrToInt(ComboBox14.Text);
  if (RadioButton1.Checked=True) then a:=DegToRad(360) else
  if (RadioButton2.Checked=True) then
a:=DegToRad(StrToFloat(ComboBox16.Text)) else
  if (RadioButton3.Checked=True) then
  begin
    nap:=StrToInt(ComboBox15.Text);
    W:=StrToFloat(Edit13.Text);

```

```

        H:=StrToFloat(Edit12.Text);
    end;

// Проверка количества пожарных стволов
if ((Nt[0]+Nt[1]+Nt[2]+Nt[3]+Nz[0]+Nz[1]+Nz[2]+Nz[3])>8) then
ShowMessage('Количество стволов на тушение и защиту больше
8!');
//Начало. Расчет площади пожара
if Tsv<=10 then t:=Tsv else t:=Tsv-10;
if (t<=10) then
    begin
        if RadioButton1.Checked=True then begin
Sp:=pi*sqr(0.5*Vl*t); R:=0.5*Vl*t; end else
        if RadioButton2.Checked=True then begin
Sp:=0.5*a*sqr(0.5*Vl*t); R:=0.5*Vl*t; end else
        if RadioButton3.Checked=True then begin
Sp:=nap*W*(0.5*Vl*t); R:=0.5*Vl*t; end
        end else
        begin
            if RadioButton1.Checked=True then begin
Sp:=pi*sqr(5*Vl+Vl*t); R:=5*Vl+Vl*t; end else
            if RadioButton2.Checked=True then begin
Sp:=0.5*a*sqr(5*Vl+Vl*t); R:=5*Vl+Vl*t; end else
            if RadioButton3.Checked=True then begin
Sp:=nap*W*(5*Vl+Vl*t); R:=5*Vl+Vl*t; end
            end;
//Конец. Расчет площади пожара
D:=StrToFloat(ComboBox17.Text);
if (Radiobutton1.Checked=False) and (Radiobutton2.Checked=False) an
d (Radiobutton3.Checked=False) then showmessage('Не выбрана
форма площади пожара!') else
if (RadioGroup1.ItemIndex=-1) then showmessage('Не выбран
принцип расстановки сил и средств!') else
if (Nt[0]+Nt[1]+Nt[2]+Nt[3]+Nz[0]+Nz[1]+Nz[2]+Nz[3])=0 then
showmessage('Не введено количество пожарных стволов на тушение
и защиту!') else
begin//Начало
Ht:=5;
Raschet(Ht);
Form4.StringGrid1.Cells[1,1]:=FloatToStr(RoundTo(Sp,-
3));// 'Площадь пожара, кв.м';
Form4.StringGrid1.Cells[1,2]:=FloatToStr(RoundTo(St,-
3));// 'Площадь тушения, кв.м';
Form4.StringGrid1.Cells[1,3]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr_t,-
3));// 'Требуемый расход ОТВ на тушение, л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[1,4]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr_z,-
3));// 'Требуемый расход ОТВ на защиту, л/с';

```

```

Form4.StringGrid1.Cells[1,5]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr,-
3));//'Требуемый расход ОТВ на тушение и защиту,л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[1,6]:=FloatToStr(RoundTo(Nm,-
1));//'Требуемое количество пожарных насосов';
Form4.StringGrid1.Cells[1,7]:=Nst; // 'Требуемое количество
водяных стволов на тушение и защиту,ед.';
Form4.StringGrid1.Cells[1,8]:=FloatToStr(RoundTo(Qf,-
3));//'Фактический расход ОТВ на тушение и защиту,л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[1,9]:=FloatToStr(RoundTo(Nm,-
1));//'Требуемое количество пожарных машин, ед.';
Form4.StringGrid1.Cells[1,10]:=FloatToStr(RoundTo(Lpr,-
3));//'Предельное расстояние по подаче ОТВ от пож.машин на
водоисточниках,ед.';
Form4.StringGrid1.Cells[1,11]:=FloatToStr(RoundTo(Nls,-
1));//'Численность личного состава,ед.';
Ht:=Nt[0]*(13/1000)*sqrt(1000*sqrt(2*9.8*Hstv[0])/Itr)+Nt[1]*(1
9/1000)*sqrt(1000*sqrt(2*9.8*Hstv[1])/Itr)+Nt[2]*(25/1000)*sqrt
(1000*sqrt(2*9.8*Hstv[2])/Itr)+Nt[3]*(StrToFloat(ComboBox17.Text
)/1000)*sqrt(1000*sqrt(2*9.8*Hstv[3])/Itr);
Raschet(Ht);
Form4.StringGrid1.Cells[2,1]:=FloatToStr(RoundTo(Sp,-
3));//'Площадь пожара,кв.м';
Form4.StringGrid1.Cells[2,2]:=FloatToStr(RoundTo(St,-
3));//'Площадь тушения,кв.м';
Form4.StringGrid1.Cells[2,3]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr_t,-
3));//'Требуемый расход ОТВ на тушение,л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[2,4]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr_z,-
3));//'Требуемый расход ОТВ на защиту,л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[2,5]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr,-
3));//'Требуемый расход ОТВ на тушение и защиту,л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[2,6]:=FloatToStr(RoundTo(Nm,-
1));//'Требуемое количество пожарных насосов;
Form4.StringGrid1.Cells[2,7]:=Nst;//'Требуемое количество
водяных стволов на тушение и защиту,ед.';
Form4.StringGrid1.Cells[2,8]:=FloatToStr(RoundTo(Qf,-
3));//'Фактический расход ОТВ на тушение и защиту,л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[2,9]:=FloatToStr(RoundTo(Nm,-
1));//'Требуемое количество пожарных машин, ед.';
Form4.StringGrid1.Cells[2,10]:=FloatToStr(RoundTo(Lpr,-
3));//'Предельное расстояние по подаче ОТВ от пож.машин на
водоисточниках,ед.';
Form4.StringGrid1.Cells[2,11]:=FloatToStr(RoundTo(Nls,-
1));//'Численность личного состава,ед.';
Ht:=0.37*(Nt[0]+Nt[1]+Nt[2]+Nt[3]);
Raschet(Ht);
Form4.StringGrid1.Cells[3,1]:=FloatToStr(RoundTo(Sp,-
3));//'Площадь пожара,кв.м';

```

```

Form4.StringGrid1.Cells[3,2]:=FloatToStr(RoundTo(St,-
3));//'Площадь тушения, кв.м';
Form4.StringGrid1.Cells[3,3]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr_t,-
3));//'Требуемый расход ОТВ на тушение, л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[3,4]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr_z,-
3));//'Требуемый расход ОТВ на защиту, л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[3,5]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr,-
3));//'Требуемый расход ОТВ на тушение и защиту, л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[3,6]:=FloatToStr(RoundTo(Nm,-
1));//'Требуемое количество пожарных насосов';
Form4.StringGrid1.Cells[3,7]:=Nst;//'Требуемое количество
водяных стволов на тушение и защиту, ед.';
Form4.StringGrid1.Cells[3,8]:=FloatToStr(RoundTo(Qf,-
3));//'Фактический расход ОТВ на тушение и защиту, л/с';
Form4.StringGrid1.Cells[3,9]:=FloatToStr(RoundTo(Nm,-
1));//'Требуемое количество пожарных машин, ед.';
Form4.StringGrid1.Cells[3,10]:=FloatToStr(RoundTo(Lpr,-
3));//'Предельное расстояние по подаче ОТВ от пож.машин на
водоисточниках, ед.';
Form4.StringGrid1.Cells[3,11]:=FloatToStr(RoundTo(Nls,-
1));//'Численность личного состава, ед.';
if Lpr<20 then
begin
showmessage('Предельное расстояние по подаче ОТВ от
пожарных машин, установленных на водоисточники менее 20
метров!');
keyL:=True;
end;
if Qf>Qmax then
begin
showmessage('Расхода воды недостаточно!');
keyL:=True;
end;
if Nls>Nls_otd*Nm then showmessage('Личного состава
недостаточно!');
if RadioButton1.Checked=True then
begin
Sp:=pi*sqr(Vl*sqr(Qf_t/(pi*sqr(Vl)*Itr)));
Qtr:=Sp*Itr;
Nst:=IntToStr(ceil(Qtr/Qst[0]))+'/' +IntToStr(ceil(Qtr/Qst[1]))+
'/' +IntToStr(ceil(Qtr/Qst[2]))+'/' +IntToStr(ceil(Qtr/Qst[3]));
Nls_p:=Nls_p*ceil(Qtr/Qst[0]);
Nm:=Ceil(Qf/(0.8*Qp));
Nls:=Nls_p+Nm+Nl+Nsv+Npb;
if Nls>Nls_otd*Nm then showmessage('Нормативная
методика (Цель №2). Личного состава недостаточно!');
end else
if RadioButton3.Checked=True then

```

```

begin
  Sp:=W*nap*Vl*sqrt(Qf_t/(pi*sqr(Vl)*Itr));
  Qtr:=Sp*Itr;
Nst:=IntToStr(ceil(Qtr/Qst[0]))+'/' + IntToStr(ceil(Qtr/Qst[1]))+
  '/' + IntToStr(ceil(Qtr/Qst[2]))+'/' + IntToStr(ceil(Qtr/Qst[3]));
  Nls_p:=Nls_p*ceil(Qtr/Qst[0]);
  Nm:=Ceil(Qf/(0.8*Qp));
  Nls:=Nls_p+Nm+Nl+Nsv+Npb;
  if Nls>Nls_otd*Nm then showmessage('Нормативная методика
(Цель №2). Личного состава недостаточно!');
  end;
if (RadioButton1.Checked=True) or (RadioButton2.Checked=True)
then
  begin
    Form4.StringGrid1.Cells[4,1]:=FloatToStr(RoundTo(Sp,-
3)); //'Площадь пожара, кв.м';
    Form4.StringGrid1.Cells[4,5]:=FloatToStr(RoundTo(Qtr,-
3)); //'Требуемый расход ОТВ на тушение и защиту, л/с';
    Form4.StringGrid1.Cells[4,7]:=Nst; //'Требуемое количество
водяных стволов на тушение и защиту, ед.';
    Form4.StringGrid1.Cells[4,9]:=FloatToStr(RoundTo(Nm,-
1)); //'Требуемое количество пожарных машин, ед.';

Form4.StringGrid1.Cells[4,11]:=IntToStr(Ceil(Nls)); //'Численнос
ть личного состава, ед.';
  end;
if keyL=False then form4.show else //подсветка элементов при
невыполнении условия
  begin
    ComboBox19.Color:=clRed;
    Edit5.Color:=clRed;
    Edit10.Color:=clRed;
    Edit11.Color:=clRed;
  end;
end; //Конец
end.

```

**Приложение Б
(обязательное)**

Акты внедрения результатов диссертационной работы

УТВЕРЖДАЮ
 Генеральный директор
 ООО «Аларма»
 Д.В. Жатиков
 2021 г.



АКТ

внедрения результатов диссертационной работы Журавлёва Николая Михайловича

Комиссия общества с ограниченной ответственностью «Аларма» в составе:

Председателя комиссии:

- генеральный директор Д.В. Жатиков

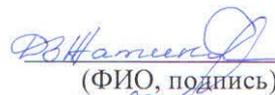
Членов комиссии:

- главный инженер М.В. Гарбуз

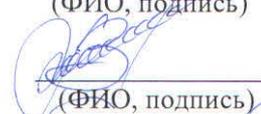
- специалист пожарной безопасности Р.А. Семенов

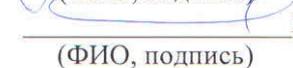
составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Журавлёва Н.М., а именно: модель поддержки принятия решения РТП на основе оценки функции ценности тушения пожара, используется в аналитических расчетах для обоснования сил и средств, при разработке документов предварительного планирования.

Председатель комиссии:

 Д.В. Жатиков
 (ФИО, подпись)

Члены комиссии:

 М.В. Гарбуз
 (ФИО, подпись)

 Р.А. Семенов
 (ФИО, подпись)

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Главного управления
МЧС России по Самарской области
(по государственной противопожарной службе)
полковник внутренней службы

« 18 »

05

2021 г.

И.Н. Быков

**АКТ**

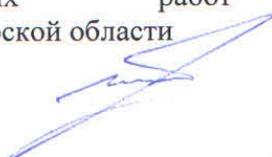
внедрения научных положений и практических результатов
диссертации Журавлёва Николая Михайловича по разработке моделей и
алгоритмов поддержки принятия управленческих решений для планирования
тушения пожаров в жилых зданиях

Комиссия в составе: начальника управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России по Самарской области подполковника внутренней службы Савенкова Ивана Анатольевича, заместителя начальника управления – начальника отдела организации пожаротушения управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России по Самарской области полковника внутренней службы Аникина Александра Александровича, заместителя начальника отдела организации службы пожарно-спасательных подразделений управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России по Самарской области подполковника внутренней службы Шестопёрова Игоря Евгеньевича, начальника службы пожаротушения Главного управления МЧС России по Самарской области подполковника внутренней службы Максимова Александра Игоревича, главного специалиста отдела организации пожаротушения управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России по Самарской области капитана внутренней службы Мухтермова Сергея Алексеевича, старшего инженера отдела организации пожаротушения управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России по Самарской области капитана внутренней службы Алявдина Николая Викторовича, составили настоящий акт в том, что результаты диссертационного исследования Журавлёва Н.М. используются в повседневной деятельности при подготовке личного состава пожарно-спасательного подразделения, при планировании организации тушения пожаров в жилых зданиях. Алгоритм поддержки принятия решения руководителя тушения пожара на основе оценки скорости роста площади пожара и алгоритм поддержки принятия решения руководителя тушения пожара

при фронтальном методе тушения пожара используются для оценки достаточности количества сил и средств при планировании ведения боевых действий по тушению пожара с использованием водяных пожарных стволов, выбора варианта тушения пожара, а также при проведении учений и анализа действий подразделения ПСЧ при тушении пожаров.

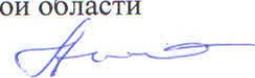
Председатель:

Начальник управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ
Главного управления МЧС России по Самарской области
подполковник внутренней службы

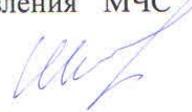

И.А. Савенков

Члены комиссии:

Заместитель начальника управления – начальник отдела
организации пожаротушения управления организации
пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ
Главного управления МЧС России по Самарской области
полковник внутренней службы


А.А. Аникин

Заместитель начальника отдела организации службы
пожарно-спасательных подразделений управления
организации пожаротушения и проведения аварийно-
спасательных работ Главного управления МЧС России
по Самарской области
подполковник внутренней службы


И.Е. Шестоперов

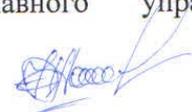
Начальник службы пожаротушения Главного управления
МЧС России по Самарской области
подполковник внутренней службы


А.И. Максимов

Главный специалист отдела организации пожаротушения
управления организации пожаротушения и проведения
аварийно-спасательных работ Главного управления
МЧС России по Самарской области
капитан внутренней службы


С.А. Мухтермов

Старший инженер отдела организации пожаротушения
управления организации пожаротушения и проведения
аварийно-спасательных работ Главного управления
МЧС России по Самарской области
капитан внутренней службы


Н.В. Алявдин

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по учебной работе
кандидат военных наук, доцент
полковник внутренней службы
М.В. Бедило
2021 г.



о внедрении результатов диссертационной работы Николая Михайловича Журавлева,
представленной к защите по специальности 2.3.4.
Управление в организационных системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя - заведующего кафедрой механики и инженерной графики, к.ф.м.н. Сергея Владимировича Фролова, и членов комиссии – доцента кафедры к.т.н. Марины Александровны Федяшиной, доцента кафедры Ольги Владимировны Токаревой, доцента кафедры Светланы Михайловны Червоноокой, доцента кафедры Алексея Юрьевича Никитина составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Николая Михайловича Журавлева внедрены в учебный процесс кафедры механики и инженерной графики Академии Государственной противопожарной службы МЧС России, а именно: алгоритм поддержки принятия решений руководителя тушения пожара при фронтальном методе тушения пожара. Результаты внедрены при подготовке учебных материалов по проведению практических занятий по дисциплинам: «Инженерная графика»; «Компьютерная графика» направления подготовки «техносферная безопасность» (20.03.01). Темы занятий: «Виды и типы схем. Обозначения, правила оформления»; «Схема расстановки сил и средств».

Внедрение результатов исследования в учебный процесс позволяет предоставить курсантам, слушателям и студентам Академии ГПС МЧС России актуальные знания по управлению пожарными подразделениями при планировании ведения боевых действий по тушению пожара.

Председатель комиссии:

заведующий кафедрой
механики и инженерной графики
кандидат физико-математических наук

С.В. Фролов

Члены комиссии:

Доцент кафедры МИГ
кандидат технических наук

М.С. Федяшина

Доцент кафедры МИГ

О.В. Токарева

Доцент кафедры МИГ

С.М. Червоноокая

Секретарь комиссии:

Доцент кафедры МИГ

А.Ю. Никитин

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии
ГПС МЧС России по научной работе
доктор технических наук, профессор
М.В. Алешков
2021 г.



А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы
Николая Михайловича Журавлева, представленной к защите по специальности 2.3.4.
Управление в организационных системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя – начальника центра организации научных исследований и научной информации, к.т.н., доцента Храмцова Сергея Петровича и членов комиссии: профессора кафедры механики и инженерной графики д.т.н. Владимира Владимировича Абразума, доцента кафедры механики и инженерной графики Светланы Михайловны Червоноокой, научного сотрудника отделения планирования, организации и координации научных исследований Ольги Сергеевны Тарасевич подтверждает, что результаты диссертационной работы Н.М. Журавлева использованы в ходе научно-исследовательской работы на тему: «Алгоритм поддержки принятия управленческих решений по расстановке сил и средств при планировании тушения пожара, на основе использования трехмерных компьютерных моделей, созданных в редакторе Autocad» (регистрационный номер НИОКТР - АААА-А20-120062990087-6) в рамках реализации плана научной работы на 2020 год Академии ГПС МЧС России, а именно: алгоритм поддержки принятия решения РТП на основе оценки скорости роста площади пожара.

Председатель комиссии
начальник центра организации
и координации научных исследований
к.т.н., доцент

С.П. Храмцов

профессор кафедры
механики и инженерной графики
доктор технических наук

В.В. Абразумов

доцент кафедры
механики и инженерной графики

С.М. Червоноокая

научный сотрудник
отделения планирования, организации и координации
научных исследований
майор внутренней службы

О.С. Тарасевич

УТВЕРЖДАЮ
 Заместитель начальника Главного управления
 МЧС России по Краснодарскому краю
 (по Государственной противопожарной службе)
 полковник внутренней службы

« 23 » _____ 2021 года
 А.В. Потахов



А К Т

о внедрении результатов диссертационного исследования
 Николая Михайловича Журавлева

Комиссия в составе:

заместителя начальника управления – начальника отдела организации пожаротушения УОПиПАСР Главного управления МЧС России по Краснодарскому краю полковника внутренней службы Р.Е. Меркулова;

начальника отделения организации службы, подготовки и пожаротушения 12 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Краснодарскому краю майора внутренней службы В.А. Алипова;

начальника 2 пожарно-спасательной части 12 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Краснодарскому краю подполковника внутренней службы Е.А. Гуленко;

заместителя начальника 2 пожарно-спасательной части 12 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС Главного управления МЧС России по Краснодарскому краю старшего лейтенанта внутренней службы К.А. Еремина.

Настоящим актом подтверждает, что результаты диссертационного исследования Журавлева Николая Михайловича, а именно: модель и алгоритмы поддержки принятия управленческих решений для планирования и отработки боевых действий по тушению пожаров в жилых зданиях, реализуемые в программе SiS Calculation используются при проведении занятий по боевой подготовке личного состава дежурных караулов 2 пожарно-спасательной части 12 пожарно-спасательного отряда ФПС ГПС (г. Краснодар) Главного управления МЧС России по Краснодарскому краю.

Программа SiS Calculation используется в качестве информационного сопровождения функционирования системы управления пожарными подразделениями для планирования тушения пожаров в жилых зданиях, для анализа произошедших пожаров, а также для совершенствования профессиональной подготовки личного состава пожарной охраны.

Комиссия:

Заместитель начальника управления – начальник отдела
 организации пожаротушения УОП и ПАСР
 Главного управления МЧС России по Краснодарскому краю
 полковник внутренней службы

Р.Е. Меркулов

Начальник отделения ОСПиП 12 ПСО ФПС ГПС
 Главного управления МЧС России по Краснодарскому краю
 майор внутренней службы

В.А. Алипов

Начальник 2-ПСЧ 12 ПСО ФПС ГПС
 Главного управления МЧС России по Краснодарскому краю
 подполковник внутренней службы

Е.А. Гуленко

Заместитель начальника 2-ПСЧ 12 ПСО ФПС ГПС
 Главного управления МЧС России по Краснодарскому краю
 старший лейтенант внутренней службы

К.А. Еремин