

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

Академия Государственной противопожарной службы

*На правах рукописи*

**Гринченко Борис Борисович**



**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА**

Специальность: 05.13.10 – «Управление в социальных  
и экономических системах» (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
заслуженный деятель науки РФ  
доктор технических наук, профессор  
Топольский Николай Григорьевич

Москва – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА.....	8
1.1 Анализ гибели и травмирования сотрудников пожарной охраны.....	10
1.2 Ретроспективный анализ средств индивидуальной защиты.....	19
1.3 Информационное обеспечение безопасности участников тушения пожара ....	30
1.4 Постановка задачи исследования .....	42
1.5 Выводы по первой главе.....	44
ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА .....	45
2.1 Концептуальные модели поддержки управления безопасностью .....	46
2.2 Формальная постановка задачи исследования.....	51
2.3 Нормативные значения риска для управления безопасностью.....	57
2.4 Исследование адекватности модели поддержки управления безопасностью ..	58
2.5 Выводы по второй главе .....	76
ГЛАВА 3 СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА .....	77
3.1 Алгоритм синтеза информационных ресурсов .....	78
3.2 Структура базы данных информационных ресурсов .....	82
3.3 Информационные ресурсы системы поддержки управления.....	85
3.4 Выводы по третьей главе.....	93
ГЛАВА 4 ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА .....	94
4.1 Дескриптивная модель поддержки управления безопасностью .....	95
4.2 Алгоритм поддержки управления безопасностью.....	101
4.3 Программная реализация процедур поддержки управления безопасностью .	105
4.4 Выводы по четвертой главе.....	118
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	121
ПРИЛОЖЕНИЕ А Результаты экспериментального исследования .....	140
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Проверка теоретической гипотезы.....	144
ПРИЛОЖЕНИЕ В Акты внедрения результатов исследования .....	149

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Концепция обеспечения общественной безопасности в Российской Федерации определяет пожары как вид наиболее значимых угроз устойчивому социально-экономическому развитию страны. Защита общества от пожаров достигается путем реализации комплекса взаимоувязанных государственных функций, одной из которых является своевременное и качественное их тушение. Процесс эффективной борьбы с пожарами включает в себя комплекс работ в непригодной для дыхания среде (НДС), который ограничен временем защитного действия дыхательного аппарата (ДА), поэтому участники тушения пожара (УТП) нуждаются в постоянном управлении безопасностью. В существующей системе обеспечения безопасности работ в НДС сложилась следующая ситуация: с одной стороны, анализ безопасности проводится только на качественном уровне с использованием ограниченного массива данных, что не позволяет учитывать активное влияние УТП на процесс управления безопасностью, с другой стороны, необходимые для количественного анализа данные получают путем мониторинга параметров безопасности, однако отсутствие механизмов принятия решений, учитывающих структуру результатов мониторинга, снижает функциональные возможности современных систем безопасности и является препятствием к их дальнейшему развитию. При этом специфика борьбы с пожарами определяет ряд требований к получению, обработке и отображению информации для принятия решений, поэтому результаты мониторинга могут быть использованы на практике в виде информационно-аналитической системы.

**Степень разработанности темы исследования.** В разработку информационных систем поддержки управления существенные результаты внесли отечественные и зарубежные ученые: С.В. Агеев, Н.Н. Брушлинский, А.Д. Ищенко, С.А. Качанов, А.В. Матюшин, Е.А. Мешалкин, А.А. Порошин, С.В. Соколов В.М. Стрелец, Д.В. Тараканов, А.А. Таранцев, Н.Г. Топольский, А.В. Федоров, А.Н. Членов, P. Dollar, G. Cottrell и др.

Однако теоретические и практические вопросы управления, связанные с дистанционным мониторингом параметров безопасности участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде, остались не изучены. Таким образом, решаемая в диссертации **научная задача** состоит в разработке моделей и алгоритмов поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на основе мониторинга параметров безопасности. Результаты решения данной научной задачи имеют важное значение для развития отрасли знаний в области управления безопасностью УТП на основе информации, получаемой посредством мониторинга.

**Объектом исследования** является процесс управления безопасностью участников тушения пожара, а **предметом исследования** – информационно-аналитическая поддержка управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертации является повышение эффективности управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде путем разработки и практического применения моделей и алгоритмов поддержки управления на основе мониторинга параметров безопасности.

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

1. Проведен анализ системы управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде.
2. Разработаны модели поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде.
3. Разработан алгоритм синтеза информационных ресурсов на основе моделирования мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара.
4. Разработан алгоритм и программный комплекс поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде.

**Научная новизна.** В процессе выполнения диссертации были получены новые научные результаты:

1. Deskриптивная модель поддержки управления безопасностью УТП при работе в НДС, в которой впервые определен групповой и персонализированный уровень мониторинга безопасности, что обеспечивает лицо, принимающее решение, информацией для выбора варианта управляющего воздействия.
2. Вероятностная модель поддержки управления безопасностью участников тушения пожара, которая, в отличие от известных, позволяет декомпозировать общую работу в НДС на элементарные работы, для которых определены нормативные значения риска реализации деструктивных событий как на групповом, так и персонализированном уровне мониторинга безопасности.
3. Алгоритм синтеза информационных ресурсов для поддержки управления безопасностью участников тушения пожара, позволяющий при мониторинге определять плановые значения параметров безопасности.
4. Алгоритм поддержки управления безопасностью участников тушения пожара, обеспечивающий лицо, принимающее решение, необходимой информацией для выбора варианта управляющего воздействия на основе сопоставления плановых и фактических значений параметров безопасности при работе в НДС.

**Теоретическая значимость** исследования заключается в разработке моделей и алгоритмов поддержки управления безопасностью участников тушения пожара на основе результатов мониторинга параметров безопасности.

**Практическая значимость** исследования направлена на повышение эффективности управления безопасностью участников тушения пожара путем применения разработанных моделей и алгоритмов, реализованных в виде программного комплекса поддержки управления безопасностью при работе в непригодной для дыхания среде.

**Методология и методы исследования.** В диссертации использованы методы теории принятия решений, методы системного анализа, теория сетевого планирования, теория алгоритмов, теория вероятностей и математической статистики.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Модели поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на персонализированном и групповом уровне мониторинга безопасности.
2. Алгоритмы поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде необходимые для формирования плановых параметров безопасности участников тушения пожара и сравнения их с фактическими, получаемыми посредством мониторинга.
3. Практические рекомендации по применению моделей и алгоритмов для выполнения условий безопасности участников тушения пожара на персонализированном и групповом уровне мониторинга безопасности.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность и обоснованность результатов, их внутренняя непротиворечивость обеспечиваются применением апробированного математического аппарата и корректным использованием исходных данных, экспериментальным исследованием с использованием статистических критериев согласия Пирсона, Шапиро-Уилка, Колмогорова, а также их согласованностью с работами других исследователей.

Основные результаты диссертации обсуждались на международных научно-технических конференциях: Системы безопасности (Москва, Академия ГПС МЧС России, 2016, 2017 гг.); Пожарная и аварийная безопасность (Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2016–2018 гг.); Пожарная безопасность: проблемы и перспективы (Воронеж, ВИ ГПС МЧС России, 2016 г.); Информационные технологии в сфере РСЧС и ГО (Химки, АГЗ МЧС России, 2018 г.); Актуальные проблемы пожарной безопасности (Балашиха, ВНИИПО МЧС России, 2019 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 работ, из них 4 – в рецензируемых изданиях, включенных в Перечень ВАК России, 3 – в изданиях, входящих в международную систему цитирования. Получены свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, базы данных, патент на полезную модель.

**Личный вклад автора.** В совместных публикациях результаты, связанные с разработкой моделей и алгоритмов поддержки управления безопасностью УТП при работе в НДС на основе результатов мониторинга, получены автором лично.

**Внедрение результатов работы.** Разработанные в диссертации теоретические положения, использованы:

1. В Научно-техническом управлении МЧС России при разработке рекомендаций по повышению эффективности действий подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров в зданиях с использованием систем поддержки управления;
2. В производственной и опытно-конструкторской деятельности АО «Дыхательные системы – 2000» при разработке системы управления безопасностью участников тушения пожара на основе мониторинга показателей рабочего давления в баллонах дыхательных аппаратов со сжатым воздухом.
3. В главном управлении МЧС России по Ивановской области при разработке документов предварительного планирования действий по тушению пожаров с применением сил и средств газодымозащитной службы.
4. В научной деятельности ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» при выполнении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также при подготовке учебных пособий и методических рекомендаций по изучению дисциплин.
5. В учебной деятельности ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России» при организации и проведении учебных занятий по дисциплинам «Пожарная тактика» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность») и «Информационные системы поддержки принятия решения» (направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность» (уровень магистратуры), профиль «Пожарная безопасность»).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем диссертации составляет 155 страниц. Работа иллюстрирована 61 рисунком и содержит 24 таблицы и 3 приложения. Список литературы включает в себя 159 наименований.

## ГЛАВА 1 АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

В первой главе в целях постановки и исследования научной задачи рассмотрена специфика управления безопасностью действий участников тушения пожаров при выполнении работ в непригодной для дыхания среде. Проведенный анализ обстановки с пожарами, взятыми на статистический учет, на территории Российской Федерации за 2011–2018 гг. показал, что большая часть гибели пожарных и их травмирование происходит в непригодной для дыхания среде. Работа в такой среде является одним из сложнейших направлений видов деятельности пожарно-спасательных подразделений и требует повышенного уровня организации планирования и нормирования с целью управления безопасностью участников тушения пожара. Для работы в таких условиях участников тушения пожара оснащают средствами защиты, к которым относятся дыхательные аппараты со сжатым воздухом. С учетом складывающейся конъюнктуры в использовании дыхательных аппаратов в практической деятельности возникают противоречия между существующей моделью и алгоритмами оценки параметров безопасности участников тушения пожара, необходимых для поддержки управления, и новыми возможностями информационного обеспечения лица, принимающего решения, в непригодной для дыхания среде, которые определены результатом технического прогресса средств защиты, что подтверждает ретроспективный анализ средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения (СИЗОД) и современные требования к информационному обеспечению участников тушения пожара.

Современные дыхательные аппараты оборудуются дистанционными системами мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара, что определяет возможность получения нового вида информационных ресурсов для обеспечения безопасности при управлении пожарными подразделениями в непригодной для дыхания среде. В ходе анализа показано, что одним из основных направлений повышения уровня безопасности участников тушения пожаров при



выполнении работ в непригодной для дыхания среде является совершенствование управленческой деятельности путем внедрения моделей и алгоритмов поддержки управления на основе мониторинга параметров безопасности. Сделан аргументированный вывод о том, что специфика работ, производимых в непригодной для дыхания среде, определяет необходимость разработки вероятностного метода моделирования, позволяющего оценить риск реализации деструктивного события. Выполнен анализ системы управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде. Показано, что в существующей модели и алгоритмах управления имеется ряд недостатков. Определены требования к разработке модели управления, применяемой для повышения уровня безопасности при работе в непригодной для дыхания среде.

Показано, что существующие процедуры принятия решений носят качественный характер и основаны на сопоставлении средних значений параметров безопасности вследствие использования ограниченного массива данных, что не позволяет учитывать активное влияние специфики работы участников тушения пожара на процесс управления безопасностью. С другой стороны, необходимость детального анализа результатов мониторинга параметров безопасности требует разработки и внедрения процедур принятия решений на основе количественных показателей, учитывающих структуру результатов мониторинга.

Поставлена научная задача, состоящая в развитии моделей и алгоритмов поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на основе мониторинга параметров безопасности.

Для практической реализации и апробации теоретических положений определена необходимость разработки специального программного обеспечения информационной поддержки управления при решении задач планирования параметров безопасности участников тушения пожара и мониторинга их состояния в процессе решения задач при работе в НДС.

## 1.1 Анализ гибели и травмирования сотрудников пожарной охраны

Приоритетные направления государственной политики в области пожарной безопасности включают мероприятия, направленные на обеспечение необходимого уровня защищенности личности, имущества, общества и государства от пожаров [64], при этом пожары являются одним из основных источников угроз общественной безопасности. Минимизация потерь от пожаров является важным фактором устойчивого социально-экономического развития страны и одной из составляющих общественной безопасности. В ходе анализа основных статистических показателей о количестве пожаров в период с 2011–2018 гг. на территории Российской Федерации [87–94] выявлено:

– снижение количество пожаров, взятых на статистический учет, за рассматриваемый период времени на 27,8 % (36693 ед.), при этом в среднем произошло 148465 пожаров (рисунок 1);

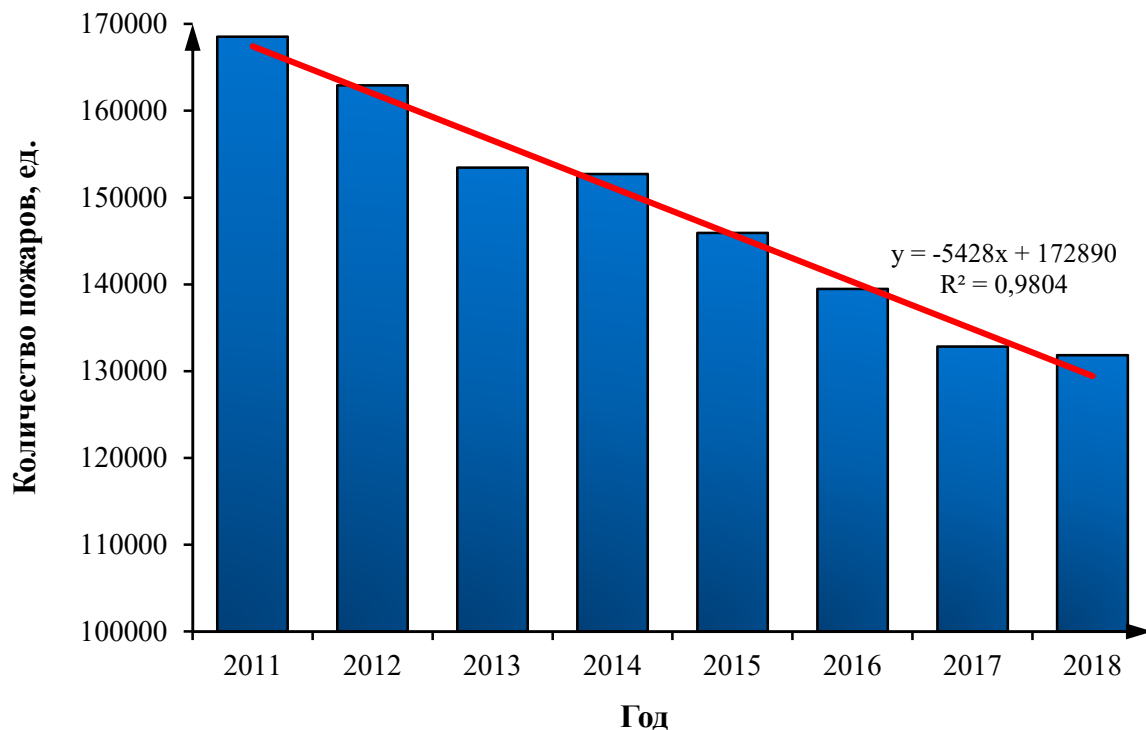


Рисунок 1 – Распределение количества произошедших пожаров по годам

– сокращение количества погибших людей при пожарах на 51,9 % (4110 человек), при этом в среднем за рассматриваемый период времени погибло 9800 человек (рисунок 2);

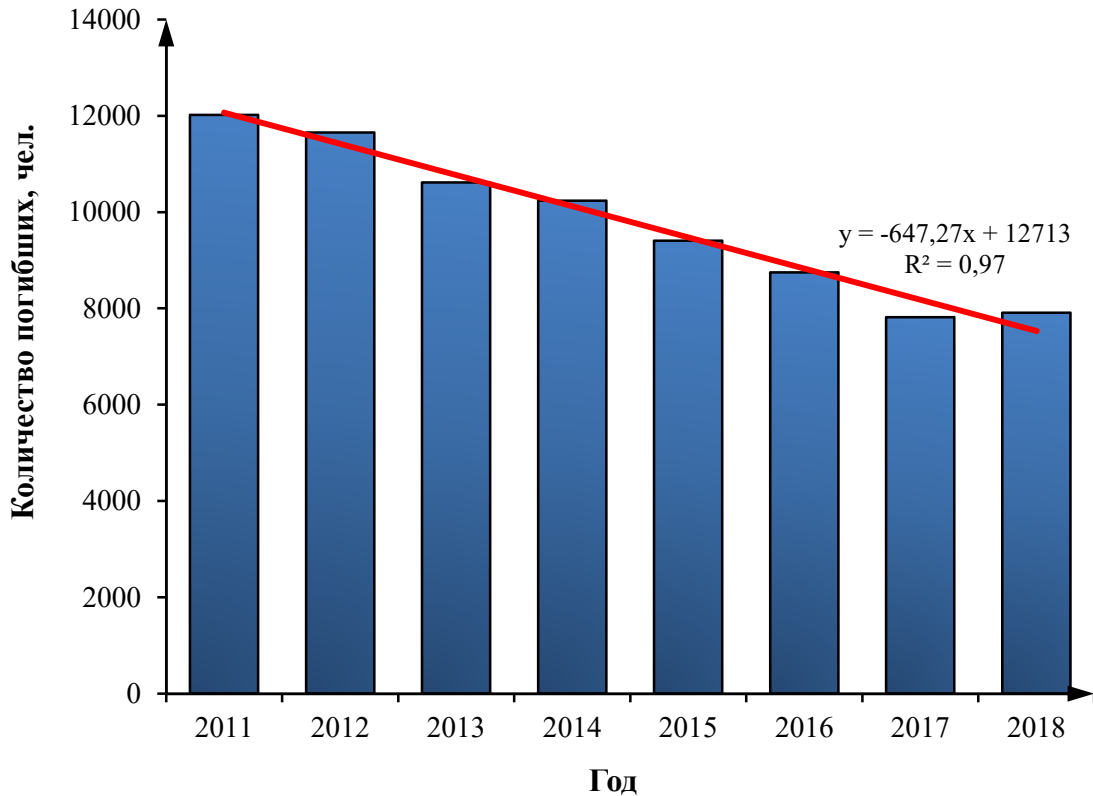


Рисунок 2 – Распределение количества погибших людей на пожарах

– сокращение количества травмированных людей при пожарах на 29,8 % (2874 человек), при этом в среднем за рассматриваемый период времени было травмировано в результате пожара 10853 человек (рисунок 3);

– несмотря на положительную тенденцию к снижению роста количества пожаров и гибели людей [96], сотрудники пожарно-спасательных подразделений получают травмы и гибнут при выполнении задач, связанных с тушением пожаров (на рисунке 4 показан период времени, в который погибло наибольшее число сотрудников в 2011, 2014, 2016, 2018 годах). В процентном соотношении гибель сотрудников пожарно-спасательных подразделений представлена на рисунке 5;

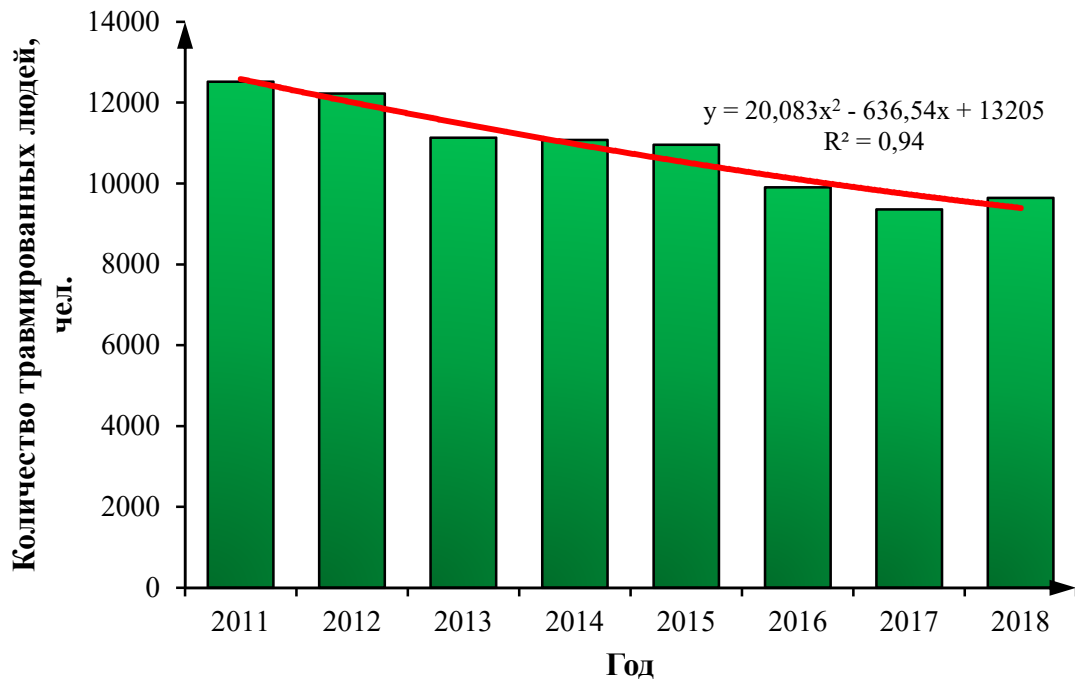


Рисунок 3 – Распределение количества травмированных людей на пожарах

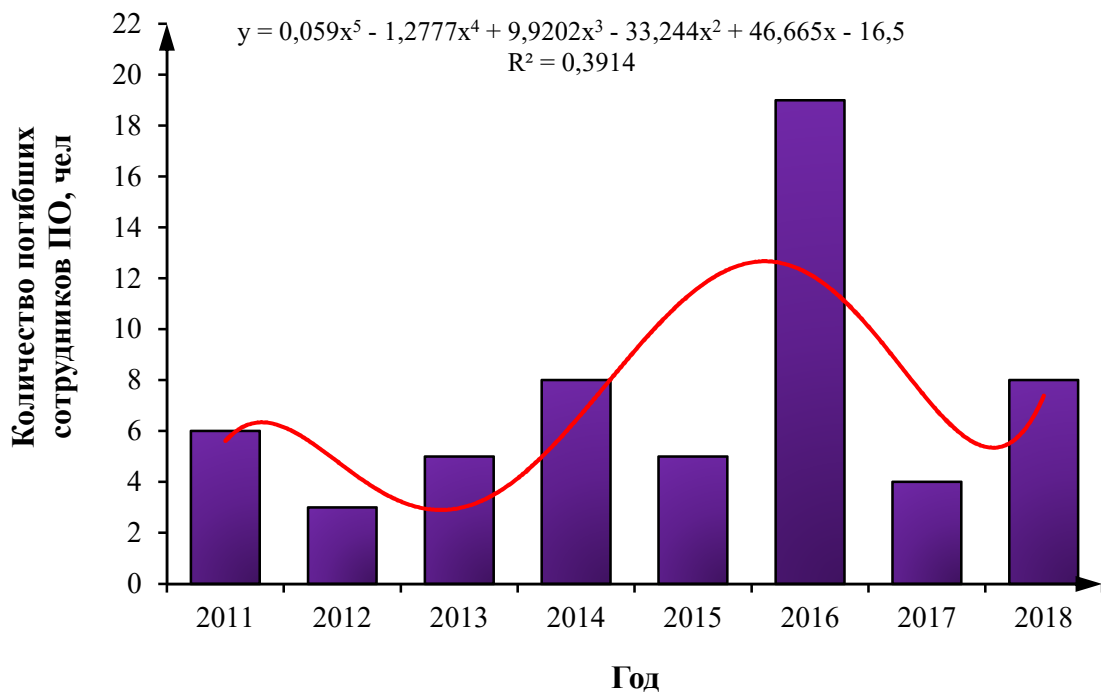


Рисунок 4 – Распределение гибели сотрудников пожарной охраны на пожарах

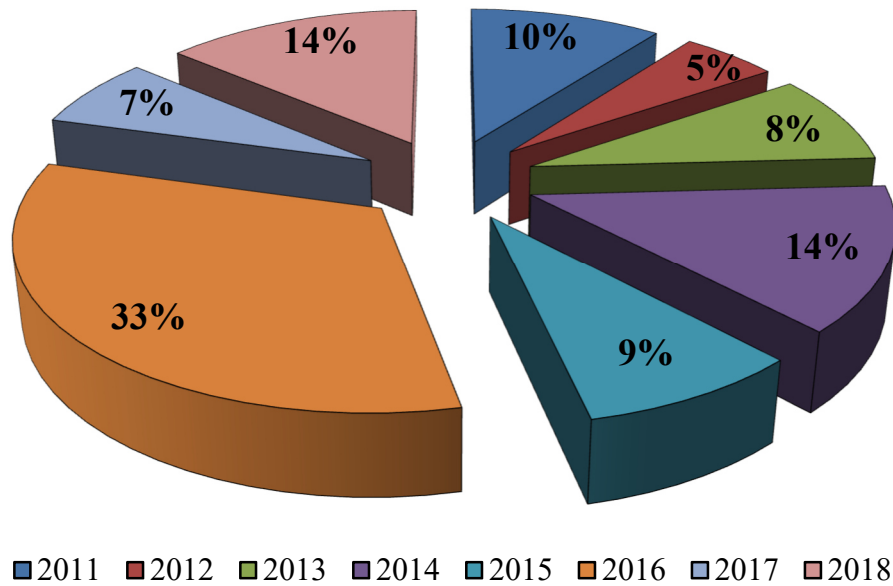


Рисунок 5 – Распределение гибели сотрудников пожарной охраны на пожарах в процентном содержании

– в большинстве случаев инциденты, связанные с травмированием сотрудников пожарно-спасательных подразделений, выше средних значений (рисунок 6) (ежегодно в среднем получают травму 63 сотрудника).

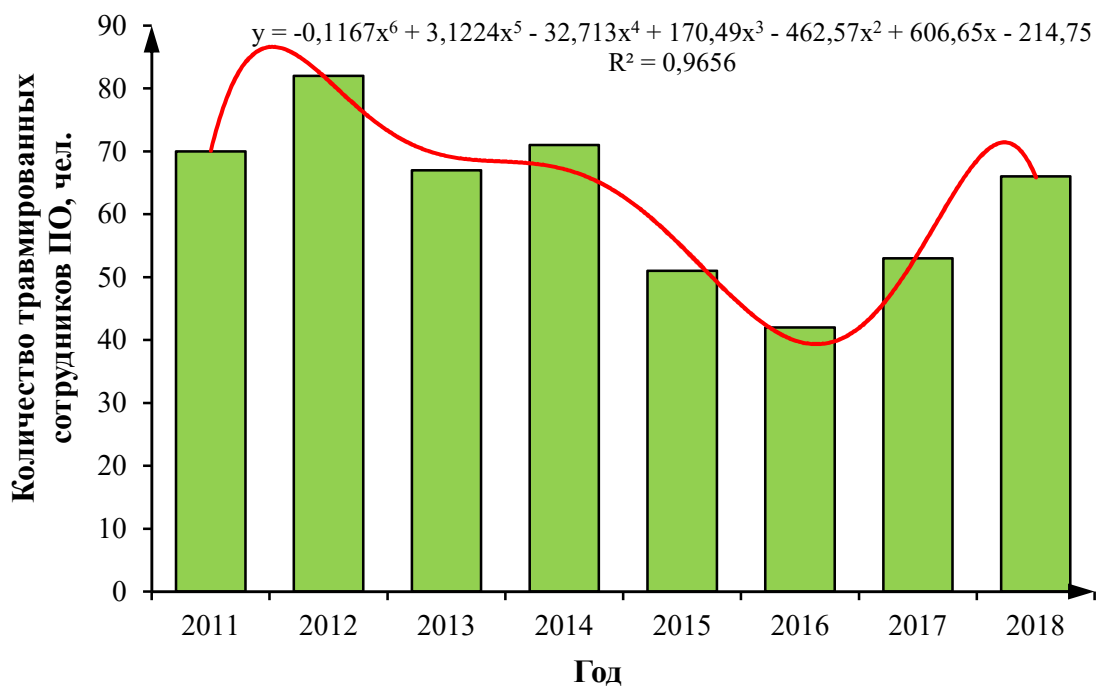


Рисунок 6 – Распределение полученных травм на пожарах среди сотрудников пожарной охраны

Исходя из произведенного анализа основных статистических показателей пожаров, взятых на статистический учет, на территории Российской Федерации в период с 2011 по 2018 годы, можно сделать вывод, что несмотря на положительную тенденцию к снижению количества пожаров, на гибель пожарных это не оказывает значительного влияние (рисунок 7).

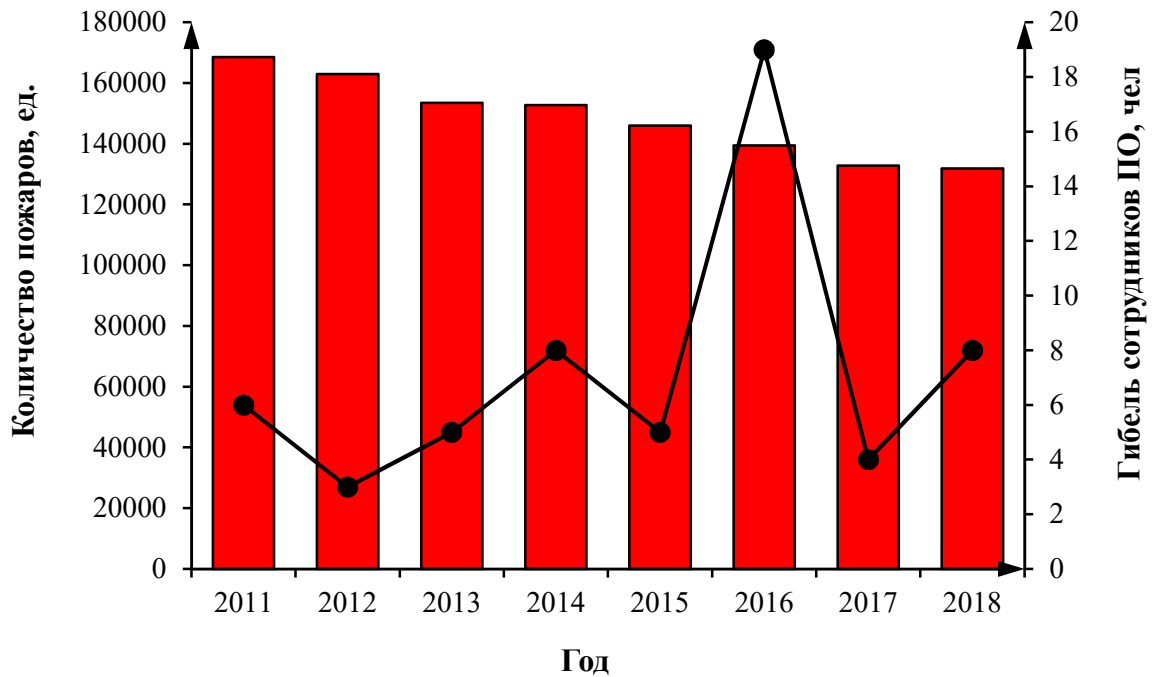


Рисунок 7 – Распределение гибели сотрудников пожарной охраны и количества пожаров

Для доказательства этого утверждения проведем корреляционный анализ по оценке тесноты связи между количеством пожаров, взятых на статистический учет, и количеством случаев гибели сотрудников пожарной охраны, применив непараметрический метод – ранговый коэффициент корреляции Спирмена [132]:

$$\rho_{x/y} = 1 - \frac{6 \cdot \sum d_i^2}{n \cdot (n^2 - 1)}, \quad (1)$$

где  $d_i^2$  – квадрат разности рангов;

$n$  – число наблюдений (число пар рангов).

Коэффициент Спирмена принимает любые значения в интервале от (-1; 1). Значимость коэффициента проверяется на основе  $t$ -критерия Стьюдента.

Расчетное значение критерия определяется по формуле:

$$t_p = \rho_{x/y} \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-\rho_{x/y}^2}} \quad (2)$$

Величина коэффициента корреляции считается статистически значима, если  $t_p > t_{кр}(\alpha; k = n - 2)$ ,

где  $t_{кр}$  – критическое значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена;

$t_p$  – критерий статистической значимости коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

Таким образом, по известным формулам определим с помощью коэффициент Спирмена связь между количеством произошедших пожаров, взятых на статистический учет, и количеством погибших сотрудников пожарной охраны. Для удобства расчетов заполним таблицу 1, в которой упорядочим известные статистические данные.

Таблица 1 – Расчет коэффициента ранговой корреляции Спирмена

Год	Количество пожаров (x)	Ранг X ( $d_x$ )	Гибель пожарных (y)	Ранг Y ( $d_y$ )	Разность рангов $d_i = d_x - d_y$	$d_i^2$
2011	168533	1	6	4	-3	9
2012	162919	2	3	8	-6	36
2013	153466	3	5	5,5	-2,5	6,25
2014	152695	4	8	2,5	1,5	2,25
2015	145942	5	5	5,5	-0,5	0,25
2016	139475	6	19	1	5	25
2017	132844	7	4	7	0	0
2018	131840	8	8	2,5	5,5	30,25
$\sum$ рангов X		36	$\sum$ рангов Y		36	
<b>Сумма квадрата разности</b>						109

При заполнении таблицы 1 занесем известную статистическую информацию о количестве произошедших пожаров и гибели сотрудников пожарной охраны в период с 2011 по 2018 годы. После чего запишем ранги пар переменных от 1 до  $n$  (общее число пар), где присвоим номер 1 паре с наибольшим значением.

Так как при ранжировании встречаются одинаковые переменные, необходимо их расположить один за другим и найти среднее значение рангов этих переменных, затем пронумеровать их этими средними значениями.

В приведенной таблице 1 в колонке «Ранг  $Y$ » совпадают значения переменных 5 и 8, в случае нормальной нумерации эти данные получили бы ранги 2; 3 и 5; 6. Поскольку значения одинаковы, находим среднюю величину их рангов. Среднее 2 и 3 равно 2,5, среднее 5 и 6 равно 5,5, поэтому обеим величинам присваиваем соответствующие ранги.

Проверим правильность составления матрицы рангов на основе исчисления контрольной суммы по формуле (3):

$$\sum x_{ij} = \frac{(1+n) \cdot n}{2} = \frac{(1+8) \cdot 8}{2} = 36. \quad (3)$$

Суммы по столбцам  $X$  и  $Y$  равны между собой и контрольной суммой, значит, матрица рангов составлена правильно.

В шестой колонке найдем разность между рангами  $X$  и  $Y$ , полученные значения занесем в таблицу 1, после чего возведем их в квадрат и рассчитаем сумму квадрата разности рангов.

В ходе ранжирования совокупность значений по  $Y$  содержит связанные ранги, тогда коэффициент корреляции Спирмена вычисляется по формуле (4):

$$\rho_{x/y} = \frac{\frac{1}{6} \cdot (n^3 - n) - \sum_{i=1}^n d_i^2 - T_x - T_y}{\sqrt{\left[ \frac{1}{6} \cdot (n^3 - n) - 2 \cdot T_x \right] \cdot \left[ \frac{1}{6} \cdot (n^3 - n) - 2 \cdot T_y \right]}}, \quad (4)$$

где  $T_{xy} = \frac{1}{12} \cdot \sum_{j=1}^k (t_j^3 - t_j)$ ;

$t_j$  – число одинаковых рангов в  $j$ -м ряду.

$$T_x = \frac{1}{12} \cdot \sum_{j=1}^k (0 - 0) = 0;$$

$$T_y = \frac{1}{12} \cdot \sum_{j=1}^k (2^3 - 2) + (2^3 - 2) = 1,$$

где  $x$  – объем каждой группы одинаковых рангов в колонке  $d_x$ ;



$y$  – объем каждой группы одинаковых рангов в колонке  $d_y$ .

По известным значениям рассчитаем коэффициент корреляции Спирмена по (4):

$$\rho_{x/y} = \frac{\frac{1}{6} \cdot (8^3 - 8) - 109 - 0 - 1}{\sqrt{\left[ \frac{1}{6} \cdot (8^3 - 8) - 2 \cdot 0 \right] \cdot \left[ \frac{1}{6} \cdot (8^3 - 8) - 2 \cdot 1 \right]}} = -0,313 .$$

Так как коэффициент ранговой корреляции Спирмена равен - 0,313, то теснота связи между признаками считается слабой.

Проверим значимость коэффициента корреляции рангов Спирмена по формуле 2 при уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

$$t_p = -0,313 \cdot \sqrt{\frac{8 - 2}{1 - 0,313^2}} = -0,8,$$

Критическое значение коэффициента ранговой корреляции Спирмена ( $t_{кр}$ ) выберем из табличных значений критических точек распределения Стьюдента или рассчитаем при помощи Microsoft Excel через функцию «=СТЮДРАСПОБР ( $p$ ;  $r$ )», где  $p$  – уровень значимости  $\alpha$  (вероятность),  $r$  – количество степеней свободы.

$$t_{кр}(\alpha; k = n - 2) = (0,05; 6) = 2,4469 ;$$

$$t_p < t_{кр} \Rightarrow -0,8 < 2,44 .$$

Из полученного неравенства делаем вывод, что значение коэффициента корреляции считается статистически несущественным или вовсе отсутствует.

После произведенного корреляционного анализ с использованием непараметрического рангового критерия Спирмена было доказано утверждение, состоящее в том, что положительная тенденция к снижению количества пожаров, взятых на статистический учет, незначительна, либо вовсе не оказывает влияния на гибель сотрудников пожарной охраны. В связи с этим необходимо провести анализ причин гибели пожарных, который представлен на диаграмме (рисунок 8), из которой видно, что на первой позиции стоят причины, связанные с выполнением боевых действий в непригодной для дыхания среде 25 %.

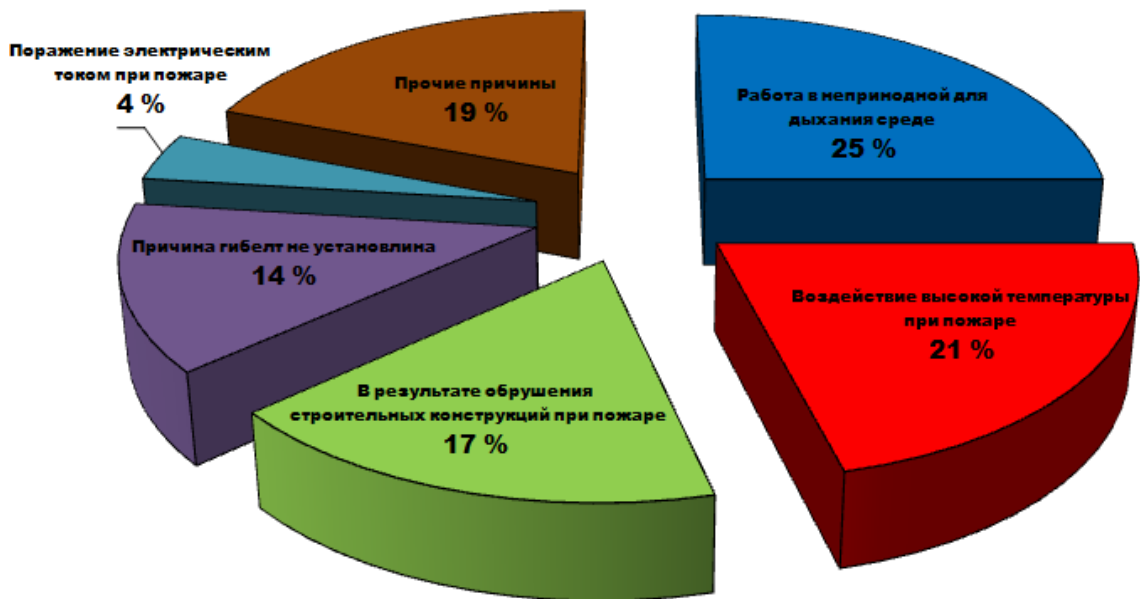


Рисунок 8 – Распределение причин гибели пожарных

Вторую позицию причин гибели занимает воздействие высокой температуры при пожаре – 21 %, к третьей позиции можно отнести гибель пожарных в результате обрушения строительных конструкций – 17 %.

Борьба с пожарами и устранение их последствий – трудоемкий процесс, при этом большинство случаев его успешной ликвидации и спасения людей происходит в непригодной для дыхания среде. Работа в такой среде является основным видом деятельности, требующей реализации мероприятий по обеспечению пожарной безопасности, направленной на повышение эффективности деятельности подразделений пожарно-спасательных гарнизонов по тушению пожара и проведению аварийно-спасательных работ и совершенствование средств и методов тушения пожара в условиях непригодной для дыхания среды и недостаточной видимости [64].

Таким образом, специфика тушения пожара в непригодной для дыхания среде определяет актуальность постановки задачи, состоящей в разработке моделей и алгоритмов поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на основе мониторинга параметров безопасности [85, 115, 116, 117, 121].

## **1.2 Ретроспективный анализ средств индивидуальной защиты**

Сегодня трудно представить процесс пожаротушения без использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения. Пожарные на горьком опыте оценили опасность пожаров и реальные проявления его опасных факторов: токсичных продуктов горения (дым), повышенной температуры окружающей среды, пониженной концентрации кислорода и др. [127]. Из истории пожарной охраны известны многочисленные случаи гибели пожарных от воздействия на них агрессивной среды пожара в результате отсутствия средств защиты кожных покровов и органов дыхания, а также сформированной системы поддержки управления безопасностью. В конце XIX века на пожаре за обеспечение безопасности спасательных работ, эвакуацию имущества, разборку строительных конструкций зданий и сооружений отвечали «топорники» [113]. Они и определили, что именно задымленная среда таила в себе огромную опасность как для пожарных, так и для спасаемых людей.

### **1.2.1 Средства индивидуальной защиты респираторного типа**

На начальных этапах своего развития средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения респираторного типа обеспечивали в большей степени механическую защиту, то есть использовались примитивные приспособления, которые позволяли задерживать крупные частицы грязи, пыли, продукты горения, находившиеся в атмосфере при пожаре. Со временем пожарные начали понимать, что самую главную опасность в себе таит газ, который выделяется с дымом на пожаре. Развитие различных отраслей науки оказывало непосредственное влияние на совершенствование защитных средств органов дыхания. Наиболее известные и распространенные средства индивидуальной защиты респираторного типа с точки зрения технического и управленческого этапа развития представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Развитие средств индивидуальной защиты респираторного типа

№	Год	Изобретатель	Техническое развитие	Управленческое развитие
1	2	3	4	5
1	XVI (1600)	Леонардо да Винчи	Предложил использовать смоченную ткань, которую использовали моряки на морском флоте. Она предназначалась для защиты от токсичных выделений порошка, применяемого в корабельном оружии.	Отсутствует
2	1700– 1800	Пожарные	Пожарные неспроста отращивали густые усы и бороду. Эта хитрость позволяла им задерживать крупные частицы дыма. Также они использовали различные приспособления в виде мокрых губчатых повязок и несколько слоев тряпок. Такое решение способствовало охлаждению раскаленного воздуха на пожаре, а пористая структура задерживала большую часть макрочастиц дыма.	Качественный анализ безопасности, основанный на собственных чувствах
3	1700– 1800	Изобретатели из Австро-Венгрии	Маска, основным направлением которой была защита от дыма (респиратор защищал органы дыхания, а для защиты глаз использовали очки). В состав респиратора входила пористая структура, выполненная из губчатого материала, который подвергался химическому воздействию. Устройства широко использовались как альтернатива примитивным средствам защиты от дыма [113].	Качественный анализ безопасности, основанный на собственных чувствах
4	1847	Льюисом П. Хэслеттом из Луисвилла, штат Кентукки	Респиратор «Защитник легких» получил первый американский патент на устройство, очищающее воздух, в котором появились два односторонних створчатых клапана, а фильтр состоял из простейших материалов (шерсть, пористое вещество) [15, 19, 20, 113].	Контроль за состоянием личного респиратора
5	1854	Шотландский химик Джон Стэнхаус	Газовая маска, особенностью которой являлся фильтр, выполненный из различных форм угля. К естественному способу фильтрации добавляется химический.	Качественный анализ безопасности, основанный на собственных чувствах
6	1874	Британский физик Джон Тинделл	Респиратор пожарного, который сочетал в себе лучшие качества всех существующих на тот момент схожих устройств респираторного типа. Провел экспериментальные исследования по эффективности работы респиратора в дымовой среде [19, 50].	Первые публичные экспериментальные исследования

1	2	3	4	5
7	1874	Лондон, Сэмюэль Бартон	Устройство, обеспечивающее свободное дыхание в непригодной для дыхания среде с кратковременным временным ресурсом действия, что являлось на тот момент времени более сложным устройством с замкнутым циклом дыхания. Изобретение содержало в себе фильтр с частицами извести различной дисперсности. Это позволяло удалять лишний углекислый газ из дыхательной системы. Маска выполнена из резиновых элементов, а стеклянные окуляры защищали от теплового излучения и дыма на пожаре [19, 50].	Появляется простейшая многоуровневая защита (от дыма, от теплового излучения, защита органов зрения)
8	1876	Германия, г. Берлин Бернхард Леб	Изобрел дыхательное снаряжение, состоящие из трех металлических емкостей. Эта конструкция закреплялась и носилась на талии пожарных. Внедренная конструктивная особенность в виде емкостей позволяла производить ступенчатую фильтрацию. На механической ступени фильтрации применялись различные гранулированные и пористые материалы. На химической ступени фильтрации применялись жидкие химикаты. Отфильтрованный воздух транспортировался по гибким шлангам к дыхательным каналам.	Появляется ступенчатая система фильтрации
9	1877	Джордж Нили	Получил патент на «Дымоизолирующую маску». Она отличалась от других изобретений местом расположения фильтра. Вначале он закреплялся на груди, далее был усовершенствован и закреплялся непосредственно на лицевой части маски [50].	Качественный анализ безопасности, основанный на собственных чувствах
10	1879	Хадсон Херт	Запатентовал респиратор, напоминающий своей формой глубокую чашу. Такое конструктивное решение обеспечивало защиту верхних дыхательных путей, однако такое устройство не было предназначено для целей пожаротушения, поэтому широко применялось в промышленной отрасли [50].	Качественный анализ безопасности, основанный на собственных чувствах
11	1902	США, штат Миннесота Луис Мюнц	Изобрел противогаз, полностью покрывающий голову работающего в нем человека. В качестве фильтра использовался адсорбент, основанный на углероде.	Защита кожных покровов и органов дыхания

Средства индивидуальной защиты респираторного типа можно отнести к ветви развития примитивных устройств, на этапе которых управление и ее функции слабо прослеживаются либо вовсе отсутствуют, поэтому при работе в условиях непригодной для дыхания среды на пожарах управление собственной безопасностью осуществлялось только на основе личных ощущений и чувств пожарных (качественный анализ) (рисунок 9).

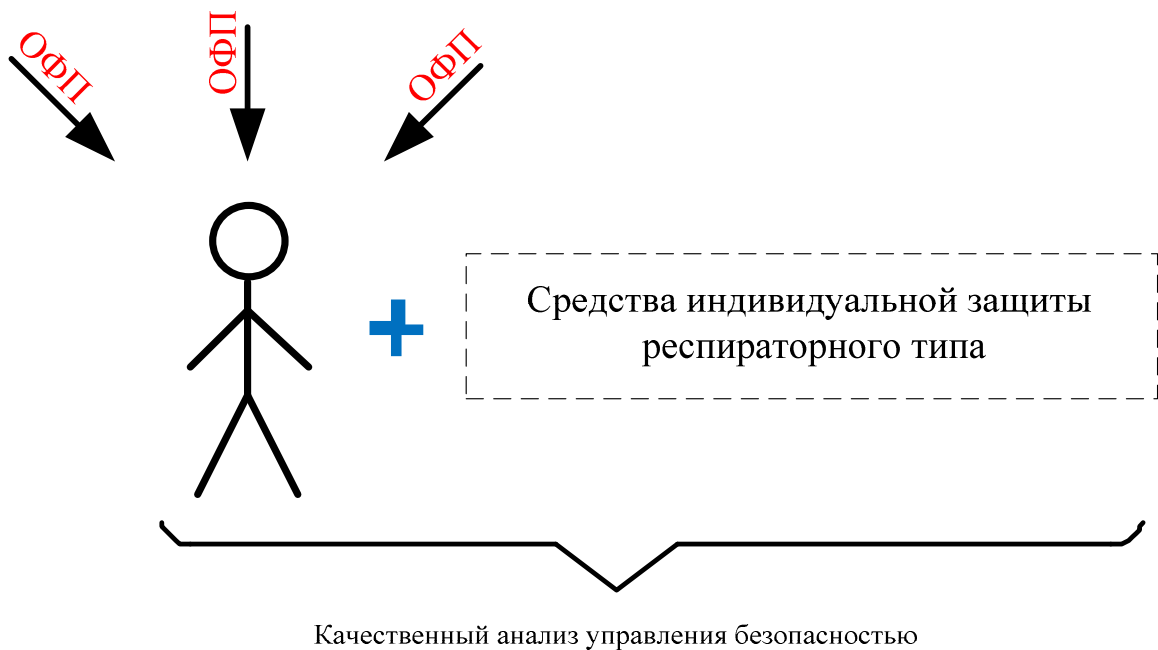


Рисунок 9 – Развитие управления на этапах примитивных средств защиты

Резюмируя вышеизложенное, можно сделать вывод, что на начальных этапах своего развития средства защиты органов дыхания и зрения респираторного типа были слабо развиты в техническом и управленческом направлении. Однако совокупность этих факторов стало побудительным мотивом в появлении следующего этапа развития средств защиты шлангового типа [51].

### 1.2.2 Средства индивидуальной защиты шлангового типа

На этапе развития СИЗОД с подачей воздуха по шлангу можно наблюдать появление первых функций, относящихся к управлению безопасностью на пожарах. Это в первую очередь связано с развитием технических устройств, в которых появилась возможность передавать информацию от субъекта управления к объекту на короткие расстояния, и появлением первого прототипа поста безопасности. Ход развития средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения шлангового типа представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Развитие средств индивидуальной защиты шлангового типа

№	Год	Изобретатель	Техническое развитие	Управленческое развитие
1	2	3	4	5
1	1823	Джон Дин Чарльз Дин	Изобретение представляло собой медный шлем, в который через шланг нагнетали воздух насосом, а клапаны, расположенные в нижней части устройства, выпускали отработанный воздух наружу. Впоследствии это изобретение широко применялось в морском и водолазном деле [113, 137, 156].	Связь субъекта и объекта управления
2	1827	Компания Siebe Gorman	Изобретение представляло собой дымовой шлем с расширенными возможностями обзора за счет применения в конфигурации трех стекол. Воздух в шлем поступал за счет нагнетания воздуха от специальных мехов, которые располагались снаружи здания в безопасном месте от пожара [51, 136].	Передача информации на короткие расстояния через разговорное устройство. Появляется некое подобие поста безопасности
3	1899	Кениг (инженер – машинист пожарной части)	В изобретении инженера появляется способ препятствию воздействию прямых тепловых потоков на пожарных за счет создания водной завесы от оросителя, который крепится сверху маски. Появление переговорных устройств позволило соединить пожарного и наружную службу на длину равную шлангу для подачи воздуха [51, 113].	Появился способ передавать часть информации на расстоянии. Обеспечение собственной безопасности (индивидуальный уровень контроля)

1	2	3	4	5
4	1912	Джеймсон Халлоран	Запатентовал устройство, которое всасывало воздух и соединялось с пожарным рукавом. Изобретение подавало свежий воздух, всасывающийся под действием напора воды, проходящего через пожарный рукав, соединенный с наземным источником.	Появляется возможность управления несколькими пожарными.
5	1915	г. Гамбург Клеман (инженер)	Решил проблему нагревания нагнетаемого воздуха в шлем маски за счет циркуляции подаваемого воздуха внутри респираторного аппарата. Впервые использовал в устройствах защиты шлангового типа звуковой прибор, издававший сигнал при прекращении подачи воздуха или перегибе шланга [51, 113].	Возможность самоконтроля и обеспечение персонального уровня безопасности через звуковой прибор.

С внедрением новых средств защиты в процесс тушения пожара появляются субъект и объект управления, для которых необходимо реализовывать основные функции управления: прогнозирование, планирование, организация, контроль, которые взаимосвязаны между собой и образуют управленческую деятельность, представленную на рисунке 10.

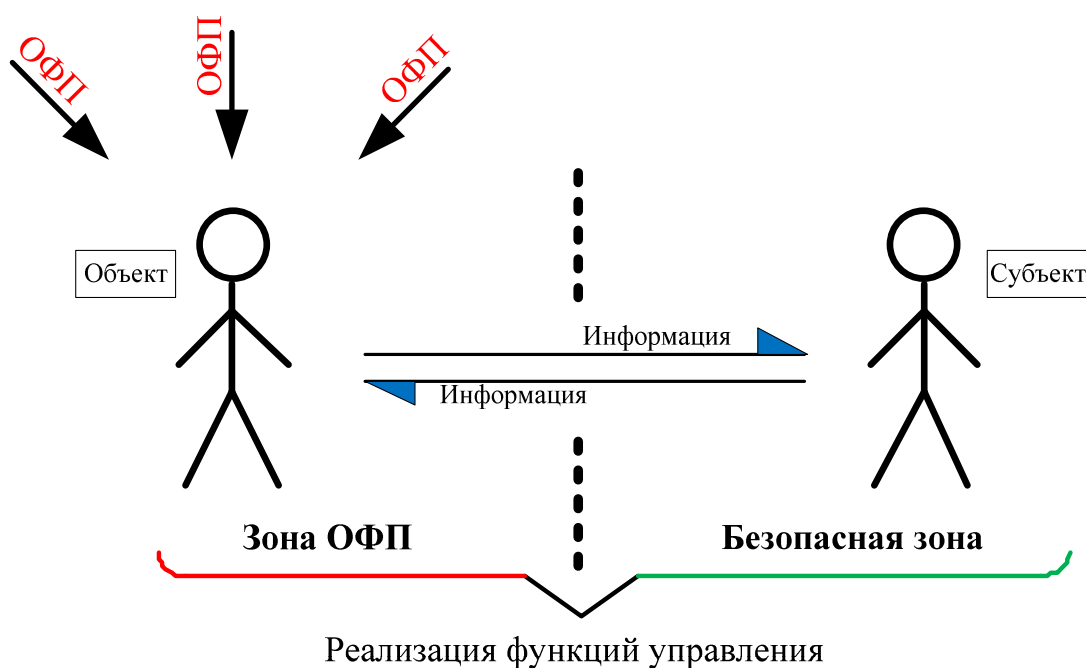


Рисунок 10 – Развитие управления на этапе шланговых средств защиты



В связи с необходимостью реализации функций управления для создания единого управленческого процесса в технической ветви появляется направление, связанное со средствами СИЗОД изолированного (автономного) типа.

### 1.2.3 Средства индивидуальной защиты изолированного (автономного) типа

Практический опыт работы с устройствами защиты пожарных от токсичных продуктов горения показал очевидную громоздкость и неуклюжесть средств защиты шлангового типа, что дало необходимый толчок и явилось побудительным мотивом к созданию новых средств защиты органов дыхания, а именно автономных устройств с собственным запасом дыхательных ресурсов. Многократные изменения тенденций развития дыхательных аппаратов были направлены на улучшение их технических данных, однако принципиальная схема работы аппаратов сохранилась до настоящего времени. Ход развития аппаратов данного типа представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Развитие средств индивидуальной защиты автономного типа

№	Год	Изобретатель	Техническое развитие	Управленческое развитие
1	2	3	4	5
1	1853	г. Бельгия, профессор Шван (Льежский университет)	Предложил конструкцию дыхательного аппарата со сжатым кислородом с замкнутым циклом дыхания «Аэрофор» (в переводе с греческого «доставляющий воздух»). Устройство стало прототипом всех современных кислородно-изолирующих противогазов [113].	Реализуются функции управления
2	1863	А. Лакур	Запатентовал изобретение «Улучшенный дыхательный аппарат», который позволял работать в непригодной для дыхания среде от 10 до 30 минут, что напрямую зависело от размера воздухопроницаемой сумки, выполненной из холста. Для защиты глаз использовалась пара очков, также в комплект устройства входил зажим для носа и свисток, который при нажатии на него подавал сигнал.	Приблизительный контроль времени работы. Средство персональной безопасности (сигнальное устройство)

1	2	3	4	5
3	1878	Генри Флейс (инженер и конструктор компании Siebe Gorman Co, Ltd.)	Дыхательные аппараты использовались для подводных и наземных работ. В качестве химического абсорбента для поглощения большей части $CO_2$ использовали наполнители, пропитанными калием (K), что позволяло использовать затрачиваемый ресурс воздуха в цикле дыхания несколько раз [51].	Реализуются функции управления
4	1881	Фирма Vajen Bader	Получила патент на изобретение «Защитник от дыма» [158], которое полностью покрывало голову пожарного, защищая его от высокой температуры, дыма, газа, пара, падающих обломков, ударов током. Характерным отличием шлема от его других предшественников является присутствие стеклоочистителя в каждом окуляре глаза, который поворачивался вручную. Сигнал о нештатной ситуации подавался при помощи свистка. На воздушном резервуаре с вентилем появляется измерительный прибор в виде манометра.	Контроль и планирование времени работы при помощи манометра, а также появляется сигнальное устройство в случаях нештатной ситуации
5	1893	г. Санкт-Петербург, Э. Гольцгауер	Получил от патентного ведомства России охранную грамоту-привилегию на изобретение «Универсальный автономный респиратор». В своем техническом устройстве инженер успешно решил проблему выпускного клапана, которая часто встречалась на схожих дыхательных аппаратах [15, 113].	Реализуются функции управления
6	1895	г. Вена, профессор Г. Гертнертом	В конструкцию автономного дыхательного аппарата внедрил дыхательный чехол, внутрь которого помещали емкость цилиндрической формы со сжатым до определенного давления кислородом и небольшой бак со щелочью [15, 113].	Реализуются функции управления
7	1896	Р. Горнер	Дыхательный прибор по техническим параметрам был достаточно эргономичен (имел небольшие габариты и меньше весил по сравнению с существующими аналогами), редукционный клапан обеспечивал бесперебойную подачу сжатого кислорода из баллона, что давало возможность пожарным работать в НДС при непродолжительных пожарах (до 10 минут) [102].	Реализуются функции управления. Эффективность аппарата заключалась на начальных стадиях развития пожара

На этапе развития СИЗОД изолированного (автономного) типа, который применяется и по сегодняшний день как наиболее эффективная техническая ветвь развития в пожаротушении, реализуется цикл управления, который представлен на рисунке 11.

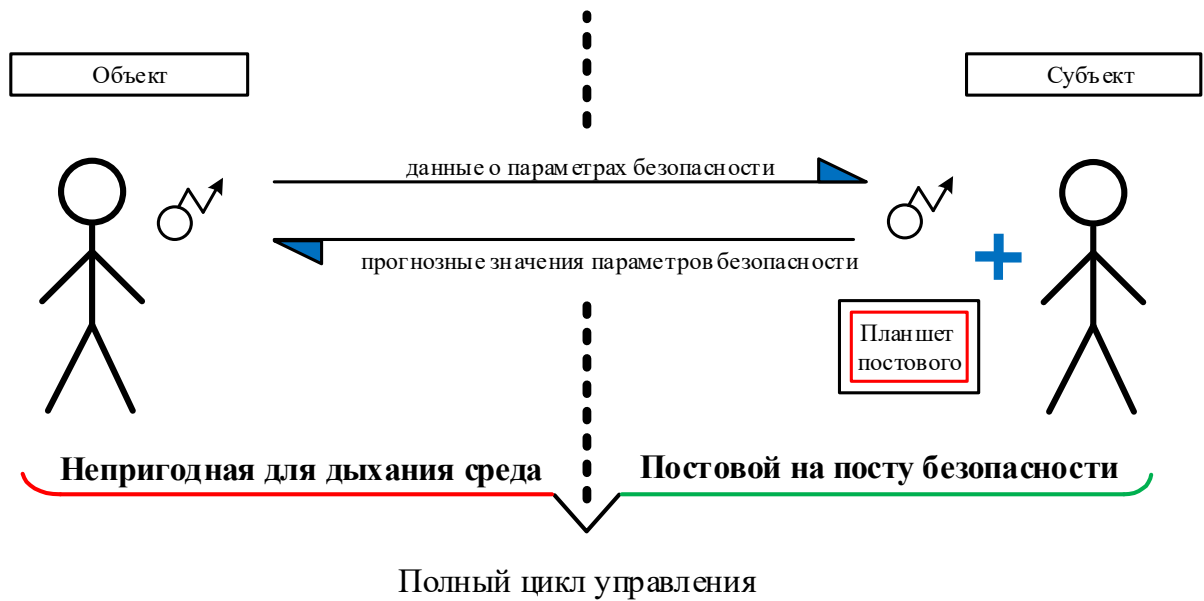


Рисунок 11 – Развитие управления на этапе автономных средств защиты

Появление методик расчета [75] позволяет производить субъекту управления расчет прогнозных значений параметров безопасности, которые основаны на средних значениях легочной вентиляции [17].

#### 1.2.4 Развитие средств индивидуальной защиты в СССР и России

Отметим, что отечественные разработки наряду с зарубежными изобретениями [136, 137, 156, 158] не теряли темпа своего развития. К одним из первых примитивных устройств можно отнести изобретение респираторного типа «Папагеоргия» [78], которое включало в себя губку, вырезанную по овалу лица и смоченную водой или слабым раствором уксуса для усиления свойств фильтрации.

Сильное влияние на развитие сферы фильтрующих средств защиты органов дыхания оказало военное время, а именно события первой мировой войны. В результате конверсии военные противогазы стали направлять на промышленные предприятия, что обеспечивало защиту органов дыхания и зрения гражданского персонала [78]. Среди советских ученых широко известна фамилия Зелинского Н.Д., который внес значительный вклад в развитие фильтрующих средств защиты [48]. Он один из первых предложил эффективную схему фильтрующего противогаза [78, 80], который обладал способностью поглощать широкий спектр отравляющих газов.

К одним из успешных отечественных разработок в области пожаротушения относятся противогазы кислородно-изолирующего типа (КИП): КИП-1 [59], КИП-5 [60], КИП-8 [67], Урал-1. Движение воздуха при дыхании пожарных осуществлялось по замкнутому циклу, всегда в одном направлении. Принцип работы узлов и механизмов устройств, их конструктивные составляющие описаны в [59, 60, 67, 78]. КИП оснащались простейшими средствами оповещения в виде звукового сигнала, который срабатывал при снижении запаса дыхательных ресурсов до минимального порога. Контроль за этими показателями мог осуществлять сам пожарный непосредственно через манометр, что обеспечивало безопасность на индивидуальном уровне.

К более современным разработкам относились аппараты со сжатым воздухом типа АСВ-2, в котором использовалась открытая схема дыхания, что являлось одним из главных отличий среди изолированных средств защиты органов дыхания [6]. Использование сжатого воздуха в дыхательном аппарате позволило значительно сократить случаи кислородного голодания (гипоксии) у пожарных при выполнении боевых задач. В период с 1950 по 1980 годы 85 % от общего количества всех средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения занимали КИП, при этом оставшиеся 15 % составляли дыхательные аппараты со сжатым воздухом (ДАСВ). Для решения возникающих современных задач того времени во ВНИИПО МВД СССР была создана лаборатория, которая в последующем была реорганизована в отдел средств индивидуальной защиты

пожарных. Прделанная работа лаборатории показала, что применяемые в пожарной охране КИП и ДАСВ не в полной мере удовлетворяли требованиям конструкций аппаратов и физиологическим показателям [9, 47]. Анализ условий работы газодымозащитников и проведенные расчеты показали, что необходимо оптимизировать КИП с постепенной заменой на ДАСВ с одним баллоном. Проведение сравнительного анализа практической деятельности функционирования газодымозащитной службы позволило определить среднюю продолжительность работы на пожарах в непригодной для дыхания среде, которая в девяти случаях из десяти была менее 60 минут [7, 8]. Такой показатель обосновал целесообразность использования ДАСВ, которые более просты и дешевле в эксплуатации. Устаревшие дыхательные аппараты заменили на более современные, отечественного производства [55, 56].

Ретроспективный анализ средств защиты органов дыхания показал [36], что по отношению к этапам развития системы управления безопасностью участников тушения пожара условно выделяются два направления развития (рисунок 12).

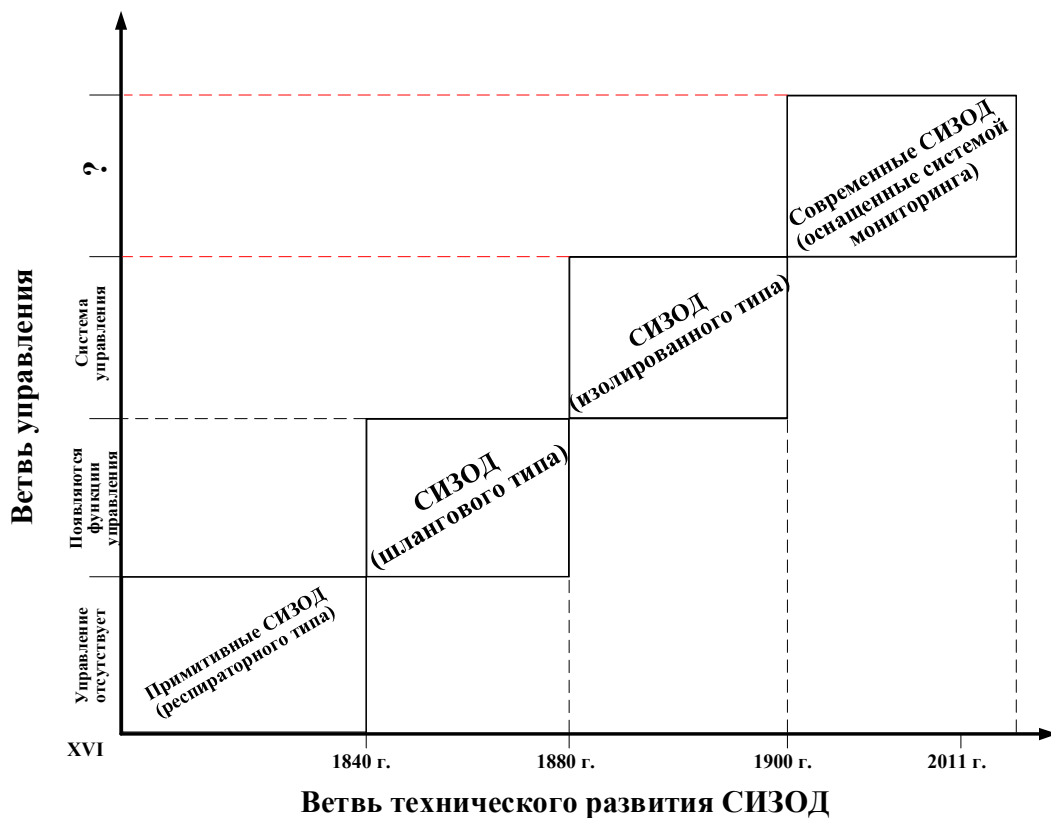


Рисунок 12 – Ретроспективный анализ средств защиты

Управленческий этап развития берет свое начало с самых примитивных средств защиты, и прослеживается до более сложных и развитых устройств. Перед инженерами и учеными на сегодняшний день стоит одна и та же задача, состоящая в разработке средств защиты, которые будут просты в использовании, эргономичны, надежны при эксплуатации, смогут обеспечить как можно больше времени автономной работы [5, 53, 65, 70, 71, 132]. Современное техническое состояние дыхательных аппаратов позволяет передавать дискретную информацию о состоянии параметров безопасности участников тушения пожара за счет дистанционных систем мониторинга. Однако для цифровой обработки данных нельзя применять средние значения легочной вентиляции, поэтому развитие моделей и алгоритмов в области поддержки управления безопасностью участников тушения пожара является на сегодняшний день актуальным вектором развития и совершенствования.

### **1.3 Информационное обеспечение безопасности участников тушения пожара**

На сегодняшний день основной технической ветвью развития для СИЗОД являются автономные дыхательные аппараты со сжатым воздухом, что видно из рисунка 12. Основные направления дальнейшего развития в этой области связаны с расширением технических возможностей состояния дыхательного аппарата, к которым можно отнести повышение эргономичности изобретений, снижение рыночной стоимости за счет применения композитных и более дешевых материалов, упрощение эксплуатационных характеристик, увеличение времени защитного действия дыхательного аппарата. Продолжительность защитного действия ДА является одним из наиболее важных ресурсов в управлении безопасностью газодымозащитников и напрямую связана с увеличением давления в баллонах дыхательных аппаратов [53, 132]. Это приводит к изменению конструктивных особенностей, что активно развивается как в отечественных [4], так и в зарубежных разработках [134].

С развитием информационных систем мониторинга [99, 109, 124] появляются новые возможности в поддержке управления безопасностью пожарно-спасательных подразделений при ведении работ в непригодной для дыхания среде. Встроенные в конструкцию дыхательных аппаратов приемно-передающие устройства (ретрансляторы) позволяют осуществлять мониторинг параметров безопасности участников тушения пожара на дистанции.

Системы мониторинга нашли широкое применение в различных сферах деятельности. Их используют на крупных производственных и промышленных объектах, производящих и перерабатывающих различные вещества и материалы, в медицине, космонавтике, военном деле и многих других отраслях.

В сфере пожаротушения к отечественным разработкам, осуществляющим мониторинг показателей безопасности газодымозащитников при работе в НДС, относится комплекс «Маяк спасателя» (МС) [103], который предназначен для поиска и обнаружения пожарных, работающих в непригодной для дыхания среде в случаях утраты возможности самостоятельного движения внутри здания. Мониторинг направлен на передачу дискретных значений параметров безопасности газодымозащитников, за которыми осуществляет контроль оператор системы. Работа с комплексом может осуществляться при тушении пожаров (непосредственная работа звеньев ГДЗС) и в зоне чрезвычайных ситуаций [103]. Комплекс содержит пост управления, выполненный в виде мобильной приемно-передающей станции (МППС), и индивидуальные передатчики (не более пяти в одном комплекте устройства), работающие совместно с дыхательными аппаратами, на которых размещена система определения и индикации давления (СОИД). Индивидуальный передатчик подает питающее напряжение на СОИД, за счет чего определяется текущее давление в баллоне дыхательного аппарата и рассчитывается время, оставшееся до окончания запаса дыхательных ресурсов. Значения передаются на мобильную приемно-передающую станцию, где отображаются на цифровых индикаторах [97]. Оператор МППС получает указанную информацию, на основе которой принимает управленческие решения и по радиосвязи передает команды звену газодымозащитной службы.

Индивидуальный передатчик возможно закреплять на спасательном поясе пожарного, элементах боевой одежды, лямках дыхательного аппарата [103]. Однако такое размещение устройства заставляет газодымозащитников производить дополнительные движения, чтобы считать с него информацию о текущих значениях контролируемых параметров оператором системы. Определение прогнозных значений параметров безопасности основано линейным алгоритмом с использованием математического оператора «МАХ», т.е. из множества дискретных значений, получаемых от систем мониторинга, выбираются наибольшие параметра числа в переданном в качестве аргументов диапазоне и возвращает соответствующее значение. Применение такого алгоритма не позволяет в полной мере производить цифровую обработку данных, что негативно влияет на процесс поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде.

Отечественными разработками, связанными с мониторингом параметров безопасности, занимается компания НФП «ГРАНЧ» [135], которая специализируется на средствах автоматизации, связи и безопасности для угледобывающей промышленности. Основным направлением деятельности компании является разработка средств связи, сбора и обработки информации, развитие автоматизированных средств управления. Свои изобретения компания успешно внедряет в отрасль горнодобывающих предприятий, при этом используя средства позиционирования в шахтах на большой глубине как для самих горняков, так и для горноспасателей. Система позиционирования позволяет определять местоположение пострадавшего шахтера с погрешностью один метр в развитой системе ходов и выходов шахт, что значительно снижает время на поиск пострадавших.

Также к наиболее известным разработкам компании можно отнести многофункциональный шлем пожарного «ХИЩНИК», который работает в системе беспроводной связи быстрого развертывания «ГОРНОСТАЙ» [135]. По беспроводным каналам связи обеспечивается передача видеосвязи и данных позиционирования, при этом голосовая связь работает в постоянном режиме.



Комплектация шлема обеспечена современными технологиями и функциональными возможностями, которые описаны в работе [135].

К современным разработкам компании относится «Комплекс информационного обеспечения спасательных операций» [135], который включает в себя: мобильную базовую станцию, мобильный командный пункт, многофункциональный шлем. На мобильный командный пункт установлен комплект программного обеспечения, которое состоит из средств визуализации позиции каждого спасателя отделения относительно горных выработок в реальном времени и его физических параметров (пульс, температура тела), средств голосовой связи с отделением, средств приема видеопотоков видеофиксации. Такой набор элементов позволяет осуществлять в режиме реального времени полный контроль действий и управлять безопасностью каждого спасателя.

К зарубежным системам мониторинга параметров безопасности относится PASS device (Personal Alert Safety System) [148–151], что в переводе с английского обозначает «предупреждающая система личной безопасности», также данное устройство известно как ADSU (Automatic Distress Signal Unit) [148–151] – блок автоматического сигнала бедствия. Как правило, данные изобретения относятся к устройствам, основой которых является датчик неподвижного состояния. Питание модуля производится за счет аккумуляторной батареи. Назначение PASS device заключается в оповещении пожарных в случае отсутствия движения в течение установленного времени или нештатной ситуации на пожаре. Приспособление издает громкий звуковой сигнал в диапазоне до 95 децибел. В случае срабатывания этого сигнала пожарные по звуковому и световому сигналу должны прийти на помощь. Первые устройства работали только в ручном режиме, но развитие техники и технологий позволило производить автоматизированные образцы, которые при отсутствии движения у пожарных по истечении заранее установленного времени (как правило, это 30 секунд) автоматически включают звуковой сигнал, так как система предполагает, что пожарный получил травму, несовместимую с движением, либо

он попал в нештатную ситуацию. Некоторые устройства имеют в своем конструктивном исполнении специальный предохранитель, который начинает мерцать инфракрасным лучом некоторое время при отсутствии движения у пожарного для того, чтобы его предупредить о ложном срабатывании устройства.

Современные системы мониторинга активно внедряют в сферу пожарной безопасности, на что указывают результаты работ [57, 58, 131, 138–148, 152–159]. Во время пожарно-спасательных операций мониторинговые системы часто используют для передачи данных о параметрах безопасности пожарных. Поступающая информация позволяет совершать лицу, принимающему решение, управляющие воздействия над работающими и резервными подразделениями.

Однако между существующими подходами в управлении безопасностью участников тушения пожара при работе в НДС [54, 75, 79, 103] и системами мониторинга возникают калькуляционные противоречия. С одной стороны, существуют системы дистанционного контроля условий работы пожарных отечественных и зарубежных производителей. Все они состоят из стандартного набора элементов, а именно дыхательного аппарата с внедренным в его конструкцию устройством сбора и передачи данных, устройством ретрансляции данных и приемной станции, на которой отображаются текущие значения контролируемых параметров для работы оператора системы. Специфика тушения пожара предусматривает необходимость принятия решений для управления безопасностью по прогнозным значениям параметров безопасности. Данная функция у систем дистанционного контроля развита слабо или отсутствует.

С другой стороны, существуют программные средства, позволяющие осуществлять цифровую обработку параметров безопасности [97], которые представлены в работах и запатентованных программах ЭВМ [104, 108, 118, 119]. Недостатками таких программ являются большой объем поступающей информации, который необходимо оперативно обрабатывать в режиме реального времени, на что накладывается стрессовая обстановка ввиду постоянного контроля оператора за изменением параметров безопасности и ручного ввода поступающих данных. Все эти недостатки приводят к дестабилизации системы

управления в постоянно меняющейся обстановке на пожаре, что оказывает негативное влияние на процесс поддержки управления УТП.

В настоящее время отсутствуют модели и алгоритмы, которые бы объединили в себе возможности современных систем мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара и программные возможности для реализации современных подходов в управлении. Однако существуют аналоги, которые используются без систем мониторинга как специальное программное обеспечение для звена ГДЗС [118, 119]. К такому аналогу относится «Калькулятор ГДЗС», который предназначен для работы постового на посту безопасности. Данное программное средство не подходит для решения задач мониторинга, так как информация, которую получает постовой от ДА, определяется скоростью падения давления, где данные программы рассчитаны на средние значения легочной вентиляции, что не подходит для решения средств мониторинга.

Очевидно, что внедрение аналогичных программ в систему контроля позволит исключить ручной ввод данных и получать необходимые для качественного управления прогнозные значения параметров безопасности, что является синергетическим эффектом для программно-технического решения.

В классической методике расчетов используют детерминированную модель [75, 79], которая оценивает следующие параметры безопасности:

- общее время пребывания в НДС;
- время работы у очага пожара;
- времени подачи команды на возвращение звена ГДЗС из НДС;
- контрольное давление на выход.

Изначально расчеты в непригодной для дыхания среде производились по методике [79], в которой использовались средние значения легочной вентиляции, в зависимости от степени тяжести выполняемых работ [114]. Это говорило о том, что при выполнении работ различной сложности на пожаре расход воздуха у всех участников тушения пожара составлял одну и ту же величину, вне зависимости от индивидуальности легочной вентиляции. В настоящее время расчеты параметров

работы в СИЗОД производятся по методике [75], средний расход воздуха в которой составляет 40 л/мин, при этом вид работ уже не учитывается.

Для детального анализа детерминированной модели рассмотрим пример, в котором «Звено ГДЗС включилось в дыхательные аппараты со сжатым воздухом, в комплект которых входят 2 баллона вместимостью по 4 л каждый, в 16 часов 20 минут. Давление воздуха в баллонах в это время составляло 300, 280, 270 кгс/см<sup>2</sup>. За время продвижения к месту работы в четырехэтажном административном здании оно снизилось соответственно до 260, 250, 255 кгс/см<sup>2</sup>. Время прибытия к очагу пожара – 16 часов 25 минут. Требуется определить ожидаемое время возвращения звена ГДЗС из НДС, время работы у очага пожара и контрольное время подачи команды постовым на возвращение звена ГДЗС из НДС» [75].

Так как звено двигалось до очага пожара 5 минут, за это время давление у газодымозащитников снизилось на:

$$P_{\max}^{nad} = P_{вкл} - P_{оч}; \quad (5)$$

$$P_{\max 1}^{nad} = 300 - 260 = 40(атм);$$

$$P_{\max 2}^{nad} = 280 - 250 = 30(атм);$$

$$P_{\max 3}^{nad} = 270 - 255 = 15(атм).$$

Зная значения, построим график зависимости давления от времени для каждого газодымозащитника, где  $G$  – расход воздуха (рисунок 13).

В ходе решения данной задачи по классической методике контрольное давление на выход составит 70 атм., общее время работы 47 минут, а время работы у очага пожара 32 минуты [75]. При этом звено не сможет проработать рассчитанное время, так как на 28 минуте необходимо будет подавать команду на выход по показанию манометра третьего газодымозащитника, а значит, поставленная задача не будет выполнена в полном объеме. Исходя из рисунка 13, видно, что условия безопасной работы не выполняются, поэтому необходимо учитывать индивидуальный расход воздуха для каждого газодымозащитника.

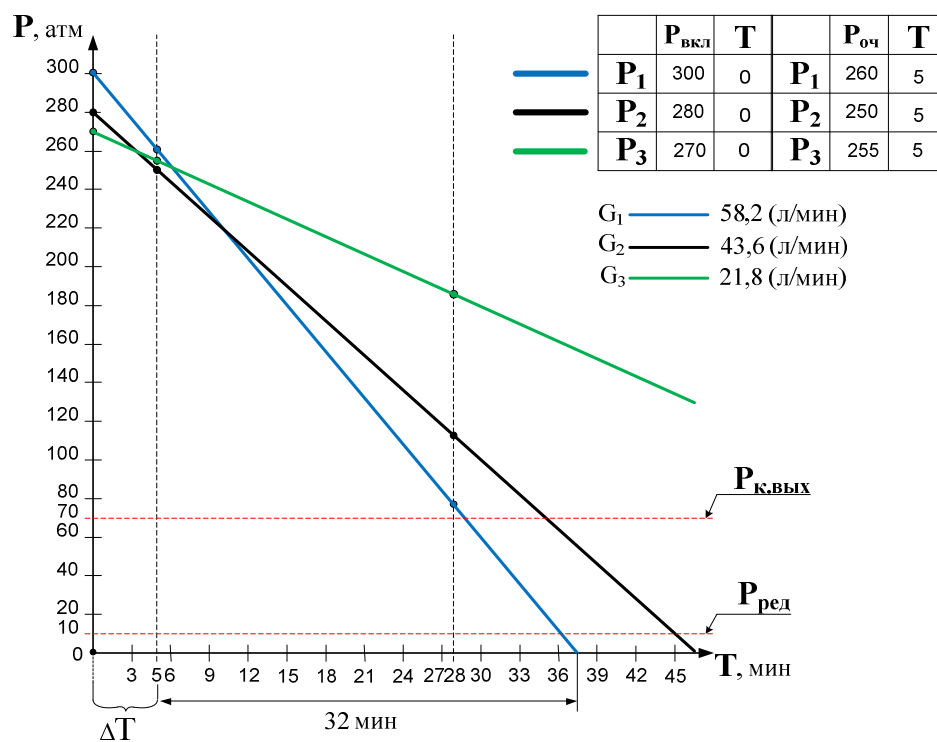


Рисунок 13 – Индивидуальный расход воздуха газодымозащитников

Если использовать детерминированную модель в соответствии с методикой [75], то можно построить график по среднему значению расхода воздуха (рисунок 14), в котором условия безопасности выполняются.

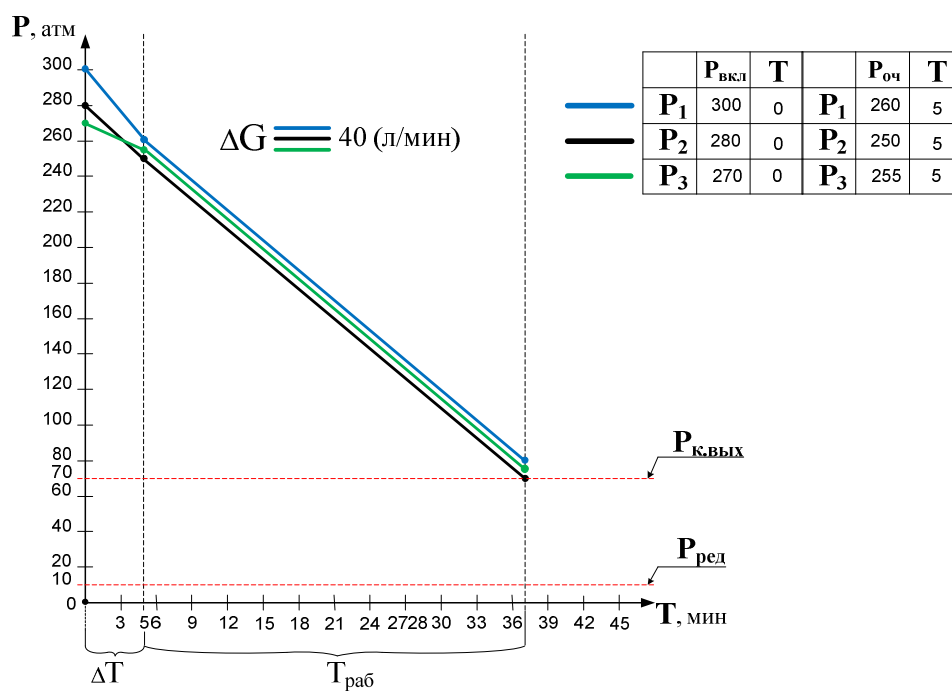


Рисунок 14 – Средний расход воздуха газодымозащитников

Анализ рисунков 13 и 14 показал, что поддержка управления безопасностью газодымозащитников должна основываться на индивидуальном расходе воздуха.

При использовании средств мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара используют методику расчета, изложенную в [103], которая математически представлена линейным алгоритмом. Данные для работы этого алгоритма поступают в режиме реального времени от системы определения и индикации давления, которая внедрена в конструкцию дыхательного аппарата. Система определяет текущее давление  $P_{тек}$  в баллоне дыхательного аппарата и рассчитывает время  $T$  до конца израсходования запаса дыхательных ресурсов, при этом математическая основа СОИД первые несколько минут ведет расчеты по формуле:

$$T = \frac{P}{K}, \quad (6)$$

где  $P_{тек}$  – текущее давление в баллоне дыхательного аппарата;

$K$  – коэффициент потребления.

Коэффициент  $K$  первые несколько минут равен  $K = K_0 = 5$  (бар / мин), в дальнейшем  $K$  вычисляется по формуле:

$$K_{тек} = MAX(K_0; K_{тек.MAX}), \quad (7)$$

где  $MAX$  – оператор, возвращающий из совокупности  $K_i, i = 1, n$  максимальное значение.

Значения давления и времени отображаются на индикаторе СОИД и передаются на пост управления МППС в виде цифровых значений. На основе этой информации производится поддержка управления по обеспечению безопасных условий работ в НДС.

Для детального анализа расчета, используемого в методике [103], рассмотрим модельный пример, в котором газодымозащитник «включился» в дыхательный аппарат, оборудованный СОИД, и выполнял работу в течение 15 минут. Информация о расходе дыхательных ресурсов поступала на мобильную приемно-передающую станцию каждую минуту. Фактические и расчетные значения давления представлены в таблице 5.

На основе данных таблицы 5 построим график фактического расхода дыхательных ресурсов ( $\text{атм}\cdot\text{мин}^{-1}$ ) для газодымозащитника (рисунок 15) и график расхода дыхательных ресурсов ( $\text{атм}\cdot\text{мин}^{-1}$ ) с использованием СОИД (рисунок 16).

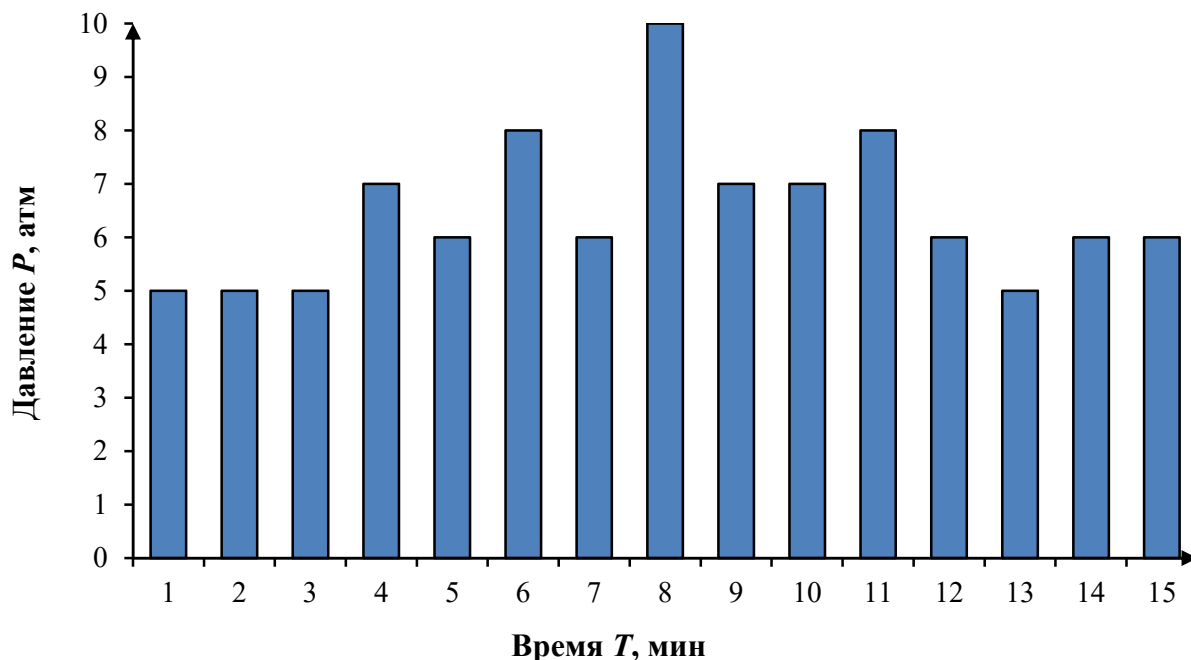


Рисунок 15 – Фактический расход дыхательных ресурсов

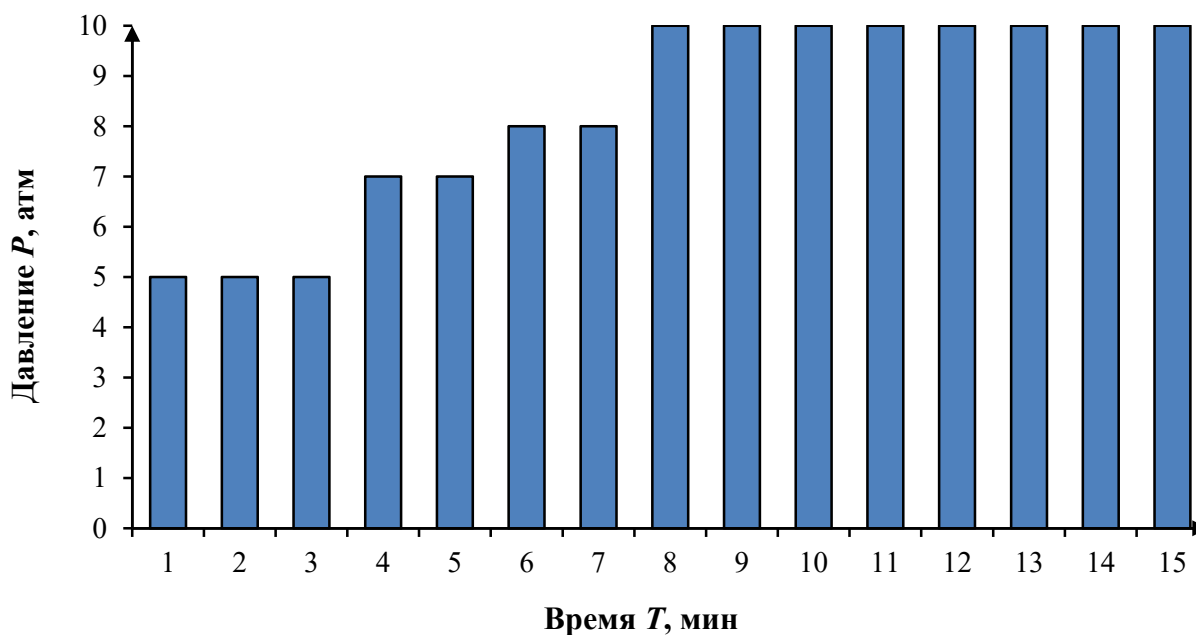


Рисунок 16 – Расчетный расход дыхательных ресурсов в СОИД

Таблица 5 – Расход дыхательных ресурсов в минуту (системы СОИД)

<i>T</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>P<sub>фак</sub></i>	5	5	5	7	6	8	6	10	7	7	8	6	5	6	6
<i>P<sub>расч</sub></i>	5	5	5	7	7	8	8	10	10	10	10	10	10	10	10
$\Delta P$	0	0	0	0	1	0	2	0	3	3	2	4	5	4	4

Разность в расчетном и фактическом расходе дыхательных ресурсов вычисляется по формуле (8) и представлена на рисунке 17.

$$\Delta P = P_{расч} - P_{фак}, \quad (8)$$

где  $P_{расч}$  – расчетный расход дыхательных ресурсов в СОИД (атм·мин<sup>-1</sup>);

$P_{фак}$  – фактический расход дыхательных ресурсов (атм·мин<sup>-1</sup>).

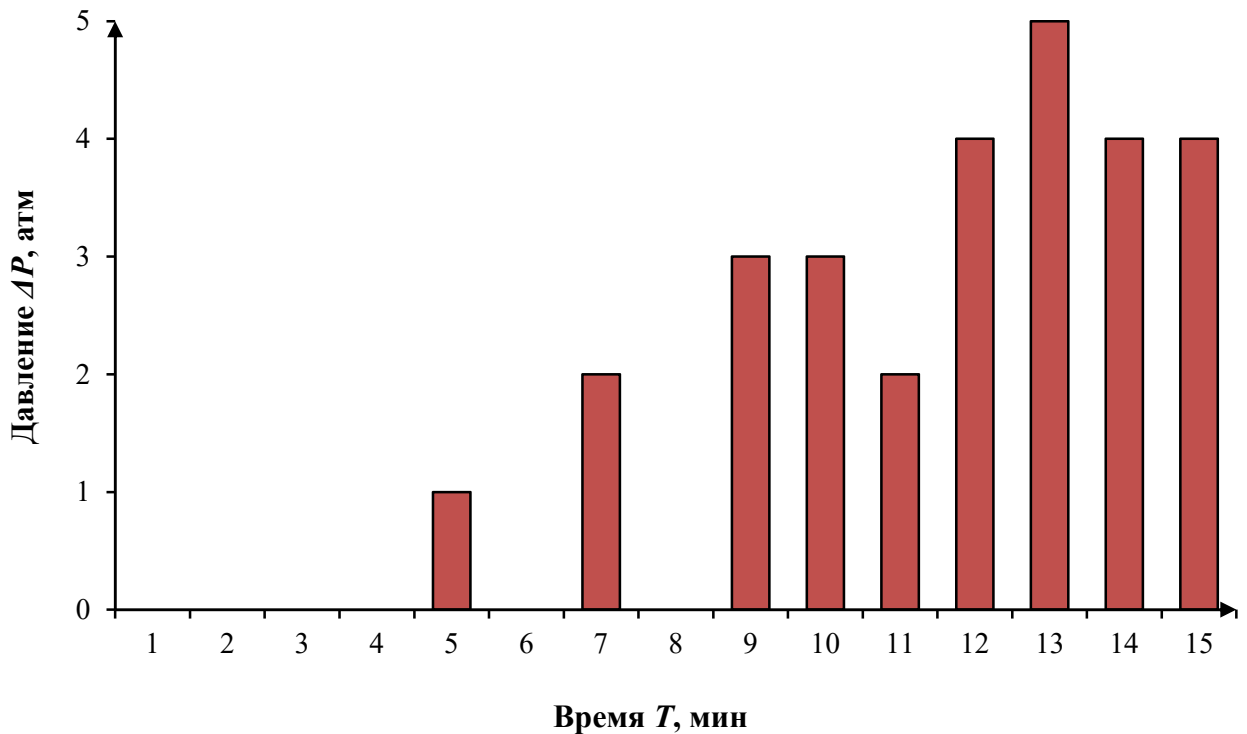


Рисунок 17 – Неточности прогнозирования расхода дыхательных ресурсов СОИД



Рассчитаем кумулятивную сумму для значений  $P_{\text{расч}}$ ,  $P_{\text{фак}}$ ,  $\Delta P$  и представим их в таблице 6. На основе данных таблицы 6 построим графики кумулятивной суммы для значений  $P_{\text{расч}}$  и  $P_{\text{фак}}$  (рисунок 18) и для кумулятивной суммы  $\Delta P$  (рисунок 19).

Таблица 6 – Кумулятивная сумма расхода дыхательных ресурсов

$T$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$P_{\text{фак}}$	5	10	15	22	28	36	42	52	59	66	74	80	85	91	97
$P_{\text{расч}}$	5	10	15	22	29	37	45	55	65	75	85	95	105	115	125
$\Delta P$	0	0	0	0	1	1	3	3	6	9	11	15	20	24	28

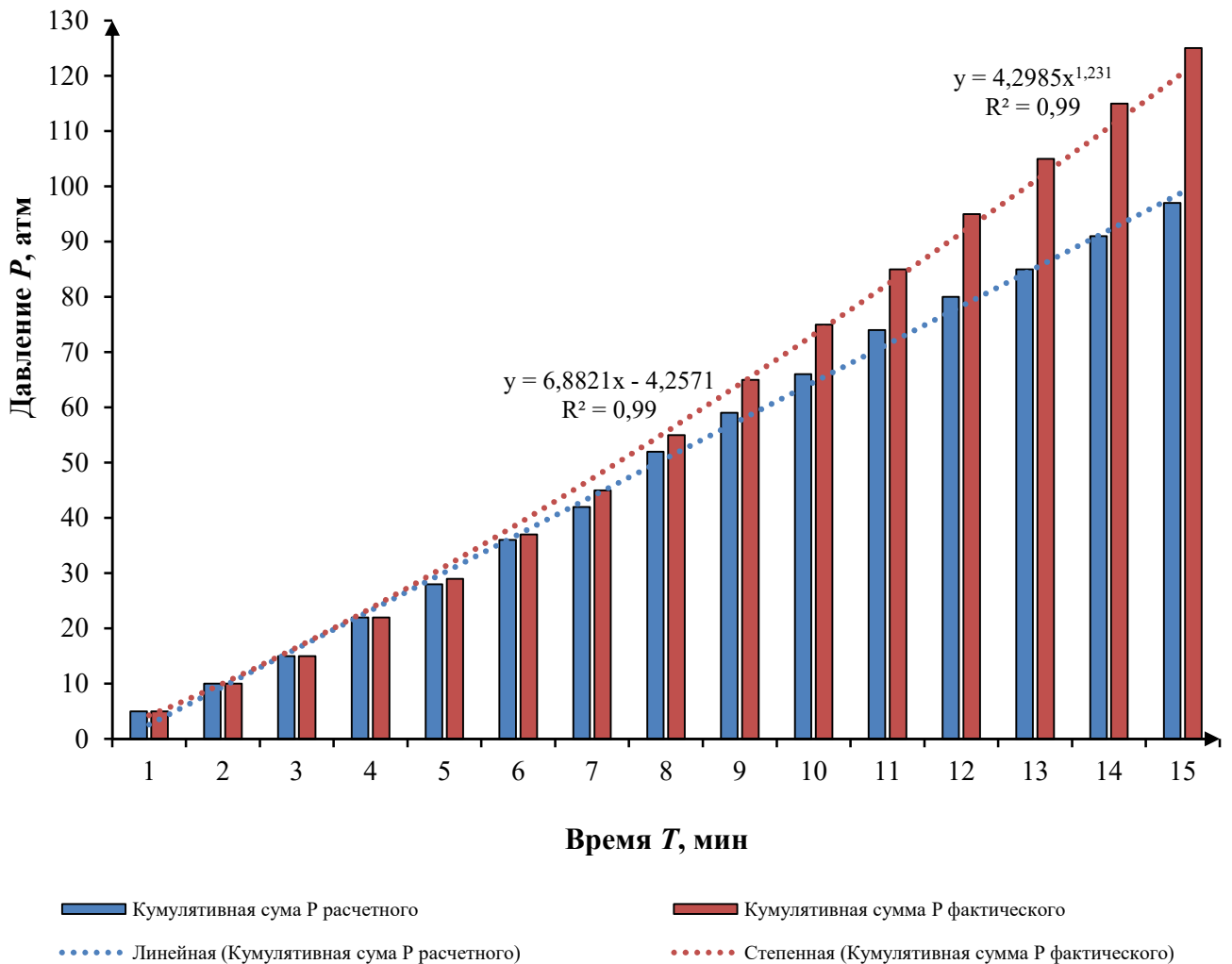


Рисунок 18 – Кумулятивная функция расхода дыхательных ресурсов для  $P_{\text{расч}}$  и  $P_{\text{фак}}$

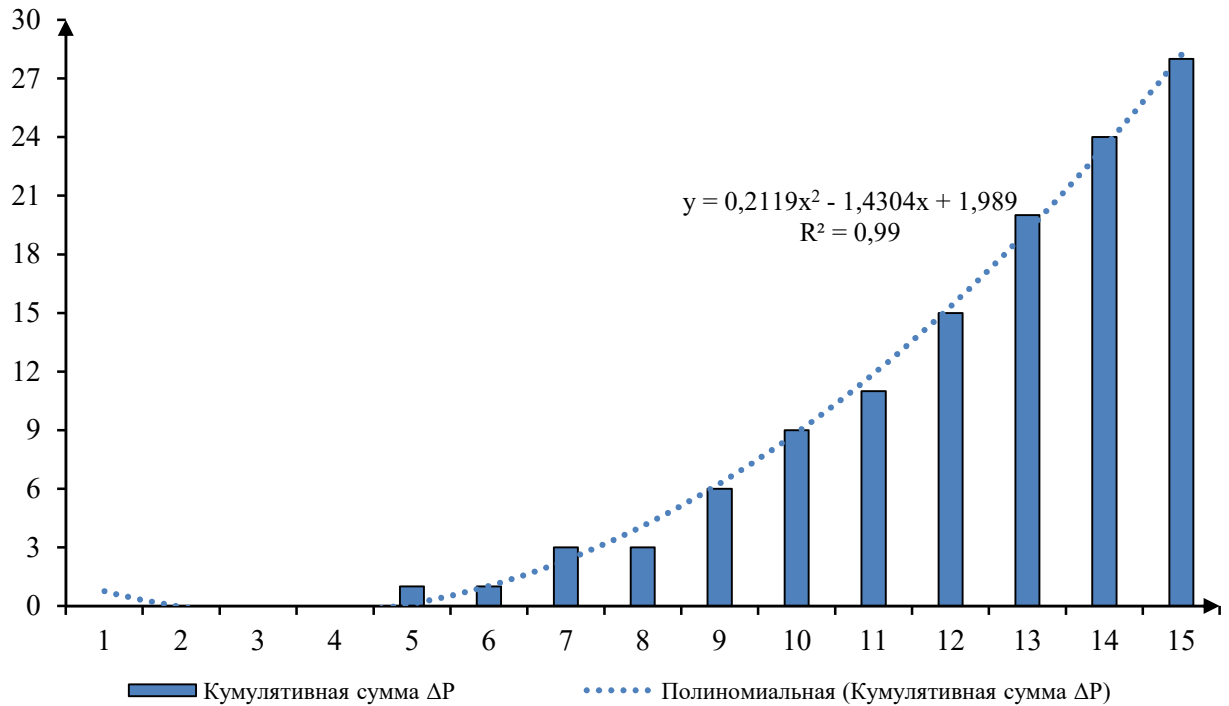


Рисунок 19 – Кумулятивная функция расхода дыхательных ресурсов для  $\Delta P$

Анализ полученных данных, представленных на рисунках 15–19, показал, что расхождения в линейном алгоритме моделирования [103] незначительны при кратковременных работах (5–7 минут), однако с увеличением продолжительности работ расхождения в расчетах существенно растут. Поэтому такие модель и алгоритм неприемлемы для объективной оценки прогнозируемых параметров безопасности для случаев работы на пожарах в сложных условиях, в таких условиях необходимо учитывать математическую структуру результатов мониторинга и применять модель управления, основанную на теории принятия решений в условиях риска и неопределенности.

#### 1.4 Постановка задачи исследования

Проведенный анализ со всей остротой показал актуальность задач поддержки управления безопасностью участников тушения пожара. В результате анализа выявлено, что процесс эффективного использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения ограничен временем их

защитного действия. При этом в существующей системе обеспечения безопасности, с одной стороны, управление безопасностью проводится только на качественном уровне с использованием ограниченного массива данных, с другой стороны, отсутствуют механизмы поддержки принятия решений, учитывающие структуру результатов мониторинга безопасности – количественной информации для принятия решений. Определен ряд требований к получению, обработке и отображению информации для принятия решений при поддержке управления безопасностью в количественном виде для ее дальнейшего использования в информационной системе.

Сформирована научная задача исследования, состоящая в разработке моделей и алгоритмов поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на основе мониторинга параметров безопасности.

Определено, что для решения научной задачи необходимо:

1. Разработать модели поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на основе теоретических аспектов управления риском реализации деструктивных событий.

2. Разработать алгоритм поддержки управления безопасностью участников тушения пожара на основе сравнения плановых и фактических параметров безопасности, получаемых посредством мониторинга.

3. Разработать алгоритм синтез информационных ресурсов плановых значений параметров безопасности участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде, необходимого для эффективной реализации моделей и алгоритмов поддержки принятия решений в единой структуре программного комплекса.

4. Разработать программный комплекс поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде, который позволит на своей основе объединить системы мониторинга параметров безопасности и получаемую от нее информацию для возможности практической реализации разработанных моделей и алгоритмов поддержки управления.

## 1.5 Выводы по первой главе

Таким образом, при решении первой задачи исследования, состоящей в анализе системы управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде, получены следующие результаты:

1. На основе коэффициента ранговой корреляции Спирмена проведен корреляционный анализ пожаров, взятых на статистический учет, и случаев гибели пожарных. Определены причины гибели участников тушения пожара, показано, что гибель пожарных при работе в непригодной для дыхания среде составляет 25 % от общего числа случаев.

2. Проведен ретроспективный анализ СИЗОД по отношению к развитию системы управления безопасностью УТП при работе в НДС. В результате анализа определены основные направления развития системы безопасности, среди которых в наибольшей степени актуальным направлением является методическое обеспечение процедур поддержки управления безопасностью.

3. Выполнен анализ существующих алгоритмов поддержки принятия решений при управлении безопасностью участников тушения пожара. Результаты анализа позволили выявить перспективные направления их совершенствования при применении в сложных условиях ведения действий по тушению пожаров.

4. На модельных примерах определено, что при развитии теоретических аспектов поддержки управления безопасностью участников тушения пожара необходимо учитывать структуру результатов мониторинга и применять методы теории принятия решений в условиях риска и неопределенности.

5. Сформулирован комплекс задач, направленный на разрешение существующего противоречия в системе управления безопасностью и моделями, и алгоритмами поддержки управления безопасностью участников тушения пожаров при работе в непригодной для дыхания среде. Разрешение данного противоречия является основанием для развития теоретических аспектов моделей и алгоритмов поддержки управления при обеспечении необходимого уровня безопасной работы участников тушения пожара.

## ГЛАВА 2 РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА

Во второй главе диссертации рассмотрен комплекс деструктивных событий, связанных с недостатком объема дыхательных ресурсов для выполнения различного рода работ в непригодной для дыхания среде. При работе в этих условиях под деструктивными понимаются события, реализация которых на практике может стать препятствием для успешного выполнения поставленных перед участниками тушения пожара задач, а в исключительных случаях приводить к их травмированию и/или гибели [73]. Разработаны теоретические положения поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при ведении работ в непригодной для дыхания среде на основе систем дистанционного мониторинга параметров безопасности. Для этих целей проведен анализ непрерывных случайных величин с учетом методологических основ, который позволил разработать концептуальную модель управления безопасностью участников тушения пожара. Предложенная модель обеспечивает мониторинг фактических и плановых значений риска реализации деструктивного события, связанного с недостатком дыхательных ресурсов при выполнении различного спектра работ в непригодной для дыхания среде. Основным достоинством разработанной модели в сравнении с существующей (детерминированной) является возможность варьирования интервальными значениями параметров безопасности, что позволяет использовать их плановые и фактические характеристики. На основе проведенных исследований разработан критерий безопасности и определены его нормативные значения для нормальных и сложных условий работ, практическая реализация которого позволит обеспечить выполнение современных требований к поддержке управлению безопасностью участников тушения пожара в части реализации цифровой обработки данных, получаемых от систем дистанционного мониторинга.

Проведено исследование модели управления безопасностью путем экспериментального исследования.

## 2.1 Концептуальные модели поддержки управления безопасностью

Современные системы дистанционного мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара и математическая структура данных, получаемых от таких систем, определяют необходимость развития методологической основы поддержки управления безопасностью пожарных при работе в непригодной для дыхания среде. Для решения научной задачи, состоящей в разработке моделей и алгоритмов поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде, на основе мониторинга параметров безопасности разработан метод расчета величины риска реализации деструктивных событий, связанных с недостатком объема дыхательных ресурсов для успешного выполнения работ в непригодной для дыхания среде.

Формально задача поддержки управления безопасностью сводится к определению риска реализации события, состоящего в том, что объема дыхательных ресурсов будет недостаточно для успешного выполнения работы за необходимый интервал времени. Для решения данной задачи сформированы в детерминированной и вероятностной постановке количественные критерии успешного выполнения комплекса работ в непригодной для дыхания среде. Введены понятия локального и интегрального риска реализации деструктивных событий, связанных со спецификой работы в непригодной для дыхания среде, критерия безопасности.

Разработанная вероятностная модель поддержки управления безопасностью [28, 31] построена на теоретических основах управления рисками при работе в непригодной для дыхания среде. Модель позволяет использовать в качестве исходных данных результаты мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара, достоинством которой является возможность варьирования интервальными значениями параметров безопасности путем изменения величины локального риска или критерия безопасности. Дополнительным полезным свойством модели является возможность линейного положительного

преобразования исходных вероятностных характеристик, что позволяет при ее практическом применении использовать не только плановые, но и фактические значения входящих в модель параметров.

Для решения научной задачи применяется разработанная вероятностная модель поддержки управления безопасностью [31] с учетом условий и ограничений временных ресурсов. Поддержка управления безопасностью при работе в НДС является неотъемлемой частью общей концепции управления силами и средствами пожарно-спасательных подразделений [115, 116, 117, 121].

Под термином *поддержка управления безопасностью* понимается процесс организации работ в непригодной для дыхания среде, направленный на исключение или снижение факторов, оказывающих неблагоприятное влияние на здоровье и работоспособность участников тушения пожара, на основе комплекса задач по созданию безопасных условий труда [39].

На практике работа в НДС ограничена временными ресурсами их выполнения, которые определяются временем защитного действия СИЗОД. Критерием управления безопасностью в данном случае является количественная оценка допустимого времени выполнения работ в непригодной для дыхания среде. В классических подходах для управления безопасностью используются детерминированные (аналитические) процедуры анализа количественных критериев [77, 85]. Однако в современных условиях методологическая основа управления безопасностью нуждается в совершенствовании по причине внедрения в практическую деятельность работ в НДС современных систем дистанционного мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара. Математическая структура результатов мониторинга имеет вероятностную природу [22, 28, 32, 111], и применение существующей детерминированной модели и алгоритма для цифровой обработки данных не во всех случаях обеспечивает адекватный и корректный результат в случаях поддержки управления безопасностью [97].

Альтернативой детерминированной модели и алгоритма является вероятностная модель (стохастическая), основанная на теоретических аспектах

концепции управления риском. В рамках данной теории под термином *управление риском* понимается комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на снижение значений соответствующих вероятностей возникновения деструктивных событий до минимального или приемлемого уровня в зависимости от поставленной задачи управления [11].

При разработке модели необходимо произвести формальную постановку задачи поддержки управления безопасностью в терминах теории управления риском и предложить метод расчета величины риска реализации деструктивных событий, связанных с нехваткой объема дыхательных ресурсов и времени защитного действия дыхательного аппарата для успешного выполнения работ в непригодной для дыхания среде.

### 2.1.1 Детерминированная модель управления безопасностью

Рассмотрим деструктивное событие, связанное с недостатком объема дыхательных ресурсов для выполнения комплекса работ в НДС. Под деструктивными событиями будем понимать действия, реализация которых на практике может являться препятствием для успешного выполнения поставленных перед участниками тушения пожара задач, а в исключительных случаях приводить к их травмированию и / или гибели [73].

Комплекс работ  $R$ , представляющий собой совокупность элементарных работ  $R_i$  для, реализации которого потребуется ресурс времени  $T$  (мин), рассчитывается по формуле:

$$T = T_0 + \sum_{i=1}^n T_i, \quad (9)$$

где  $T_0$  – ресурс времени, необходимый для проведения непредвиденных работ  $R_0$ , мин;

$T_i$  – ресурс времени для выполнения  $i$ -й работы, мин.

Тогда объем дыхательных ресурсов, необходимый для успешного выполнения комплекса работ  $R$ , будет определяться по формуле:



$$V = V_0 + \sum_{i=1}^n V_i, \quad (10)$$

где  $V_0$  – объем дыхательных ресурсов, необходимых для выполнения непредвиденных работ  $R_0$ , л;

$V_i$  – объем дыхательных ресурсов, необходимых для успешной реализации  $i$ -й работы  $R_i$ , л.

В свою очередь, объем дыхательных ресурсов обеспечивает фактическое время защиты  $T_3$  (мин), которое для комплекса работ  $R$  определяется следующим образом:

$$T_3 = T_{30} + \sum_{i=1}^n T_{3i}, \quad (11)$$

где  $T_{30}$  – ресурс времени защиты при объеме дыхательных ресурсов  $V_0$ , мин;

$T_{3i}$  – ресурс времени защиты при объеме дыхательных ресурсов  $V_i$ , мин.

Тогда в детерминированной постановке задачи управления безопасностью количественные критерии успешного выполнения комплекса работ  $R$  определим следующими соотношениями (12) и (13):

- для каждой работы  $R_i$  – локальный критерий безопасности:

$$T_{3i} > T_i, \quad (12)$$

- для комплекса работ  $R$  – интегральный критерий безопасности:

$$T_3 > T. \quad (13)$$

Выполнение неравенств (12) и (13) является совокупным условием безопасности при работе в непригодной для дыхания среде.

### 2.1.2 Вероятностная модель поддержки управления безопасностью

Рассмотрим задачу поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в вероятностной постановке, для этого воспользуемся аналогией с работой [129] и предположим, что практическая реализация концепции управления рисками в части оценки достаточности объема дыхательных ресурсов будет предусматривать определение вероятности реализации деструктивных

событий  $Q_i$  для каждой элементарной работы  $R_i$  и оценку вероятности  $Q$  для комплекса работ  $R$  в целом. Тогда с вероятностной точки зрения ресурс времени представляет собой интервал значений (14) и (15):

- для выполнения элементарных работ  $R_i$ :

$$T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max}, \quad (14)$$

- для защиты при объеме дыхательных ресурсов  $V_i$ :

$$T_{zi}^{\min} \leq T_{zi} \leq T_{zi}^{\max}. \quad (15)$$

Таким образом, для того чтобы сравнить по соотношениям (12) и (13) интервалы значений (14) и (15) в соответствии с вероятностным подходом, необходимо определить закон распределения сравниваемых случайных величин.

Сформируем модель поддержки управления безопасностью в терминах теории управления рисками, параметров безопасности:

$$Q_i \leq Q_i^*, \quad (16)$$

где  $Q_i^*$  – приемлемый уровень локального риска.

При выполнении работы за интервал времени, характеризуемый параметрами  $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$  и объемом дыхательных ресурсов  $V_i$ , который обеспечивает интервал времени защитного действия, характеризуемый параметрами:  $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$ , необходимо определить риск  $Q_i$  реализации события, состоящего в том, что объема дыхательных ресурсов  $V_i$  будет недостаточно для выполнения работы  $R_i$ .

Основные результаты исследований [28, 30, 32, 105, 106] позволяют предположить, что временной ресурс работ в непригодной для дыхания среде и время защиты являются непрерывными случайными величинами, подчиняющимися нормальному закону распределения с плотностью:

$$f(T) = \frac{1}{\sqrt{2D\pi}} \exp\left(-\frac{(T - \bar{T})^2}{2D}\right), \quad (17)$$

где  $D$  – дисперсия случайной величины,  $\text{мин}^2$ ;

$\bar{T}$  – математическое ожидание случайной величины,  $\text{мин}$ .

Следовательно, при анализе интервальных значений (12) и (13) можно перейти к анализу их вероятностных оценок  $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$  и  $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$ , тогда решение задачи управления безопасностью предусматривает вычисление обобщенного критерия  $Z_i$  двух случайных величин с параметрами  $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$  и  $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$  по формуле:

$$Z_i = \frac{\bar{T}_{zi} - \bar{T}_i}{\sqrt{D_{zi} + D_i}}. \quad (18)$$

Критерий безопасности применяется для случаев, когда очаг пожара не обнаружен.

## 2.2 Формальная постановка задачи исследования

При выполнении элементарных работ  $R_i$  за интервал времени, характеризуемый параметрами  $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$  и запасом дыхательных ресурсов  $V_i$ , который обеспечивает интервал времени защитного действия, характеризуемый параметрами  $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$ , необходимо определить риск  $Q_i$  реализации события  $S$ , состоящего в том, что объема дыхательных ресурсов  $V_i$  будет недостаточно для выполнения элементарной работы  $R_i$ .

В классической теории вероятностей решение данной задачи предусматривает вычисление обобщенного критерия  $Z_i$  двух случайных величин с параметрами  $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$  и  $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$  по формуле (18). Далее, используя функцию распределения нормальной случайной величины, определяют искомую вероятность:

$$Q_i(S) = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{Z_i}{\sqrt{2}} \right) \right]. \quad (19)$$

Геометрическая интерпретация решения поставленной задачи исследования представлена на рисунке 20 для случая, когда  $\langle \bar{T}_i = 5 \text{ мин}, D_i = 0,25 \text{ мин}^2 \rangle$ ;

$$\langle \bar{T}_{zi} = 5 \text{ мин}, D_{zi} = 0,25 \text{ мин}^2 \rangle \text{ и } Z_i = 1,56 \rightarrow Q_i(S) = 0,06.$$

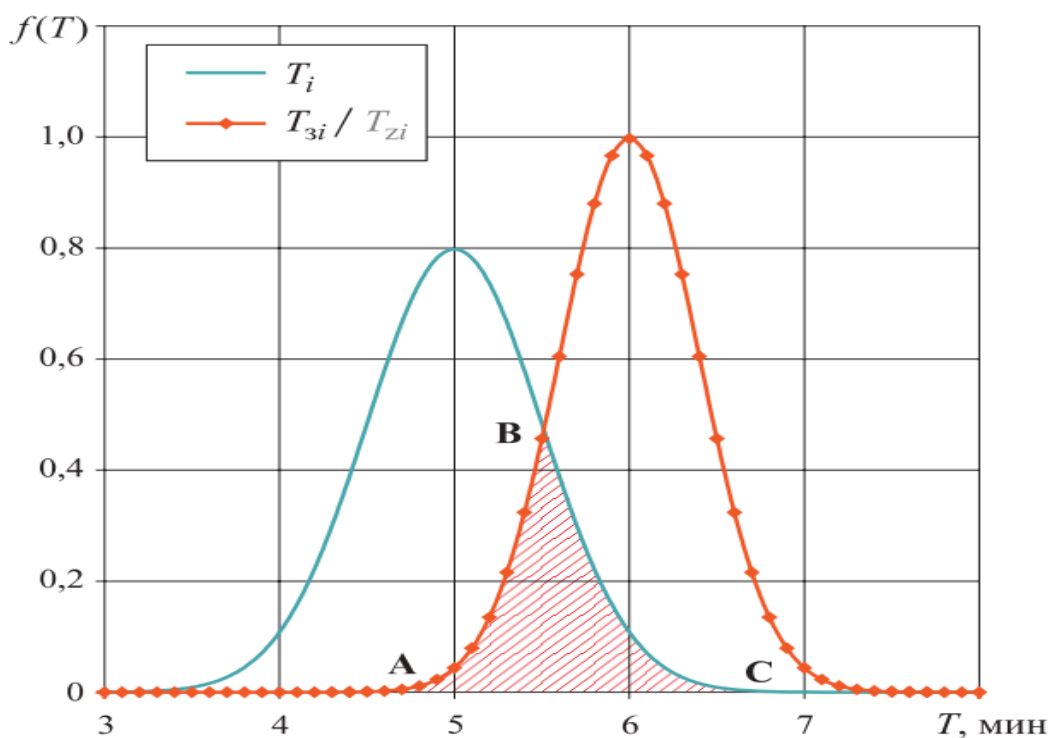


Рисунок 20 – Геометрическая интерпретация решения задачи исследования

При анализе данных, представленных на рисунке 20, очевидно, что для фигуры <ABC> условие локального критерия безопасности (12) не выполняется, так как  $T_{zi} > T_i$ . Таким образом, вероятность  $Q_i(S)$  будет характеризоваться площадью фигуры <ABC>.

Таким образом, риск реализации деструктивных событий при работе в НДС может быть определен по формуле (19), значения которой заданы в табличном виде функции Лапласа, либо функции ошибок. Для удобства программной реализации формулы (19) необходимо провести ее функциональный анализ.

С одной стороны, функция ошибок может быть представлена в виде ряда Тейлора с элементарными тригонометрическими функциями:

$$\operatorname{erf} Z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n Z^{2n+1}}{n!(2n+1)} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \left( Z - \frac{Z^3}{3} + \frac{Z^5}{10} - \frac{Z^7}{42} + \frac{Z^9}{216} - \dots \right). \quad (20)$$

$$\operatorname{Sin} Z = Z - \frac{Z^3}{3!} + \frac{Z^5}{5!} - \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{Z^{2n+1}}{(2n+1)!};$$

$$\operatorname{Cos} Z = 1 - \frac{Z^2}{2!} + \frac{Z^4}{4!} - \dots = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{Z^{2n}}{(2n)!}.$$

В свою очередь, известно, что  $e^{iZ} = \cos Z + i \sin Z$ , тогда окончательно запишем:

$$e^{iZ} = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{Z^{2n}}{(2n)!} + i \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{Z^{2n+1}}{(2n+1)!}. \quad (21)$$

Следовательно, расчетные значения критерия безопасности могут быть получены на основе логарифма с основанием в виде числа Эйлера. С другой стороны, проверка гипотез о принадлежности случайной величины распределению с полнотью в виде функции Лапласа или функции ошибок (нормальное распределение) осуществляется на основе критерия Колмогорова [61, 63], который имеет вид:

$$K_{\alpha} = \sqrt{-\frac{1}{2} \ln \frac{1-\alpha}{2}}, \quad (22)$$

где  $K_{\alpha}$  – квантиль критерия Колмогорова при уровне значимости  $\alpha$ .

Анализ формулы (22) позволяет сделать вывод о достоверном выборе логарифма с основанием в виде числа Эйлера для получения расчетных значений критерия безопасности при работе участников тушения пожара в НДС.

Проведем аналогию между уровнем значимости  $\alpha$  и риском реализации деструктивных событий при работе в НДС, тогда:

$$Q = 1 - \alpha, \rightarrow K_{\alpha} = \left( -\frac{1}{2} \ln \frac{1}{2} Q \right)^{1/2}. \quad (23)$$

Очевидно, что формула (22) с учетом (23) примет следующий вид:

$$Q = 2 \exp(-2 \cdot K_{\alpha}^2). \quad (24)$$

Введем константы критерия Колмогорова  $a, b, n$  для частного случая проверки константы модели  $a = b = n = 2$ , тогда формула (24) будет записана следующим образом:

$$Q_i(S) = a \exp(-bZ_i^n). \quad (25)$$

Тогда соотношение (25) является общей моделью для формирования расчетных значений критерия безопасности при работе в НДС.

Константы модели (25) определим, сопоставляя табличные значения интегральной функции Лапласа и расчетные значения, полученные с использованием формулы (25) и  $\langle a = 0,5; b = 1,2; n = 1,25 \rangle$ .

В качестве средства для оценки отклонения расчетных значений от табличных используем коэффициент детерминации Пирсона. Функция Лапласа в исследовании определена Microsoft Excel с использованием функции «=НОРМ.СТ.РАСП()», коэффициент детерминации соответственно «=КВПИРСОН()». Сопоставление расчетных и табличных данных представлено на рисунке 21.

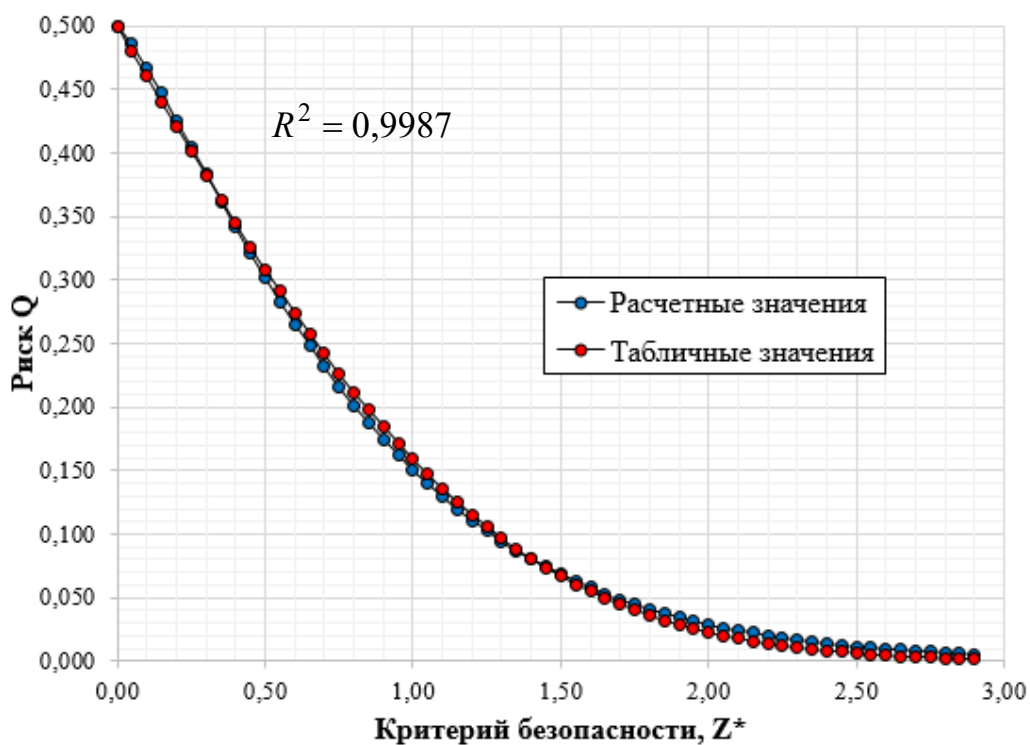


Рисунок 21 – Анализ расчетных и табличных значений критерия безопасности

Близкое к единице значение коэффициента детерминации Пирсона ( $R^2=0,9987$ ) говорит о достаточной сходимости расчетных и табличных значений критерия безопасности и позволяет использовать формулу (25) в модели поддержки управления.

Тогда, для того чтобы осуществлять поддержку управления безопасностью при выполнении работы  $R_i$ , необходимо при фиксированных значениях  $\langle \bar{T}_i, D_i \rangle$  выбрать такой объем дыхательных ресурсов  $V_i$  с параметрами  $\langle \bar{T}_{zi}, D_{zi} \rangle$ , при котором значение  $Z_i$ , рассчитанное по формуле (18), будет не менее значения,  $Z^*$  соответствующего предельно допустимому значению риска  $Q_i^*$ :

$$Z^* = \left( \frac{1}{b} \ln \left( \frac{a}{Q^*} \right) \right)^{1/n}, \quad (26)$$

где  $Q^*$  – нормативное значение величины риска реализации события  $S$ .

Тогда при константах модели  $\langle a = 0,5; b = 1,2; n = 1,25 \rangle$  нормативные значения критерия безопасности определены следующим образом:

1 – сложные условия работ  $Z^* = 2,57$  (при  $Q^* = 0,01$ );

2 – нормальные условия работ  $Z^* = 1,68$  (при  $Q^* = 0,05$ ).

В практических задачах обеспечения безопасности для случаев, когда очаг пожара не обнаружен, необходимо сопоставлять плановые и фактические значения разработанного критерия безопасности [39].

Текущие значения параметров безопасности при мониторинге определяются на основе статистических показателей планового и фактического времени реализации работ и времени защитного действия дыхательного аппарата. Применение данного критерия в модели управления определяет необходимость нормального распределения ее вероятностных характеристик, поэтому для оценки адекватности модели проведена проверка статистической гипотезы о нормальности распределения входящих в модель параметров.

Таким образом, графически общую структуру разработанной вероятностной модели поддержки управления безопасностью работ в НДС при выполнении комплекса работ  $R$  [41] можно представить рисунком 22. В модели на основе анализа нормативных значений критерия безопасности производится сравнение плановых параметров безопасности участников тушения пожара с фактическими, полученными от систем дистанционного мониторинга.

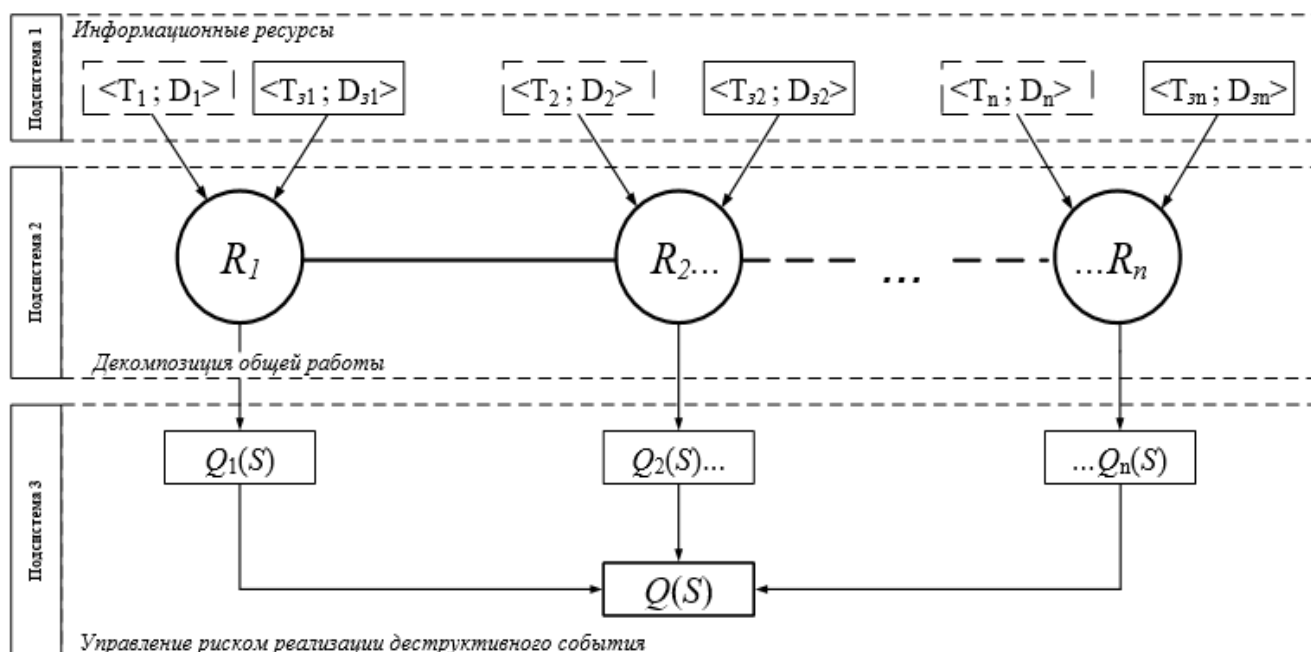


Рисунок 22 – Общая структура вероятностной модели поддержки управления

Методы проектирования и практической реализации мониторинга для решения задач обеспечения безопасности предусматривают применение декомпозиционного подхода, позволяющего представить структуру системы в виде совокупности подсистем. Исходя из специфики выполняемых задач, в непригодной для дыхания среде и необходимостью осуществлять процедуры поддержки управления безопасностью, можно определить три основные подсистемы модели: информационную, декомпозиционную и аналитическую.

Информационная включает в себя средства сбора и передачи данных о текущих значениях параметров безопасности участников тушения пожара.

Декомпозиционная позволяет выделять из общего комплекса работ в непригодной для дыхания среде элементарные составляющие, для которых производится синтез информационных ресурсов.

Аналитическая производит анализ фрагментов данных плановых и текущих значений параметров безопасности участников тушения пожара, сравнивая их с приемлемыми значениями риска, зависящими от условий работ в непригодной для дыхания среде.



### 2.3 Нормативные значения риска для управления безопасностью

Обоснование приемлемого уровня риска при различных условиях работ в детерминированной модели задачи управления ресурсом времени определяем по формуле:

$$T_{дет} = T_0 + T_{cp}, \quad (27)$$

учитывая, что  $T_0 = T_{cp} \cdot \Omega$  получаем:

$$T_{дет} = T_{cp} \cdot (1 + \Omega), \quad (28)$$

где  $\Omega$  – коэффициент безопасности.

В вероятностной постановке задачи ресурс времени определим так:

$$T_{вер} = T_{cp} + t_{\rho,r} \cdot \sigma, \quad (29)$$

где  $t_{\rho,r}$  – квантиль критерия Стьюдента при вероятности  $\rho$  и степени свободы  $r$ .

В общем случае стандартное отклонение неизвестно, поэтому воспользуемся известной оценкой соотношения среднего значения и стандартного отклонения на основе коэффициента вариации случайной величины  $d$ , учитывая, что  $\sigma = T_{cp} \cdot d$ , тогда:

$$T_{вер} = T_{cp} \cdot (1 + t_{\rho,r} \cdot d). \quad (30)$$

Задача обоснования приемлемого уровня риска  $Q_i^*$  на основе принятого в практике ведения работ в НДС коэффициента безопасности  $\Omega$  [75] сводится к определению вероятности  $P$  и соответствующего ей значению риска  $Q_i = 1 - P$  при степени свободы  $r$  для определённого расчетом квантиля распределения Стьюдента  $t_{\rho,r} = \frac{\Omega}{d}$ , полученного из тождеств:

$$T_{дет} = T_{вер} \rightarrow 1 + \Omega = 1 + t_{\rho,r} \cdot d. \quad (31)$$

Результат расчета локального риска для работ, проводимых в нормальных и сложных условиях, представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Значения локального риска для разных по тяжести условиям работ в НДС

Условия работы в НДС	Детерминированная модель		Вероятностная модель				
	Коэффициент безопасности	Соотношение	$r$	$d$	$t_{p,r}$	$P$	$Q$
Обычные	$\Omega = 0,5$	$T_0 = 1,5 \cdot T_i$	2	0,115	4,3	0,95	0,05
Сложные	$\Omega = 1$	$T_0 = 2,0 \cdot T_i$	2	0,101	9,9	0,99	0,01

Для практической реализации модели управления безопасностью необходимо иметь интервалы фактических значений параметров безопасности, которые получают в режиме реального времени от системы мониторинга, и плановые значения параметров безопасности, которые получают путем исследования. Такая модель управления безопасностью получила широкое применение как в отечественных [11, 28, 129], так и в зарубежных [139, 142–146, 154, 159] работах.

Таким образом, с точки зрения теории принятия решений в условиях риска и неопределенности управление безопасной работой участников тушения пожара в условиях НДС сводится к повышению вероятности выполнения работ в этой среде или снижению риска наступления деструктивного события, связанного с недостатком запаса дыхательных ресурсов.

## 2.4 Исследование адекватности модели поддержки управления безопасностью

Максимальный эффект в поддержке управления безопасностью участников тушения пожара будет достигнут при анализе сложных условий работ [75, 100], проводимых в непригодной для дыхания среде.

С целью исследования вероятностной модели поддержки управления безопасностью было проведено экспериментальное исследование, в котором рассматривался сценарий проектной аварии, предусматривающий разгерметизацию цистерны (фрагмента трубопровода), транспортирующего аварийно химически опасные вещества (АХОВ) [34]. Для ликвидации аварии

привлекаются пожарно-спасательные подразделения со средствами индивидуальной защиты органов дыхания и зрения со сжатым воздухом с объемом баллона 6,8 литров и легкими защитными костюмами (Л-1).

В качестве ограничения для проведения экспериментального исследования принято, что работа в дыхательных аппаратах со сжатым воздухом проводится в течение 40 минут. То есть, применение результатов на практике возможно для участников тушения пожара, оснащенных дыхательными аппаратами со сжатым воздухом, с условным временем защитного действия 40–60 минут [17].

Для обоснования применения вероятностной модели поддержки управления необходимо решить ряд задач:

- выявить закономерности в расходе дыхательных ресурсов участников тушения пожара при выполнении различных практических задач;
- апробировать вероятностную модель поддержки управления безопасностью при реализации работ в непригодной для дыхания среде;
- определить концептуальные основы поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде.

Исследование проводилось на учебном стадионе ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России в дневное время суток при положительной температуре окружающей среды (20–25 °С) и скоростью ветра 3–7 м/с. В качестве отработки моделируемого сценария использовался учебный тренажер «Авария на магистральном трубопроводе» [66] и комплект аварийно-спасательного оборудования «Пневмопластырь». Всего в исследовании принимало участие пять звеньев, сформированных из двух газодымозащитников в отделении. Сценарий включал в себя выполнение комплекса работ  $R$  (рисунок 23), который состоял из выполнения трех элементарных работ  $R_i$ :

$R_1$  – следование от места дислокации до места проведения работ (400 м);

$R_2$  – реализация работы по установки аварийных накладок (бандажей) в местах разгерметизации (пролива) емкостей или трубопроводов с АХОВ;

$R_3$  – возвращение от места проведения работ до места дислокации в безопасную зону (400 м).

 $R_1$  $R_2$  $R_3$ 

Рисунок 23 – Этапы экспериментального исследования

Фиксация исследуемых параметров осуществлялась каждые сто метров преодолеваемого маршрута в соответствии с план-схемой (рисунок 24).

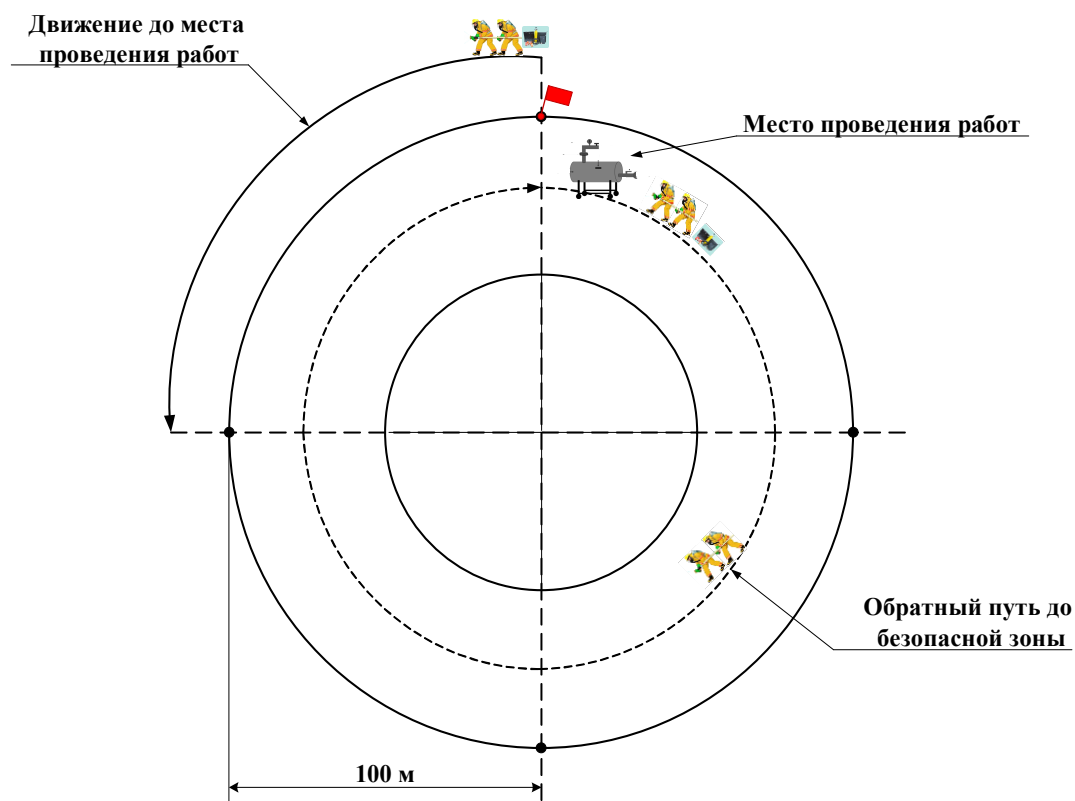


Рисунок 24 – План-схема экспериментального исследования



Из вариационного ряда выбираем минимальное и максимальное значение скорости расхода дыхательных ресурсов:

$$v_{\min} = 5, \text{ (атм}\cdot\text{мин}^{-1}\text{)};$$

$$v_{\max} = 12, \text{ (атм}\cdot\text{мин}^{-1}\text{)}.$$

Построим интервальный вариационный ряд, в котором все поля разбиты на ряды равных частных интервалов:

$$\Delta v = \frac{|v_{\max} - v_{\min}|}{1 + 3,322 \cdot \lg n}, \quad (32)$$

где  $n$  – объем эмпирической выборки.

$$\Delta v = \frac{|12 - 5|}{1 + 3,322 \cdot \lg 40} = 1,11 \approx 2 \text{ (атм)}.$$

Построим шкалы интервалов вариационного ряда.

Так как объем выборочной совокупности менее пятидесяти ( $n < 50$ ), то нижняя граница первого интервала определяется по формуле:

$$v_{\min} - \frac{\Delta v}{2}, \quad (33)$$

$$5 - \frac{2}{2} = 4 \text{ (атм)}.$$

Таким образом, граница нижнего интервала начинается с 4, а шаг интервала равен 2. Обозначим через  $\gamma$  количество интервалов. Определим частоты попадания  $m_j$  ( $j=1, \dots, \gamma$ ) вариантов в частный интервал.

При построении интервалов включаем варианты, большие или равные нижней границе интервала и меньшие верхней границы интервала. Полученные данные занесем в таблицу 11.

Таблица 11 – Границы интервалов и эмпирическая частота попадания в них

$\gamma$	Границы интервалов		$m_j$	$S(m_j)$	$P_j$	$S(P_j)$
1	4	6	2	2	0,05	0,05
2	6	8	10	12	0,25	0,3
3	8	10	15	27	0,375	0,675
4	10	12	11	38	0,275	0,95
5	12	14	2	40	0,05	1

Определим накопленную частоту  $S(m_j)$  по рекуррентной формуле:

$$S(m_1) = m_1, \quad S(m_j) = S(m_{j-1}) + m_j, \quad (34)$$

где  $j = 2, \dots, \gamma$ .

Для проверки правильности расчетов следует учесть равенство  $S(m_\gamma) = n$ .

$$S(m_\gamma) = 2 + 10 + 15 + 11 + 2 = 40,$$

$$S(m_\gamma) = n = 40 \text{ – расчеты произведены верно.}$$

Определим статистическую вероятность попадания вариантов в  $j$ -й интервал:

$$P_j = \frac{m_j}{n}, \quad (35)$$

$$1. P_{j_1} = \frac{2}{40} = 0,05;$$

$$4. P_{j_4} = \frac{22}{40} = 0,55;$$

$$2. P_{j_2} = \frac{5}{40} = 0,125;$$

$$5. P_{j_5} = \frac{1}{40} = 0,025.$$

$$3. P_{j_3} = \frac{10}{40} = 0,25;$$

Определим кумулятивную вероятность  $S(P_j)$  по рекуррентной формуле:

$$S(P_1) = P_1, \quad S(P_j) = S(P_{j-1}) + P_j, \quad (36)$$

где  $j = 2, \dots, \gamma$ .

Для проверки правильности расчетов следует учесть, что  $S(P_\gamma) = 1$ .

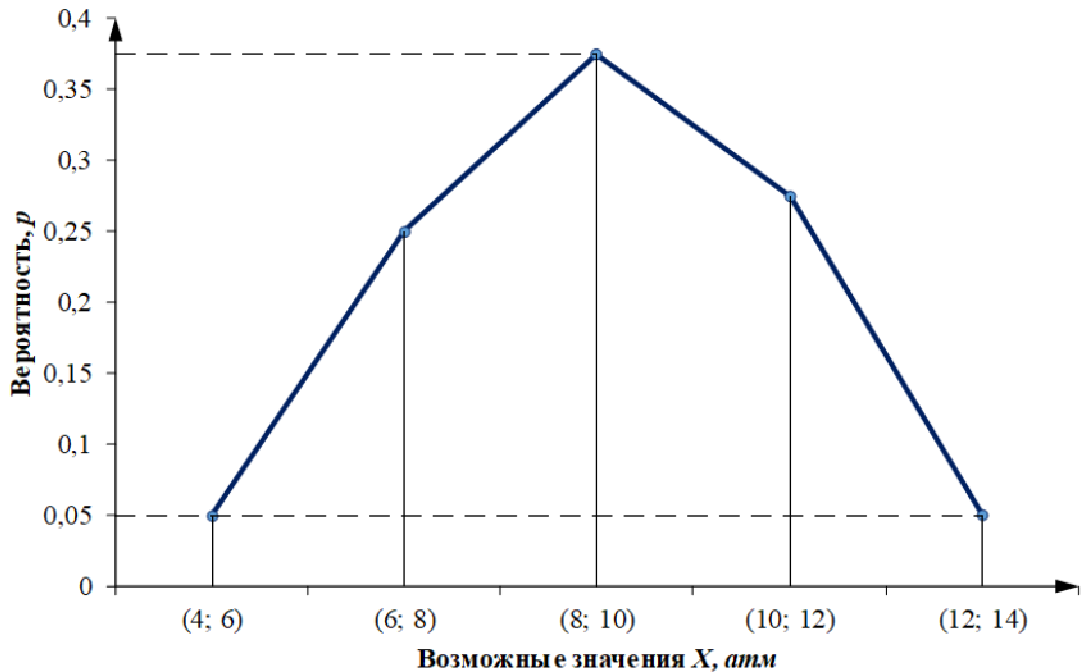
$$S(P_\gamma) = 0,05 + 0,25 + 0,375 + 0,275 + 0,05 = 1,$$

$$S(P_\gamma) = 1 \text{ – расчеты произведены верно.}$$

На основе данных таблицы 11 составим закон распределения дискретной случайной величины  $X$  [46] (рисунок 25) (скорость расхода дыхательных ресурсов) на участке  $R_I$  и вероятность появления этих событий (таблица 12).

Таблица 12 – Закон распределения случайной величины  $X$  на участке  $R_I$ 

$X$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
	(4; 6)	(6; 8)	(8; 10)	(10; 12)	(12; 14)
$p$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$
	0,05	0,25	0,375	0,275	0,05

Рисунок 25 – многоугольник распределения случайной величины на участке  $R_I$ 

Рассчитаем числовые характеристики распределения:

1) математическое ожидание случайной величины:

$$\bar{T} = \sum_{j=1}^{\gamma} P_j \cdot t_{cp}, \quad (37)$$

где  $t_{cpj}$  – середина  $j$ -ого частного интервала.

$$\bar{T} = (5 \cdot 0,05 + 7 \cdot 0,25 + 9 \cdot 0,375 + 11 \cdot 0,275 + 13 \cdot 0,05) = 9 \text{ (мм)}.$$

2) дисперсия случайной величины:

$$D = \frac{\sum_{j=1}^n (x_i - \bar{T})^2}{n}. \quad (38)$$



Для расчета статистической дисперсии используем функцию в Microsoft Excel «=ДИСПА», где получаем значение  $D = 3,275$  ( $\text{атм}^2$ ).

3) стандартное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D}, \quad (39)$$

$$\sigma = \sqrt{3,275} = 1,81 \approx 2 \text{ (атм)}.$$

4) коэффициент вариации случайной величины:

$$d = \frac{\sigma}{\bar{T}}, \quad (40)$$

$$d = \frac{2}{9} = 0,222.$$

Так как коэффициент вариации случайной величины  $d = 0,222$  попадает в условия  $0 \leq 0,222 \leq 0,5$ , то выдвигаем следующие гипотезы:

- основная  $H_0$  – эмпирические данные подчиняются нормальному закону распределения;

- альтернативная  $H_1$  – эмпирические данные подчиняются альтернативному закону распределения.

Применим критерий Пирсона ( $\chi^2$ ) для подтверждения адекватности гипотезы  $H_0$ . Для каждого интервала вычислим теоретическое значение функции распределения:

$$F_{\text{теор } 1} = P_{\text{инт } 1}, \quad F_{\text{теор } j} = F_{\text{теор } j-1} + P_{\text{инт } j}, \quad (j = 2, \dots, \gamma);$$

$$P_{\text{инт } j} = F(x_{\text{кон } j}) - F(x_{\text{нач } j}), \quad (j = 1, \dots, \gamma),$$

где  $x_{\text{кон } j}$  и  $x_{\text{нач } j}$  – граница  $j$ -го интервала.

Значения функций  $F(x_{\text{кон } j})$  и  $F(x_{\text{нач } j})$  находим по соответствующей формуле гипотетического закона распределения:

$$\frac{x_{\text{нач } j} - \bar{T}}{\sigma} \quad (41)$$

1.  $\min = \frac{4-9}{2} = -2,5;$

2.  $\min = \frac{6-9}{2} = -1,5;$

3.  $\min = \frac{8-9}{2} = -0,5;$

4.  $\min = \frac{10-9}{2} = 0,5;$

5.  $\min = \frac{12-9}{2} = 1,5.$

1.  $\max = \frac{6-9}{2} = -1,5;$

2.  $\max = \frac{8-9}{2} = -0,5;$

3.  $\max = \frac{10-9}{2} = 0,5;$

4.  $\max = \frac{12-9}{2} = 1,5;$

5.  $\max = \frac{14-9}{2} = 2,5.$

Значения функций  $F(x_{\text{кон } j})$  и  $F(x_{\text{нач } j})$  найдем при помощи Microsoft Excel формулы «=НОРМСТРАСП(x)» и занесем их в таблицу 13.

Таблица 13 – Значения функций  $F(x_{\text{кон } j})$  и  $F(x_{\text{нач } j})$ 

$F(x_{\text{кон } j})$	$F(x_{\text{нач } j})$	$m_{j\text{теор}}$
0,0062	0,0668	2,424
0,0668	0,3085	9,669
0,3085	0,6915	15,32
0,6915	0,9332	9,669
0,9332	0,9938	2,424

Для каждого интервала вычислим теоретическое значение частоты попадания  $m_{j\text{теор}}$  и заносим их в таблицу 13:

$$m_{j\text{теор}} = (F(x_{\text{кон } j}) - F(x_{\text{нач } j})) \cdot n \quad (42)$$

1.  $m_{j\text{теор}} = (0,0668 - 0,0062) \cdot 40 = 2,424;$

2.  $m_{j\text{теор}} = (0,3085 - 0,0668) \cdot 40 = 9,669;$

3.  $m_{j\text{теор}} = (0,6915 - 0,3085) \cdot 40 = 15,32;$

4.  $m_{j\text{теор}} = (0,9332 - 0,6915) \cdot 40 = 9,669;$

5.  $m_{j\text{теор}} = (0,9938 - 0,9332) \cdot 40 = 2,424.$

Далее находим значение критерия Пирсона  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^{\gamma} \frac{(m_{j_{теор}} - m_{j_{экс}})^2}{m_{j_{теор}}}, \quad (43)$$

где  $m_{j_{теор}}$  – теоретическая частота попадания в интервал;

$m_{j_{экс}}$  – экспериментальная частота попадания в интервал.

$$\chi^2 = \frac{(2,424 - 2)^2}{2,424} + \frac{(9,669 - 10)^2}{9,669} + \frac{(15,32 - 15)^2}{15,32} + \frac{(9,669 - 11)^2}{9,669} + \frac{(2,424 - 2)^2}{2,424} = 0,3493.$$

Далее необходимо рассчитать число степеней свободы  $r$  по формуле:

$$r = \gamma - (1 + \lambda), \quad (44)$$

где  $\lambda$  – количество параметров гипотетического закона распределения. Закон нормального распределения имеет 2 степени свободы.

$$r = 5 - (1 + 2) = 2.$$

Вероятность  $P(\chi^2)$  определяется по таблице в зависимости от значений  $\chi^2$  и  $r$  или при помощи Microsoft Excel функция «=ХИ2РАСП( $\chi^2$ ;  $r$ )»:

– если  $P(\chi^2)$  оказывается больше 0,1, гипотезу принимают;

– если  $P(\chi^2)$  оказывается меньше 0,1, гипотезу отвергают.

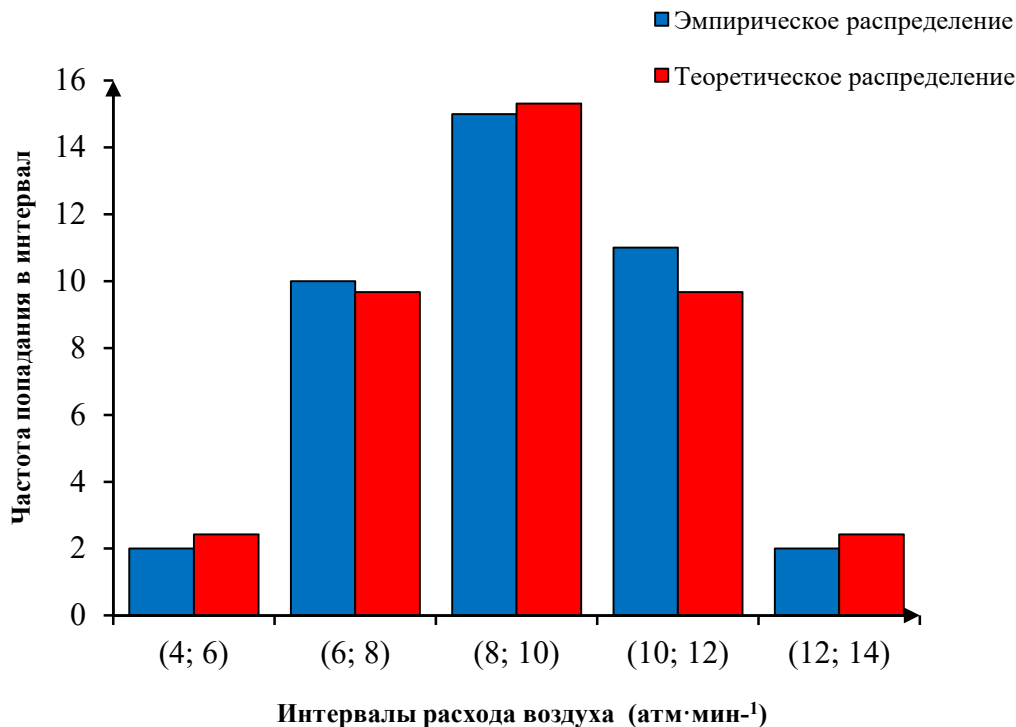
Рассчитаем вероятность  $P(\chi^2)$  через Microsoft Excel «=ХИ2РАСП( $\chi^2$ ;  $r$ )» = 0,839.

$$P(\chi^2) > 0,1 \rightarrow 0,839 > 0,1 - \text{гипотезу } H_0 \text{ принимаем.}$$

**Вывод:** проверка гипотезы  $H_0$  с использованием критерия Пирсона ( $\chi^2$ ) доказала, что эмпирические данные подчиняются нормальному закону распределения. На основе обработанных данных построим график зависимости теоретических и эмпирических наблюдений (таблица 14), (рисунок 26).

Таблица 14 – эмпирические и теоретические данные распределения давления

$m_{j_{теор}}$	2,42	9,66	15,31	9,66	2,42
$m_{j_{эксп}}$	2	10	15	11	2

Рисунок 26 – Графический анализ эмпирических и теоретических данных на участке  $R_1$ 

Так как эмпирические данные могут содержать одно или несколько значений, заметно отличающихся от остальных, необходимо выяснить причины появления таких подозрительных значений, то есть определить, случайно или закономерно их появление. В случае, если их появление закономерно, необходимо принять соответствующие меры, если же появление подозрительных значений вызвано случайными причинами, можно оценить по тому или иному статистическому критерию грубых ошибок, являются ли эти значения грубыми погрешностями. Если это грубые погрешности, их необходимо исключить из результатов генеральной совокупности эмпирических данных. Так как полученные результаты данных распределены по нормальному закону при оценке на грубую ошибку одного значения выборки, применим статистику критерия Граббса [61]  $t_\alpha$  по формуле:

$$t_{расч} = \frac{|x_c - \bar{T}|}{\sigma}, \quad (45)$$

где  $x_c$  – сомнительное значение из эмпирической выборки.

Расчетное значение необходимо сравнить с табличным  $t_\alpha$ . При  $t_{расч} > t_\alpha$  результат  $x_c$  считают грубой ошибкой и отбрасывают.

Проверим минимальное и максимальное значения из эмпирической выборки на участке  $R_1$  на наличие грубой ошибки при уровнях значимости  $\alpha = 0,05$  и  $\alpha = 0,01$ , для которых табличные значения при выборке  $n = 40$  составят 3,02 и 3,48 соответственно.

$$t_{расч} = \frac{|x_{\min} - \bar{T}|}{\sigma} = \frac{|5 - 8,38|}{1,72} = 1,96,$$

$$t_{расч} = \frac{|x_{\max} - \bar{T}|}{\sigma} = \frac{|12 - 8,38|}{1,72} = 2,11.$$

Так как при всех уровнях значимости  $t_{расч} < t_\alpha$ , принимаем, что в генеральной совокупности эмпирических результатов измерения на участке  $R_1$  нет (таблица 15).

Таблица 15 – Статистика критерия Граббса

$\alpha$	$t_\alpha$	$t_{расч}$	результат проверки
0,05	3,02	1,96	$t_{расч} < t_\alpha$
0,01	3,48	2,11	$t_{расч} < t_\alpha$

Рассмотрим участок  $R_3$  «Обратный путь до безопасной зоны (400 м)» и произведем аналогичную проверку.

Произведем выборку данных из эмпирических значений участка  $R_3$  по приложению А и занесем их в таблицу 16.

Путем вычитания из предыдущего значения давления текущего значения определим скорость расхода дыхательных ресурсов из баллонов дыхательных аппаратов каждого газодымозащитника, полученные результаты представим в таблице 17.

Таблица 16 – Распределение давления каждые 100 м на участке  $R_3$ 

$N$	$P_{раб}$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_{вык}$
1	254	249	241	229	219
2	228	222	214	204	195
3	264	257	248	238	230
4	258	250	240	228	220
5	263	258	246	236	227
6	252	246	234	224	215
7	244	234	227	219	211
8	236	226	220	212	204
9	254	248	238	230	222
10	242	237	229	219	211

Таблица 17 – Скорости расхода дыхательных ресурсов,  $v$  атм·мин<sup>-1</sup>

$N$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$v_4$
1	4	8	12	10
2	6	8	10	9
3	7	9	10	8
4	8	10	12	8
5	4	12	10	9
6	6	12	10	9
7	10	7	8	8
8	10	6	8	8
9	6	10	8	8
10	4	8	10	8

Из полученных эмпирических скоростей расхода дыхательных ресурсов построим вариационный ряд в порядке возрастания значений (таблица 18).

Таблица 18 – Вариационный ряд скоростей падения давления  $v$ 

5	5	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
8	8	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	12	12	12	12

Из вариационного ряда выбираем минимальное и максимальное значения:

$$v_{\min} = 5, \text{ (атм·мин}^{-1}\text{)};$$

$$v_{\max} = 12, \text{ (атм·мин}^{-1}\text{)}.$$

Построим интервальный вариационный ряд:

$$\Delta v = \frac{|12-5|}{1+3,322 \cdot \lg 40} = 1,11 \approx 2 \text{ (атм)}.$$

Построим шкалы интервалов вариационного ряда:

Так как  $n < 50$ , то

$$5 - \frac{2}{2} = 4 \text{ (атм)}.$$

Таким образом, граница нижнего интервала равна 4 с шагом интервала 2.

Определим частоты попадания  $m_j$  ( $j=1, \dots, \gamma$ ) вариантов в частный интервал.

При построении интервалов включаем варианты, большие или равные нижней границе интервала и меньшие верхней границы. Полученные интервальные значения представим в таблице 19.

Таблица 19 – Границы интервалов и эмпирическая частота попадания в них

$\gamma$	Границы интервалов		$m_j$	$S(m_j)$	$P_j$	$S(P_j)$
1	4	6	3	3	0,075	0,075
2	6	8	6	9	0,15	0,225
3	8	10	17	26	0,425	0,65
4	10	12	10	36	0,25	0,9
5	12	14	4	40	0,1	1

Определим накопленную частоту  $S(m_j)$ :

$$S(m_\gamma) = 3 + 6 + 17 + 10 + 4 = 40,$$

$$S(m_\gamma) = n = 40 \text{ – расчеты произведены верно.}$$

Определим статистическую вероятность попадания вариантов в  $j$ -й:

$$1. P_{j_1} = \frac{3}{40} = 0,075; \quad 3. P_{j_3} = \frac{17}{40} = 0,425;$$

$$2. P_{j_2} = \frac{6}{40} = 0,15; \quad 4. P_{j_4} = \frac{10}{40} = 0,25; \quad 5. P_{j_5} = \frac{4}{40} = 0,1.$$

Для проверки правильности расчетов следует учесть, что  $S(P_\gamma) = 1$ .

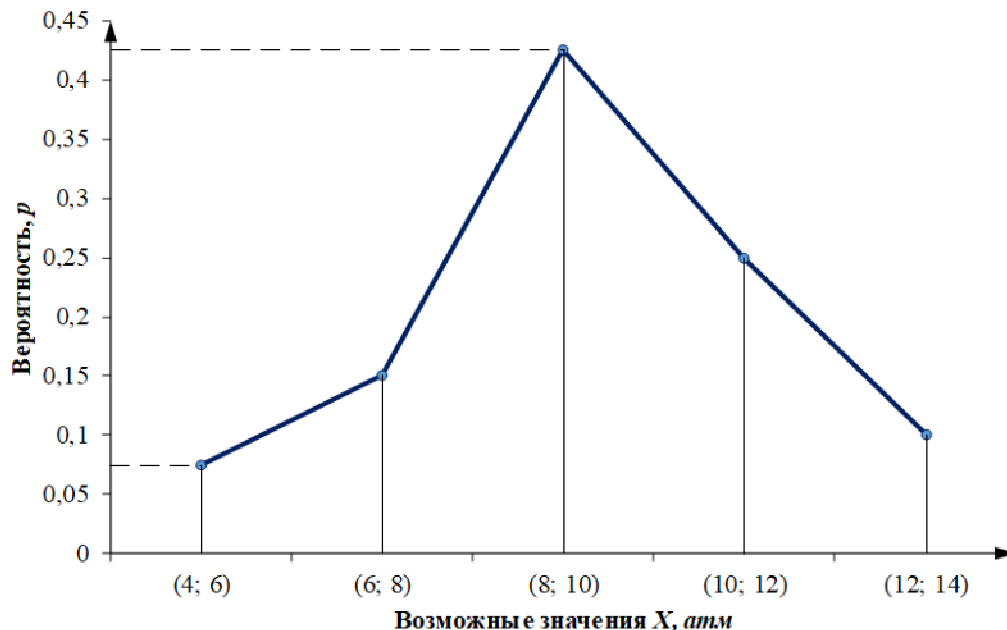
$$S(P_\gamma) = 0,075 + 0,15 + 0,425 + 0,25 + 0,1 = 1,$$

$$S(P_\gamma) = 1 \text{ – расчеты произведены верно.}$$

На основе данных таблицы 19 составим закон распределения дискретной случайной величины  $X$  [46] (рисунок 27) (скорость расхода дыхательных ресурсов) на участке  $R_3$  и вероятность появления этих событий (таблица 20).

Таблица 20 – Закон распределения случайной величины  $X$  на участке  $R_3$ 

$X$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
	(4; 6)	(6; 8)	(8; 10)	(10; 12)	(12; 14)
$p$	$p_1$	$p_2$	$p_3$	$p_4$	$p_5$
	0,075	0,15	0,425	0,25	0,1

Рисунок 27 – Многоугольник распределения случайной величины на участке  $R_3$ 

Расчет числовых характеристик распределения:

$$\bar{T} = (4 \cdot 0,075 + 6 \cdot 0,175 + 8 \cdot 0,375 + 10 \cdot 0,35 + 12 \cdot 0,1) = 8,525 \approx 9 \text{ (мм)};$$

$$D = 3,775 \text{ (мм}^2\text{)}; \sigma = \sqrt{3,775} = 1,94 \approx 2 \text{ (мм)}; d = \frac{2}{9} = 0,222.$$

Так как коэффициент вариации случайной величины  $d = 0,222$  попадает в условие  $0 \leq 0,222 \leq 0,5$ , то выдвигаем гипотезы:

- основная:  $H_0$  – данные подчиняются нормальному закону распределения.
- альтернативная:  $H_1$  – данные подчиняются альтернативному закону распределения.

Для каждого интервала вычислим теоретическое значение функции распределения:

$$1. \min = \frac{4-9}{2} = -2,5;$$

$$1. \max = \frac{6-9}{2} = -1,5;$$



$$2. \min = \frac{6-9}{2} = -1,5;$$

$$2. \max = \frac{8-9}{2} = -0,5;$$

$$3. \min = \frac{8-9}{2} = -0,5;$$

$$3. \max = \frac{10-9}{2} = 0,5;$$

$$4. \min = \frac{10-9}{2} = 0,5;$$

$$4. \max = \frac{12-9}{2} = 1,5;$$

$$5. \min = \frac{12-9}{2} = 1,5.$$

$$5. \max = \frac{14-9}{2} = 2,5.$$

Значения функций  $F(x_{\text{кон } j})$  и  $F(x_{\text{нач } j})$  найдем при помощи Microsoft Excel «=НОРМСТРАСП(x)» и вычислим теоретическое значение частоты попадания  $m_{j\text{теор}}$ , результаты занесем в таблицу 21.

$$1. m_{j\text{теор}} = (0,0668 - 0,0062) \cdot 40 = 2,424; \quad 2. m_{j\text{теор}} = (0,3085 - 0,0668) \cdot 40 = 9,669;$$

$$3. m_{j\text{теор}} = (0,6915 - 0,3085) \cdot 40 = 15,32; \quad 4. m_{j\text{теор}} = (0,9332 - 0,6915) \cdot 40 = 9,669;$$

$$5. m_{j\text{теор}} = (0,9938 - 0,9332) \cdot 40 = 2,424.$$

Таблица 21 – Значения функций  $F(x_{\text{кон } j})$  и  $F(x_{\text{нач } j})$

$F(x_{\text{нач } j})$	$F(x_{\text{кон } j})$	$m_{j\text{теор}}$
0,0062	0,0668	2,424
0,0668	0,3085	9,669
0,3085	0,6915	15,32
0,6915	0,9332	9,669
0,9332	0,9938	2,424

Найдем значение критерия Пирсона  $\chi^2$ :

$$\chi^2 = \frac{(2,424 - 3)^2}{2,424} + \frac{(9,669 - 6)^2}{9,669} + \frac{(15,32 - 17)^2}{15,32} + \frac{(9,669 - 10)^2}{9,669} + \frac{4^2}{2,424} = 2,75.$$

Рассчитаем число степеней свободы  $r$ :  $r = 5 - (1 + 2) = 2$ .

Вероятность  $P(\chi^2)$  определим при помощи программы Microsoft Excel функция «=ХИ2РАСП( $\chi^2$ ;  $r$ )»:  $P(\chi^2)$  «=ХИ2РАСП ( $\chi^2$ ;  $r$ )» = 0,252.

$P(\chi^2) > 0,1 \rightarrow 0,252 > 0,1$  – гипотезу  $H_0$  принимаем.

**Вывод:** проверка гипотезы  $H_0$  с использованием критерия Пирсона ( $\chi^2$ ) доказала: данные подчиняются нормальному закону распределения. На основе обработанных статистических данных построим график зависимости теоретических и эмпирических наблюдений (таблица 22), (рисунок 28).

Таблица 22 – Эмпирические и теоретические данные распределения давления

$m_{j_{теор}}$	2,42	9,66	15,31	9,66	2,42
$m_{j_{экс}}$	3	6	17	10	4

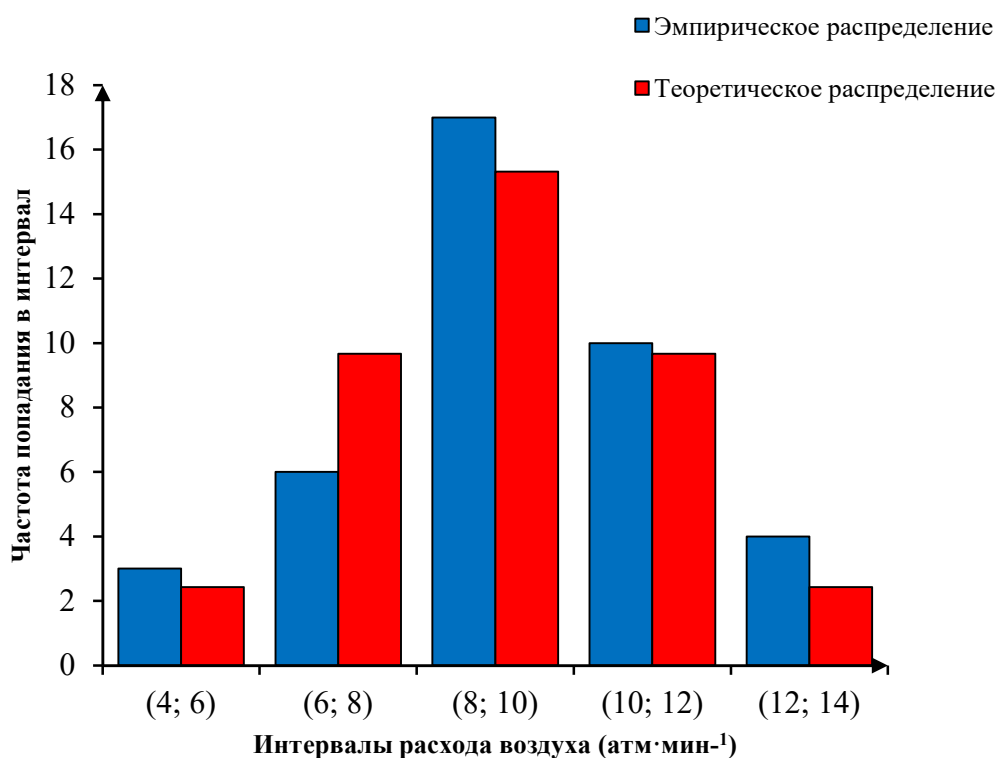


Рисунок 28 – Графический анализ эмпирических и теоретических данных на участке  $R_3$

Так как полученные результаты распределены по нормальному закону, проверим минимальное и максимальное значения из эмпирической выборки на участке  $R_3$  на наличие грубой ошибки, применив статистику критерия  $t_\alpha$  [61]:

$$t_{расч} = \frac{|x_{\min} - \bar{T}|}{\sigma} = \frac{|5 - 8,53|}{1,91} = 1,84;$$

$$t_{расч} = \frac{|x_{\max} - \bar{T}|}{\sigma} = \frac{|12 - 8,53|}{1,91} = 1,81.$$

Вывод: при всех уровнях значимости  $t_{расч} < t_{\alpha}$  принимаем, что в генеральной совокупности эмпирических результатов измерения на участке  $R_3$  нет грубых ошибок (таблица 23).

Таблица 23 – Статистика критерия Граббса

$\alpha$	$t_{\alpha}$	$t_{расч}$	результат проверки
0,05	3,02	1,84	$t_{расч} < t_{\alpha}$
0,01	3,48	1,81	$t_{расч} < t_{\alpha}$

Так как на участке  $R_2$  недостаточное количество эмпирических данных ( $n = 5$ ) для применения критерия Пирсона ( $\chi^2$ ), применим критерий статистического согласия Шапиро-Уилка [18], результаты которого представлены в приложении Б. Для графической интерпретации основных показателей нормального распределения использована интегральная функция Лапласа. Результаты исследования вероятностной модели поддержки управления безопасностью подтвердили адекватность входящих в модель параметров и возможность ее применения на практике.

Таким образом, современные условия информационного обеспечения по отношению к поддержке управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде требуют необходимости развития методологической составляющей существующих процедур анализа параметров безопасности. Разработанная на основе общей теории управления рисками вероятностная модель поддержки управления безопасностью позволяет использовать в качестве исходных данных результаты мониторинга дискретных значений текущих параметров безопасности для цифровой обработки данных. Критерий безопасности позволяет применять модель для случаев, когда очаг пожара не обнаружен.

## 2.5 Выводы по второй главе

При решении второй задачи исследования, состоящей в разработке модели поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде, получены следующие основные результаты:

1. В рамках общей теории принятия решений в условиях риска и неопределенности разработана вероятностная модель поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде. Параметры, необходимые для моделирования управления, получены путем перехода от существующей детерминированной модели управления безопасностью с учетом нормативных значений коэффициента безопасности, используемого в практической деятельности при работе в НДС.

2. Впервые разработан критерий безопасности на основе аппроксимации формулы Колмогорова и получены его нормативные значения для нормальных и сложных условий проведения работ в НДС. Критерий основан на сопоставлении математического ожидания и дисперсии плановых и фактических параметров безопасности и реализован в вероятностной модели поддержки управления безопасностью участников тушения пожара.

3. Для подтверждения адекватности проведено экспериментальное исследование разработанной вероятностной модели поддержки управления безопасностью участников тушения пожара, в рамках которого применялись критерии статистического согласия Пирсона и Шапиро-Уилка. Произведена оценка эмпирических результатов исследования на грубую ошибку путем применения статистики критерия Граббса.

4. Предложена общая структура для алгоритмизации и практической реализации модели поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде, включающая информационную, декомпозиционную и аналитическую подсистемы. Выявлена необходимость синтеза информационных ресурсов поддержки управления для формирования плановых значений параметров безопасности.

### **ГЛАВА 3 СИНТЕЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА**

В третьей главе диссертации разработан алгоритм синтеза информационных ресурсов на основе моделирования мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара, необходимых для поддержки управления безопасностью при работе в непригодной для дыхания среде. Алгоритм производит синтез информационных ресурсов на основе мониторинга текущих параметров безопасности и моделирования плановых параметров безопасности на основе результатов исследований данных, полученных эмпирическим способом. Для оценки адекватности входящих в алгоритм эмпирических данных и принадлежности их к закону нормального распределения используется критерий статистического согласия Шапиро-Уилка.

Представлен метод формирования информационных ресурсов при выполнении элементарной работы – движение по горизонтальному участку местности на расстояние сто метров, что обеспечивает необходимую динамику параметров безопасности и позволяет проводить мониторинг при их изменении во времени и пространстве. Очевидно, что учесть всю специфику и многообразие работ, выполняемых в непригодной для дыхания среде, не представляется возможным, поэтому была сформирована база данных, в которой в рамках объектно-ориентированного подхода осуществляется синтез информационных ресурсов, необходимых для поддержки управления безопасностью на основе предложенного алгоритма. Архитектура базы данных включает в себя схему данных, в которой используются сохраненные результаты мониторинга параметров безопасности и полученные в режиме реального времени при выполнении работ в непригодной для дыхания среде. Итоговый запрос позволяет выводить фрагмент информационных ресурсов, в котором данные представлены в вероятностном виде для работы поддержки системы мониторинга и в детерминированном виде для случаев нештатной ситуации (потеря связи от системы дистанционного мониторинга).

### 3.1 Алгоритм синтеза информационных ресурсов

Применение разработанной модели управления безопасностью в рамках объектно-ориентированного подхода при ведении работ по тушению пожара в непригодной для дыхания среде позволяет разделить общую работу (сложную) на структурные (составляющие) элементы. На каждом элементе производится передача данных о текущих параметрах безопасности участников тушения пожара посредством дистанционных систем мониторинга. Математическая основа результатов мониторинга и значительный массив информации, поступающий на пост управления для работы оператора системы, требует цифровой обработки данных с целью дальнейшего использования для осуществления процедур поддержки управления безопасностью. В связи с этим разработан алгоритм синтеза информационных ресурсов на основе моделирования мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде, позволяющий производить упорядочивание и объединение разрозненных между собой информационных ресурсов, что в свою очередь позволяет формировать плановые значения параметров безопасности в точках мониторинга.

Под термином *синтез информационных ресурсов* будем понимать процесс цифровой обработки данных, полученных посредством моделирования мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара для предварительно определенных этапов работ в непригодной для дыхания среде (точках мониторинга), предназначенных для поддержки управления безопасностью. Точки мониторинга подразделяются на контрольные и промежуточные, которые определяет лицо, принимающее решение. Контрольные точки мониторинга носят определяющий характер, промежуточные информативный характер.

Таким образом, алгоритм синтеза информационных ресурсов можно представить в виде блок-схемы (рисунок 29).

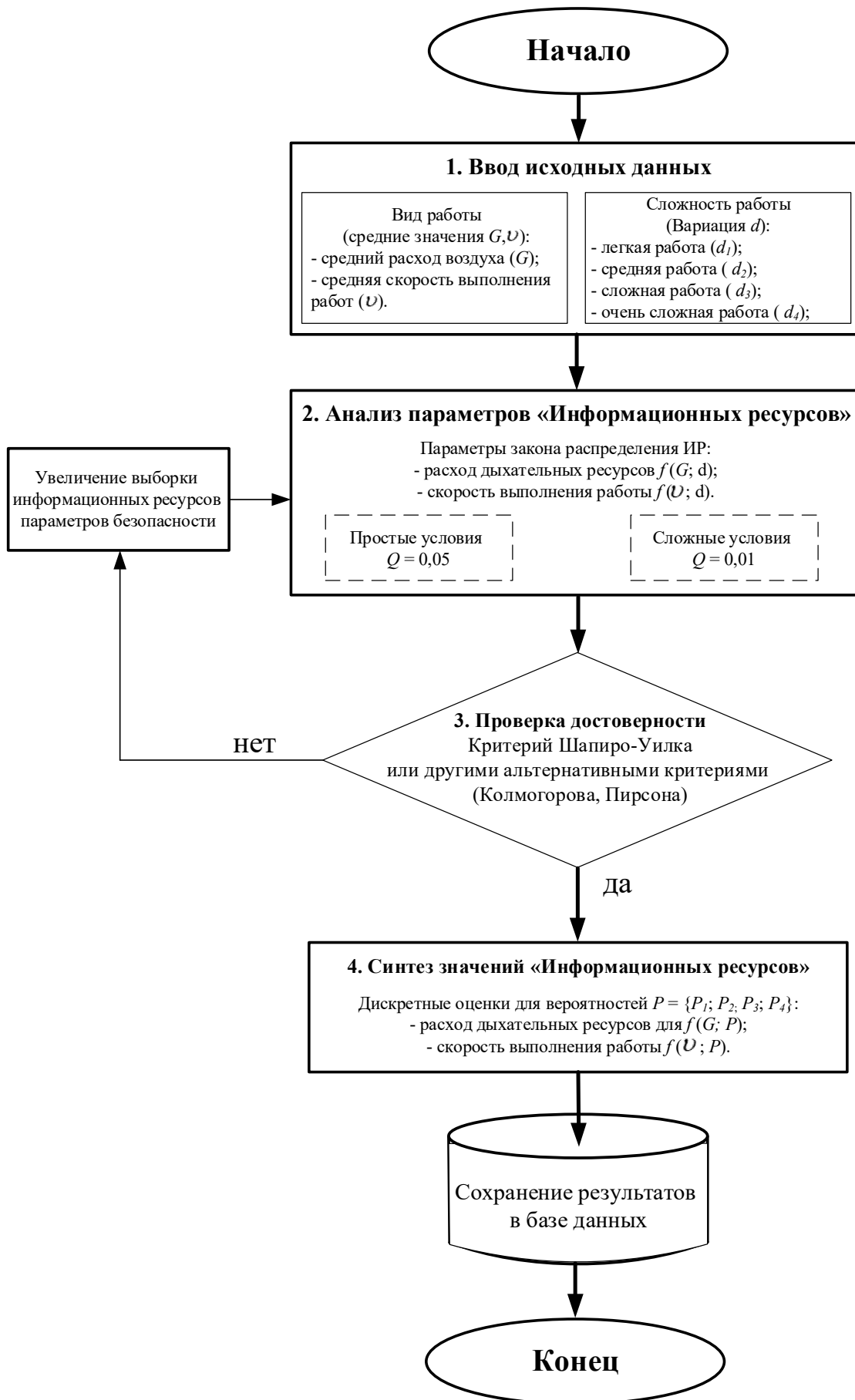


Рисунок 29 – Алгоритм синтеза информационных ресурсов

Метод получения информационных ресурсов [41] описан на основе проведенного экспериментального исследования во второй главе диссертации [34]. С целью синтеза плановых значений параметров безопасности разработан метод, включающий в себя дискретную модель двух случайных величин, представленных переменными  $V$  – ресурс воздуха и  $T$  – ресурс времени, необходимых для движения к месту проведения работ. Атрибутами метода являются счетные множества:

$$\langle R, Ran, \langle V; T \rangle \rangle, \quad (47)$$

где  $R$  – множество элементарных работ с элементами  $\langle R_1; R_2; R_n \rangle$ ;  $Ran$  – множество случайных равномерно распределенных чисел,  $Ran \in (0;1)$ ;  $\langle V; T \rangle$  – множество дискретных значений исследуемых случайных величин.

Рассмотрим метод формирования информационных ресурсов путем анализа простейшей элементарной работы движения звена ГДЗС по горизонтальному участку местности на расстояние 100 метров. На основе результатов экспериментального исследования были получены плотности распределения параметров безопасности ресурса воздуха  $V$  и ресурса времени  $T$  при выполнении элементарной работы. На рисунках 30 и 31 показано формирование информационных ресурсов с использованием полученных в ходе экспериментального исследования данных путем графического анализа через интегральные плотности распределения. Информационные ресурсы для поддержки управления безопасностью звена газодымозащитной службы при выполнении элементарной работы (движение 100 метров по горизонтальному участку местности) представлены в таблице 24.

Представленные информационные ресурсы в столбцах  $\langle T_1; T_2; T_3; T_4 \rangle$  и  $\langle V_1; V_2; V_3; V_4 \rangle$  содержат вероятностную оценку параметров безопасности газодымозащитников, в столбцах  $\langle T_{cp} \rangle$  и  $\langle V_{cp} \rangle$  – детерминированную оценку параметров безопасности газодымозащитников.



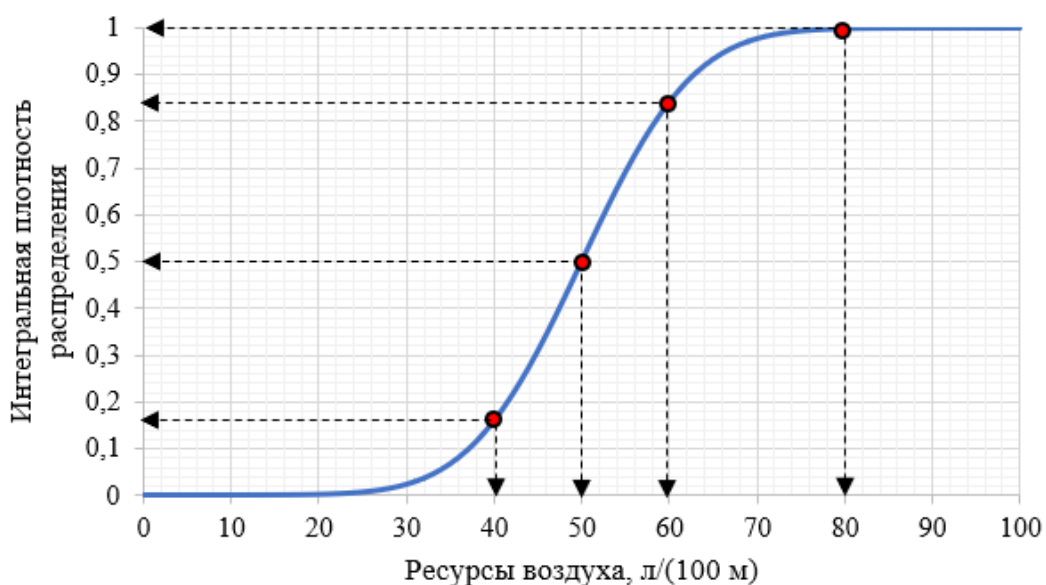
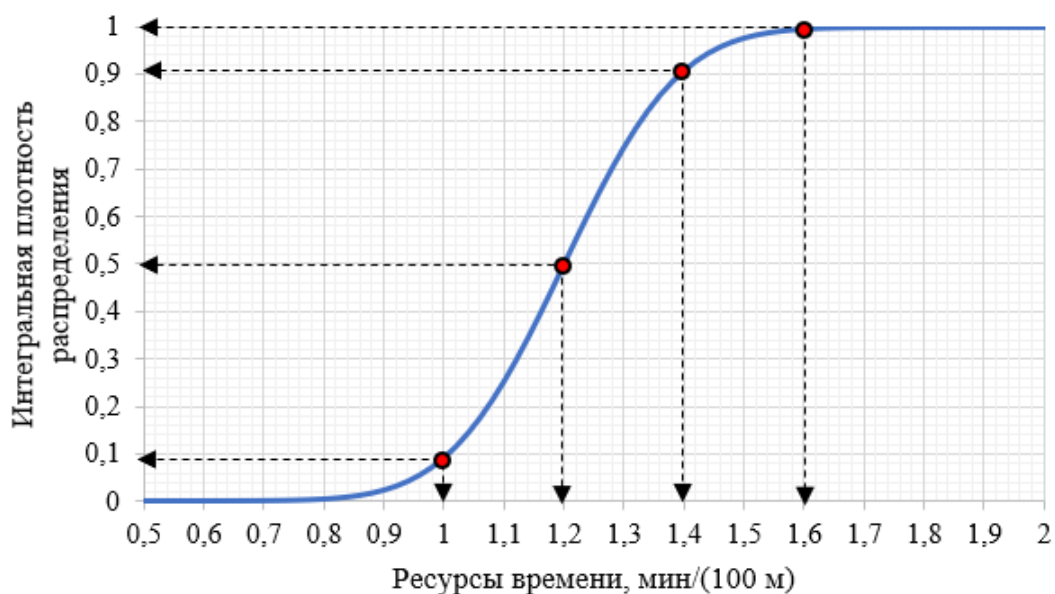
Рисунок 30 – Интегральная плотность распределения ресурса воздуха  $V$ Рисунок 31 – Интегральная плотность распределения ресурса времени  $T$ 

Таблица 24 – Информационные ресурсы для решения задач управления

$V$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_{cp}$
Размерность, л / (100 м)	40	50	60	80	50
Распределение вероятностей	0,16	0,5	0,84	1,00	
$T$	$T_1$	$T_2$	$T_3$	$T_4$	$T_{cp}$
Размерность, мин / (100 м)	1,0	1,2	1,4	1,6	1,2
Распределение вероятностей	0,09	0,5	0,91	1,00	

Таким образом, распределения вероятностей значений расхода дыхательных ресурсов и времени выполнения элементарной работы, представленные в таблице 24, являются информационными ресурсами для поддержки управления безопасностью работ, проводимых в НДС лицом, принимающим решение. Очевидно, что учесть весь перечень работ в НДС не представляется возможным, поэтому необходимо предложить структуру информационных ресурсов для их эффективного наполнения и формирования.

Приведенные информационные ресурсы в совокупности с комплексом значений параметров безопасности в режиме реального времени применяются для мониторинга текущего значения давления оставшегося воздуха в баллоне ДА, что позволяет участникам тушения пожара корректировать свои действия с учетом специфики расхода дыхательных ресурсов, повышая уровень собственной безопасности при работе в НДС в условиях ограниченного времени.

### **3.2 Структура базы данных информационных ресурсов**

При решении задач планирования и нормирования важным аспектом является оценка необходимых параметров безопасности участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде. Для решения данной задачи необходимо использовать разработанную во второй главе диссертации вероятностную модель поддержки управления безопасностью [31]. Однако обоснованное применение модели поддержки управления безопасностью возможно только в случае, если входящие параметры модели являются непрерывными случайными величинами, распределенными по нормальному закону [28, 101, 105]. Все эти величины присущи различным видам работ, как по характеру выполнения, так и по степени тяжести, которые, к тому же, могут различаться в зависимости от исследуемого объекта. Поэтому для возможности синтеза и накопления объема информационных ресурсов параметров безопасности работ, проводимых в непригодной для дыхания среде, была

разработана структура данных, получаемых от дистанционных систем мониторинга (рисунок 32).

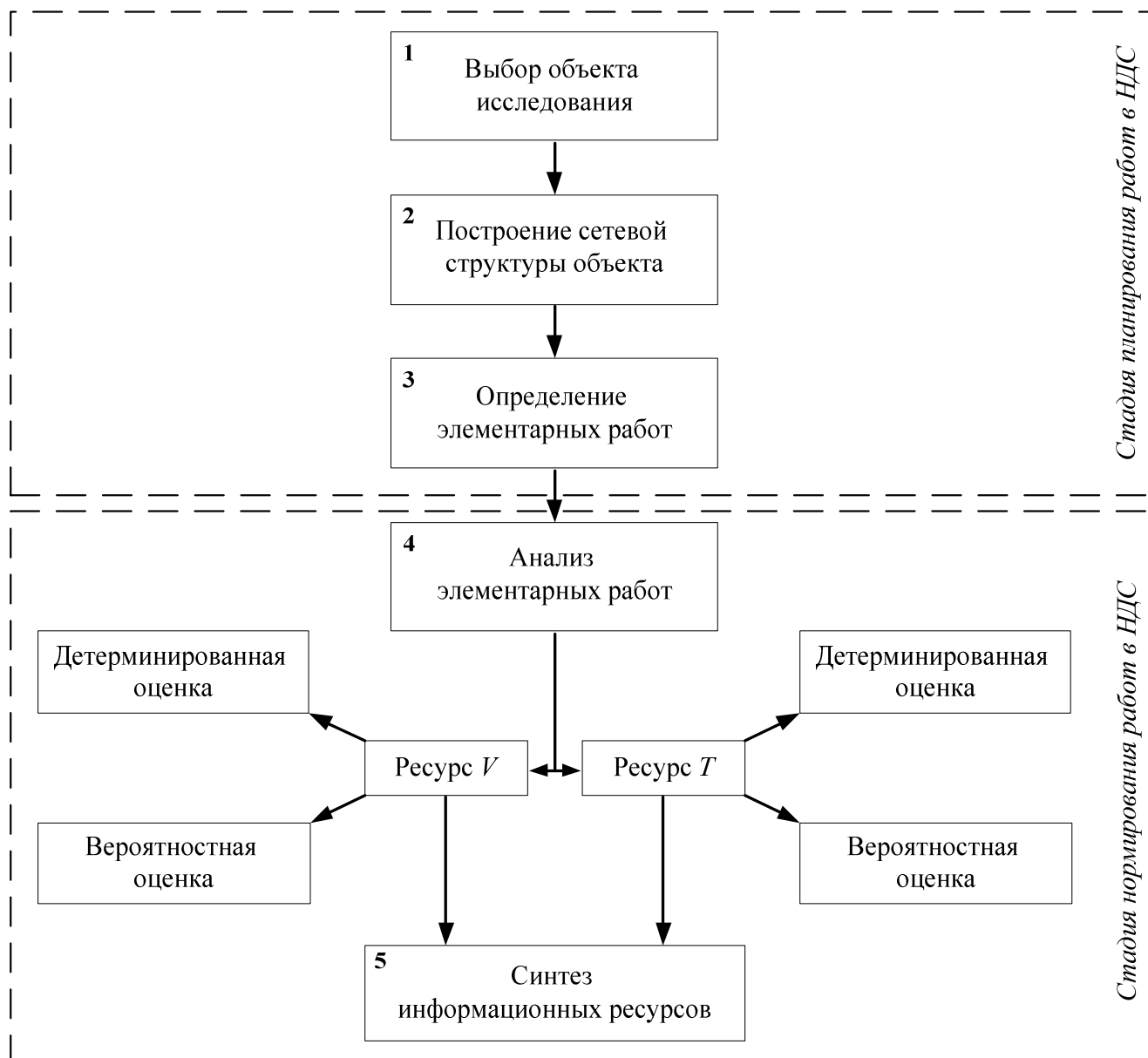


Рисунок 32 – Структура данных результатов мониторинга

Структура включает в себя пять этапов, которые выполняются последовательно.

На первом этапе необходимо выбрать объект исследования, который будет подлежать синтезированию информационных ресурсов. Как правило, необходимо выбирать объекты, которые относятся к сложным условиям работ в непригодной

для дыхания среде [100]. К таким условиям относятся тушение пожаров и ликвидация последствий чрезвычайных ситуаций на объектах транспортной инфраструктуры, объектах повышенной этажности, объектах с массовым пребыванием людей, объектах метрополитена и критически важных объектах. Работу на таких объектах выполняют подразделения: газодымозащитников, газоспасателей, горноспасателей и аварийно-спасательные формирования, в которых условия безопасности работ обеспечиваются с применением дыхательных аппаратов со сжатым воздухом, в конструкцию которых внедрены системы дистанционного мониторинга.

На втором этапе применяется метод сетевого планирования для построения сетевой структуры объекта с выбором маршрутов, которые представляют общую работу  $R$ . На выбранных маршрутах определяются точки мониторинга  $k$ , которые подразделяются на промежуточные и контрольные. Контрольные точки мониторинга носят определяющий характер, в которых на объекте производится сравнение плановых параметров безопасности участников тушения пожара с текущими, получаемыми посредством мониторинга. На основе результатов сравнения этих значений делается вывод об уровне безопасности, на основе которого лицо, принимающее решение, производит управляющие воздействия. Промежуточные точки мониторинга носят информативный характер о текущих значениях параметров безопасности участников тушения пожара.

На третьем этапе производится декомпозиция общего комплекса работ  $R$  на составляющие элементы  $R_i$  (элементарные работы) с определением вида работ. При этом в разработанной структуре данных 1–3 этапы в совокупности представляют стадию планирования работ, проводимых в непригодной для дыхания среде.

Четвертый этап предназначен для анализа выбранных работ  $R_i$  с применением детерминированной и вероятностной модели за счет применения, разработанного в разделе 3.1 алгоритма синтеза информационных ресурсов.

На пятом этапе производится формирования информационных ресурсов, полученных путем синтеза исследуемых параметров безопасности  $V, T$ , с учетом

проверки полученных данных критерием статистического согласия Шапиро-Уилка при уровне значимости  $\alpha = 0,01$ .

Этапы 4–5 в совокупности представляют стадию нормирования работ, проводимых в непригодной для дыхания среде, посредством применения метода формирования информационных ресурсов с последующим их упорядочиванием.

Полученные информационные ресурсы, необходимые для осуществления процедур поддержки управления безопасностью, позволяют использовать в качестве исходных данных как сохраненные результаты мониторинга параметров безопасности, так и полученные в режиме реального времени при выполнении различного рода работ в непригодной для дыхания среде от дистанционных систем мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара.

Достоинством разработанной структуры данных является возможность получения и цифровой обработки информации, принадлежащей определенному виду работ, что в дальнейшем позволит синтезировать значительный массив данных в единую информационно-управляющую систему для поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в НДС.

Однако многообразие исследуемых объектов и множество видов элементарных работ требует формирования единой платформы, которая на своей основе позволит объединить алгоритм синтеза информационных ресурсов параметров безопасности и разработанную структуру данных.

### **3.3 Информационные ресурсы системы поддержки управления**

В настоящее время безопасность участников тушения пожара при работе в НДС обеспечивается техническими решениями, которые были рассмотрены в первой главе диссертации. Предусмотренные способы системы защиты должны предотвращать воздействие или минимизировать опасные факторы пожара [72, 127] на участников тушения пожара. Все воздействующие факторы в НДС приводят к дестабилизации системы управления в постоянно меняющейся обстановке, поэтому поддержка управления безопасностью работ требует новых

решений с учетом формирования информационных ресурсов, получаемых от систем дистанционного мониторинга параметров безопасности средств защиты.

В современных условиях методологическая основа управления безопасностью нуждается в совершенствовании по причине внедрения в практику борьбы с пожарами дистанционных систем мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара путем перехода от качественного анализа данных, получаемых при помощи средств радиосвязи (переносная радиостанция), к количественному за счет цифровой обработки данных. Доказано, что структура результатов дистанционного мониторинга имеет вероятностную природу, и применение детерминированной модели и алгоритма управления для цифровой обработки данных не во всех случаях обеспечивает адекватный результат при осуществлении поддержки управления безопасностью [105, 106]. Для возможности цифровой обработки данных в полной мере и применения вероятностной модели поддержки управления безопасностью необходимо произвести синтез информационных ресурсов, необходимых для поддержки управления при работе в НДС на основе общей теории управления рисками. Результатом такого решения является база данных информационных ресурсов [44], которая реализована в рамках объектно-ориентированного подхода.

База данных содержит информацию о скорости движения и расхода дыхательных ресурсов участников тушения пожара при выполнении различного спектра работ в НДС. Совокупность дискретных данных объединена по виду выполняемых работ с делением на четыре уровня сложности [114]. При этом методы проектирования и практической реализации базы данных информационных ресурсов для решения задач управления предусматривают применение объектно-ориентированного подхода. Функциональные возможности информационных ресурсов позволяют накапливать, обобщать, добавлять, корректировать, хранить и оперативно извлекать структурированную информацию. В дальнейшем обработанная информация используется как совокупность данных в целом, так и в отдельных фрагментах (рисунок 33) при разработке плановых значений параметров безопасности участников тушения

пожара в НДС в контрольных точках мониторинга, необходимых для осуществления процедур поддержки управления безопасностью.

Фрагмент информационных ресурсов							
Id_r	X1	X2	X3	X4	G		
1	0,1	0,3	0,8	1	12,5		
2	0,2	0,5	0,9	1	12,5		
3	0,25	0,5	0,75	1	12,5		
4	0,1	0,5	0,9	1	12,5		
5	0,15	0,25	0,8	1	12,5		

Вероятностный подход
Детерминированный подход

Рисунок 33 – Фрагмент информационных ресурсов

Практическая реализация предложенной структуры данных информационных ресурсов для поддержки управления позволит обеспечить выполнение современных требований к управлению силами и средствами пожарно-спасательных подразделений в части реализации цифровой обработки данных от дистанционных систем мониторинга состояния безопасности участников тушения пожара при ведении работ в НДС. Основным достоинством предложенной информационной системы является возможность варьирования интервальными значениями критериев безопасности, что позволяет использовать их плановые и фактические характеристики и осуществлять управление как в режиме реального времени, так и на стадии планирования.

Работа с информационными ресурсами базы данных выполняется простыми действиями:

1) производится выбор наименования элементарной работы на исследуемом объекте из списка наименования работ (рисунок 34), который в дальнейшем будет расширяться путем накопления информационных ресурсов.

Id	Name_work	Id_X	Id_Y
1	Покой	0	0
2	Передвижение по горизонтали (медленная)	2	3
3	Передвижение по горизонтали (ускоренная)	3	4
4	Бег по горизонтали	3	4
5	Подъем по лестничной клетке	3	1
6	Спуск по лестничной клетке	1	1
7	Подъем по лестничной клетке с грузом 90 кг	3	1
8	Спуск по лестничной клетке с пострадавшим	1	1
9	Подъем по вертикальной лестнице	4	1
10	Спуск по вертикальной лестнице	2	1
11	Передвижение на полчетвереньках	2	1
12	Передвижение через узкий лаз	3	1
13	Переноска "пострадавшего" по горизонтали двумя пожарными	2	2
14	Подъем по лестничной клетке с "пострадавшим"	3	1
15	Переноска пострадавшего методом «руки в замок»	4	2
16	Передвижение по нескольким помещениям	1	2
17	Спуск о по лестничной клетке с грузом 30 кг	2	1
18	Переноска груза весом 60 кг по горизонтальной поверхности	2	2
19	Переноска груза весом 10 кг по горизонтальной поверхности	2	3
20	Разборка конструкций, перекачка бочек	3	3
21	Передвижение со стволом (под напором воды, давление 4.0 - 4.5 атм)	3	2
22	Прокладка рукавной линии к очагу пожара	3	3
23	Проведение разведки с отысканием очага пожара	1	2
24	Проведение разведки с отысканием человека	1	2
25	Произведение коротких интенсивных работ	4	2
26	Произведение длительных монотонных работ	2	2
27	Передвижение со спасательным оборудованием	2	2
28	Ликвидация утечки при помощи спасательного оборудования "Пневм"	3	1
29	Спуск по неподвижному эскалатору	3	2
30	Подъем по неподвижному эскалатору (сопровождение «пострадавшего»)	4	2
31	Вынос «пострадавшего» без сознания по неподвижному эскалатору	4	2
32	Вынос «пострадавшего» по неподвижному эскалатору на карабинах	4	2

Рисунок 34 – Наименование элементарных работ

Если такой работы нет, то необходимо произвести исследование и занести полученные результаты в базу данных информационных ресурсов;

2) после выбора элементарной работы производится определение ее степени тяжести, которая основана на средних значениях (детерминированных) расхода дыхательных ресурсов [114] (рисунок 35);

	Id	Name_w
+	0	Покой
+	1	Легкая
+	2	Средняя
+	3	Тяжелая
+	4	Очень тяжелая

Рисунок 35 – Степень тяжести элементарных работ



3) далее определяется скорость движения участников тушения пожара, которая соответствует степеням тяжести выполнения элементарных работ [114] (рисунок 36);

	Id_s	Type
+	0	None
+	1	Light
+	2	Medium
+	3	Hard
+	4	Hardest

Рисунок 36 – Скорость движения для степени тяжести элементарных работ

4) определяются расходы дыхательных ресурсов участников тушения пожара в вероятностной постановке (интервальные значения), которые зависят от степени тяжести выполняемых работ (рисунок 37);

Id_H	X1	X2	X3	X4
0	0	0	0	0
1	10	12	14	16
2	25	30	35	40
3	50	60	70	80
4	80	90	100	110

Рисунок 37 – Вероятностная постановка расходов дыхательных ресурсов

5) определяются вероятности попадания значений по расходу дыхательных ресурсов в доверительный интервал (рисунок 38);

Id_r	X1	X2	X3	X4	G
1	0,1	0,3	0,8	1	12,5
2	0,2	0,5	0,9	1	12,5
3	0,25	0,5	0,75	1	12,5
4	0,1	0,5	0,9	1	12,5
5	0,15	0,25	0,8	1	12,5
6	0,2	0,5	0,85	1	30,0
7	0,15	0,35	0,85	1	30,0
8	0,25	0,5	0,75	1	30,0
9	0,2	0,35	0,95	1	30,0
10	0,1	0,4	0,8	1	30,0
11	0,25	0,5	0,7	1	30,0
12	0,2	0,7	0,9	1	30,0
13	0,1	0,6	0,8	1	30,0
14	0,1	0,4	0,65	1	30,0
15	0,3	0,7	0,9	1	30,0
16	0,4	0,5	0,7	1	60,0
17	0,3	0,5	0,75	1	60,0
18	0,25	0,6	0,8	1	60,0
19	0,3	0,55	0,85	1	60,0
20	0,25	0,5	0,9	1	60,0
21	0,45	0,6	0,8	1	60,0
22	0,4	0,6	0,7	1	60,0
23	0,35	0,65	0,85	1	60,0
24	0,45	0,5	0,75	1	60,0
25	0,35	0,65	0,7	1	60,0
26	0,4	0,6	0,8	1	60,0
27	0,4	0,75	0,85	1	85,0
28	0,45	0,6	0,9	1	85,0
29	0,3	0,7	0,8	1	85,0
30	0,25	0,7	0,8	1	85,0
31	0,3	0,6	0,85	1	85,0
32	0,4	0,6	0,9	1	85,0

Рисунок 38 – Вероятностные значения расходов дыхательных ресурсов

б) аналогичным способом определяются скорости движения участников тушения пожара при выполнении элементарных работ в вероятностной постановке (интервальные значения), которые зависят от степени тяжести выполняемых работ (рисунок 39);

Id_s	Y1	Y2	Y3	Y4
0	0	0	0	0
1	5	10	15	20
2	20	30	40	50
3	50	60	70	80
4	80	100	120	140

Рисунок 39 – Значения скоростей движений в вероятностной постановке

7) определяются вероятности попадания значений в доверительный интервал по скорости движения участников тушения пожара в зависимости от степени тяжести выполняемых работ (рисунок 40);

Id_r	Y1	Y2	Y3	Y4	V
1	0,15	0,45	0,6	1	10
2	0,2	0,4	0,7	1	11
3	0,3	0,45	0,6	1	6,5
4	0,3	0,45	0,7	1	6,5
5	0,25	0,4	0,65	1	10
6	0,2	0,35	0,6	1	12
7	0,15	0,5	0,6	1	19
8	0,3	0,4	0,7	1	7
9	0,35	0,5	0,6	1	6,5
10	0,3	0,6	0,7	1	6,5
11	0,3	0,4	0,65	1	15
12	0,55	0,65	0,8	1	35
13	0,5	0,7	0,8	1	35
14	0,5	0,7	0,8	1	40
15	0,5	0,7	0,85	1	32,5
16	0,4	0,6	0,9	1	42,5
17	0,45	0,6	0,95	1	40
18	0,45	0,65	0,85	1	35
19	0,35	0,75	0,85	1	30
20	0,3	0,75	0,8	1	25
21		0,6	0,8	1	20
22	0,45	0,6	0,8	1	25
23	0,5	0,7	0,85	1	30
24		0,7	0,9	1	30
25	0,55	0,75	0,8	1	35
26	0,4	0,7	0,75	1	55
27	0,4	0,65	0,8	1	55
28	0,35	0,65	0,85	1	50
29	0,3	0,55	0,75	1	55
30	0,3	0,55	0,8	1	87,5
31	0,45	0,6	0,75	1	115
32	0	0	0	0	0

Рисунок 40 – Вероятностные значения скорости движения

8) все вышеуказанные таблицы гармонизированы в схему данных (рисунок 41), которая обеспечивает целостность информационных ресурсов, их обновление и удаление;

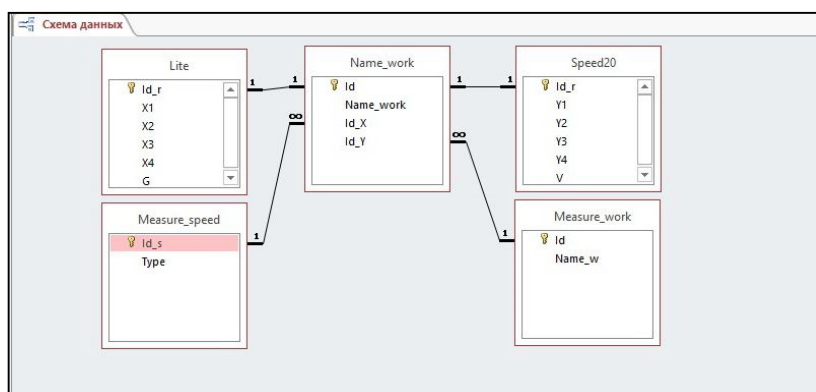


Рисунок 41 – Схема данных информационных ресурсов

9) вывод информационных ресурсов производится по разработанной форме (интерфейсу базы данных) (рисунок 42).

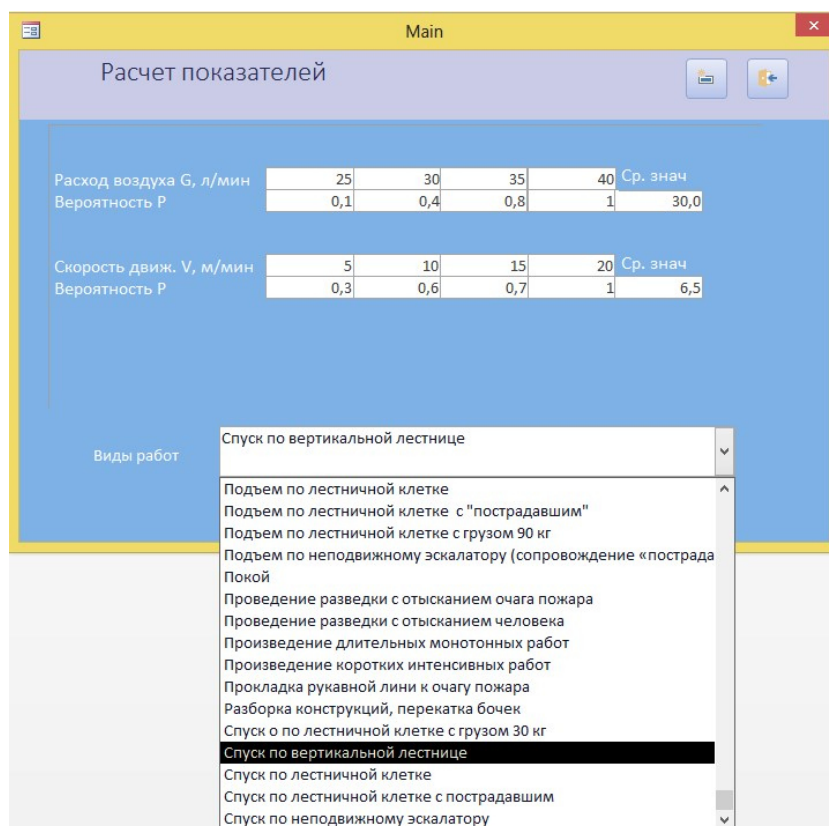


Рисунок 42 – Интерфейс базы данных информационных ресурсов

Синтез эмпирических и теоретических параметров безопасности участников тушения пожара при работе в НДС [34, 105, 106, 114] позволил составить архитектуру базы данных. Выбор элементарных работ осуществляется из выпадающего списка. После формирования запроса производится вывод данных в вероятностном и детерминированном виде для планирования работ в НДС, которые используются ЛПР для осуществления процедур поддержки управления безопасностью участников тушения пожара как на групповом, так и на персонализированном уровне мониторинга параметров безопасности. Таким образом, разработанный алгоритм синтеза информационных ресурсов в совокупности с моделью поддержки управления повышает уровень безопасности участников тушения пожара.

### 3.4 Выводы по третьей главе

При решении третьей задачи исследования, состоящей в разработке алгоритма синтеза и непосредственном синтезе информационных ресурсов на основе моделирования мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара, получены следующие основные результаты:

1. Разработан алгоритм синтеза информационных ресурсов, необходимых для поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде. Алгоритм предназначен для формирования базы данных информационных ресурсов поддержки управления путем исследования элементарных работ и расчета необходимых параметров безопасности.

2. На основе экспериментальных данных, полученных в ходе исследования адекватности модели поддержки управления, даны практические рекомендации по применению разработанного алгоритма синтеза информационных ресурсов.

3. Синтезированы информационные ресурсы для решения широкого круга задач поддержки управления безопасностью участников тушения пожара. Для эффективного применения результатов синтеза при планировании мониторинга безопасности участников тушения пожара поставлена и решена задача по созданию структуры информационных данных для поддержки управления безопасностью, даны рекомендации по ее реализации в виде базы данных.

4. На основе созданной структуры разработана электронная база данных, позволяющая оперативно выводить рабочие параметры безопасности участников тушения пожара как для вероятностной, так и для детерминированной модели поддержки управления безопасностью с учетом сложности условий работы в непригодной для дыхания среде и временных ограничений. Сложность алгоритмической структуры процедур поддержки управления определила необходимость разработки программного комплекса поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде.

## **ГЛАВА 4 ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ПОДДЕРЖКИ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ УЧАСТНИКОВ ТУШЕНИЯ ПОЖАРА**

Четвертая глава диссертации посвящена алгоритмизации и программной реализации разработанных теоретических аспектов поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в виде программного комплекса. Основные научные результаты, полученные в ходе исследования, направлены на решение прикладных задач поддержки управления на основе анализе плановых и фактических значений параметров безопасности участников тушения пожара.

Учитывая специфику информационного обеспечения лица, принимающего решения при управлении безопасностью участников тушения пожара как на групповом, так и на персонализированном уровне, необходима дескриптивная модель и обобщенный алгоритм поддержки управления. Применение модели и алгоритма при разработке программного комплекса обеспечит необходимый уровень адаптации процедур поддержки управления современным требованиям безопасности, учитывая их совместимость с дыхательными аппаратами, оборудованными системой мониторинга параметров безопасности.

Необходимость доведения управляющих воздействий до участников тушения пожара при реализации процедур поддержки управления безопасностью послужило основанием для разработки устройства информационной поддержки газодымозащитника, совместимого с программным комплексом. Сформулированы практические рекомендации по применению устройства и программного комплекса информационной поддержки при работах участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде.

Таким образом, выполнено совершенствование процедуры поддержки управления безопасностью участников тушения пожара за счет применения разработанного программного комплекса с учетом специфики применения дескриптивной модели и алгоритма поддержки управления с учетом цифровой обработки результатов мониторинга параметров безопасности.

#### 4.1 Дескриптивная модель поддержки управления безопасностью

Проведение мероприятий по созданию безопасных условий труда участников тушения пожара и обеспечение эффективной эксплуатации технических средств [2, 3, 17, 100] при тушении пожаров является одной из определяющих задач при организации и ведении боевых действий пожарно-спасательными подразделениями в непригодной для дыхания среде. Задачи обеспечения безопасности работ в условиях НДС возложены на должностных лиц аварийно-спасательных и пожарно-спасательных формирований, что закреплено положениями общей концепции обеспечения безопасности на территории Российской Федерации [64, 125, 126]. Специфика боевых действий при тушении пожаров определяет наличие дополнительного фактора при работе в НДС (в данном случае – повышенными тепловыми нагрузками), что существенно влияет на процесс расхода дыхательных ресурсов из баллонов дыхательных аппаратов [17]. Поэтому наиболее достоверным источником данных о расходе воздуха и, как следствие, допустимом времени пребывания в непригодной для дыхания среде, являются прямые многократные измерения абсолютных значений давления воздуха в баллоне дыхательного аппарата.

В этой связи цифровая обработка данных и контроль за расходом дыхательных ресурсов производится в соответствии с общепринятыми процедурами статистической обработки результатов измерений. Сложная структура процедуры цифровой обработки данных в совокупности с необходимостью их оперативного получения для принятия решений по обеспечению безопасности определяют необходимость создания программного комплекса для поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде [27], для реализации которой разработана дескриптивная модель поддержки управления безопасностью [39] (рисунок 43).

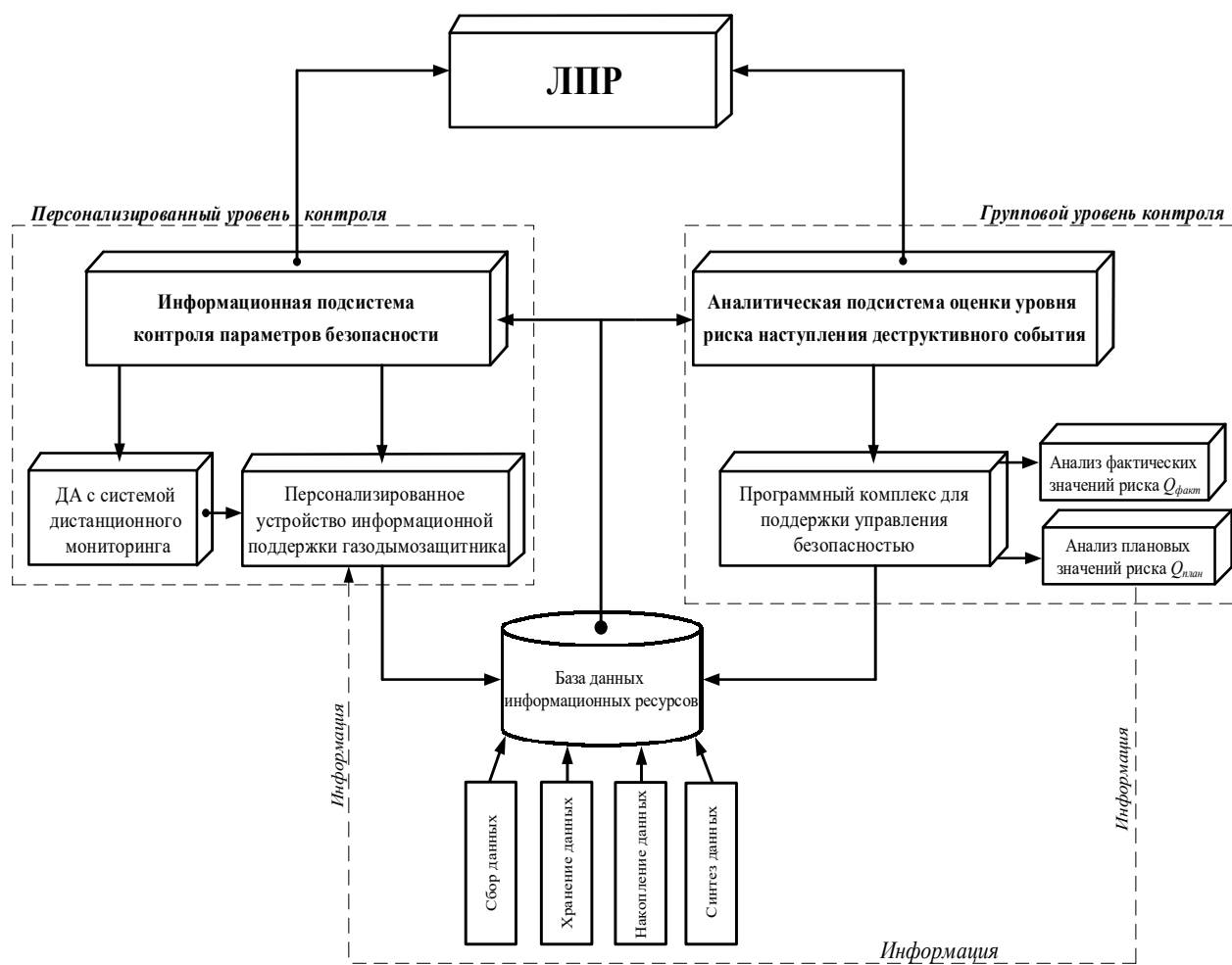


Рисунок 43 – Deskриптивная модель поддержки управления безопасностью

Стоит отметить, что теоретические аспекты разработки дескриптивной модели поддержки управления безопасностью участников тушения пожара определяют наличие двух взаимосвязанных между собой подсистем:

- информационной подсистемы контроля параметров безопасности;
- аналитической подсистемы оценки уровня риска наступления деструктивного события.

В информационную подсистему контроля дыхательных ресурсов в баллонах ДА входит два блока:

- система дистанционного мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара, которая внедрена в конструкцию дыхательного аппарата;
- персонализированное устройство информационной поддержки [38].



Данные из информационной подсистемы контроля параметров безопасности участников тушения пожара поступают в аналитическую подсистему оценки уровня риска наступления деструктивного события, где они распределяются в базу данных информационных ресурсов [44], которая предназначена для хранения, накопления, обработки и синтеза информации, поступающей в режиме реального времени по объектно-ориентированному принципу. Далее лицо, принимающее решение, применяет программный комплекс, установленный на портативный компьютер, для обеспечения аналитических процедур поддержки управления [44], в которой производится анализ риска наступления деструктивного события, путем получения плановых значений параметров безопасности и сравнения их с текущими параметрами при мониторинге для заданного уровня риска.

После полного цикла обработки информации она выводится на дисплей компьютера для осуществления управляющего воздействия лицом, принимающим решение, которое дублируется на персонализированном устройстве информационной поддержки участников тушения пожара, что в совокупности позволяет производить планирование необходимых параметров безопасности участников тушения пожара для обеспечения условий безопасности и контролировать работу в непригодной для дыхания среде на персонализированном и групповом уровне мониторинга.

Работа дескриптивной модели поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при выполнении комплекса работ в непригодной для дыхания среде построена следующим образом: лицо, принимающее решение, на основе электронной базы данных информационных ресурсов, необходимых для поддержки управления безопасностью, обеспечивает процедуру принятия решений на основе анализа риска наступления деструктивного события индивидуально для каждого газодымозащитника через устройство информационной поддержки и звеньев газодымозащитной службы в целом, через программный комплекс.

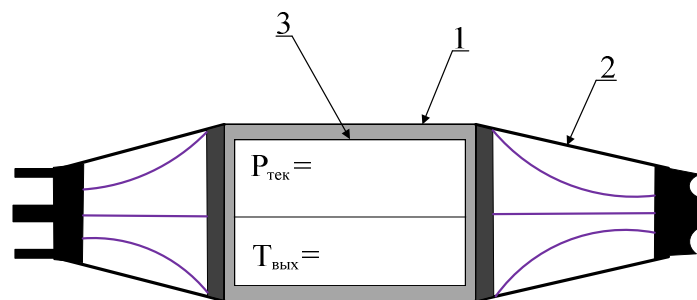
#### 4.1.1 Персонализированное устройство информационной поддержки

Персонализированное устройство информационной поддержки [38] предназначено для управления безопасностью и принятия управленческих решений на индивидуальном (персонализированном) уровне. Устройство функционирует совместно с дыхательными аппаратами, оборудованными системой дистанционного мониторинга параметров безопасности газодымозащитника, которая может быть применена при работе звеньев газодымозащитной службы на пожарах в сложных условиях [74, 100]. Как правило, системы дистанционного мониторинга выступают в роли обеспечения персональной системы безопасности газодымозащитников, например, имеют «тревожную кнопку», сигнализацию (звуковое оповещение, световое оповещение) [103, 151].

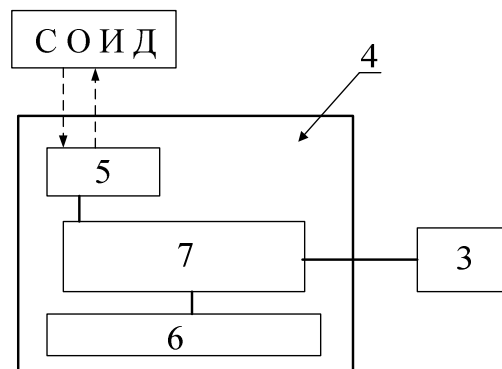
Персонализированное устройство информационной поддержки газодымозащитника, техническим результатом которого является повышение уровня безопасности газодымозащитника при работе в непригодной для дыхания среде и при ограниченном времени, что обеспечивается повышением точности определения прогнозных параметров безопасности с учетом индивидуальности каждого газодымозащитника и разнородности выполняемых задач.

Устройство предназначено для совместного использования с дыхательным аппаратом, на котором размещена система определения и индикации давления [103, 151], содержащее блок сбора и передачи данных, выполненный с возможностью взаимодействия по беспроводным каналам связи с СОИД, индикатор информации, содержит корпус с элементом крепления на запястье пользователя в виде браслета, в котором установлена печатная плата, на которой размещены процессор с интегрированной персональной математической моделью расхода дыхательных ресурсов пользователя соединенный с блоком питания, блоком сбора-передачи данных и с индикатором информации. Внешний вид устройства (рисунок 44 а) и функциональная схема (рисунок 44 б) представлены на рисунке 44, где 1–корпус устройства; 2–элемент крепления на запястье

пользователя в виде браслета; 3—индикатор информации в виде экрана; 4—печатная плата, установленная в корпусе устройства, на которой размещены процессор 7, соединенный с блоком сбора-передачи данных 5, с блоком питания 6 и с индикатором информации 3. Блок сбора-передачи данных 5 выполнен с возможностью взаимодействия по беспроводным каналам с системой определения и индикации давления дыхательного аппарата. В процессор 7 интегрирована математическая модель расхода дыхательных ресурсов пользователя.



а) Внешний вид устройства



б) Функциональная схема устройства

Рисунок 44 – Персонализированное устройство информационной поддержки

Устройство работает следующим образом: предварительно в процессор устройства интегрируют математическую модель расхода дыхательных ресурсов пользователя. Данные для этой модели получают во время тренировок на свежем воздухе, на учебных объектах для подготовки личного состава пожарно-спасательных подразделений, при отработке различных нормативов и проведения

испытаний. Использование персональной математической модели расхода дыхательных ресурсов пользователя позволяет максимально учесть все риски вероятности наступления деструктивных событий для выполнения условий безопасности работ в непригодной для дыхания среде в ограничении временных ресурсов. Персональная математическая модель построена на основе вероятностного метода [29, 30, 35] моделирования расхода дыхательных ресурсов с использованием результатов наблюдения за реальными значениями расхода дыхательных ресурсов при работе пользователя в ДА. Указанный метод позволяет получить необходимые параметры нормального распределения, а также определить уровень риска наступления деструктивного события, что учитывает множество факторов, влияющих на работу в НДС. Наличие и существенное влияние случайности позволяет корректировать результаты моделирования на основе наблюдений за моделируемым процессом в режиме реального времени [22, 29], что также применимо для спасательных устройств [40, 41].

Пользователь закрепляет устройство информационной поддержки на руке поверх защитной одежды в области запястья. Такое размещение устройства обеспечивает пользователю возможность постоянного контроля информации на экране устройства. Сигналы от системы определения и индикации давления поступают по каналам беспроводной связи (радиоканал, wi-fi соединениям) в блок сбора-передачи данных, в котором формируется информационная база данных о текущих значениях контролируемых параметров безопасности (запас воздуха, время работы) при выполнении комплекса работ. Далее обработанная информация поступает в процессор, в котором с помощью вероятностной модели в режиме реального времени рассчитывают значения контролируемых параметров безопасности:

- текущее значение давления оставшегося воздуха в баллоне дыхательного аппарата, атм.;
- прогнозное значение интервала времени до подачи команды «на выход из непригодной для дыхания среды», мин;
- локальный и интегральный уровень риска выполнения работ, отн. ед.

Мониторинг текущего значения давления оставшегося воздуха в баллоне ДА позволяет управлять и корректировать действия с учетом специфики расхода дыхательных ресурсов, что повышает уровень безопасности при работе в НДС в условиях, ограниченных временными ресурсами.

Данные из процессора поступают в наглядном и доступном виде на экран устройства. Планируемые и текущие параметры безопасности участников тушения пожара транслируются в виде цифровых значений, уровень риска отображается в изменении цветового фона. Для этого в экран устройства внедрен цветовой индикатор риска: зеленый цвет фона – уровень риска неудачи в выполнении планируемого объема работ находится в пределах выше приемлемого уровня; желтый цвет – в пределах от приемлемого значения до критического; красный цвет – значение уровня риска ниже критического. Автономность работы устройства обеспечивает блок питания.

Таким образом, персонализированное устройство информационной поддержки обеспечивает повышение уровня безопасности участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде в условиях, ограниченных временными ресурсами.

#### **4.2 Алгоритм поддержки управления безопасностью**

В программном комплексе [44] для осуществления процедур поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в сложных условиях используется метод вероятностной оценки запаса дыхательных ресурсов в ДА со сжатым воздухом. Вероятностная оценка необходимого запаса воздуха [22] предназначена для реализации теории управления рисками в общей концепции управления безопасностью при работе в непригодной для дыхания среде.

Подходы к управлению безопасностью могут быть представлены общей концепцией управления риска наступления деструктивных событий, под которыми понимаются события, реализация которых на практике может являться

препятствием к успешному выполнению поставленных перед пожарными задач, а в исключительных случаях к травмированию и/или гибели УТП.

Рассмотрим комплекс деструктивных событий при работе в непригодной для дыхания среде, связанный с нехваткой дыхательных ресурсов в ДА для выполнения элементарной работы или для успешного убытия из зоны проведения работ. По аналогии с работой [129] можно предположить, что практическая реализация концепции управления рисками в части оценки достаточности запаса воздуха в дыхательном аппарате будет предусматривать декомпозицию общей продолжительности работы на составляющие и оценку вероятности реализации деструктивного события для каждой составляющей ( $P_i$ ).

Тогда риск реализации деструктивного события ( $Q_i$ ) для каждой составляющей общего процесса работы будет определяться по формуле:

$$Q_i = 1 - P_i. \quad (48)$$

В свою очередь, риск реализации ДС для общего процесса работы ( $Q$ ) – это произведение рисков ( $Q_i$ ) для каждого из этапов:

$$Q = \prod_{i=1}^n Q_i = 1 - \prod_{i=1}^n P_i. \quad (49)$$

Управлять риском – значит реализовать мероприятия, направленные на минимизацию значений риска  $Q \rightarrow \min$  или эквивалентно максимизацию значений вероятностей  $P_i \rightarrow \max$ .

Тогда управление безопасностью как снижение вероятности реализации ДС может быть реализовано путем изменения вероятностных характеристик реализации работ и необходимого запаса дыхательных ресурсов для их успешной реализации и, следовательно, увеличение значений вероятностей  $P_i \rightarrow \max$ .

Алгоритм поддержки управления безопасностью участников тушения пожара получен путем обобщения результатов работ [2, 3, 28, 29, 32] и схематически представлен на рисунке 45.

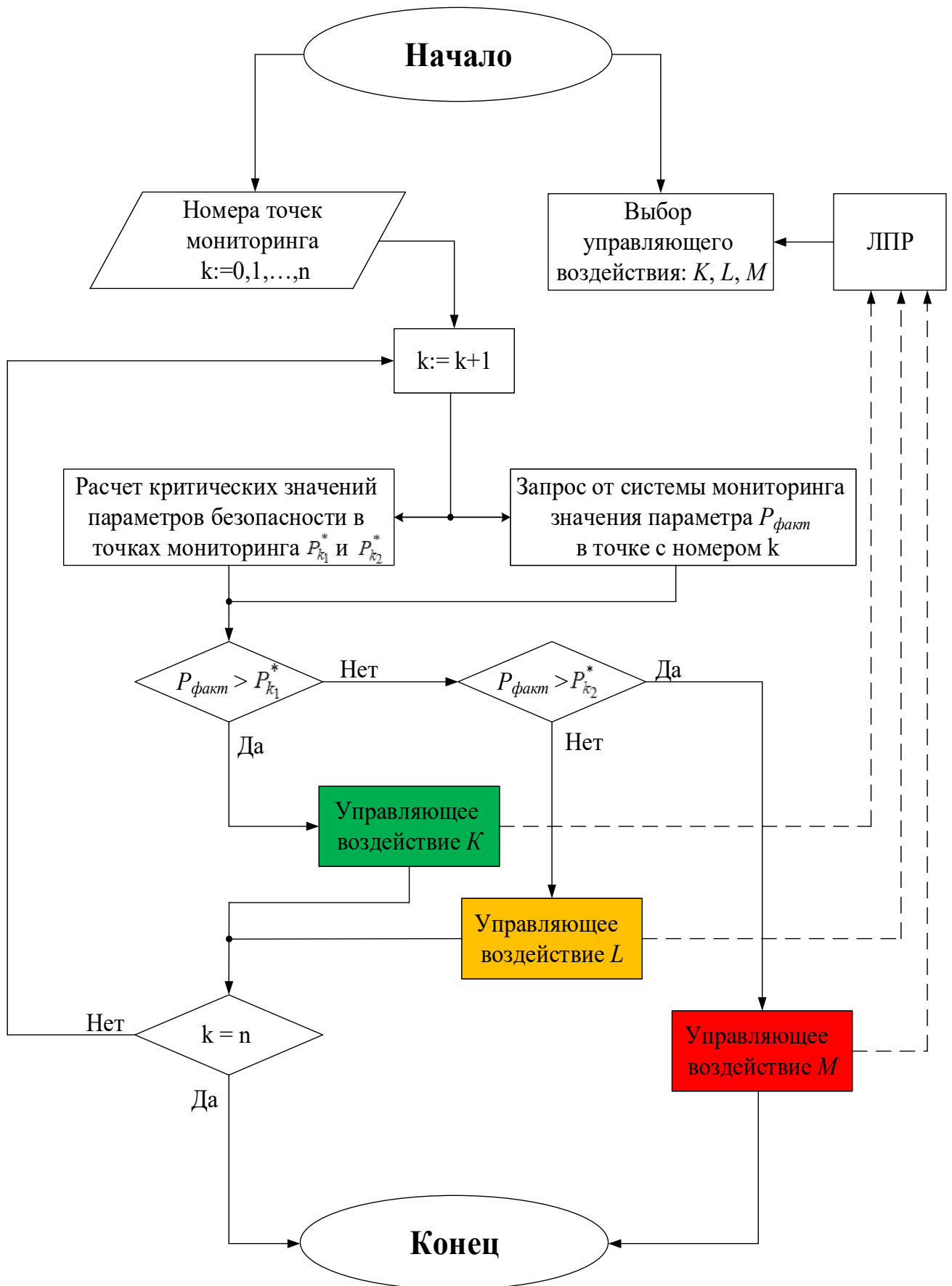


Рисунок 45 – Алгоритм поддержки управления безопасностью

В качестве параметров безопасности при реализации комплекса работ  $R$  используются:

- значения давления воздуха в баллоне дыхательного аппарата ( $P$ , атм);
- $k = 0, 1 \dots, n$  номера контрольных точек мониторинга параметра безопасности при реализации работы  $R$  ( $n$  – номер конечной точки мониторинга);
- $P_{факт}$ , фактическое значение параметра безопасности в точке мониторинга с номером  $k$ ;
- $P_{k_1}^*$  и  $P_{k_2}^*$  критические значения параметра безопасности  $P$  в точке мониторинга с номером  $k$ .

Уровень риска при выполнении работы отображается на экране персонализированного устройства в виде цветовых индикаций. Информация от устройства дублируется на пост управления, обеспечивая ее функционирование на групповом уровне, где лицом, принимающим решение, реализуются следующие управляющие воздействия:

- $K$  – работа в плановом режиме (зеленый фон);
- $L$  – снижение времени на последующую за  $R_i$  работу (желтый фон);
- $M$  – завершение работы, вывод звена ГДЗС в безопасную зону, высылка резервного звена ГДЗС (красный фон).

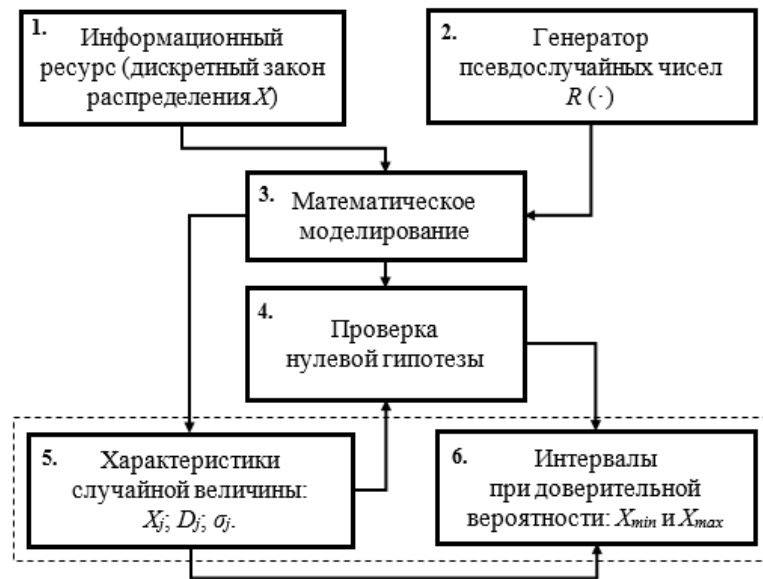
Таким образом, на основе полученных значений параметров безопасности в режиме реального времени посредством мониторинга производится сравнение плановых характеристик параметров безопасности с фактическими, что в совокупности позволяет корректировать действия участников тушения пожара с учетом специфики расхода воздуха индивидуально каждого газодымозащитника, повышая уровень безопасности при работе в непригодной для дыхания среде в условиях, ограниченных временем защитного действия дыхательного аппарата при выполнении комплекса работ  $R$ .

Однако необходимо отметить, что для решения инженерных задач поддержки управления безопасностью разработанные модели и алгоритмы должны быть реализованы в виде программного комплекса для ЭВМ.

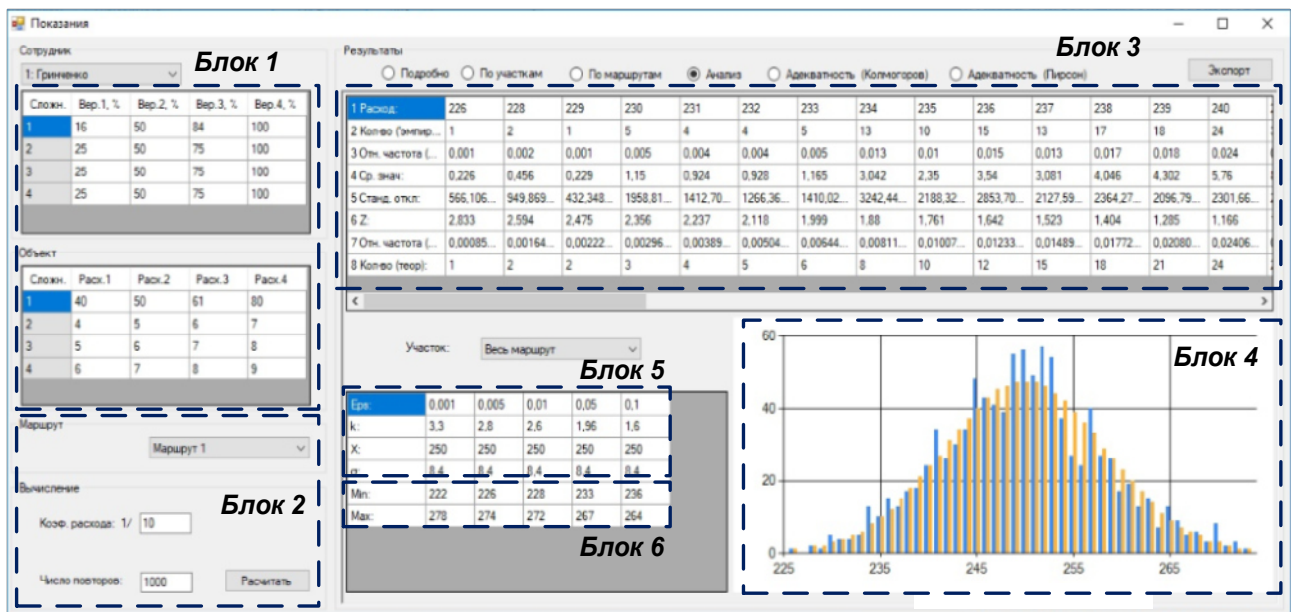


### 4.3 Программная реализация процедур поддержки управления безопасностью

Для моделирования плановых параметров безопасности основных видов работ в точках мониторинга разработан программный комплекс, который состоит из шести взаимоувязанных блоков (рисунок 46 а), каждый из которых отражен на интерфейсе программного комплекса (рисунок 46 б).



а) Функциональная схема программного комплекса



б) Структурные элементы программного комплекса

Рисунок 46 – Интерфейс программного комплекса для поддержки управления безопасностью

В первом блоке производится ввод данных: вероятностная модель параметров безопасности участников тушения пожара при выполнении элементарных работ (дискретный закон распределения его значений).

Во втором блоке осуществляется генерация псевдослучайных чисел, которые подчиняются заданному распределению.

В третьем блоке комплекс работ  $R$  разбивается на элементарные составляющие  $R_i$ , для каждой из которых определяется значение плановых параметров безопасности посредством сопоставления значений псевдослучайного числа и относительных частот «выпадения» значений оценок вероятностной модели. Общий ресурс параметров безопасности для работы  $R$  представляет собой сумму элементарных составляющих работ  $R_i$ . Количество итераций в соответствии с требованиями к точности метода Монте-Карло повторяется не менее чем  $10^5$  раз, результат каждой вычислительной операции сохраняется в базе данных. После чего производится ранжирование выпадающих значений, группировка значений в интервалы, построение гистограммы и полигона частот случайной величины. Сохраненную информацию результатов мониторинга и моделирования параметров безопасности возможно выводить из компьютера в виде Excel-файла для дальнейшего детального анализа.

В четвертом блоке выдвигается статистическая гипотеза, состоящая в том, что случайная величина, соответствующая критерию безопасности, подчиняется нормальному закону распределения. При доказательстве нулевой гипотезы используются два критерия статистического согласия:

1 – критерий Пирсона, с оценкой достоверности моделирования по распределению  $\chi^2$ , полученный на основе аппроксимации Корниша–Фишера;

2 – критерий Колмогорова, в котором принятие гипотезы осуществляется на основе уровня значимости  $\alpha$ .

В пятом блоке формируются числовые характеристики случайной величины: математическое ожидание, дисперсия и стандартное отклонение.

В шестом блоке выводятся интервалы значений исследуемой случайной величины при различных значениях уровня риска. Далее значения на основе

истинных вероятностных характеристик формируют теоретическую модель ресурса воздуха и определяют доверительные интервалы, необходимые для расчета плановых параметров безопасности.

Программный комплекс [43, 44] предназначен для моделирования плановых параметров безопасности участников тушения пожара в точках мониторинга при выполнении различных элементарных работ в непригодной для дыхания среде. В процессе моделирования лицо, принимающее решение, при помощи программного комплекса определяет риск наступления деструктивного события при оценке этапов работ для звеньев ГДЗС в контрольных точках мониторинга, что обеспечивает групповой уровень контроля безопасности [33, 39] (рисунок 47).

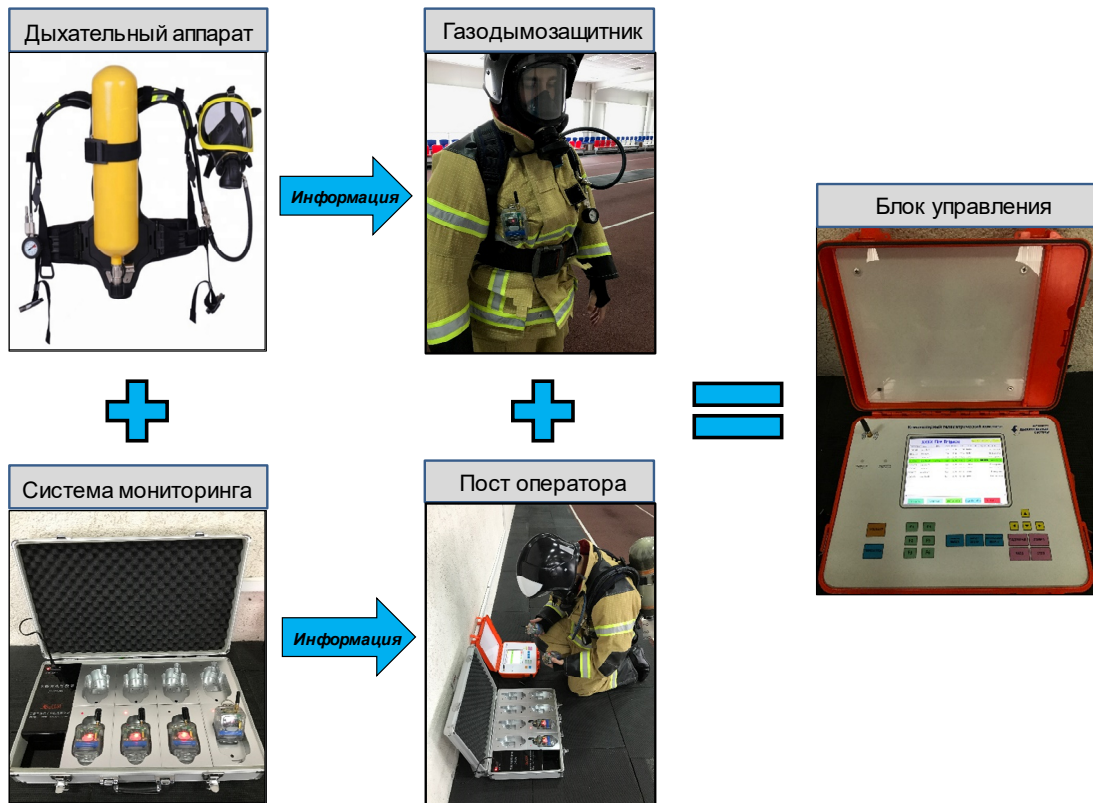


Рисунок 47 – Принципиальная схема группового уровня контроля

При открытии системного файла программного комплекса на компьютере появляется интерфейс, на котором отображены три основные вкладки и четыре вспомогательные (рисунок 48).

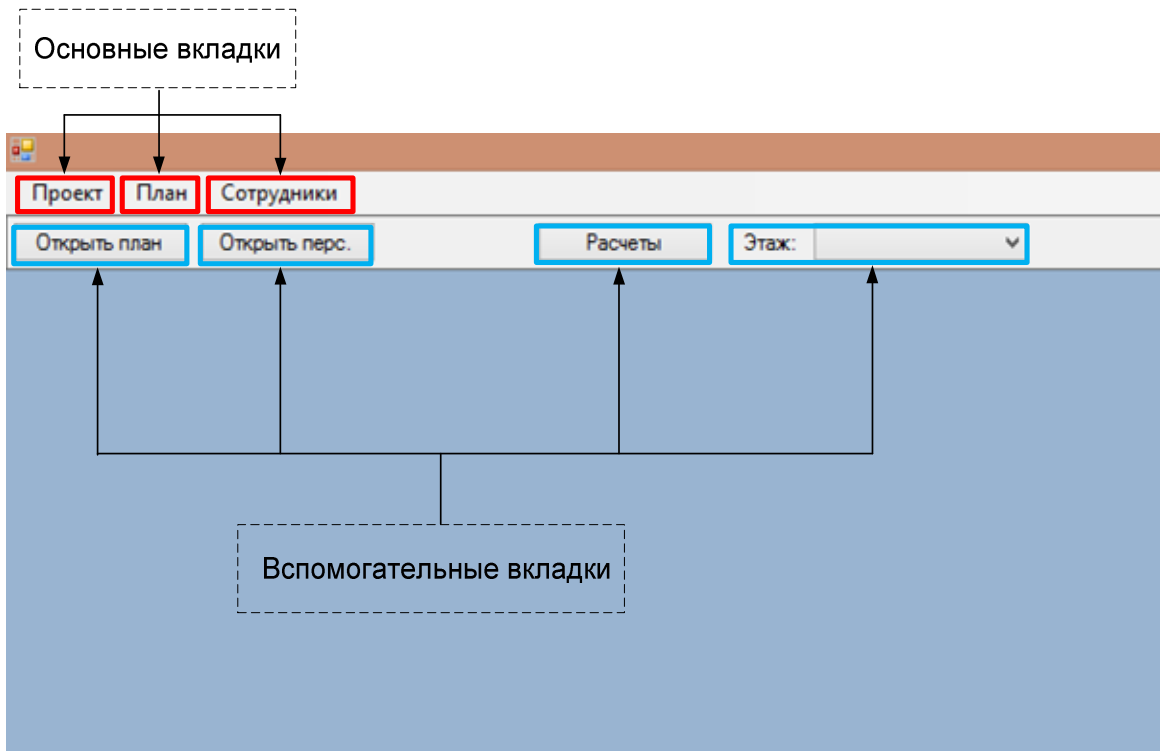


Рисунок 48 – Интерфейс программного комплекса

1) Вкладка «Проект» позволяет открывать для работы объекты (плана) (рисунок 49), которые уже использовались в программе, то есть, производилось моделирование действий участников тушения пожара на объекте с соответствующими расчетами.

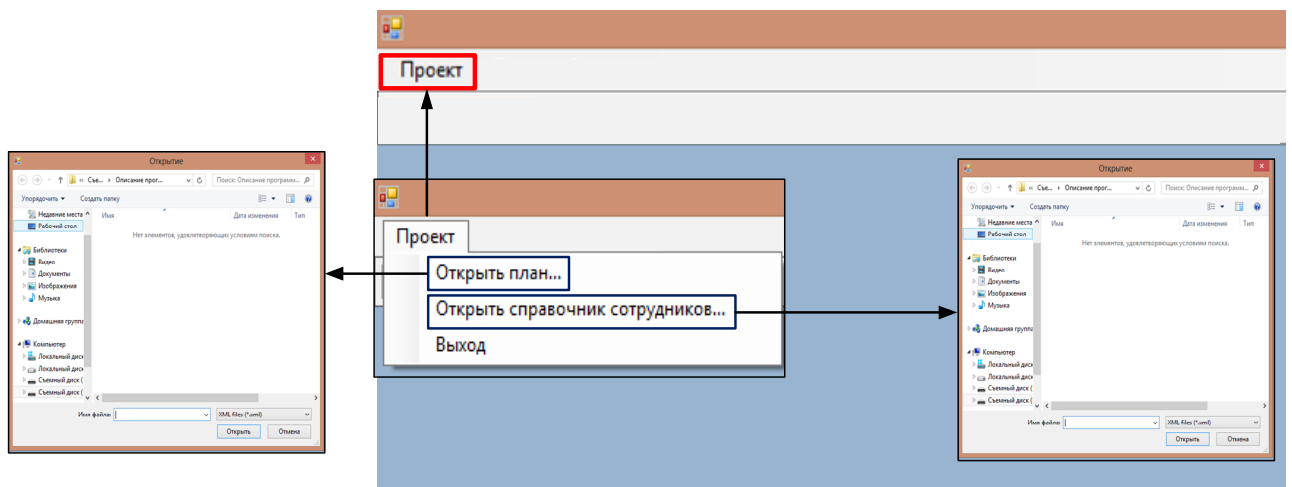


Рисунок 49 – Вкладка «Проект»

2) Вкладка «План» предназначена для создания, редактирования и исследования новых объектов (рисунок 50). В качестве работы программного комплекса информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара рассмотрим работу с данными вкладками на основе моделирования плановых параметров безопасности в контрольных точках мониторинга для работ, рассматриваемых во второй главе диссертации [34].

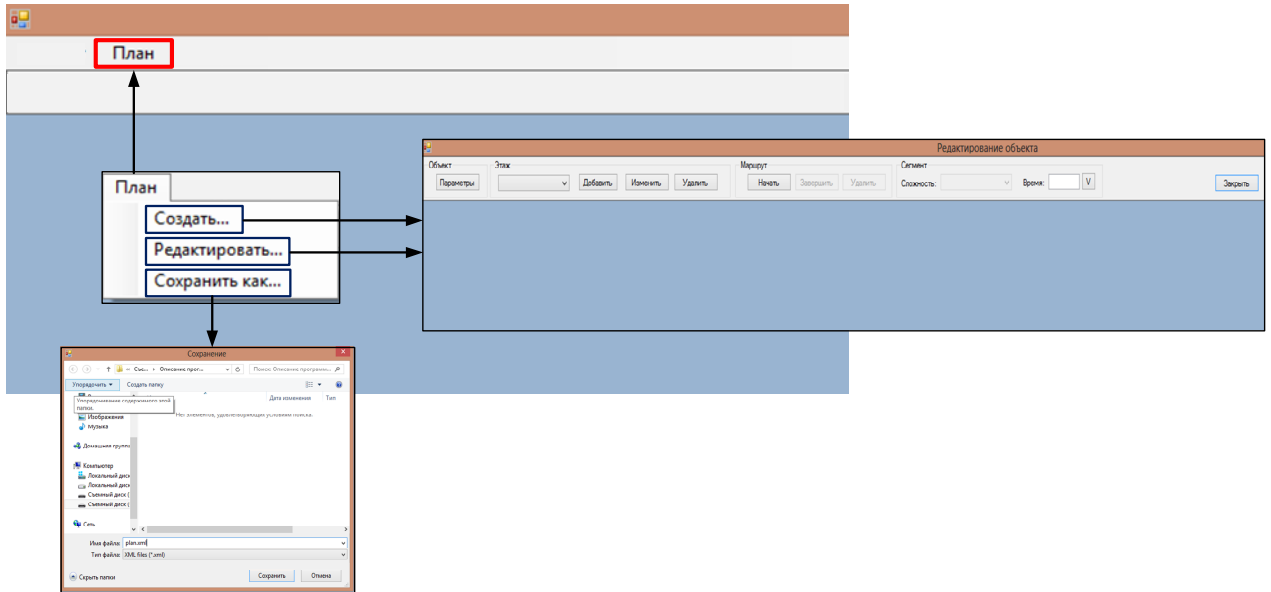


Рисунок 50 – Вкладка «План»

3) Вкладка «Создать» / «Редактировать» осуществляет работу с информационным и аналитическим блоком (рисунок 51).

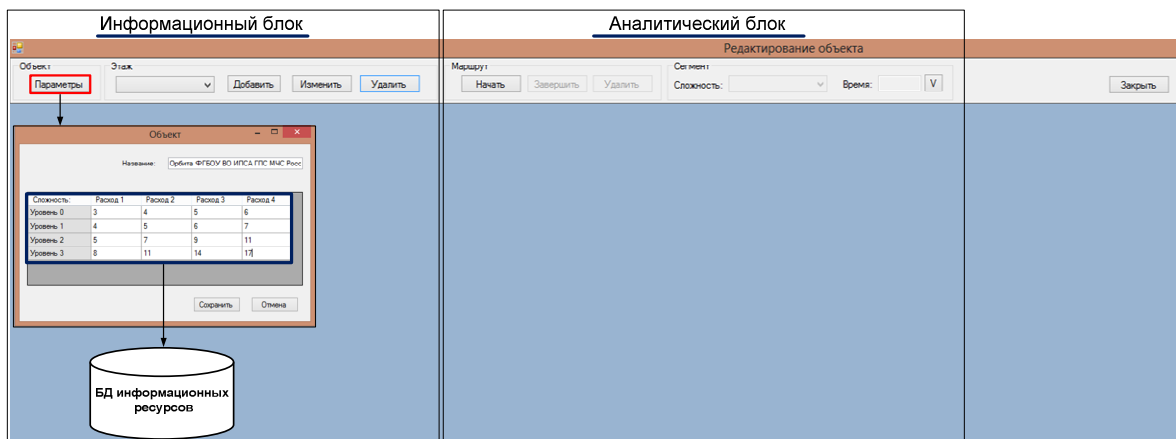


Рисунок 51– Вкладка «Создать» и «Редактировать» объект

Информационный блок предназначен для заполнения данных об исследуемом объекте. К «Параметрам объекта» относятся вероятностные характеристики исследуемых значений, которые затрачивают УТП при выполнении работ (эти данные восполняются из электронной базы данных [44]). После этого необходимо добавить схему исследуемого объекта через вкладку «Добавить». Из системы компьютера выбираем нужный документ, в котором находится схема объекта (рисунок 52).

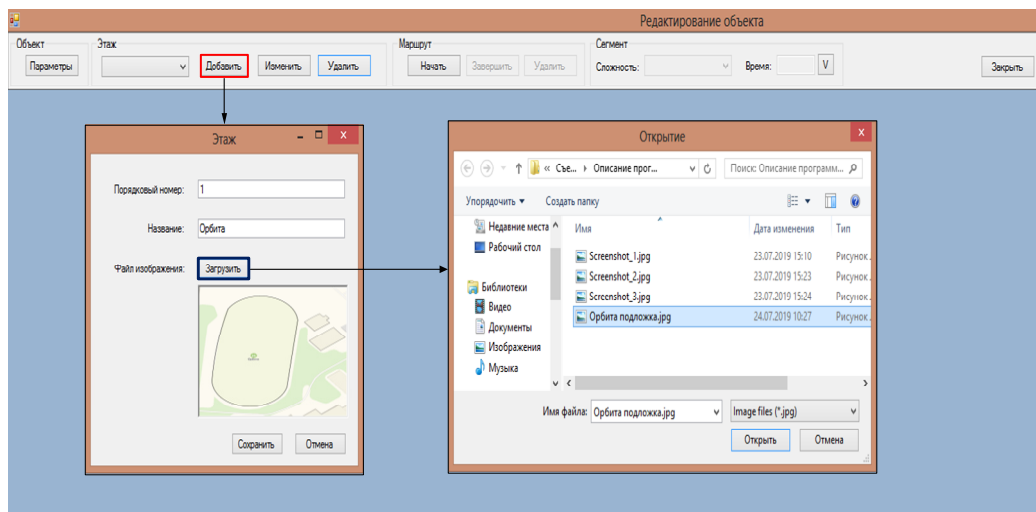


Рисунок 52 – Выбор схемы исследуемого объекта

Нажимаем кнопку «Открыть» для того, чтобы появилась рабочая область (рисунок 53).

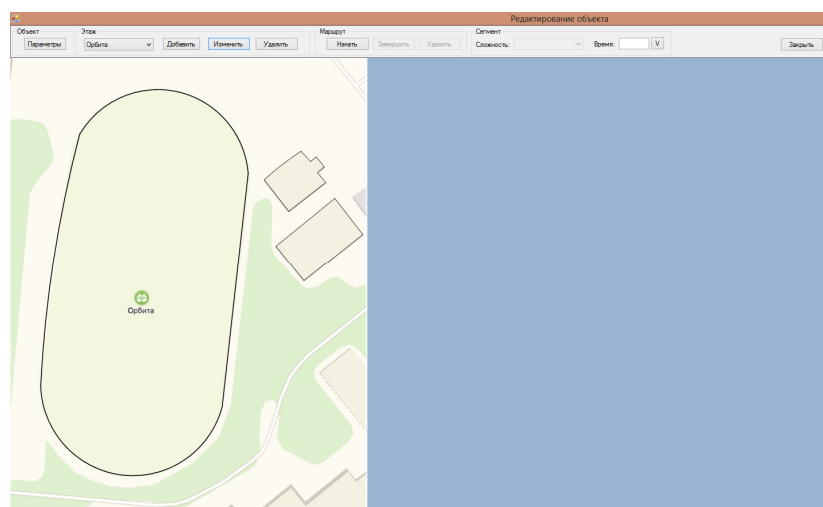


Рисунок 53 – Схема для работы аналитического блока

Дополнительные вкладки «Изменить» и «Удалить» позволяют производить соответствующие манипуляции со схемами объектов.

Аналитический блок начинается с моделирования плановых параметров безопасности. Для того чтобы произвести моделирование, необходимо нажать на вкладку «Начать» и при помощи отмеренных участков на схеме объекта отложить исследуемые маршруты (элементарные работы). На рисунке 54 нарисованы этапы работ в соответствии с проведенным экспериментальным исследованием [34]. После нанесения всех необходимых элементов на схему объекта необходимо нажать на вкладку «Завершить».

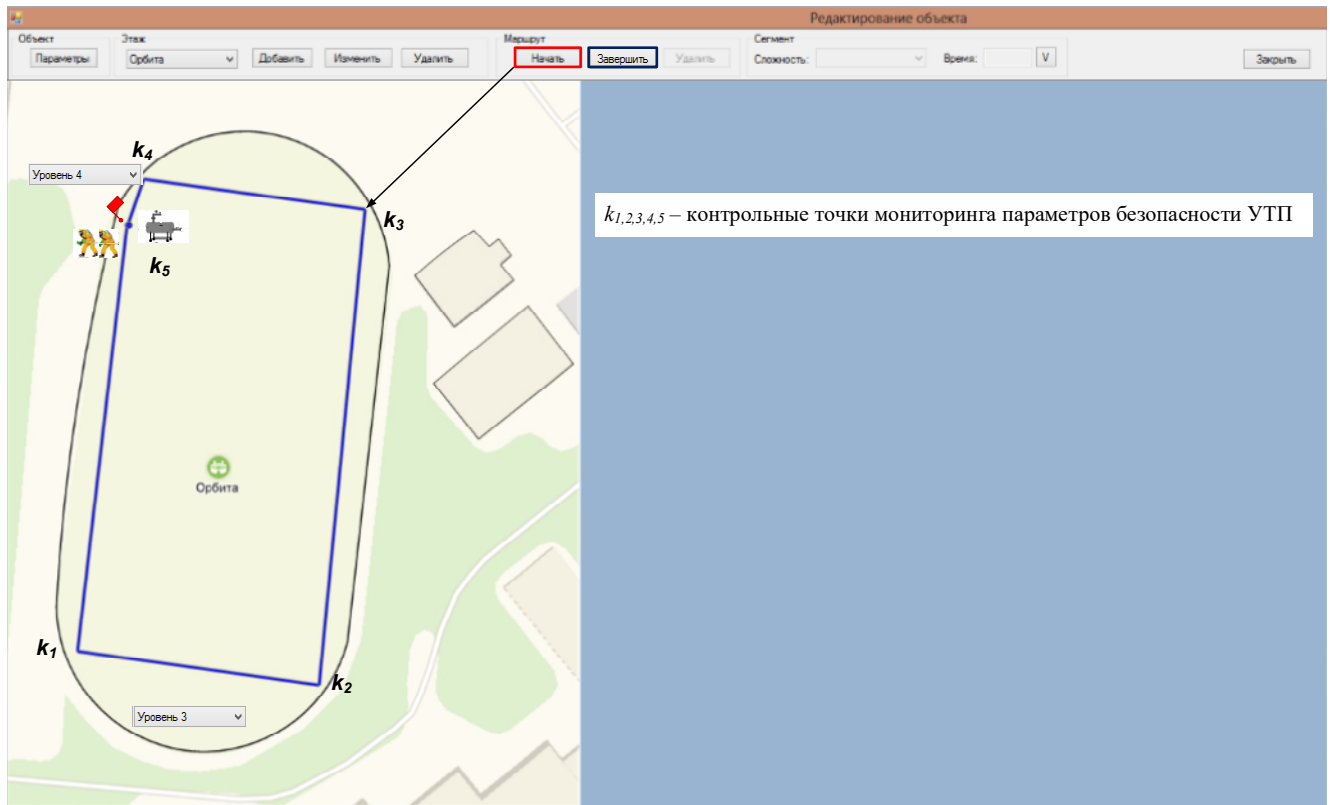


Рисунок 54 – Нанесение на схему объекта исследуемых элементарных работ

После нанесения на схему объекта маршрутов и выбора контрольных и промежуточных точек мониторинга для сравнения плановых и фактических значений параметров безопасности лицом, принимающим решение, в выборе управляющих воздействий, необходимо заполнить сегмент, в котором выбирается элементарный участок работы (рисунок 55).

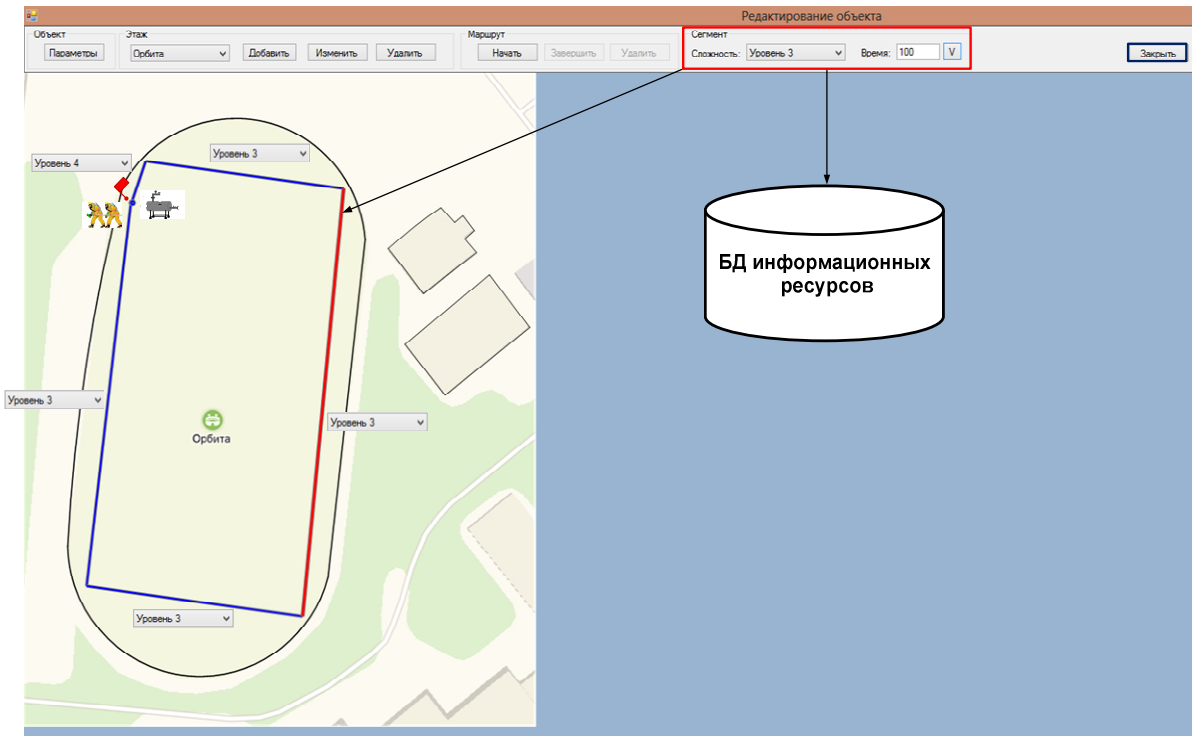


Рисунок 55 – Заполнение информационных ресурсов для каждого участка работ

На этом участке выбираются исследуемые параметры безопасности (расход дыхательных ресурсов в зависимости от степени тяжести выполняемых работ и/или ресурсы времени для выполнения работ). После выбора соответствующих данных необходимо нажать на кнопку «v» для сохранения выбранных параметров для участка работ. Такие манипуляции проделываем для каждого  $R_i$  участка работ. По итогам заполнения всех участков нажимаем на вкладку «Закреть». Программа возвращается в исходное положение.

4) Вкладка «Расчеты» производит моделирование плановых параметров безопасности для конкретного сценария развития событий на исследуемом объекте, но прежде чем выбрать эту вкладку, необходимо заполнить список участников тушения пожара (сотрудников) (рисунок 56). Заполненный список позволяет произвести персонализированную оценку расхода дыхательных ресурсов для каждого сотрудника и всесторонне оценить риск наступления деструктивного события.



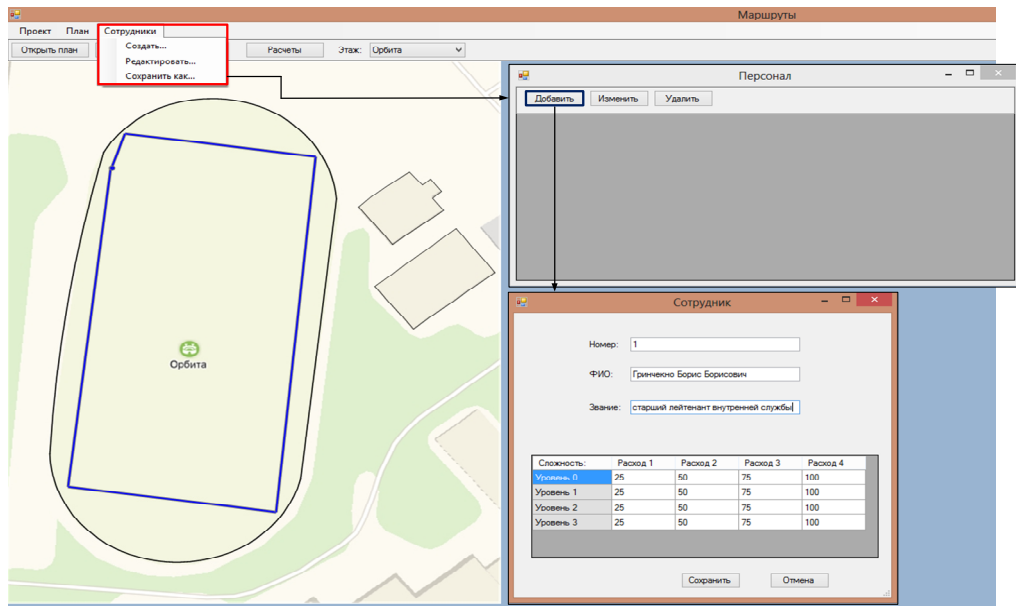


Рисунок 56 – Заполнение вкладки «Сотрудник»

5) Вкладка «Расчеты» отображает сотрудников, для которых производим моделирование плановых параметров в вероятностном и детерминированном виде. Число итераций моделируемого сценария может достигать до  $10^8$  раз. Адекватность теоретической модели распределения исследуемых ресурсов производится с использованием критериев Колмогорова [61, 63] и Пирсона [18]. После выбора количества итераций моделируемого сценария необходимо нажать на кнопку «Рассчитать» (рисунок 57).

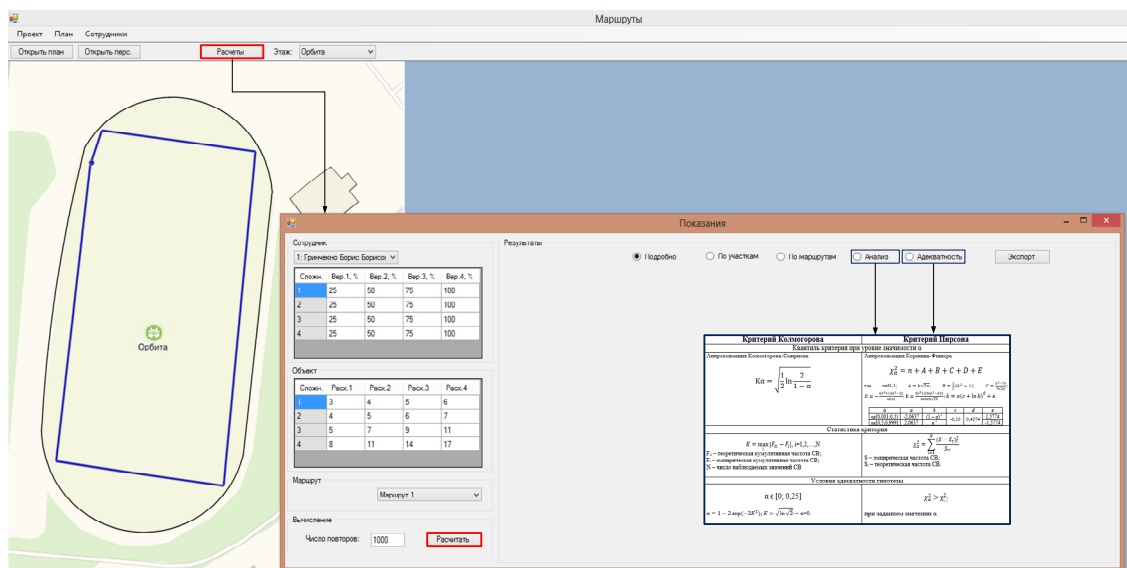


Рисунок 57 – Вкладка «Расчеты»

Результаты выводятся на экране компьютера в виде таблицы с расчетными параметрами безопасности, где лицо, принимающее решение, осуществляет управляющее воздействие, соответствующее уровню приемлемого риска для характерного сценария с доверительным интервалом (рисунок 58).

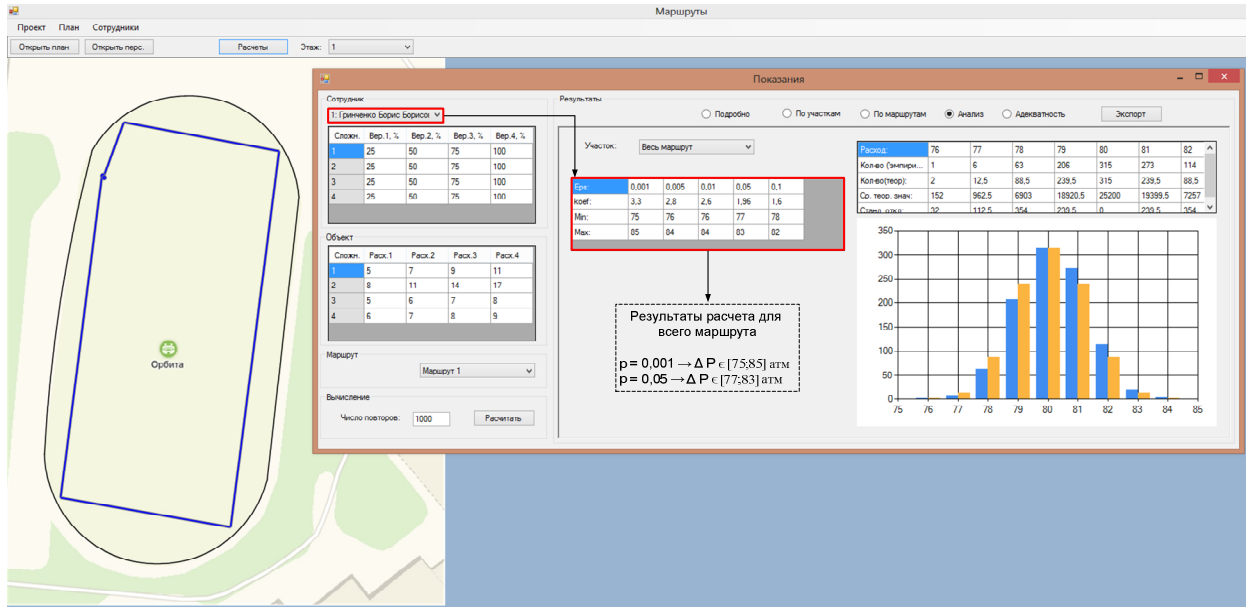


Рисунок 58 – Результаты моделирования плановых параметров безопасности

По результатам рассматриваемого модельного расчета для заданных параметров сотрудника можно сделать вывод, что при вероятности  $p = 0,01$  расход дыхательных ресурсов для комплекса работ  $R$  согласно [34] будет находиться в доверительном интервале  $\Delta P \in (76; 84)$  атм., а при  $p = 0,05 \rightarrow \Delta P \in (77; 83)$  атм.

Результаты расчетов можно анализировать, используя следующие вкладки (рисунок 59):

- вкладка «Подробно» предназначена для полного анализ, который позволяет просмотреть результаты для каждой модельной ситуации из общего объема количества математических вычислений;

- вкладка «По участкам» позволяет просмотреть результаты моделирования для каждого участка маршрута (вида работ на участке), то есть, количество итераций;

- вкладка «По маршрутам» показывает количество итераций на каждом участке маршрута, расход дыхательных ресурсов (общий по участкам), время выполнения;

- вкладка «Анализ» производит построение доверительных интервалов расхода дыхательных ресурсов при заданном уровне риска от 0,001 до 0,1. Интервальные значения можно просмотреть как для всего маршрута, так и для его отдельных этапов;

- вкладка «Адекватность» предназначена для проверки работоспособности выдвигаемой теоретической модели распределения.

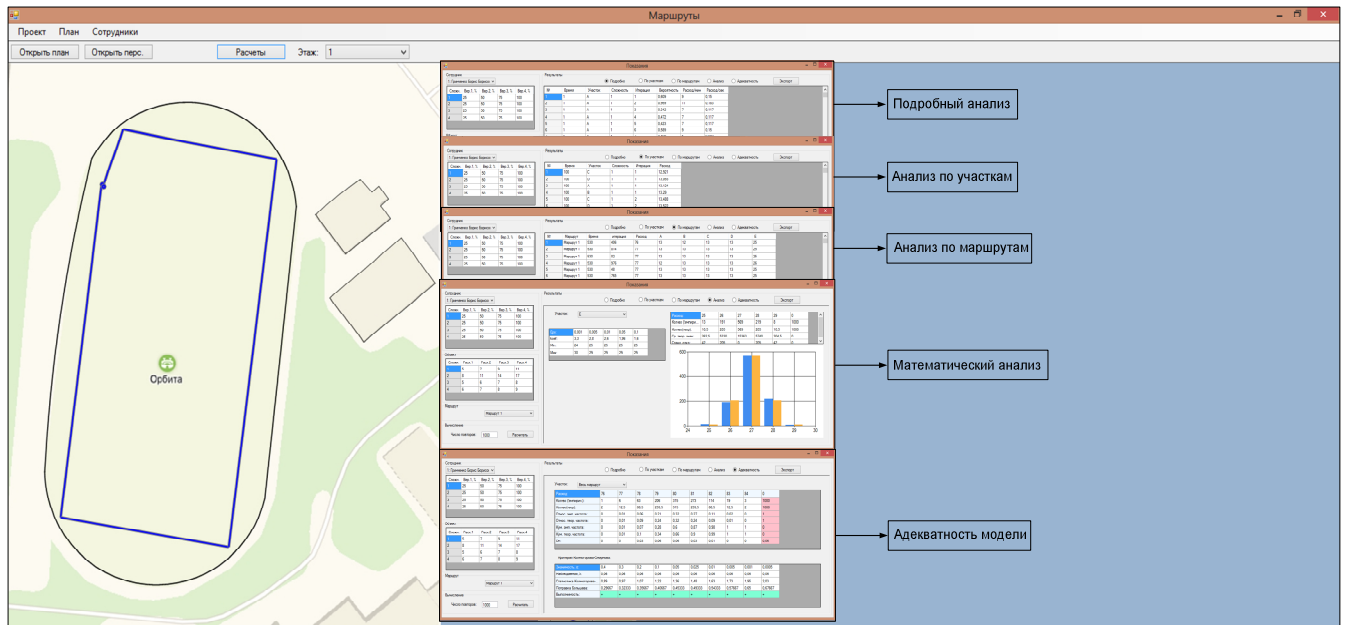


Рисунок 59 – Различные способы анализа модельных расчетов

5) Дополнительные вкладки «Открыть план» / «Открыть перс.» позволяют импортировать в программу ранее сохраненные планы и персонализированные модели параметров безопасности сотрудников (рисунок 60).

После выполнения всех необходимых манипуляций в программном комплексе выбираем вкладку «План», «Сохранить как» и сохраняем исследуемый объект в соответствующем месте на компьютере. В дальнейшем результаты моделирования можно извлекать из компьютера для детального анализа.

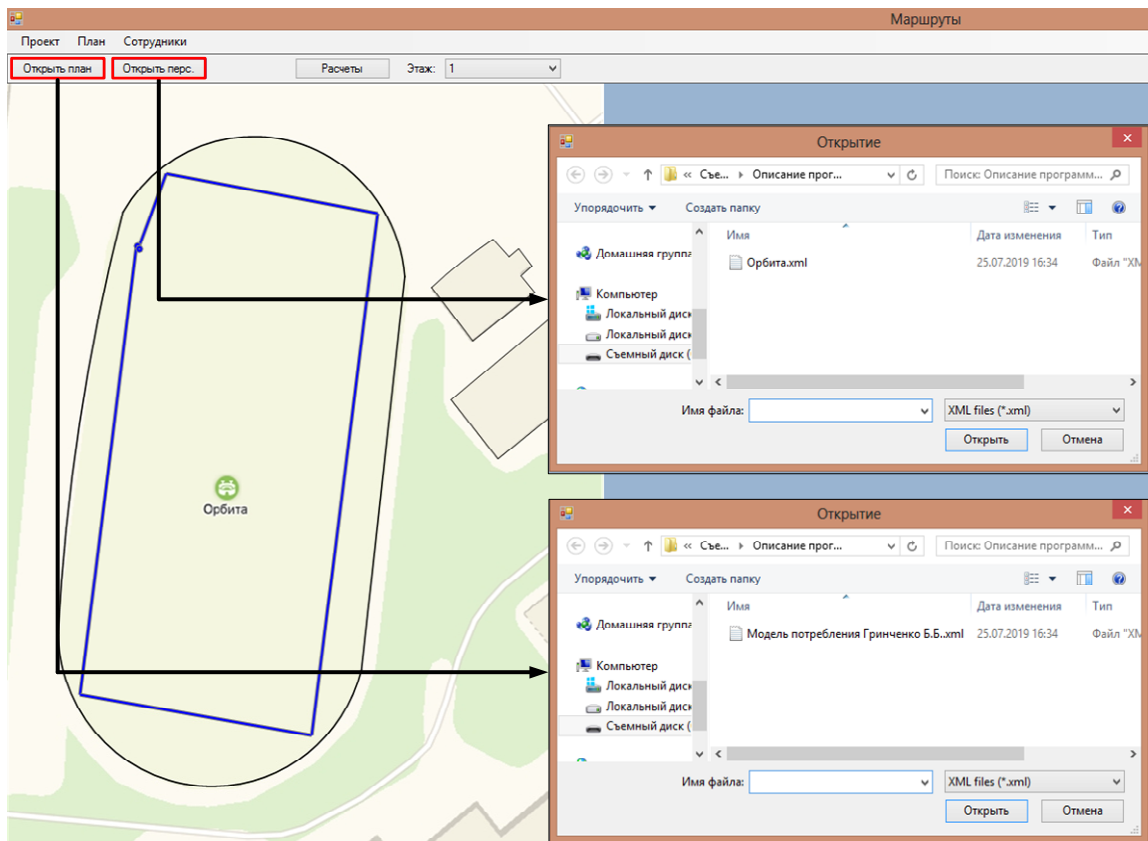
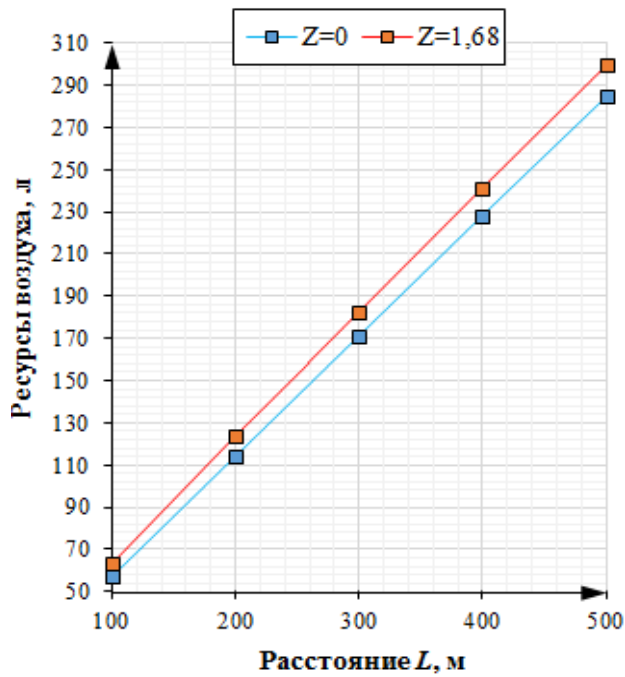


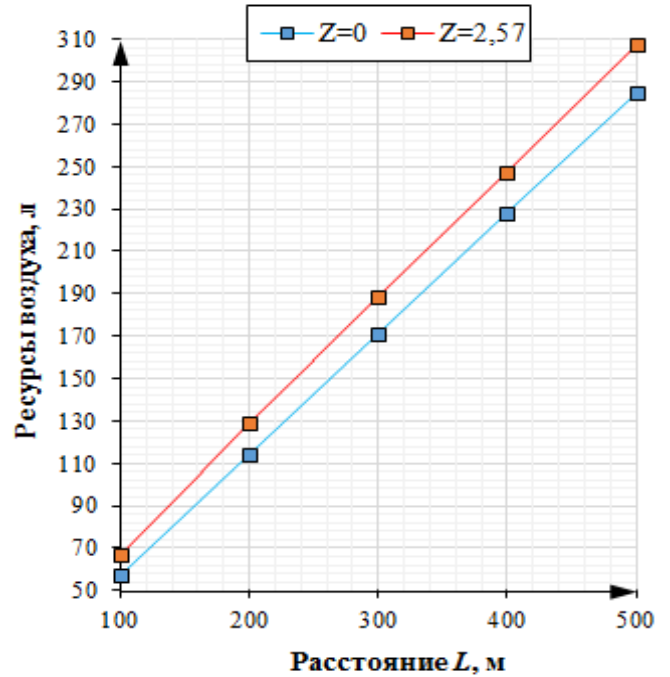
Рисунок 60 – Вкладки «Открыть план» и «Открыть перс.»

Применение программного комплекса позволяет сформировать практические рекомендации по применению моделей и алгоритмов для выполнения условий безопасности участников тушения пожара на персонализированном и групповом уровне мониторинга безопасности при планировании различного рода работ участников тушения пожара для нормальных и сложных условий.

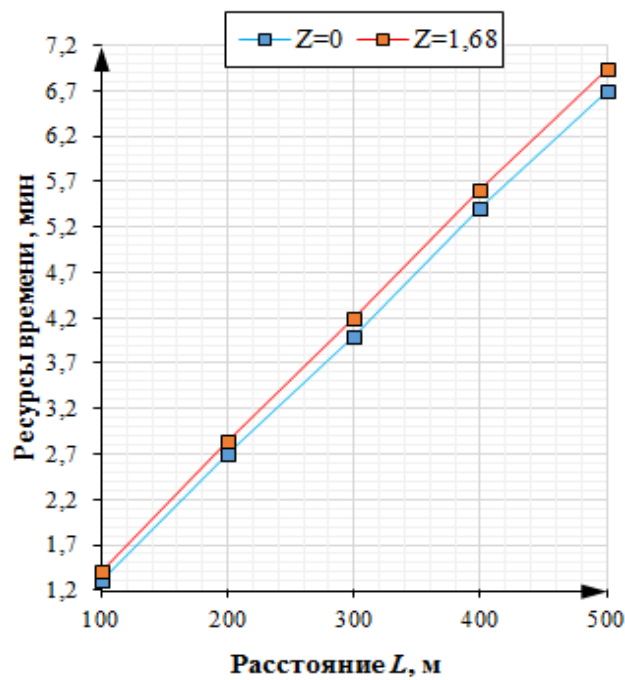
На основе экспериментального исследования [34] сформированы практические рекомендации для планирования необходимых параметров безопасности при движении участников тушения пожара в НДС по горизонтальному участку местности в сложных и нормальных условиях, которые представлены в виде номограмм (рисунок 61). Номограммы предназначены для ручного пользования лицом, принимающим решение, в случаях, когда отсутствует блок управления (компьютер) или нештатной ситуации.



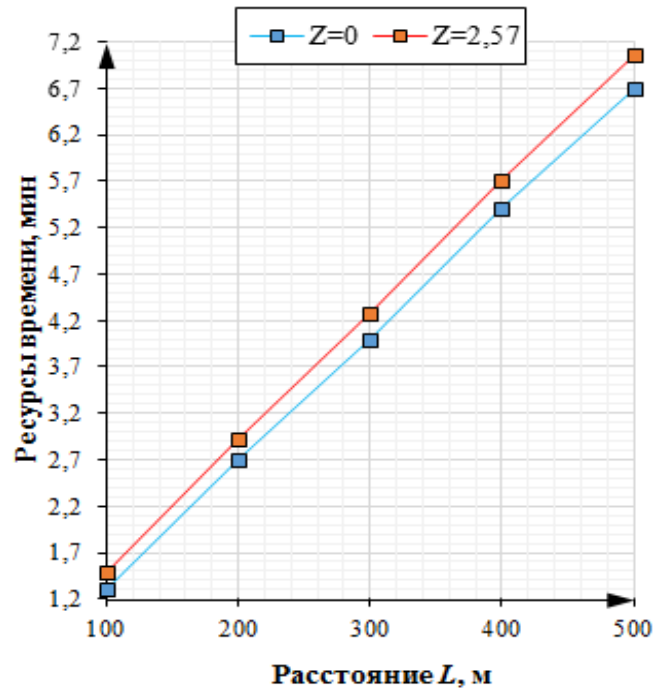
а)



б)



в)



г)

Рисунок 61 – Номограммы для формирования плановых параметров безопасности

На рисунке 61 номограммы а) и в) используются для планирования работ в нормальных условиях, а номограммы б) и г) – в сложных условиях.

Следовательно, разработанные модели и алгоритмы поддержки управления на основе мониторинга параметров безопасности способствуют успешному выполнению работ в НДС в условиях ограниченного времени.

#### 4.4 Выводы по четвертой главе

Таким образом, в ходе решения четвертой задачи исследования, состоящей в разработке программного комплекса поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде, получены следующие основные результаты:

1. Разработана дескриптивная модель поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде, которая обеспечивает лицо, принимающее решение, необходимой информацией для управления безопасностью участников тушения пожара как на групповом, так и на персонализированном уровне.

2. Проведена алгоритмизация и программная реализация дескриптивной модели поддержки управления в виде программного комплекса информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара. Для повышения уровня безопасности участков тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде при ограниченном запасе временных ресурсов разработано устройство информационной поддержки газодымозащитника. Устройство и программный комплекс совместимы с дыхательными аппаратами, оснащенными телеметрической системой мониторинга параметров безопасности.

3. Даны практические рекомендации по применению устройства и программного комплекса информационной поддержки при выполнении элементарных работ в непригодной для дыхания среде, для которых необходимо реализовать мероприятия безопасности.

4. Предложен алгоритм поддержки управления безопасностью участников тушения пожара, в качестве теоретической основы которого использован разработанный критерий безопасности. Процедура поддержки управления состоит в сопоставлении интервалов плановых и фактических значений параметров безопасности для осуществления управляющего воздействия лицом, принимающим решение, в соответствии с текущим уровнем риска.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные и практические результаты, полученные в процессе решения научной задачи, состоящей в разработке моделей и алгоритмов поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на основе мониторинга параметров безопасности, заключаются в следующем:

1. Проведен корреляционный анализ пожаров, взятых на статистический учет, и случаев с гибелью пожарных на основе коэффициента ранговой корреляции Спирмена. Выполнен ретроспективный анализ средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения по отношению к этапам развития системы управления безопасностью участников тушения пожара. Показано, что для решения научной задачи с учетом современного состояния информационного обеспечения необходимо использовать методы теории принятия решений в совокупности с методами теории вероятностей и математической статистики.

2. Разработана вероятностная модель поддержки управления безопасностью участников тушения пожара, в которой впервые реализован критерий безопасности и получены его нормативные значения для нормальных и сложных условий выполнения работ в непригодной для дыхания среде. Для подтверждения адекватности модели управления проведено ее экспериментальное исследование, в рамках которого применялись критерии статистического согласия Пирсона и Шапиро-Уилка.

3. Разработан алгоритм синтеза информационных ресурсов для поддержки управления безопасностью участников тушения пожара. Алгоритм предназначен для формирования метаданных, представленных в виде дискретного распределения вероятностей значений параметров безопасности, используемых в базе данных информационных ресурсов, необходимых для управления безопасностью участников тушения пожара.

4. Разработана дескриптивная модель поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде, которая осуществляет поддержку лица, принимающего решения, как на групповом, так и на персонализированном уровне мониторинга безопасности. Выполнена практическая реализация моделей и алгоритмов в виде программного комплекса информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара.

5. Разработан алгоритм поддержки управления безопасностью участников тушения пожара, который предназначен для выявления этапов работ, на которых необходимо реализовать мероприятия безопасности. Алгоритм основан на сопоставлении интервалов значений плановых и фактических параметров безопасности с использованием разработанного критерия безопасности. Даны рекомендации по практическому применению алгоритма при работе в непригодной для дыхания среде участниками тушения пожара.



**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абрамов, А.П. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений при тушении пожаров: структура и содержание информационного обеспечения [Текст] / А.П. Абрамов // Пожары и окружающая среда: материалы XVII Международной науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО, 2002. – С. 363–365.
2. Агеев, С.В. Методика оценки эффективности находящихся в длительной эксплуатации систем оповещения населения [Электронный ресурс] / А.П. Абрамов, М.С. Жуковский, А.Н. Леонова, М.В. Носов // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 3 (61). – С. 171–181. URL: <http://agps2006.narod.ru/ttb/2015-3/17-03-15.ttb.pdf> (дата обращения 20.04.2018).
3. Агеев, С.В. Современные тенденции создания комплексной системы безопасности жизнедеятельности как элемента автоматизированной информационно-управляющей системы РСЧС [Текст] / С.В. Агеев, В.А. Измалков, А.С. Ро- 257 манов // Комплексные решения проблем безопасности (40-летию института посвящается): сборник ВНИИ ГОЧС: в 4 т. – Москва, 2016. – С. 38–41.
4. Альбац, Е.А. АО «ПТС» Новые возможности в повышении времени защитного действия дыхательного аппарата со сжатым воздухом [Текст] / Е.А. Альбац, Ю.И. Панков // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2016. – 378 с.
5. Андрианов, С.Н. Определение продолжительности пребывания газоспасателей в загазованной зоне: пособие-практикум [Текст] / С.Н. Андрианов; под общ. ред. В.В. Никулина. – Новомосковск: ГОУ ДПО «НИПК», 2011. – 96 с.
6. Аппарат АСВ-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЛСВ-2.00.000.ТО.
7. Байков, А.Ю. Исследование времени работы газодымозащитников на пожарах [Текст] / А.Ю. Байков, И.П. Простов, В.Н. Чиркунов // Сб. науч.тр. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1979. – С. 217–218.

8. Безбородько, М.Д. К обоснованию срока защитного действия изолирующих противогазов [Текст] / М.Д. Безбородько, А.Ю. Бойков // Пожарная техника и тактика тушения пожаров: Сб. науч. тр. – М.: ВИПТШ МВД СССР, 1984. – С. 3–6.
9. Безопасность. Современные средства обеспечения пожарной безопасности и ведения аварийно-спасательных работ: Каталог ГУГПС МВД РФ. – М.: ЗАО «Бизон-95», 1998. – 288 с.
10. Брушлинский, Н.Н. О понятии пожарного риска и связанных с ним понятиях [Текст] / Н.Н. Брушлинский // Пожарная безопасность. – 1999. – № 3. – С. 83–84.
11. Брушлинский, Н.Н. Человечество и пожары (краткий очерк) [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, П. Вагнер П. – М.: ИПЦ «Маска», 2007. – 124 с.
12. 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.
13. Брушлинский, Н.Н. Проблемы обеспечения пожарной безопасности в мире на рубеже столетий [Текст] / Н.Н. Брушлинский, С.В. Соколов, П. Вагнер // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. – 2000. – № 6. – С. 68–72.
14. Бурков, В.Н. Теория графов в управлении организационными системами [Текст] / В.Н. Бурков, А.Ю. Заложнев, Д.А. Новиков. – М.: НПО Синтег, 2001. – 124 с.
15. Грачев, В.А. Средства индивидуальной защиты органов дыхания пожарных (СИЗОД): учеб. пособие [Текст] / С.В. Собурь, И.В. Коршунов, И.А. Маликов. – 2-е изд., перераб. – М.: ПожКнига, 2012. – 190 с.
16. Гордеев, А.Б. Методика расчета параметров работы газодымозащитников для автоматизации поста безопасности на пожаре [Текст] / А.Б. Гордеев, Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов IX Международной научно-практической конференции. – Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России, 2014. – С. 174–175.

17. ГОСТ Р 53255 - 2009. Техника пожарная. Аппараты дыхательные со сжатым воздухом с открытым циклом дыхания. Общие технические требования. Методы испытаний.
18. ГОСТ Р ИСО 5479-2002. Статистические методы. Проверка отклонения распределения вероятностей от нормального распределения.
19. Грачев, В.А. Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения: справочное пособие [Текст] / В.А. Грачев, В.В. Терехнев. – М.: Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2006. – 235 с.
20. Грачев, В.А. Газодымозащитная служба: учебник [Текст] / В.А. Грачев, Д.В. Поповский; под общ. ред. Е.А. Мешалкина. – М.: Пожкнига, 2004. – 384 с.
21. Гринченко, Б.Б. Анализ подхода моделирования потребления воздуха в дыхательных аппаратах [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Актуальные вопросы профессиональной подготовки пожарных и спасателей: сборник материалов II межвузовской научно-практической конференции, посвященной Году культуры безопасности. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 125–127.
22. Гринченко, Б.Б. Вероятностная оценка необходимого запаса воздуха в дыхательных аппаратах при работе на пожаре [Электронный ресурс] / Б.Б. Гринченко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – № 4 (74). – С. 155–162. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-4/27-04-17.ttb.pdf> (дата обращения 29.09.2019).
23. Гринченко, Б.Б. Многокритериальная модель анализа маршрутов движения пожарных при тушении пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов, Б.Б. Гринченко // Современные тенденции развития науки и технологий, материалы: сборник XXI международной научно-технической конференции. – № 12. – Ч. 3. – Белгород, 2016. – С. 89–92.
24. Гринченко, Б.Б. Моделирование потребления воздуха в дыхательных аппаратах [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийно-спасательная техника: проблемы и перспективы развития: сборник материалов межкафедрального научно-практического семинара, посвященного Году

культуры безопасности. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 19–21.

25. Гринченко, Б.Б. Моделирование потребления воздуха в дыхательных аппаратах при работе на пожаре [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: VI Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Героя России, полковника внутренней службы Евгения Николаевича Чернышева. – М.: АГПС МЧС России, 2018. – С. 37–39.

26. Гринченко, Б.Б. Оценка состояния безопасности пожарных на основе мониторинга дистанционных систем управления [Текст] / Б.Б. Гринченко // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 141–144.

27. Гринченко, Б.Б., Тараканов, Д.В. Автоматизированная система управления безопасностью при работах на пожарах в непригодной для дыхания среде [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. – 2018. – №4. – С. 32–36.

28. Гринченко, Б.Б., Тараканов, Д.В. Вероятностная модель динамики параметров работы газодымозащитников [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XI Международной научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2016. – С. 324–325.

29. Гринченко, Б.Б., Тараканов, Д.В. Метод моделирования параметров работы газодымозащитников [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Воронеж: ВИ ГПС МЧС России, 2016. – Т. 1. – № 1 (7). – С. 203–205.

30. Гринченко, Б.Б., Тараканов, Д.В. Моделирование расхода воздуха в дыхательном аппарате на основе вероятностного подхода [Текст] /

Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Информационные технологии в сфере РСЧС и ГО: сборник трудов XXVIII Международной научно-практической конференции. – Химки: АГЗ МЧС России, 2018. – С. 44–48.

31. Гринченко, Б.Б., Тараканов, Д.В. Модель управления безопасностью при работах на пожарах в непригодной для дыхания среде [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т.27. – №6. – С. 45–51.

32. Гринченко, Б.Б., Тараканов, Д.В. Оценка динамики параметров работы газодымозащитников на основе вероятностного подхода [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Системы безопасности – 2016: материалы 25 Международной научно-технической конференции. – М.: АГПС МЧС России, 2016. – С. 279–280.

33. Гринченко, Б.Б. Информационная система управления безопасностью газодымозащитников при пожарах в зданиях [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Системы безопасности – 2017: материалы 26 международной научно-технической конференции. – Москва: АГПС МЧС России, 2017. – С. 203–205.

34. Гринченко, Б.Б., Тараканов, Д.В. Экспериментальное исследование параметров работ по устранению аварий с выбросом АХОВ на элементах транспортной инфраструктуры [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийная безопасность сборник материалов XIII Международной научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 341–344.

35. Гринченко, Б.Б., Тараканов, Д.В. Информационная система управления безопасностью пожарных [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийная безопасность сборник материалов XII Международной научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 267–269.

36. Гринченко, Б.Б. Основные тенденции технического развития средств индивидуальной защиты органов дыхания в общей концепции управления ликвидации чрезвычайной ситуации техногенного характера [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Школа молодых ученых и специалистов МЧС

России 2017: сборник материалов. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2017. – С. 40–44.

37. Гринченко, Б.Б. Планирование и управление безопасностью газодымозащитников на основе вероятностного подхода [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов // Школа молодых ученых и специалистов МЧС России 2018: сборник материалов. – М.: АГПС МЧС России, 2018. – С. 63–66.

38. Гринченко, Б.Б. Персонализированное устройство информационной поддержки газодымозащитника: патент на полезную модель № 186673. зарегистр. 16.10.2018 / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов.

39. Гринченко, Б.Б. Структура информационной системы поддержки управления безопасностью газодымозащитников [Электронный ресурс] / Б.Б. Гринченко // Технологии техносферной безопасности: Интернет-журнал. – 2019. – № 3 (85). – С. 77–85. – Режим доступа: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2019-3/09-03-19.ttb.pdf> (дата обращения 20.10.2019).

40. Гринченко, Б.Б. Многофакторный мониторинг динамики пожара в зданиях текстильной промышленности [Текст] / Б.Б. Гринченко, А.В. Кузнецов, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2019. – № 4 (382). – С. 153–159.

41. Гринченко, Б.Б. Экспериментальное исследование расхода воздуха при использовании спасательных устройств [Текст] / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов, С.Н. Никишов // Современные проблемы гражданской защиты. – 2019. – № 3 (32). – С. 33–41.

42. Гринченко, Б.Б. Информационные ресурсы поддержки управления безопасностью работ в непригодной для дыхания среде [Текст] / Б.Б. Гринченко, Н.Г. Топольский, Д.В. Тараканов // Пожаровзрывобезопасность. – 2019. – Т. 28. – № 5. – С. 51–58.

43. Гринченко, Б.Б. Информационно-аналитическая система управления безопасностью газодымозащитников [Текст] / Б.Б. Гринченко, Н.Г. Топольский, Д.В. Тараканов // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы

XXXI международной научно-практической конференции. – Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2019. – С. 607–609.

44. Гринченко, Б.Б. Программное обеспечение для информационно-аналитической системы управления газодымозащитниками на пожарах в техногенных чрезвычайных ситуациях: свидетельство о Государственной регистрации программы для ЭВМ RU № 2017663825, 12.12.2017 / Б.Б. Гринченко, Д.В. Тараканов.

45. Гринченко, Б.Б. Информационные ресурсы системы поддержки управления газодымозащитниками: свидетельство Роспатента о государственной регистрации базы данных RU № 2019620566, 11.04.2019 / Б.Б. Гринченко.

46. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пособие для вузов [Текст] / В.Е. Гмурман. – Изд. 7-е, стер. – М.: Высш. шк., 2001. – 479 с.

47. Диденко, Н.С. Регенеративные респираторы для горноспасательных работ [Текст] / Н.С. Диденко. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1990. – 160 с.

48. Зелинский Николай Дмитриевич // Большая советская энциклопедия: [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М: Советская энциклопедия, 1969–1978.

49. Иванюк, О.Е. Об эффективности использования пожарными средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения [Электронный ресурс] / О. Е. Иванюк, А.Д. Ищенко // Технологии техносферной безопасности. – 2016. Вып. №1 (65). – С. 98–103. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2016-1/36-01-16.ttb.pdf> (дата обращения 14.04.2018).

50. История средств защиты дыхания. Часть 1. Респираторы и противогазы [Электронный ресурс]. URL: <https://fire-truck.ru/encyclopedia/istoriya-sredstv-zashhityi-dyihaniya-chast-1-respiratoryi-i-protivogazyi.html> (дата обращения 15.09.2017).

51. История средств защиты дыхания. Часть 2. Устройства с подачей воздуха по шлангу [Электронный ресурс]. URL: <https://fire-truck.ru/encyclopedia/istoriya-sredstv-zashhityi-dyihaniya-chast-2-ustroystva-s-podachey-vozduha-po-shlangu.html> (дата обращения 15.09.2017).

52. Ищенко, А.Д. Об обеспечении непрерывного тушения пожаров критически важных объектов в условиях задымления [Электронный ресурс] / А.Д. Ищенко // Технологии техносферной безопасности. – 2017. – Вып. №5 (75). – С. 12–24. URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2017-5/08-05-17.ttb.pdf> (дата обращения 18.08.2018).
53. Ищенко, А.Д. Увеличение удельного времени защитного действия дыхательных аппаратов для пожарной охраны: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.26.02 / Ищенко Андрей Дмитриевич. – М., 1998. – 24 с.
54. Кабелев, Н.А. Пожарная разведка: тактика, стратегия и культура [Текст] / Н.А. Кабелев. – Екатеринбург: Калан, 2016. – 348 с.
55. Каминский, С.П. Средства индивидуальной защиты органов дыхания [Текст] / С. П. Каминский, П. И. Басманов. – М.: Машиностроение, 1982. – 126 с.
56. Карпекин В.В. Оценка регенеративных респираторов по комплексному показателю энергетической эргономики [Текст] / В.В. Карпекин, Н.С. Диденко, Т.Ю. Кулешова // Способы и средства ведения горноспасательных работ и предупреждения аварий в шахтах. – Донецк, 1979. – Вып. 16. – С. 25–29.
57. Качанов, С.А. Основные направления развития информационного обеспечения автоматизированной информационно управляющей системы (АИУС) Единой Государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) [Текст] / С.А. Качанов, С.В. Агеев, О.Б. Ковтун и др. // Технологии гражданской безопасности. – 2015. – Т. 12, № 2 (44). – С. 8–12.
58. Качанов, С.А. Система комплексного управления безопасностью промышленного предприятия [Текст] / С.А. Качанов, М.Ю. Прошляков // Технологии гражданской безопасности. – 2015. – Т. 12, № 3. – С. 32–39.
59. Кислородный Изолирующий Противогаз КИП-1 1930 г. М.: Издание ЦС ОСОАВИАХИМА СССР, 1935. – 32 с.
60. Кислородный изолирующий противогаз КИП-5 1939 г. 33 с.
61. Кобзарь, А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников [Текст] / А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.



62. Колмогоров, А.Н. Введение в теорию вероятностей [Текст] / А.Н. Колмогоров. – 3-е изд., испр. – М.: МЦНМО, 2015. – 168 с.
63. Колмогоров, А.Н. Избранные труды [Текст] / А.Н. Колмогоров. – Т.1: Математика и механика. – М.: Наука, 2005. – 519 с.
64. Концепция общественной безопасности в Российской Федерации (утвержденная Президентом РФ 14 ноября 2013 г. № Пр2685) [Электронный ресурс]. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_154602/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_154602/) (дата обращения 21.10.2017).
65. Коршунов, И.В. Исследование спасательных работ, проводимых звеном газодымозащитной службы [Текст] / И.В. Коршунов, А.В. Смагин, Ю.И. Панков, Д.В. Андреев // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы V международной научно-практической конференции. – М., 2016. – С. 203–207.
66. Костяев, А.А. Разработка тренажера «Авария на магистральном трубопроводе» [Текст] / А.А. Костяев, Ю.Н. Моисеев, Р.И. Харламов, В.В. Кичайкин // Пожарная и аварийная безопасность: материалы IX Международной научно-практической конференции, Иваново, 20–21 ноября 2014 г.; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. И.А. Малого. – Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России, 2014. – С. 134–135.
67. Лемишка, И.С. Кислородно-изолирующий противогаз КИП-8 [Текст] / И.С. Лемишка, Г.М. Молчанов. – СПб.: СПбВППТШ МВД РФ, 1996. – 60 с.
68. Малыгин, И.Г. Комплексная модель информационного обеспечения автоматизированного управления силами и средствами МЧС России [Текст] / И.Г. Малыгин, А.В. Щетка // Вестник Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России. – 2014. – № 3. – С. 45–50.
69. Малыгин, И.Г. Маршрутизация движения пожарных автомобилей в условиях загруженной транспортной сети мегаполиса [Текст] / И.Г. Малыгин, А.Ю. Крылатов, А.П. Широколобова // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2017. – № 3 (43). – С. 87–95.
70. Маслов, Ю.Н. Создание дыхательных аппаратов со сжатым воздухом для пожарных [Текст] / Ю.Н. Маслов // Пожарная безопасность – история, состояние,

перспективы: Мат. XIV Всерос. науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1997. – Ч. 2. – С. 138.

71. Маслов, Ю. Н. Состояние и перспективы средств индивидуальной защиты органов дыхания [Текст] / Ю. Н. Маслов // Проблемы горения и тушения пожаров на рубеже веков: Мат. XV Всерос. науч.-практ. конф. – М.: ВНИИПО МВД РФ, 1999. – Ч. 2. – С. 138–140.

72. Матюшин, А.В. Метод повышения точности прогнозирования ОФП с помощью интегральной модели пожара [Текст] / А.В. Матюшин, Р.А. Иващук // Пожарная безопасность. – 2016. – № 1. – С. 154–162.

73. Матюшин, А.В. Оценка рисков травматизма и гибели личного состава федеральной противопожарной службы государственной противопожарной службы МЧС России [Текст] / А.В. Матюшин, А.А. Порошин, и др. // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXVIII международной научно-практической конференции. – Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2016. – С. 32–43.

74. Методические рекомендации по изучению пожаров (утв. Главный военный эксперт П.В.ПЛАТ МЧС России 27 февраля 2013 г. № 2-4-87-2-18).

75. Методические указания по проведению расчетов параметров работы в средствах индивидуальной защиты органов дыхания и зрения, утвержденные генерал-полковником внутренней службы А.П. Чуприяном в 2013 году.

76. Мешалкин, Е.А. Принципы построения и архитектура автоматизированной системы поддержки принятия решений при тушении пожаров [Текст] / Е.А. Мешалкин, В.Т. Олейников, А.П. Абрамов // Пожарная безопасность. – 2001. – № 4 – С. 118–123.

77. Минаев, В.А. Геодинамические риски и строительство [Текст] / В.А. Минаев, Н.Г. Топольский, А.О. Фадеев, К.М. Бондарь, А.В. Мокшанцев // Математические модели: монография. – М.: Академия ГПС МЧС России 2017. – 208 с.

78. Ивонин, Н. Противогазы фильтрующие и изолирующие [Текст] / Н. Ивонин. – М.; Л.: Ленгорлит, 1935. – 146 с.

79. Наставление по газодымозащитной службе пожарной охраны. – М.: МВД России, 1995. – 161 с. «Наставление по газодымозащитной службе государственной противопожарной службы МВД России» (утв. Приказом МВД России от 30.04.1996 № 234).
80. Некрасов, А.С. Работа акад. Н.Д. Зелинского над созданием универсального фильтрующего противогаза [Текст] // Академик Н.Д. Зелинский. Девяностолетие со дня рождения / отв. ред. Б.А. Казанский. – М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1952. – 45 с.
81. Новиков А.М. Методология [Текст] / А.М. Новиков, Д.А. Новиков. – М.: СИНТЕГ. – 668 с.
82. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами: монография / Д.А. Новиков. – М.: ИПУ РАН, 2005. – 584 с.
83. Новиков, Д.А. Теория управления организационными системами. – М.: Физматлит, 2007. – 584 с.
84. Новиков, Д.А. Структура теории управления социально-экономическими системами [Текст] / Д.А. Новиков // Управление большими системами: сб. трудов. – 2009. – № 24. – С. 216–258.
85. Ногин, В.Д. Принятие решений в многокритериальной среде. Количественный подход: монография [Текст] / В.Д. Ногин. – М.: Физматлит, 2004. – 176 с.
86. Подгрушный, А.В. Совершенствование управления боевыми действиями пожарных подразделений на основе их тактических возможностей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Подгрушный Александр Васильевич. – М., 2004 – 24 с.
87. Пожары и пожарная безопасность в 2011 году: Статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. – М.: ВНИИПО, 2012. – 137 с.
88. Пожары и пожарная безопасность в 2012 году: Статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. – М.: ВНИИПО, 2013. – 137 с.
89. Пожары и пожарная безопасность в 2013 году: Статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. – М.: ВНИИПО, 2014. – 137 с.

90. Пожары и пожарная безопасность в 2014 году: Статистический сборник / под общ. ред. В.И. Климкина. – М.: ВНИИПО, 2015. – 124 с.
91. Пожары и пожарная безопасность в 2015 году: Статистический сборник / под общей редакцией А.В. Матюшина. – М.: ВНИИПО, 2016. – 124 с.
92. Пожары и пожарная безопасность в 2016 году: Статистический сборник / под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2017. – 124 с.
93. Пожары и пожарная безопасность в 2017 году: Статистический сборник / под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2018. – 125 с.
94. Пожары и пожарная безопасность в 2018 году: Статистический сборник. Под общей редакцией Д.М. Гордиенко. – М.: ВНИИПО, 2019. – 125 с.
95. Понурко П.В. Обеспечение безопасности и повышение эффективности работы звеньев ГДЗС [Текст] / П.В. Понурко, Д.В. Андреев, И.С. Дубков, В.М. Батюшев // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: материалы V международной научно-практической конференции. – М., 2016. – С. 209–2011.
96. Порошин, А.А. Оценка риска гибели людей при пожарах [Текст] / А.А. Порошин, В.В. Харин, Е.В. Бобринев, А.А. Кондашов, Е.Ю. Удавцова // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXX международной научно-практической конференции. – Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2018. – С. 30–33.
97. Порошин, А.А. «Цифровизация» оперативно-тактической деятельности [Текст] / А.А. Порошин, К.С. Власов // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXI международной научно-практической конференции. – Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2019. – С. 638–641.
98. Приказ МЧС России от 16.10.2017 № 444 «Об утверждении Боевого устава пожарной охраны (БУПО), определяющего порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ».
99. Приказ МЧС РФ от 28 декабря 2009 г. № 743 «О принятии на снабжение в системе МЧС России программно-аппаратного комплекса системы мониторинга, обработки и передачи данных о параметрах возгорания, угрозах и рисках развития

крупных пожаров в сложных зданиях и сооружениях с массовым пребыванием людей, в том числе в высотных зданиях».

100. Приказ МЧС РФ от 9 января 2013 г. № 3 «Об утверждении Правил проведения личным составом федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы аварийно-спасательных работ при тушении пожаров с использованием средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения в непригодной для дыхания среде».

101. Присадков, В.И. Расчетные оценки эффективности тушения пожара в очаге внутренним противопожарным водоснабжением [Текст] / В.И. Присадков, С.В. Муслакова, С.Ю. Хатунцева, И.В. Костерин, В.Е. Фадеев, А.М. Шамаев // Пожарная безопасность. – 2017. – № 1. – С. 49–53.

102. Руководство по выбору и организации применения респираторов (ФРГ), на немецком языке BGR / GUV-R 190 Benutzung von Atemschutzgeräten. – Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV). – Berlin: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Medienproduktion, 2011. – 174 с.

103. Руководство по эксплуатации комплекс «Маяк спасателя» СПНК.425624.013 РЭ Ред.1.3. – Санкт-Петербург, 2011. – 36 с.

104. Система информационной поддержки управления звеньями газодымозащитной службы при ликвидации пожаров в зданиях: патент на изобретение № 2605682 от 18.08.2015 / Д.В. Тараканов.

105. Стрілець, В.М. Закономірності діяльності рятувальників при проведенні аварійно-рятувальних робіт на станціях метрополітену: монографія [Закономерности деятельности спасателей при проведении аварийно-спасательных работ на станциях метрополитена: монография] [Текст] / В.М. Стрілець, П.Ю. Бородич, С.В. Росоха–Харків: НУЦЗХ, КП «Міська друкарня», 2012. – 119 с.

106. Стрелец, В.М. Сравнительный анализ закономерностей расхода запаса воздуха при работе спасателей в аппаратах на сжатом воздухе [Текст] / В.М. Стрелец // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2014. – № 4(41). – С. 136–141.

107. Тараканов, Д.В. Алгоритм расчета параметров работы газодымозащитников для автоматизации поста безопасности на пожаре [Текст] / Д.В. Тараканов, А.В. Гордеев // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации: сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч.1. – М. Академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 165–167.
108. Тараканов, Д.В. Компьютерная система моделирования параметров работы газодымозащитной службы на пожаре: свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2015612884, 26.02.2015 / Д.В. Тараканов, Е.С. Варламов, М.В. Илеменов.
109. Тараканов, Д.В. Многокритериальная модель управления пожарноспасательными подразделениями на основе мониторинга пожара в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов, А.В. Наумов, П.Н. Коноваленко и др. // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов: сборник материалов V Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 449–452.
110. Тараканов, Д.В. Система информационной поддержки управления звеньями газодымозащитной службы при ликвидации пожаров в зданиях [Текст] / Д.В. Тараканов // Пожарная и аварийная безопасность: материалы X Международной научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2015. – С. 185–186.
111. Таранцев, А.А. О связи интервального анализа с теорией вероятностей [Текст] / А.А. Таранцев // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2004. – Т. 70, № 3. – С. 60.
112. Таранцев, А.А. Методы расчетной оценки динамики пожаров в помещениях [Текст] / А.А. Таранцев // Пожаровзрывобезопасность. – 2013. – № 3. – С. 82.
113. Терехнев В.В. Пожарная тактика. Книга 7. История [Текст] / В.В. Терехнев. – Екатеринбург: Издательство: «Калан», 2013. – 212 с.

114. Терещнев В.В. Расчет параметров развития и тушения пожаров (Методика. Примеры. Задания) [Текст] / В.В. Терещнев. – Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2011. – 460 с.
115. Терещнев В.В. Принятие решений при управлении силами и средствами на пожаре [Текст] / В.В. Терещнев, А.Е. Богданов, А.О. Семенов, Д.В. Тараканов. – Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2012. – 100 с.
116. Терещнев В.В. Анализ и поддержка решений при тушении крупных пожаров [Текст] / В.В. Терещнев, А.О. Семенов, В.А. Смирнов, Д.В. Тараканов // Пожаровзрывобезопасность. – 2010. – Т. 19. – № 9. – С. 51–57.
117. Терещнев В.В. Теоретические основы принятия решений при управлении силами и средствами на пожаре [Текст] / В.В. Терещнев, А.О. Семенов, Д.В. Тараканов // Пожаровзрывобезопасность. – 2012. – Т. 21. – № 10. – С. 14–17.
118. Терещнев, В.В. Программное средство для расчета параметров работы звеньев газодымозащитной службы на пожарах: свидетельство об официальной регистрации программ ЭВМ №2014661680, 12.01.2015 / В.В. Терещнев, А.Б. Гордеев, Д.В. Тараканов.
119. Терещнев, В.В. Программное средство для расчета параметров работы звеньев газодымозащитной службы на пожарах: свидетельство об официальной регистрации программ ЭВМ №2014661680, 12.01.2015 / В.В. Терещнев, А.Б. Гордеев, Д.В. Тараканов.
120. Терещнев, В.В. Эволюция структуры управления силами и средствами на пожаре [Текст] / В.В. Терещнев, А.О. Семенов, Д.В. Тараканов // Пожаровзрывобезопасность. – 2008. – Т. 17. – № 4. – С. 10–16.
121. Топольский Н.Г. Адаптивная система поддержки деятельности центров управления в кризисных ситуациях: монография [Текст] / Н.Г. Топольский, Р.Ш. Хабибуллин, А.А. Рыженко, М.В. Бедило. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2014. – 151 с.
122. Топольский, Н.Г. Автоматизированная система поддержки принятия управленческих решений при чрезвычайных ситуациях и пожарах с использованием платежной матрицы: свидетельство о Государственной

регистрации программы для ЭВМ №2013617554, 20.08.2013 / Н.Г. Топольский, Т.К. Нгуен, Д.В. Псарев и др.

123. Топольский, Н.Г. Концепция информационно–аналитического обеспечения управления поисково-спасательными работами [Электронный ресурс] / Н.Г. Топольский, Д.С. Береснев, А.А. Рыженко // Технологии техносферной безопасности. – 2015. – № 4 (62). – С. 191–198. URL: <http://agps2006.narod.ru/ttb/2015-4/40-04-15.ttb.pdf> (дата обращения 20.05.2018).

124. Топольский, Н.Г. Многокритериальная модель мониторинга пожара в здании для управления пожарно-спасательными подразделениями [Текст] / Н.Г. Топольский, Д.В. Тараканов, М.О. Баканов // Пожаровзрывобезопасность. – 2018. – Т. 27. – № 5. – С. 26–33.

125. Указ Президента РФ от 1 января 2018 г. № 2 «Об утверждении Основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года».

126. Указ Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации».

127. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».

128. Федоров, А.В. Автоматизация систем противопожарной защиты технологических процессов обеспечения функционирования спортивных сооружений [Электронный ресурс] / А.В. Федоров, Е.Н. Ломаев, Ф.В. Демёхин // Технологии техносферной безопасности. – 2015. № 2 (60). – С. 49–55. URL: <http://agps2006.narod.ru/ttb/2015-2/03-02-15.ttb.pdf> (дата обращения 20.04.2018).

129. Холщевников, В.В. Проблема беспрепятственной эвакуации людей из зданий, пути ее решения и оценки [Текст] / В.В. Холщевников // Пожаровзрывобезопасность. – 2006. – Т. 15. – № 1. – С. 30–35.

130. Чистяков, И.М. Моделирование временных характеристик процесса функционирования газодымозащитной службы [Текст] / И.М. Чистяков, Д.В. Тараканов, Е.Е. Соколов // Пожарная и аварийная безопасность: материалы



ПХ Международной научно-практической конференции. – Иваново: Ивановский институт ГПС МЧС России, 2012. – С. 204–207.

131. Членов, А.Н. Применение современных информационных технологий в автоматизированных системах противопожарной защиты [Электронный ресурс] / А.Н. Членов // Технологии техносферной безопасности. – 2014. – № 1 (53). URL: <http://agps-2006.narod.ru/ttb/2014-1/07-01-14.ttb.pdf> (дата обращения 20.04.2018).

132. Теория статистики: учебник [Текст] / Р.А. Шмайлова, В.Г. Минашкин, Н.А. Садовникова, Е.Б. Шувалова; под ред. Шмайловой Р.А. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с.

133. Шупнев, Д.С. Метод управления продолжительностью безопасных действий газодымозащитников в условиях перегревания: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.13.10 / Шупнев Дмитрий Сергеевич. – СПб., 2000. – С. 29.

134. Основные тенденции развития и совершенствования автономных изолирующих дыхательных аппаратов на сжатом воздухе. [Электронный ресурс]. URL: [https://ukcert.ru/news/osnovnye\\_tendentsii\\_razvitiya\\_i\\_overshenstvovan\\_iya\\_avtonomnykh\\_izoliruyushchikh\\_dykhatelnykh\\_appara/](https://ukcert.ru/news/osnovnye_tendentsii_razvitiya_i_overshenstvovan_iya_avtonomnykh_izoliruyushchikh_dykhatelnykh_appara/) (дата обращения 28.06.2017).

135. Мобильный комплекс информационного обеспечения спасательных операций [Электронный ресурс]. URL: <http://www.granch.ru/images/banners/helmet.pdf> (дата обращения 28.06.2017).

136. Acott, C. «JS Haldane, JBS Haldane, L Hill, and A Siebe: A brief resume of their lives». South Pacific Underwater Medicine Society Journal 29 (3).

137. Alex Brylske, «A Brief History of Diving» [Электронный ресурс]. URL: <https://dtmag.com/thelibrary/a-brief-history-of-diving-free-divers-bells-and-helmets/> (дата обращения 28.06.2017).

138. Brian Parks, Fireground Accountability – A «System?» to Keep Firefighters Safe. Journal Fire rescue 1 / Jun 4, 2008.

139. David Mendonça, Giampiero E.G. Beroggi, Daan van Gent, William A. Wallace. Designing gaming simulations for the assessment of group decision support systems in

emergency response. *Safety Science*. – 2006. – Vol. 44, Issue 6. – P. 523-535. DOI: 10.1016/j.ssci.2005.12.006.

140. Dollar, P. Behavior recognition via sparse spatio-temporal features / P. Dollar, V. Robaud, G. Cottrell, S. Belongie. 14 International Conference on Computer Communications and Networks, IEEE Computer Society. Washington, DC, USA. – 2005. – P. 65–72.

141. Joo-Young Lee, Joonhee Park, Huiju Park, Aitor Coca, Jung-Hyun Kim, Nigel A.S. Taylor, Su-Young Son, Yutaka Tochihara. What do firefighters desire from the next generation of personal protective equipment? Outcomes from an international survey. *Industrial Health*. – 2015. – Vol. 53, Issue 5. – P. 434–444. DOI: 10.2486/indhealth.2015-0033.

142. Khorram-Manesh A., Berlin J., Carlström E. Two validated ways of improving the ability of decision-making in emergencies. Results from a literature review. *Bulletin of Emergency and Trauma*. – 2016. – Vol. 4, No. 4. – P. 186-196.

143. Kim J. Cooperative exploration and protection of a workspace assisted by information networks. *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*. – 2013. – Vol. 70, Issue 3. – P. 203-220. DOI: 10.1007/s10472-013-9383-5.

144. Lee E.W.M. Application of artificial neural network to fire safety engineering. *Handbook on Decision Making. Intelligent Systems Reference Library* / L.C. Jain, C.P. Lim (eds.). – Berlin, Heidelberg: Springer, 2010. – Vol. 4. – P. 369-395. DOI: 10.1007/978-3-642-13639-9\_15.

145. Lee E.W.M., Lau P.C., Yuen K.K.Y. Application of artificial neural network to building compartment design for fire safety. *Intelligent Data Engineering and Automated Learning – IDEAL 2006. Lecture Notes in Computer Science* / Corchado E., Yin H., Botti V., Fyfe C. (eds.). – Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. – Vol. 4224. – P. 265-274. DOI: 10.1007/11875581\_32.

146. Markus Scholz, Dawud Gordon, Leonardo Ramirez, Stephan Sigg, Tobias Dyrks, Michael Beigl. A concept for support of firefighter frontline communication. *Future Internet*. – 2013. – Vol. 5, Issue 2. – P. 113-127. DOI: 10.3390/fi5020113.

147. Martyn Lamb, Innovations In Breathing Apparatus – Fit For Operational Effectiveness. *Journal international firefighter* / November 3, 2015. 18.
148. NFPA 1404: Standard for Fire Service Respiratory Protection Training
149. NFPA 1852 Standard on Selection, Care, and Maintenance of Open Circuit Self Contained Breathing Apparatus (SCBA) 2002 Edition.
150. NFPA 1981 Standard on Open Circuit Self Contained Breathing Apparatus (SCBA) for Emergency Services 2007 Edition.
151. NFPA 1982: Standard on Personal Alert Safety Systems (PASS) 2013 Edition.
152. Robert Avsec, 4 tools for firefighter accountability. *Journal Fire rescue 1* / September 23, 2014.
153. Robert Avsec, What's new with fire-fighter accountability and tracking technology?. *Journal Fire Chief* / July 3, 2017.
154. Scholz M., Gordon D., Ramirez L., Sigg S., Dyrks T., Beigl M. A concept for support of firefighter frontline communication. *Future Internet*. – 2013. – Vol. 5, Issue 2. – P. 113-127. DOI: 10.3390 / fi5020113.
155. Steven Young, The Application of Fireground Intelligence// *Journal international firefighter* / September 23, 2014.
156. *The Infernal Diver* by John Bevan, Hardcover – 314 pages (27 May 1996), Submex Ltd; ISBN 0-95-082421-6.
157. Tony Pickett, Talking Telemetry – Past, Present and Future. *Journal international firefighter* / March 25 2014.
158. Bader, W. Firemans mask. Patented Mar. 13, 1900. № 645, 286. Application filed Aug. 10, 1896.
159. Xing Zhi-xiang, Gao Wen-li, Zhao Xiao-fang, Zhu De-zhi. Design and implementation of city fire rescue decision support system. *Procedia Engineering*. – 2013. – Vol. 52. – P. 483-488. DOI: 10.1016 / j. proeng.2013.02.172.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А**

**Результаты экспериментального исследования**

**МЧС РОССИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ИВАНОВСКАЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ  
ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СЛУЖБЫ МИНИСТЕРСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО  
ДЕЛАМ ГРАЖДАНСКОЙ ОБОРОНЫ, ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМ СИТУАЦИЯМ И  
ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ»**

---

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника Академии

по научной работе

подполковник внутренней службы

И.Ю. Шарбанова

\_\_\_\_\_ 2018 г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ**

**экспериментального исследования параметров работы  
газоспасателей по устранению разгерметизации трубопроводов  
с аварийно химически опасными веществами**

**Иваново – 2018 г**

<b>Звено 1</b>				
<b>Р</b>	<b>Агент 1</b>	<b>Агент 2</b>	<b>Т, мин (сек)</b>	<b>Л, м</b>
$P_{\text{вкл.}}$	295	270	15:00	0
$P_1$	287	261	1:13 (73)	100
$P_2$	282	251	2:25 (72)	200
$P_3$	272	244	3:20 (55)	300
$P_4$	264	238	4:36 (76)	400
$P_{\text{раб.}}$	254	228	7:30 (174)	$t_{\text{раб}}$
$P_6$	250	222	8:50 (80)	500
$P_7$	242	214	10:06 (76)	600
$P_8$	230	204	11:10 (64)	700
$P_{\text{вык.}}$	220	195	12:10 (60)	800

<b>Звено 2</b>				
<b>Р</b>	<b>Агент 1</b>	<b>Агент 2</b>	<b>Т, мин (сек)</b>	<b>Л, м</b>
$P_{\text{вкл.}}$	309	300	15:30	0
$P_1$	300	290	1:10 (70)	100
$P_2$	288	280	2:24 (74)	200
$P_3$	283	272	3:28 (64)	300
$P_4$	274	265	4:36 (68)	400
$P_{\text{раб.}}$	264	258	7:30 (174)	$t_{\text{раб}}$
$P_6$	257	250	8:41 (71)	500
$P_7$	248	240	9:58 (77)	600
$P_8$	238	228	11:00 (62)	700
$P_{\text{вык.}}$	230	220	12:07 (67)	800

<b>Звено 3</b>				
<b>Р</b>	<b>Агент 1</b>	<b>Агент 2</b>	<b>Т, мин (сек)</b>	<b>Л, м</b>
$P_{\text{вкл.}}$	310	300	16:10	0
$P_1$	302	290	1:07 (67)	100
$P_2$	296	282	2:13 (66)	200
$P_3$	290	275	3:10 (57)	300
$P_4$	278	265	4:07 (57)	400
$P_{\text{раб.}}$	263	252	6:00 (113)	$t_{\text{раб}}$
$P_6$	259	246	7:34 (94)	500
$P_7$	247	234	8:40 (66)	600
$P_8$	237	224	9:38 (58)	700
$P_{\text{вык.}}$	228	215	10:35 (57)	800

<b>Звено 4</b>				
<b>Р</b>	<b>Агент 1</b>	<b>Агент 2</b>	<b>Т, мин (сек)</b>	<b>Л, м</b>
Р <sub>вкл.</sub>	290	280	16:30	0
Р <sub>1</sub>	280	270	1:15 (75)	100
Р <sub>2</sub>	273	264	2:26 (71)	200
Р <sub>3</sub>	263	256	3:21 (55)	300
Р <sub>4</sub>	254	248	4:34 (73)	400
Р <sub>раб.</sub>	244	236	7:30 (176)	траб
Р <sub>6</sub>	234	226	8:38 (68)	500
Р <sub>7</sub>	227	220	10:05 (87)	600
Р <sub>8</sub>	219	212	11:12 (67)	700
Р <sub>вык.</sub>	211	204	12:11 (59)	800

<b>Звено 5</b>				
<b>Р</b>	<b>Агент 1</b>	<b>Агент 2</b>	<b>Т, мин (сек)</b>	<b>Л, м</b>
Р <sub>вкл.</sub>	300	290	17:00	0
Р <sub>1</sub>	293	282	1:06 (67)	100
Р <sub>2</sub>	284	275	2:11 (65)	200
Р <sub>3</sub>	276	267	3:11 (60)	300
Р <sub>4</sub>	266	257	4:02 (51)	400
Р <sub>раб.</sub>	254	242	6:00 (118)	траб
Р <sub>6</sub>	248	238	7:33 (93)	500
Р <sub>7</sub>	238	230	8:43 (70)	600
Р <sub>8</sub>	230	220	9:34 (51)	700
Р <sub>вык.</sub>	222	212	10:33 (59)	800

Исследование выполнил:

Адьюнкт адьюнктуры  
старший лейтенант внутренней службы  
« 12 » \_\_\_\_\_ 09 \_\_\_\_\_ 2018 г.



Б.Б. Гринченко

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

**Проверка теоретической гипотезы**

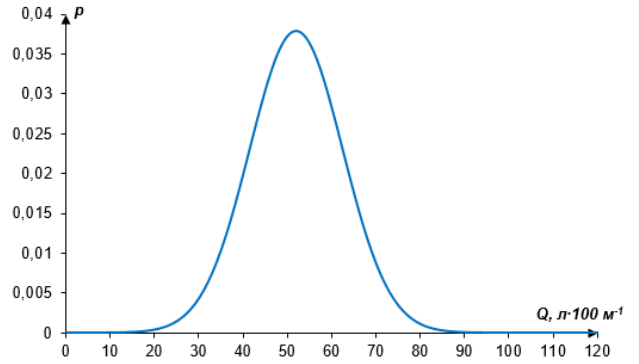
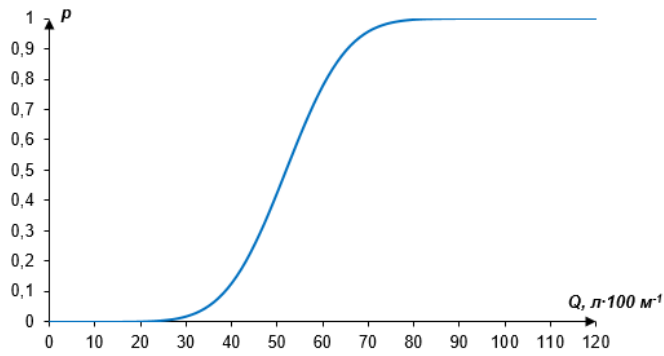


Участок  $R_I$  «Движение до места работ» 400 м,  $n = 40$ ,  $k = 20$ 

$k$	$x_k$	$(x_k - \bar{X})^2$	$k$	$x_k$	$(x_k - \bar{X})^2$
1	30,9	438,84	21	49,45	5,7528
2	30,9	438,84	22	49,45	5,7528
3	37,9	194,56	23	55,63	14,3
4	37,9	194,56	24	55,63	14,3
5	37,9	194,56	25	55,63	14,3
6	37,9	194,56	26	55,63	14,3
7	43,27	73,591	27	55,63	14,3
8	43,27	73,591	28	61,81	99,231
9	43,27	73,591	29	61,81	99,231
10	43,27	73,591	30	61,81	99,231
11	43,27	73,591	31	61,81	99,231
12	43,27	73,591	32	61,81	99,231
13	49,45	5,7528	33	61,81	99,231
14	49,45	5,7528	34	61,81	99,231
15	49,45	5,7528	35	61,81	99,231
16	49,45	5,7528	36	61,81	99,231
17	49,45	5,7528	37	61,81	99,231
18	49,45	5,7528	38	61,81	99,231
19	49,45	5,7528	39	74,18	498,7
20	49,45	5,7528	40	74,18	498,7
$\bar{X}$				51,84	
$nm_2$					4315,43

Основные показатели критерия Шапиро–Уилка на участке  $R_I$ 

$k$	$x_k$	$X_{(n+1-k)}$	$X_{(n+1-k)} - x_k$	$a_k$	$a_k \cdot (X_{(n+1-k)} - X_k)$
1	30,9	74,18	43,28	0,39660	17,1648203
2	30,9	74,18	43,28	0,27395	11,85659062
3	37,9	61,81	24,72	0,25467	6,29554128
4	37,9	61,81	24,72	0,20973	5,1845256
5	37,9	61,81	24,72	0,18747	4,63435728
6	37,9	61,81	24,72	0,16927	4,18430496
7	43,27	61,81	18,54	0,15261	2,82942648
8	43,27	61,81	18,54	0,14782	2,740567968
9	43,27	61,81	18,54	0,12394	2,2978476
10	43,27	61,81	18,54	0,11066	2,0516364
11	43,27	61,81	18,54	0,09854	1,82689452
12	43,27	61,81	18,54	0,08688	1,6107552
13	49,45	61,81	12,36	0,07582	0,93711048
14	49,45	55,63	6,18	0,06526	0,4033068
$k$	$x_k$	$X_{(n+1-k)}$	$X_{(n+1-k)} - x_k$	$a_k$	$a_k \cdot (X_{(n+1-k)} - X_k)$
15	49,45	55,63	6,18	0,05473	0,33820668
16	49,45	55,63	6,18	0,04446	0,2747628
17	49,45	55,63	6,18	0,03438	0,21245604
18	49,45	55,63	6,18	0,02443	0,15095268
19	49,45	49,45	0	0,01446	0
20	49,45	49,45	0	0,00506	0
<b>S</b>					64,99
<b>S<sup>2</sup></b>					4224,23



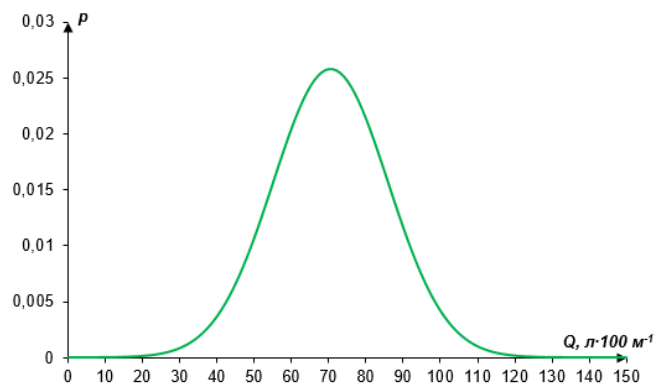
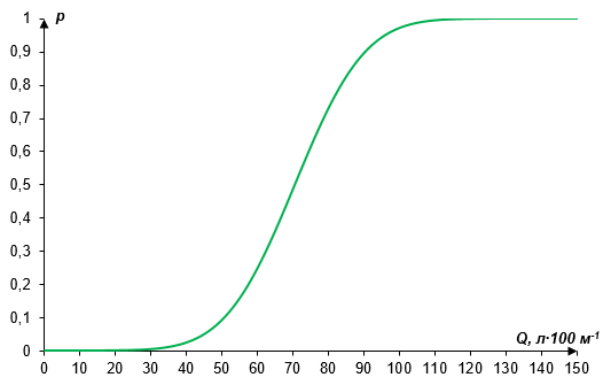
Распределение дыхательных ресурсов на участке  $R_1$  «Движение до места работ» (400 м)

Участок  $R_2$  «Производство работ»,  $n = 10, k = 5$

№	$x_k$	$(x_k - \bar{X})^2$
1	43,27	739,6768
2	61,81	74,94365
3	61,81	74,94365
4	61,81	74,94365
5	61,81	74,94365
6	74,18	13,78637
7	74,18	13,78637
8	80,36	97,87145
9	92,72	495,196
10	92,72	495,196
$\bar{X}$		70,467
$nm_2$		2155,28

Основные показатели критерия Шапиро–Уилка на участке  $R_2$

$k$	$x_k$	$x_{(n+1-k)}$	$x_{(n+1-k)} - x_k$	$a_k$	$a_k \cdot (x_{(n+1-k)} - x_k)$
1	92,72	43,27	49,45	0,57427	28,39762974
2	92,72	61,81	30,91	0,32767	10,1281777
3	80,36	61,81	18,55	0,21238	3,93959335
4	74,18	61,81	12,37	0,11979	1,481746635
5	74,18	61,81	12,37	0,04145	0,51268702
$S$					44,45
$S^2$					1976,67

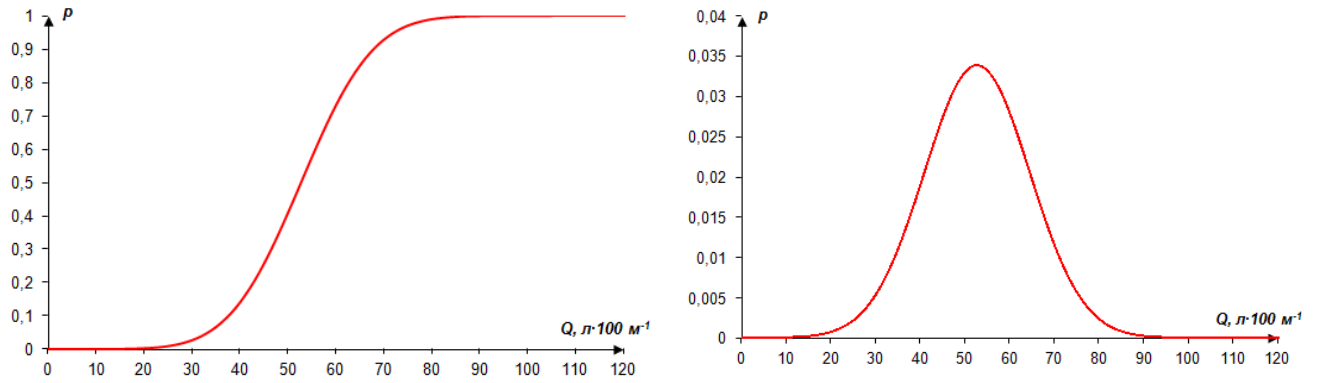


Распределение дыхательных ресурсов на участке  $R_3$  «Обратный путь до безопасной зоны»

$k$	$x_k$	$(x_k - \bar{X})^2$	$k$	$x_k$	$(x_k - \bar{X})^2$
1	30,9	475,01	21	49,45	10,528
2	30,9	475,01	22	49,45	10,528
3	30,9	475,01	23	55,63	8,6157
4	37,09	243,51	24	55,63	8,6157
5	37,09	243,51	25	55,63	8,6157
6	37,09	243,51	26	55,63	8,6157
7	37,09	243,51	27	61,81	83,088
8	43,27	88,826	28	61,81	83,088
9	43,27	88,826	29	61,81	83,088
10	49,45	10,528	30	61,81	83,088
11	49,45	10,528	31	61,81	83,088
12	49,45	10,528	32	61,81	83,088
13	49,45	10,528	33	61,81	83,088
14	49,45	10,528	34	61,81	83,088
15	49,45	10,528	35	61,81	83,088
16	49,45	10,528	36	61,81	83,088
17	49,45	10,528	37	74,18	461,62
18	49,45	10,528	38	74,18	461,62
19	49,45	10,528	39	74,18	461,62
20	49,45	10,528	40	74,18	461,62
$\bar{X}$				52,69	
$nm^2$					5425,39

Показатели критерия Шапиро–Уилка на участке  $R_3$ 

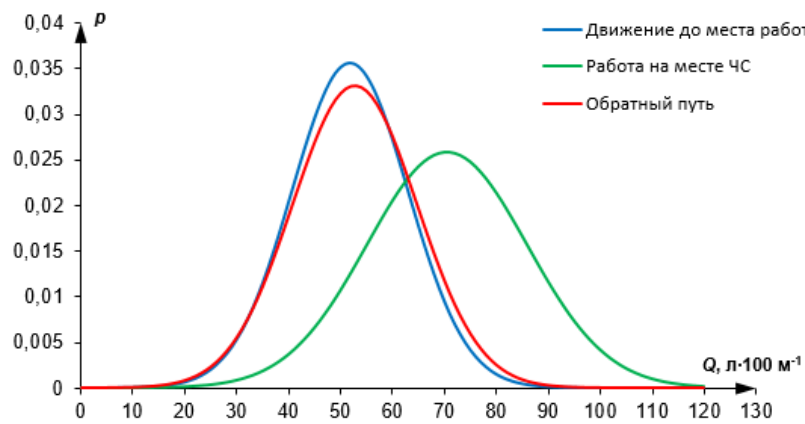
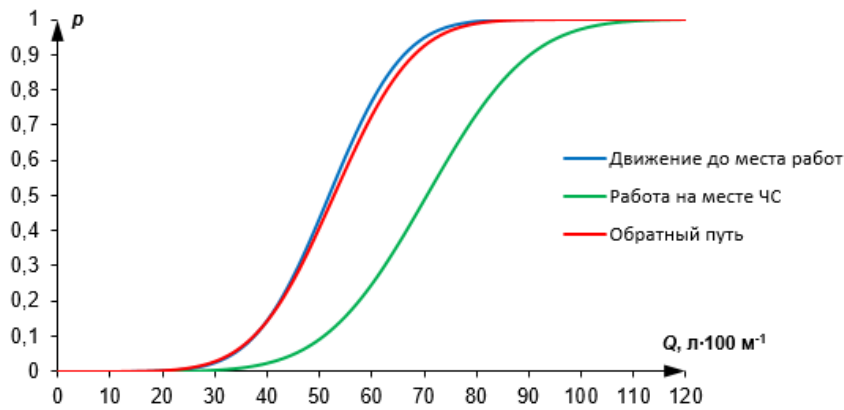
$k$	$x_k$	$X_{(n+1-k)}$	$X_{(n+1-k)} - x_k$	$a_k$	$a_k \cdot (X_{(n+1-k)} - X_k)$
1	74,18	30,9	43,28	0,39660	17,1648203
2	74,18	30,9	43,28	0,27395	11,85659062
3	74,18	30,9	43,28	0,25467	11,02229072
4	74,18	37,09	37,09	0,20973	7,7788857
5	61,81	37,09	24,72	0,18747	4,63435728
6	61,81	37,09	24,72	0,16927	4,18430496
7	61,81	37,09	24,72	0,15261	3,77256864
8	61,81	43,27	18,54	0,14782	2,740567968
9	61,81	43,27	18,54	0,12394	2,2978476
$k$	$x_k$	$X_{(n+1-k)}$	$X_{(n+1-k)} - x_k$	$a_k$	$a_k \cdot (X_{(n+1-k)} - X_k)$
10	61,81	49,45	12,36	0,11066	1,3677576
11	61,81	49,45	12,36	0,09854	1,21792968
12	61,81	49,45	12,36	0,08688	1,0738368
13	61,81	49,45	12,36	0,07582	0,93711048
14	61,81	49,45	12,36	0,06526	0,8066136
15	55,63	49,45	6,18	0,05473	0,33820668
16	55,63	49,45	6,18	0,04446	0,2747628
17	55,63	49,45	6,18	0,03438	0,21245604
18	55,63	49,45	6,18	0,02443	0,15095268
19	49,45	49,45	0	0,01446	0
20	49,45	49,45	0	0,00506	0
$S$					71,83
$S^2$					5159,81



Распределение дыхательных ресурсов на участке  $R_3$  «Обратный путь до безопасной зоны»

Результаты теоретической проверки гипотезы критерием Шапиро–Уилка

Участок $R$	$Q_{cp}$ л·100 м <sup>-1</sup>	$D$ , л <sup>2</sup>	$\sigma$ , л	$d$	$W$	$W_{таб}$ при $\alpha=0,01$	$H_0$
$R_1$	51,84	110,65	10,52	0,202	0,978	0,948	+
$R_2$	70,46	239,48	15,47	0,219	0,917	0,868	+
$R_3$	52,69	139,11	11,79	0,223	0,951	0,948	+



Результаты теоретической проверки гипотезы критерием Шапиро – Уилка

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**

**Акты внедрения результатов исследования**

**УТВЕРЖДАЮ**

Начальник Научно-технического  
управления МЧС России  
генерал-майор внутренней службы  
д.т.н., профессор



А.С. Смирнов

2019 г.

**АКТ**

о внедрении результатов диссертационной работы Гринченко Бориса Борисовича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки)

Комиссия в составе:

председателя – заместителя директора–начальника отдела Департамента образовательной и научно-технической деятельности МЧС России, к.т.н. Гамаюнова Евгения Георгиевича;

и членов комиссии – начальника отдела Департамента образовательной и научно-технической деятельности МЧС России Серебренникова Константина Евгеньевича и инспектора отдела Департамента образовательной и научно-технической деятельности МЧС России Яцыновой Алены Олеговны подтверждают, что научные результаты кандидатской диссертации:

модель управления безопасностью газодымозащитников;

структура автоматизированной информационно-управляющей системы безопасностью газодымозащитников;

критерии и методика оценки условий безопасной работы в непригодной для дыхания среде;

использованы при разработке методических рекомендаций по повышению эффективности действий подразделений пожарной охраны при ликвидации пожаров на начальных этапах развития в зданиях с использованием информации от мониторинговых систем поддержки управления (п. 2 раздел IX «Описание выполняемых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в рамках

выполнения государственного задания ФГБОУ ВО Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России» Плана научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ МЧС России на 2017 год, утвержденного приказом МЧС России от 12.04.2017 г. № 161).

Председатель комиссии:  
заместитель директора – начальника отдела ДОН  
к.т.н.



Е.Г. Гамаюнов

Члены комиссии:

начальник отдела ДОН



К.Е. Серебренников

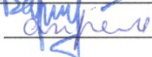
инспектор отдела ДОН



А.О. Яцынова

## УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор  
АО «Дыхательные системы – 2000»

 А.Г. Варшамов  
« 20 »  2019 г.

## АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Гринченко Бориса Борисовича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки) в производственную деятельность акционерного общества «Дыхательные системы – 2000»

Комиссия в составе председателя комиссии – коммерческого директора АО «Дыхательные системы – 2000» Приказчиков Юрия Анатольевича и членов комиссии – Главного конструктора Брежнева Антона Михайловича и Начальника технического отдела Карпова Алексея Евгеньевича, подтверждают, что результаты диссертации Гринченко Б.Б. в части теоретических положений информационной поддержки управления безопасностью газодымозащитников использованы при разработке системы мониторинга показателей безопасности в дыхательных аппаратах.

Председатель комиссии

  
(подпись)

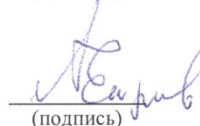
Ю.М. Приказчиков

Члены комиссии



  
(подпись)

А.М. Брежнев

  
(подпись)

А.Е. Карпов



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника  
 Главного управления МЧС России  
 по Ивановской области  
 (по государственной  
 противопожарной службе),  
 полковник внутренней службы

 Е.С. Моисеев  
 « 13 » \_\_\_\_\_ 2019 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы Гринченко Бориса Борисовича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки) в главном управлении МЧС России по Ивановской области при разработке документов предварительного планирования действий по тушению пожаров с применением сил и средств газодымозащитной службы

Комиссия в составе председателя – заместителя начальника управления – начальника отдела организации пожаротушения и проведения АСР управления организации пожаротушения и проведения АСР ГУ МЧС России по Ивановской области полковника внутренней службы Дудина Сергея Владимировича, и членов комиссии – заместителя начальника управления – начальника отдела организации службы, подготовки пожарно-спасательных и аварийно-спасательных формирований управления организации пожаротушения и проведения АСР ГУ МЧС России по Ивановской области полковника внутренней службы Владимирова Ильи Васильевича, главного специалиста отдела организации пожаротушения и проведения АСР управления организации пожаротушения и проведения АСР ГУ МЧС России по Ивановской области капитана внутренней службы Сильченко Никиты Евгеньевича подтверждает, что результаты кандидатской диссертации Гринченко Бориса Борисовича используются при разработке документов предварительного планирования действий по тушению пожаров с применением сил и средств газодымозащитной службы.

Председатель комиссии:

С.В. Дудин

Члены комиссии:

И.В. Владимиров

Н.Е. Сильченко

**УТВЕРЖДАЮ**

Заместитель начальника  
Академии ГПС МЧС России  
по научной работе

доктор технических наук, профессор  
М.В. Алешков  
2019 г.

**АКТ**

об использовании результатов диссертационной работы  
Гринченко Бориса Борисовича, представленной на соискание ученой степени  
кандидата технических наук по специальности 05.13.10 – Управление в социальных  
и экономических системах (технические науки)

Комиссия в составе председателя – заслуженного деятеля науки РФ, доктора технических наук, профессора Топольского Николая Григорьевича и членов – старшего научного сотрудника НИО АСИТ, кандидата технических наук, доцента Буцынской Татьяны Анатольевны и научного сотрудника отдела информационного обеспечения населения и технологий информационной поддержки РСЧС и пожарной безопасности МЧС России, кандидата технических наук Гудина Сергея Витальевича подтверждает, что результаты диссертации Гринченко Бориса Борисовича в части разработанных теоретических положений информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при ведении работ в непригодной для дыхания среде, включающих модель управления безопасностью и ее нормативных значений, алгоритм синтеза информационных ресурсов для реализации модели и алгоритма информационной поддержки управления использованы в научных работах учебно-научного комплекса автоматизированных систем и информационных технологий.

Председатель комиссии

 Н.Г. Топольский

Члены комиссии

 Т.А. Буцынская

 С.В. Гудин

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника академии –  
начальник института  
профессиональной подготовки  
пожарников внутренней службы  
кандидат технических наук, доцент

В.В. Булгаков

2019 г.



А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы

Гринченко Бориса Борисовича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.10 – Управление в социальных и экономических системах (технические науки) в учебную деятельность ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России

Комиссия в составе: председателя – начальника кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК «Пожаротушение»), к.т.н., доцента майора внутренней службы Баканова Максима Олеговича, и членов комиссии – заместителя начальника кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК «Пожаротушение»), к.п.н., доцента, полковника внутренней службы Смирнова Владимира Александровича, профессора кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК «Пожаротушение»), д.т.н., подполковника внутренней службы Тараканова Дениса Вячеславовича, подтверждают, что научные результаты кандидатской диссертации использованы при организации и проведении учебных занятий по дисциплинам «Пожарная тактика» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность») и «Информационные системы поддержки принятия решения» (направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность» (уровень магистратуры), профиль «Пожарная безопасность»).

Председатель комиссии

М.О. Баканов

Члены комиссии

В.А. Смирнов

Д.В. Тараканов