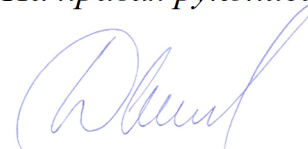


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ивановская пожарно-спасательная академия Государственной противопожарной службы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

На правах рукописи



Захаров Дмитрий Юрьевич

**РАЗРАБОТКА НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОГО АППАРАТА ОЦЕНКИ
ТАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ**

2.10.1 Пожарная безопасность

Диссертация
на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Гринченко Борис Борисович

Иваново – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
ГЛАВА 1 РАЗРАБОТКА РЕСУРСНО-ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ЗВЕНЬЕВ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ	13
1.1 Специфика работы газодымозащитников в условиях непригодной для дыхания среды	14
1.2 Понятие о тактических возможностях звена газодымозащитной службы	18
1.3 Детерминанты окружающей среды.....	22
1.4 Технические детерминанты	29
1.5 Персонализированные детерминанты	37
1.6 Выводы по главе 1.....	47
ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСНО-ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ЗВЕНА ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ	49
2.1 Методика и организация исследования.....	50
2.2 Переход от субъективной оценки выполняемой работы к количественным показателям.....	53
2.3 Постановка эксперимента	56
2.3.1 Оценка функционального состояния газодымозащитников	59
2.3.2 Оценка теплового состояния газодымозащитников.....	61
2.4 Обработка результатов эмпирического исследования.....	64
2.5 Выводы по главе 2.....	66
ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗВЕНА ГДЗС С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ..	68
3.1 Формализация входных параметров	70
3.1.1 Постановка задачи регрессионного моделирования.....	79
3.1.2 Методика определения прогнозируемого времени работы.....	80
3.2 Разработка регрессионной модели прогнозирования времени эффективной работы	81

3.2.1 Обоснование выбора вида математической модели и структуры предикторов	81
3.2.2 Построение, оценка параметров и проверка адекватности регрессионной модели	83
3.2.3 Анализ результатов математического моделирования и перспективы интеграции модели в систему оптимизации тактических решений	86
3.3 Выводы по главе 3	90
ГЛАВА 4 ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ТАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗВЕНЬЕВ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ.....	92
4.1 Научно-обоснованная структура и организационная схема программного комплекса	92
4.1.1 Принципы системной организации и функциональная конфигурация программного комплекса.....	93
4.1.2 Объектно-ориентированная информационная модель данных программного комплекса.....	96
4.2 Разработка прототипа и реализация алгоритмов поддержки принятия решений.....	101
4.2.1 Архитектура вычислительного ядра и алгоритм прогнозирования времени эффективной работы.....	102
4.2.2 Алгоритм оптимизации ротации звеньев ГДЗС	105
4.2.3 Пользовательский интерфейс и интерактивная визуализация.....	108
4.2.4 Оценка соответствия программной реализации заданным требованиям	110
4.3 Верификация программного комплекса и оценка его функциональной эффективности.....	111
4.3.1 Сравнительный анализ с существующей детерминированной методикой.....	111
4.3.2 Сравнительный анализ результатов моделирования с данными реальных пожарных	115

4.3.3 Оценка эффективности предложенного подхода	117
4.3.4 Обсуждение ограничений и перспектив развития.....	119
4.4 Практические рекомендации по применению моделей и программного комплекса	120
4.4.1 Рекомендации для должностных лиц органов управления пожаротушением	121
4.4.2 Рекомендации для профессиональной подготовки личного состава	123
4.5 Выводы по главе 4.....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	127
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	130
ПРИЛОЖЕНИЕ А Результаты экспериментального исследования.....	149
ПРИЛОЖЕНИЕ Б Расчет влияния массы снаряжения на мощность нагрузки, развиваемую газодымозащитником	169
ПРИЛОЖЕНИЕ В Акты внедрения результатов диссертационного исследования	170

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы и степень разработанности. В соответствии с Указом Президента РФ от 1 января 2018 г. № 2, обеспечение пожарной безопасности отнесено к приоритетам государственной политики на период до 2030 года. Успешность тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ в непригодной для дыхания среде в решающей степени определяется действиями звеньев ГДЗС. Вместе с тем, статистика гибели пожарных – как в России, так и за рубежом – показывает, что более 51 % случаев связаны со стрессом и физическим перенапряжением, преимущественно обусловленным сердечно-сосудистыми нарушениями. Это свидетельствует о том, что существующие детерминированные методики расчета, основанные на усредненном расходе воздуха ($45 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$) и давлении в баллонах, не учитывают главного лимитирующего фактора – индивидуального функционального состояния человека, действующего в экстремальных условиях пожара.

Таким образом, складывается объективное противоречие между необходимостью точного прогнозирования времени работы звеньев ГДЗС, напрямую связанного с безопасностью личного состава, и отсутствием научно обоснованного инструментария, учитывающего сочетанное воздействие физической нагрузки, теплового стресса и персональных особенностей газодымозащитников. Разрешение этого противоречия представляет собой научную задачу, имеющую существенное теоретическое и прикладное значение для совершенствования тактики пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ, а также для повышения уровня безопасности личного состава, работающего в непригодной для дыхания среде.

Проблематика тактических возможностей звеньев ГДЗС получила развитие в исследованиях отечественных ученых – В.Б. Габдуллин, Б.Б. Гринченко, М.О. Баканов, А.Д. Ищенко, С.С. Кобылкин, И.В. Коршунов, В.И. Логинов, А.В. Смагин, В.М. Стрелец, Д.В. Тараканов, В.В. Терехнев, Д.Н. Шалявин,

Д.С. Шупнев – а также зарубежных исследователей N. Gledhill, G.P. Horn, V.K. Jamnik, K. Lambert, T.T. Romet.

Однако теоретические и практические вопросы, связанные с выявлением закономерностей физиологических откликов организма газодымозащитников на время эффективной работы в агрессивной среде пожара и разработке необходимого спектра методологического инструментария по переходу от субъективных показателей работы и обеспечения безопасного пребывания звеньев ГДЗС в НДС к количественным показателям с учетом лимитирующих детерминант временного ресурса, остались не изученными.

Таким образом, **научная задача** диссертации заключается в разработке научно-методического аппарата для количественной оценки и прогнозирования тактических возможностей газодымозащитников, работающих в составе звеньев ГДЗС. Решение этой задачи имеет значение для развития отрасли знаний в области пожарной безопасности и служит основой для научного обоснования тактики тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ.

Объект исследования – процесс выполнения газодымозащитниками оперативных задач в условиях непригодной для дыхания среды.

Предмет исследования – тактические возможности звена ГДЗС, лимитируемые функциональным состоянием личного состава.

Цель работы заключается в разработке научно-методического аппарата для количественной оценки и прогнозирования тактических возможностей звеньев ГДЗС на основе учета функционального состояния газодымозащитников.

Для достижения поставленной цели исследования были поставлены и решались следующие **задачи**:

1. Провести анализ детерминант, влияющих на тактические возможности звена ГДЗС, и разработать ресурсно-эргономическую модель их оценки.

2. Обосновать переход от субъективной оценки тяжести работ к объективному количественному показателю – мощности, развиваемой газодымозащитником, и на его основе исследовать закономерности изменения индивидуальных параметров состояния газодымозащитников при

комбинированном воздействии физической нагрузки и нагревающего микроклимата.

3. Разработать и верифицировать регрессионную модель прогнозирования времени работы газодымозащитников.

4. Разработать программный информационно-аналитический комплекс, обеспечивающий поддержку принятия управленческих решений при планировании тактических действий и оптимизации ротации звеньев ГДЗС.

5. Подготовить и апробировать практические рекомендации по использованию полученных результатов в оперативной деятельности пожарно-спасательных подразделений и в учебном процессе ведомственных образовательных организаций.

Научная новизна:

1. Разработана ресурсно-эргономическая модель оценки тактических возможностей звеньев ГДЗС, которая, в отличие от существующих подходов, рассматривает их не как функцию технических параметров, а как интегральный результат взаимодействия трех групп детерминант (средовой, технической и персонализированной), выступающих структурными элементами модели. В рамках модели обосновано введение понятия «детерминанта тактических возможностей» как структурной единицы, объединяющей факторы по их природе (средовые, технические, персонализированные) для их сочетанного анализа. В отличие от традиционно используемого термина «фактор», обозначающего отдельную переменную, детерминанта вводится как категория более высокого уровня, позволяющая систематизировать разнородные влияющие переменные и обеспечить возможность их комплексного анализа в рамках единой модели. Такой подход позволяет перейти от усредненного нормирования к персонализированному прогнозу времени безопасной работы звена ГДЗС.

2. Обоснован и реализован метод количественной оценки функциональных затрат организма газодымозащитника при выполнении оперативных задач в непригодной для дыхания среды, базирующийся на переходе к объективному показателю механической мощности (Вт). Установлен коэффициент влияния

массы снаряжения на развиваемую мощность ($0,66 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$), что создает научно обоснованную основу для объективного нормирования тяжести различных тактических задач и оценки их влияния на функциональное состояние.

3. Впервые получены экспериментальные данные о совместном влиянии физической нагрузки (35-170 Вт) и нагревающего микроклимата (20-30 °С) на динамику физиологических показателей газодымозащитников: легочной вентиляции, частоте сердечных сокращений и температуре тела. Выявлен и количественно оценен комплексный эффект синергетического воздействия этих факторов на скорость развития утомления, заключающийся в нелинейном ускорении истощения функциональных резервов организма при сочетанном действии теплового и физического стресса.

4. Разработана и верифицирована регрессионная модель прогнозирования времени работы газодымозащитника в зависимости от мощности физической нагрузки и температуры окружающей среды ($T_{\text{раб}} = 29,15 - 0,1453 \cdot W - 0,0050 \cdot T_{\text{окр}}$; $R^2 = 0,982$; $\text{RMSE} = 0,77 \text{ мин}$). Установлен принцип лимитирующего звена для перехода от индивидуального прогноза к оценке тактических возможностей звена ГДЗС, что позволяет заменить усредненный нормативный подход персонализированным расчетом.

5. Разработан научно-обоснованный алгоритм и информационно-аналитический комплекс поддержки принятия решений, отличающийся реализацией принципа персонализации прогноза на основе индивидуальных параметров газодымозащитников и содержащий алгоритм оптимизации ротации звеньев, применение, которого позволяет минимизировать риск достижения критических функциональных состояний личным составом при обеспечении непрерывности выполнения боевой задачи.

Теоретическая значимость исследования заключается в установлении количественных зависимостей изменения расхода дыхательных ресурсов, ЧСС и температуры тела газодымозащитников от мощности физической нагрузки и температуры окружающей среды, что расширяет научные представления о тактических возможностях звеньев ГДЗС в экстремальных условиях пожара.

Практическая значимость исследования подтверждается разработкой и внедрением программного комплекса для оценки тактических возможностей и оптимизации ротации звеньев ГДЗС, практических рекомендаций для должностных лиц (РТП, начальник КПП ГДЗС, командир звена ГДЗС, постовой на посту безопасности ГДЗС), позволяющих повысить обоснованность тактических решений. Результаты внедрены в деятельность Главного управления МЧС России по Ивановской области, а также в учебный процесс Ивановской пожарно-спасательной академии и Академии ГПС МЧС России.

Методология и методы исследования. Диссертационная работа выполнена на основе системного подхода, в рамках которого деятельность звена ГДЗС рассматривается как единая система «газодымозащитник – средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения – непригодная для дыхания среда». Для решения поставленных задач использованы методы математического моделирования (регрессионный анализ), теории вероятностей и математической статистики (t-критерий Стьюдента, корреляционный анализ Пирсона), а также теория планирования эксперимента. Программная реализация полученных моделей и алгоритмов выполнена с применением объектно-ориентированного программирования.

Положения, выносимые на защиту:

1. Ресурсно-эргономическая модель оценки тактических возможностей звеньев ГДЗС, структурными элементами которой являются три детерминанты (средовая, техническая и персонализированная), объединяющие факторы по их природе для комплексного анализа. Модель устанавливает взаимосвязь тактических возможностей с мощностью физической нагрузки, параметрами среды и индивидуальными параметрами состояния газодымозащитника и позволяет перейти от усредненного нормирования к персонализированному прогнозу.

2. Метод количественной оценки функциональных затрат организма газодымозащитника на основе мощности нагрузки.

3. Закономерности изменения функционального и теплового состояния газодымозащитников (ЧСС, легочная вентиляция, температура тела) при одновременном воздействии физической нагрузки и нагревающего микроклимата.

4. Регрессионная модель прогнозирования времени работы звена ГДЗС, обладающая высокой точностью прогноза.

5. Информационно-аналитический комплекс поддержки принятия решений и практические рекомендации для должностных лиц, обеспечивающие повышение безопасности и эффективности действий звеньев ГДЗС.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных в ходе исследования результатов обеспечивается репрезентативностью выборки ($n=40$, 600 наблюдений), корректным использованием методов математической статистики при обработке полученных результатов исследования ($p < 0,05$) и верификацией моделей по данным реальных пожаров.

Результаты исследований представлены на конференциях всероссийского и международного уровня: Системы безопасности (Москва, АГПС МЧС России, 2024 г.); Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации (Москва, АГПС МЧС России, 2024 г.); Актуальные вопросы тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ (Железнодорожск, СПСА ГПС МЧС России, 2025 г.); Новые технические, организационные и методические решения в области пожарной безопасности (Балашиха, ВНИИПО МЧС России, 2025 г.); Пожарная и аварийная безопасность (Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2023-2025 гг.); Актуальные вопросы профессиональной подготовки пожарных и спасателей (Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2024, 2025 гг.); Актуальные вопросы пожаротушения (Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2024, 2025 гг.); Современные проблемы обеспечения безопасности (Екатеринбург, УИ ГПС МЧС России, 2026 г.), Современные аспекты пожарной безопасности (Балашиха, ВНИИПО МЧС России, 2026 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 19 работ, из них 3 – в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК России,

2 – в изданиях, входящих в международную систему цитирования Scopus. Получены 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, 1 свидетельство о государственной регистрации базы данных.

Личный вклад автора заключается в проведении анализа литературных источников по теме исследования, выполнении экспериментальной части работы и обработка полученных результатов. Постановка цели и задач исследования, интерпретация результатов диссертационного исследования и формирование выводов по работе осуществлялось совместно с научным руководителем.

Внедрение результатов исследования. Разработанные в диссертации теоретические положения, использованы:

1. В Главном управлении МЧС России по Ивановской области при разработке документов предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ с применением сил и средств ГДЗС.

2. В учебной деятельности ФГБОУ ВО «Академия Государственной противопожарной службы МЧС России» при организации и проведении учебных занятий по дисциплине «Пожарно-прикладная подготовка» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность» профиль «Пожарная безопасность государства»).

3. В учебной деятельности ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России» при организации и проведении учебных занятий по дисциплинам «Организация газодымозащитной службы» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность» профиль «Пожарная безопасность государства») и «Информационные системы поддержки принятия решения» (направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность», профиль «Пожарная безопасность»).

4. В научной деятельности ФГБОУ ВО «Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России» при выполнении научно-исследовательских работ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 176 страницах, состоит из 4 глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений,

списка литературы и приложений. Работа содержит 27 рисунков, 28 таблиц и 3 приложения. Список литературы содержит 152 цитируемые публикации.

ГЛАВА 1 РАЗРАБОТКА РЕСУРСНО-ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ЗВЕНЬЕВ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ

В первой главе проанализированы условия работы звеньев ГДЗС в НДС, характеризующаяся токсичными продуктами горения, высокой температурой и сниженной видимостью. Представлена специфика применения СИЗОД, в качестве которых выступают ДАСВ. Рассмотрены статистические данные гибели пожарных при исполнении служебных обязанностей за 45 лет (1977-2022 гг.), свидетельствующие, что лидирующую позицию, 51 % летальных случаев среди пожарных связаны со стрессом и перенапряжением, преимущественно из-за сердечных приступов, что говорит о комплексном воздействии опасных факторов, требующем особых методов подготовки и оценки в обеспечении безопасности газодымозащитников.

Введено и обосновано авторское определение термина «Тактические возможности звена ГДЗС», под которым понимается объем трудовых операций, выполняемых газодымозащитниками при тушении пожара и ПАСР, включая учения и ликвидацию чрезвычайных ситуаций, ограниченный запасом дыхательных ресурсов СИЗОД. Выполнен анализ существующих детерминированных методик по определению тактических возможностей звена ГДЗС. В отличие от общепринятого подхода в тактике тушения пожаров и ПАСР, учитывающего лишь численность и оснащенность пожарно-спасательных подразделений, тактические возможности звена ГДЗС определяются комплексом взаимовлияния трех критически важных групп: детерминанты окружающей среды; технические детерминанты; персонализированные детерминанты (человеческий фактор). Приведена структурная схема, которая наглядно показывает, как перечисленные детерминанты влияют на работоспособность и безопасность газодымозащитников при выполнении задач в НДС.

1.1 Специфика работы газодымозащитников в условиях непригодной для дыхания среды

Для выполнения задач по тушению пожаров и ПАСР в НДС привлекается газодымозащитники, имеющие допуск к самостоятельному использованию СИЗОД. Для эффективного выполнения указанных задач формируются звенья ГДЗС в составе от 3-х до 5-ти газодымозащитников. Основная задача звена – создание условий, необходимых для спасения и защиты людей, эвакуации материальных и культурных ценностей, а также обеспечения безопасности личного состава при работе в НДС [31].

Согласно литературным данным [68], НДС характеризуется пониженным содержанием кислорода и наличием токсичных продуктов горения. Дополнительно НДС характеризуется повышенной температурой и ограниченной видимостью. В совокупности эти факторы создают экстремальные условия, негативно влияющие как на здоровье газодымозащитников, так и на исправность пожарного оборудования и инструмента, используемых ими при выполнении задач [85].

В подобных условиях работы, газодымозащитники обязаны использовать СИЗОД [95], к числу которых относятся ДАСВ и ДАСК. Основными параметрами дыхательных аппаратов является ВЗД, в течение которого аппарат обеспечивает подачу для дыхания воздуха или кислорода, а также легочная вентиляция, которая определяется количеством дыхательных ресурсов, циркулирующих в легких за единицу времени, то есть тем объемом количеством воздуха, который за 1 минуту вдыхается или выдыхается газодымозащитником [18, 31].

Применение СИЗОД требует постоянного технического обслуживания (боевая проверка, проверка №1) [69]. Это необходимо для проверки правильности функционирования всех узлов и механизмов в процессе эксплуатации. Для успешного выполнения поставленной боевой задачи звено ГДЗС обязано иметь минимальное и дополнительное оснащение [69, 93], что способствует повышению эффективности действий газодымозащитников и обеспечивает безопасность при

выполнении работ по тушению пожаров и ПАСР в условиях НДС и ограниченной видимости.

Перед входом в НДС командир звена ГДЗС обязан спланировать действия и определить оптимальный маршрут движения. В условиях сильного задымления или ограниченной видимости газодымозащитники используют комплекс специальных методов ориентирования в пространстве. Основными тактическими приемами ведения разведки в НДС являются следующие алгоритмы и правила [92]:

- разведка вдоль капитальных стен с оконными проемами;
- разведка вдоль путевого троса;
- разведка вдоль рукавной линии;
- организация разведки на малых и больших площадях;
- эшелонная разведка;
- одновременная разведка по нескольким направлениям.

При следовании по маршруту каждый газодымозащитник обязан не только запоминать путь передвижения [69], но и осуществлять постоянный мониторинг окружающей обстановки и остаточного давления в баллоне (дыхательные ресурсы). Для повышения безопасности используется как правило заполненная рукавная линия, направляющий (путевой) трос. Координация действий звена ГДЗС с РТП и постом безопасности ГДЗС, а также с другими участниками тушения пожара осуществляется с помощью радиосвязи или систем дистанционного объективного мониторинга за параметрами безопасности (телеметрические системы) [18, 58].

Применение СИЗОД обеспечивает надежную защиту газодымозащитников от воздействия токсичных продуктов горения. Однако в процессе работы в НДС организм газодымозащитников подвергается ряду функциональных изменений. Экспериментальные данные свидетельствуют о том, что в процессе тушения пожаров у газодымозащитников регистрируются критические показатели ЧСС, приближающие к максимальным значениям [117, 134, 136, 143]. Подобные состояния могут провоцировать развитие сердечно-сосудистых заболеваний.

Следует отметить, что за последние 5 лет в пожарно-спасательных подразделениях РФ наблюдается устойчивая положительная динамика роста подобных случаев [25]. Аналогичная тенденция прослеживается и за рубежом: по данным Национальной ассоциации противопожарной защиты (NFPA), в 2022 году зарегистрировано 96 случаев гибели пожарных при исполнении служебных обязанностей (рисунок 1.1) [2]. Выбор аналитических данных статистики NFPA обусловлен методологическими различиями в учете летальных исходов, связанных с пожарами, между Российской Федерацией и Соединенными Штатами Америки. В частности, статистика NFPA включает в себя случаи гибели, наступившие в течение 24 часов после инцидента, что обеспечивает более полный учет последствий пожаров. В то время как в Российской Федерации учет данных об аналогичных случаях и их последствиях ведется сразу, после произошедшего инцидента, что в свою очередь приводит к недостоверной оценке случаев гибели сотрудников пожарной охраны, в особой степени, если этот вопрос касается инфарктов, сердечной недостаточности и других случаев, которые проявляются после выполнения трудовой деятельности на пожаре.

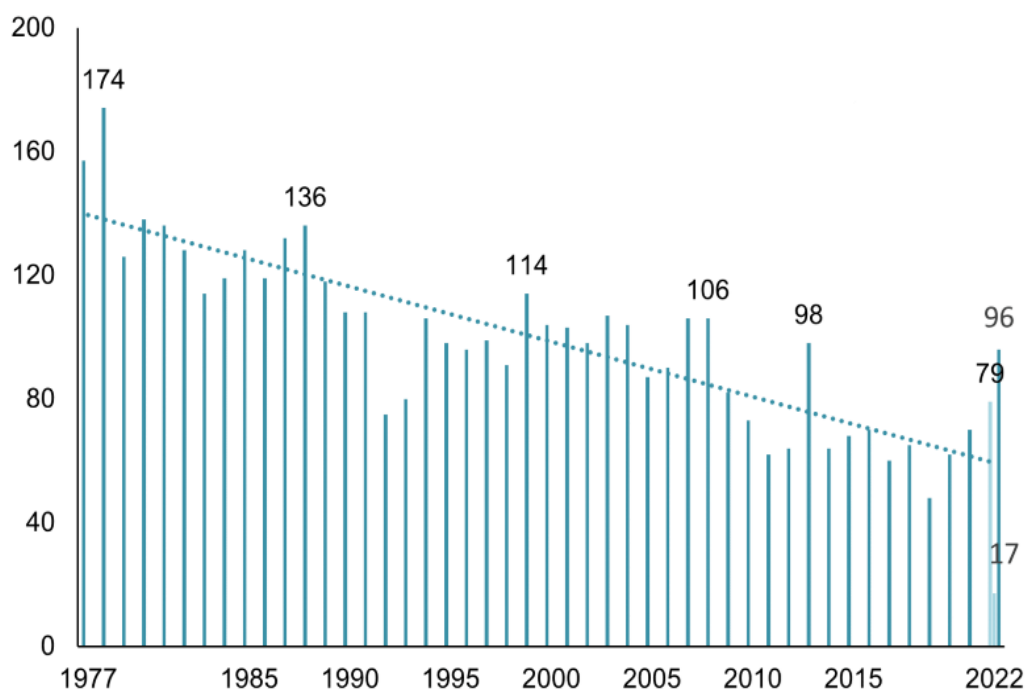


Рисунок 1.1 – Статистика гибели пожарных в США

Анализ причин смертности показывает, что 51 % летальных случаев (49 инцидентов) связаны со стрессом и физическим перенапряжением (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Анализ причин гибели пожарных в США (NFPA)

Анализ данных, представленных на рисунке 1.2, выявил, что в структуре смертности, ассоциированной с физическим перенапряжением и стрессом, доминируют сердечные приступы, неизвестные медицинские факторы и передозировка психотропными веществами.

Этиология внезапной остановки сердца у пожарных может быть обусловлена:

- хроническим психоэмоциональным напряжением, связанным с регулярным участием в тушении пожаров и ПАСР [129];
- чрезмерными физическими нагрузками при ведении боевых действий и ПАСР [116];
- дополнительным функциональным нагрузками вследствие постоянного использования БОП и СИЗОД [132, 148].

1.2 Понятие о тактических возможностях звена газодымозащитной службы

В практике тушения пожаров и ПАСР под тактическими возможностями пожарного подразделения понимается объем работ по спасению людей, эвакуации имущества и тушению пожара, который может быть выполнен силами и средствами данного пожарно-спасательного подразделения за определенный промежуток времени [67]. В соответствии с действующей организационной структурой основным тактическим подразделением пожарной охраны является караул, состоящий из 2-х и более отделений на основных пожарных автомобилях. Каждое отделение обладает собственными тактическими возможностями, зависящими от ряда параметров: временных ресурсов, выделяемых на выполнение поставленной задачи, техническому оснащению пожарного автомобиля и профессионального уровня подготовки личного состава [30, 44, 67]. В литературе представлен перечень методик, позволяющих определить количественные показатели тактических возможностей отделений на основных пожарных автомобилях [30, 67].

Несмотря на то, что вопросам оценки тактических возможностей звеньев ГДЗС посвящен ряд работ [2, 10, 31, 43, 44, 86, 93, 99, 100], среди специалистов и ученых до сих пор отсутствует единое понимание термина «Тактические возможности звена ГДЗС». На основе анализа литературных источников, нормативных документов и практического опыта тушения пожаров и ПАСР в НДС и сниженной видимости, выраженного в изучении разборов произошедших пожаров и ЧС, предлагается следующая дефиниция: **«Тактические возможности звена ГДЗС»** – это объем трудовых операций, выполняемых газодымозащитниками при тушении пожара и проведении аварийно-спасательных работ (включая учения и ликвидацию чрезвычайных ситуаций), ограниченный запасом временных ресурсов СИЗОД и лимитируемый функциональным состоянием личного состава.

Таким образом, главным фактором, лимитирующим тактические возможности звена ГДЗС, выступает время эффективной работы в ДАСВ, расход

которого напрямую зависит от индивидуальных параметров состояния газодымозащитников, находящихся под прямым воздействием мощности выполняемой работы и температуры среды. Для обеспечения безопасных режимов работы звеньев ГДЗС в НДС применяется детерминированная методика проведения расчетов параметров работы в СИЗОД [69].

Анализ нормативных документов и практический опыт показывают, что существующая методика [69] имеет ограниченную применимость. В частности, она может быть использована только для расчетов постовым ПБ ГДЗС. Проблемным вопросом, ограничивающим применение существующей методики по мнению Коршунова И.В. и др. [43] является элементарная нехватка объема дыхательных ресурсов для того, чтобы успеть дойти до очага пожара. Это означает, что звенья ГДЗС часто не имеют достаточного запаса воздуха для выполнения поставленных задач, что снижает их тактические возможности.

Под эффективным временем работы – понимают фактическую продолжительность (в минутах) выполнения трудовых операций в НДС до момента достижения одним из газодымозащитников звена ГДЗС индивидуального лимита ($ЧСС > 170$ уд/мин), при котором дальнейшее безопасное выполнение боевой задачи становится невозможным.

Предложенные методики позволяют сформировать комплексную систему оценки тактических возможностей звеньев ГДЗС, основанную на классической схеме взаимодействия элементов системы: «Человек – Машина – Среда», адаптированную для специфики тушения пожаров и ПАСР в условиях НДС: «Газодымозащитник – СИЗОД – НДС» (рисунок 1.3).

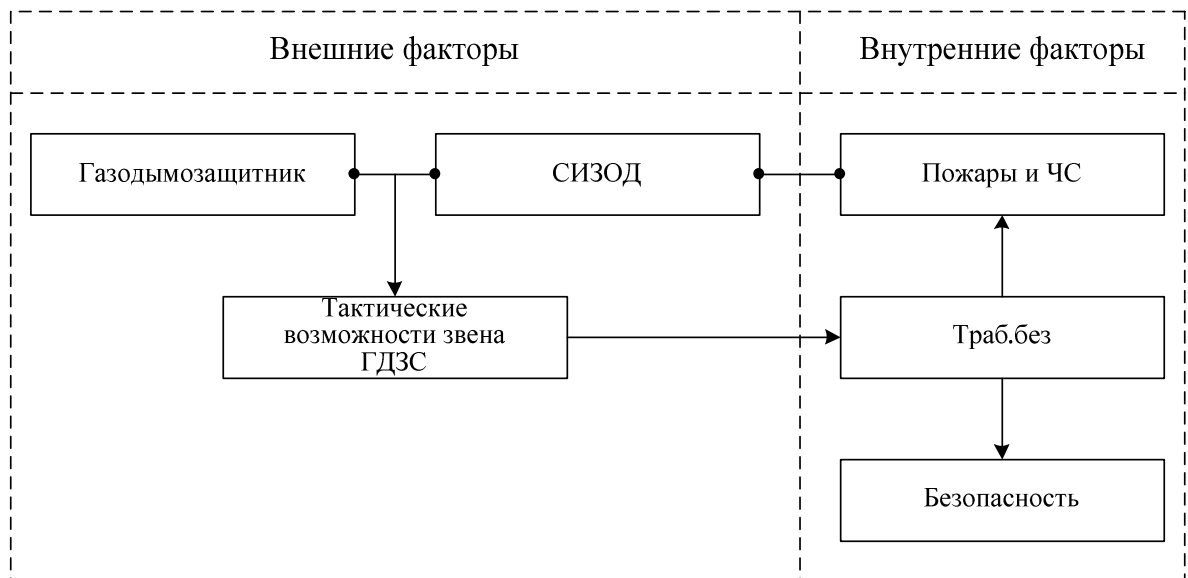


Рисунок 1.3 – Структурная схема тактических возможностей звена ГДЗС

Исходя из рисунка 1.3 можно утверждать, что основным показателем тактических возможностей звена ГДЗС является время эффективной работы, которое ограничено дыхательными ресурсами и индивидуальными лимитами, в виду необходимости использования СИЗОД. Данные ограничения формируются под воздействием сложного комплекса взаимосвязанных факторов, которые могут быть классифицированы по трем группам, оказывающим дифференцированное влияние на время выполнения трудовых операций, то есть эффективность решения оперативных задач. В эту группу входят следующие детерминанты: технические, окружающей среды, персонализированные. Взаимосвязь данных детерминант образуют ресурсно-эргономическую модель тактических возможностей звена ГДЗС при тушении пожаров и ПАСР в условиях НДС (рисунок 1.4) [5].



Рисунок 1.4 – Детерминанты ресурсно-эргономической модели тактических возможностей звеньев ГДЗС

Детерминанты окружающей среды напрямую влияют на работоспособность звена ГДЗС и формируют ограничения внешней среды. К ним относятся термогидрометрические параметры, такие как температура, влажность и интенсивность теплового излучения. Важное значение имеет газовый состав атмосферы, включая концентрацию токсичных продуктов горения и уровень дымообразования. Пространственно-геометрические характеристики рабочей зоны, сказываясь на условиях труда, в первую очередь через падение видимости и усложнение планировки, вносят заметный вклад. Такие условия ведут к уменьшению времени, проводимого в НДС, и вынуждают корректировать подходы к тушению пожара и выполнению ПАСР.

Технические детерминанты берут свое начало в тактико-технических данных используемого снаряжения и оборудования, и именно эти данные определяют потенциал звена ГДЗС, которым оно располагает при решении поставленных задач. В параметрах СИЗОД значимость несут ВЗД, сопротивление дыханию, эргономичность. У аварийно-спасательного оборудования функциональные возможности выражаются в надежности и приспособляемости к экстремальным условиям, что вносит существенный вклад. Для помехоустойчивости и дальности действия решающими оказываются

характеристики средств связи и навигации, и указанное влияние зависит именно от них. Уровень технической оснащённости прямо определяет, как долго и насколько безопасно выполняются оперативные задачи в НДС.

Адаптация к быстро изменяющимся условиям определяется персонализированными детерминантами, и сами они зависят от индивидуальных функциональных особенностей газодымозащитников, которые критично влияют на эффективность выполнения задач. Среди таких данных фигурируют функциональные показатели – физическая выносливость, терморегуляция и работа сердечно-сосудистой системы. Значимой признается также психоэмоциональная стабильность, которая включает устойчивость к стрессу, способность принимать решения в условиях опасности и неопределенности. Что касается когнитивных и рабочих навыков, то уровень подготовки, накопленный опыт и командная согласованность напрямую влияют на итоговый результат.

1.3 Детерминанты окружающей среды

Влияние метеорологических условий. В работах [15, 18, 28, 38, 58, 69, 70] исследовательские данные не оставляют сомнений: неблагоприятная погода заметно усложняет выполнение боевых задач; при этом, как показано в таблице 1.1, разные погодные условия неодинаково сказываются на действиях газодымозащитников.

Таблица 1.1 – Влияние метеорологических условий на работу газодымозащитников

№	Метеорологические условия	Влияние на работу
1	2	3
1.	Дождь, снег, гололед, град	Ухудшение условий передвижения, повышение риска падений и травм, увеличение времени разворачивания сил и средств, ухудшение сцепления техники с дорогой, проблемы с подъездом к месту пожара, образование наледи на оборудовании, опасность для личного состава, повреждение техники.

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3
2.	Сильный ветер (>10 м/с)	Усиление распространения огня, изменение направления дыма, затруднение прицельного применения огнетушащих веществ, создание угрозы обрушения конструкций, затруднение использования подъемных механизмов.
3.	Туман, низкая видимость	Ограничение обзора, затруднение ориентации на местности, задержка в обнаружении пострадавших, снижение эффективности визуального контроля за развитием пожара, увеличивает время прибытия к месту вызова.
4.	Температура воздуха	Высокие температуры ($> +30$ °C) ускоряют процесс горения, увеличивают риск теплового удара у пожарных, вызывают перегрев оборудования. Низкие температуры (< -20 °C) замерзание воды в рукавах и насосах, обледенение техники и конструкций, снижение мобильности личного состава.

Особую проблему представляет нарушение систем связи в сложных метеорологических условиях. Как отмечается в [58], существуют сценарии, когда использование радиосвязи становится затруднительным или невозможным. В таких ситуациях, при потере связи со звеном ГДЗС на время свыше 10 минут, возникает необходимость организации БУ для спасения звена ГДЗС, что отвлекает значительные ресурсы от основной задачи – спасения гражданских лиц. Данная ситуация приводит к ухудшению оперативной обстановки и увеличению времени эвакуации пострадавших.

Нормативные документы [18, 28, 69] устанавливают ограничения на использование СИЗОД при различных температурных условиях. Так, например в условиях отрицательных температур включение в СИЗОД должно осуществляться в отапливаемом помещении или кабине пожарного автомобиля. Это связано с тем, что при низких температурах существует риск выхода из строя узлов СИЗОД, таких как легочный автомат и редуктор, вследствие обмерзания. Это может привести к полному прекращению подачи дыхательной смеси и, как следствие, к угрозе жизни и здоровью газодымозащитника и звена в целом [28]. После выключения из СИЗОД газодымозащитникам запрещается интенсивно вдыхать холодный воздух и употреблять холодную воду. Мороз способен подорвать здоровье, снизить функциональность и эффективность

газодымозащитников. В таких условиях и замена аппарата сопряжена с дополнительными сложностями; следует организовать специальные места, где личный состав мог бы отдохнуть, согреться и провести техобслуживание СИЗОД, что уменьшит риск для здоровья и обеспечит безотказную работу. Предусмотрение зон для отдыха, обогрева и обслуживания снижает угрозу здоровью.

В жарких условиях давление в баллонах СИЗОД следует держать под контролем, не позволяя ему подниматься выше рабочего значения (29,4 МПа). Опытные данные свидетельствуют о зависимости: при изменении температуры окружающей среды на 10 °С давление воздуха в баллоне меняется на 0,5-0,8 МПа [28]. В условиях жаркой погоды возрастает риск обезвоживания и теплового удара у газодымозащитников [6], что требует обеспечения личного состава достаточным количеством питьевой воды.

Влияние ограниченной видимости. Сниженная видимость в НДС оказывает негативное влияние на эффективность выполнения задач звеньями ГДЗС, снижая скорость передвижения и, как следствие ограничивая тактические возможности звеньев ГДЗС [34, 87, 98, 120, 125, 145, 147, 152]. Скорость перемещения звеньев ГДЗС является определяющим параметром для успешной локализации и ликвидации пожара, а также ПАСР. Оперативное перемещение в сочетании с четкой координацией действий газодымозащитников в составе звена ГДЗС позволяет эффективно решать поставленные задачи.

При моделировании сценариев спасательных работ, скорость передвижения звеньев ГДЗС в условиях воздействия ОФП принимается равной 5,4 м/мин [10, 12, 86]. В процессе эвакуации, пострадавших данный показатель снижается до 2,7 м/мин [86]. Полученные данные указывают на необходимость оптимизации тактических приемов и использования специализированного оборудования для повышения эффективности работы в условиях НДС. Более детальные сведения о скорости передвижения звеньев ГДЗС в различных условиях представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Скорость передвижения звеньев ГДЗС в НДС

№ п/п	Авторы (год публикации)	Данные
1.	Теребнев В.В., Подгрушный А.В. (2012) [93]	подъем на высоту – 10 м/мин, подъема на высоту в задымленной или слабо освещенной лестничной клетке – 5-6,7 м/мин
2.	Lambert K. et al. (2021) [131]	передвижения (без рукавной линии) – 3-5 м/мин, передвижения (с рукавной линией) – 2 м/мин
3.	Смыгалин С.Н. и др. (2022) [86]	по горизонтали – 5,4 м/мин, с пострадавшим – 2,7 м/мин

В рамках исследования, проведенного Lambert K. и соавторами [131], был осуществлен сравнительный анализ временных затрат на проведение разведки в помещениях различной конфигурации и степени мебелировки, а также оценено влияние использования рукавной линии на эффективность данной операции. Факторы, сильнее всего влияющие на время выполнения задачи и на то, как звеньями ГДЗС расходуются дыхательные ресурсы при ограниченной видимости, и составляли предмет исследования. Разведка в мебелированном спальном помещении площадью 12 м² отнимает у звена в среднем 4 минуты, тогда как с рукавной линией этот процесс удлиняется до 6 минут, как показали экспериментальные данные. Примерно те же 6 минут уходит на разведку в офисном помещении площадью 31 м², несмотря на значительно большую площадь. Линеинной зависимости времени разведки от площади помещения не обнаружено, когда рукавная линия звеном не используется – такой вывод дает сравнительный анализ. По-видимому, подобное положение дел связано с тем, как устроены навигация и ориентирование в помещениях разной конфигурации. В офисном помещении, в отличие от спального, звено действует результативнее в единицу времени, чему способствуют более простая планировка и меньшее число препятствий. Без рукавной линии средний расход воздуха в дыхательных аппаратах составлял 68-70 л·мин⁻¹, а при ее применении показатель поднимался до 84 л·мин⁻¹; рост расхода – следствие дополнительной физической нагрузки, возникающей при перемещении рукавной линии.

В условиях современной градостроительной тенденции к увеличению этажности зданий, звеньям ГДЗС сталкиваются с необходимостью выполнения

подъемов на значительно большие высоты. По данным Теребнева В.В. и Подгрушного А.В. [94], оптимальная скорость подъема на высоту считается 10 м/мин считается, исходя из функциональных возможностей газодымозащитников. Следует отметить, что в ситуациях, не требующих применения изолирующих дыхательных аппаратов (СИЗОД), данный показатель может увеличиваться до 18 м/мин.

На объектах значительной протяженности, включая подземные станции метрополитена и кабельные коллекторы, Коршунов И.В. изучал тактические возможности звеньев ГДЗС на случай необходимости разведки. Согласно его расчетам, даже при минимальном оснащении звено ГДЗС способно успешно пройти расстояние до 639 метров [44].

В исследовании Габдуллина В.Б. продемонстрировано, сколь значимо принимать во внимание обстановку на пожаре. Рассмотренный автором случай реального возгорания служит доказательством: даже относительно небольшие расстояния требуют значительного времени для преодоления; подобное обстоятельство негативно сказывается на итоговой эффективности работы. В рассмотренном случае общая продолжительность работы звеньев ГДЗС составила 260 минут, из которых почти треть (67 минут) заняла задача передвижения к очагу пожара, расположенном на расстоянии 20 метров. Ограниченная видимость привела к тому, что использование ДАСВ оказалось эффективным на 74 % [10].

Для повышения тактических возможностей звеньев ГДЗС необходимо проводить оптимизацию тактических приемов, использовать современное оборудование и регулярно проводить тренировки, имитирующие реальные условия работы на пожаре. Это позволит минимизировать негативное воздействие ограниченной видимости и повысить эффективность выполнения задач по тушению пожаров и ПАСР.

Влияние высокой температуры. Высокая температура нарушает тепловой баланс газодымозащитника, что может привести к гипертермии и тепловому удару [3, 32, 41, 103]. Интенсивность воздействия высокой температуры на организм зависит от ряда факторов, включая температуру окружающей среды,

влажность воздуха, интенсивность физической нагрузки, продолжительность воздействия и индивидуальной способностью организма газодымозащитника к термоадаптации. В ответ на перегрев организм инициирует потовыделение, направленное на снижение температуры тела. Усиленное выделение пота в таких условиях ведет к потере жидкости и электролитов; следом за этим вполне возможен сбой в виде дегидратации и нарушение электролитного баланса [54], что усугубляет вред, который высокая температура наносит организму газодымозащитника.

Выраженное негативное влияние на физическую работоспособность газодымозащитников исходит из совместного действия нехватки жидкости и сбоя электролитного баланса. Падение объема крови, которая циркулирует по сосудам, влечет за собой ослабление мышечного кровоснабжения, а результатом такого сбоя становится утрата силы вместе с выносливостью. Нарушенное соотношение электролитов сказывается на прохождении сигналов по нервам и на способности мышечных волокон сокращаться; в итоге физическая работоспособность также снижается. Помимо этого, обезвоживание с электролитным дисбалансом затрагивает когнитивные функции, а именно внимание, концентрацию и процесс принятия решений; подобное положение способно обернуться промахами и несчастными случаями там, где пожарная обстановка отличается сложностью. Сердечно-сосудистая система подвергается значительной нагрузке в условиях воздействия высоких температур. Организм пытается компенсировать потерю жидкости и поддержать адекватную перфузию органов и тканей за счет учащения пульса, повышения артериального давления и увеличения сердечного выброса [24]. Однако, в условиях дегидратации и электролитного дисбаланса, эти компенсаторные механизмы могут оказаться недостаточными и привести к развитию аритмии, ишемии миокарда и даже внезапной остановке сердца [53].

Длительное воздействие высоких температур оказывает влияние на центральную нервную систему, вызывая головокружение, слабость, нарушение сознания (спутанность) и снижение скорости психомоторных реакций [123].

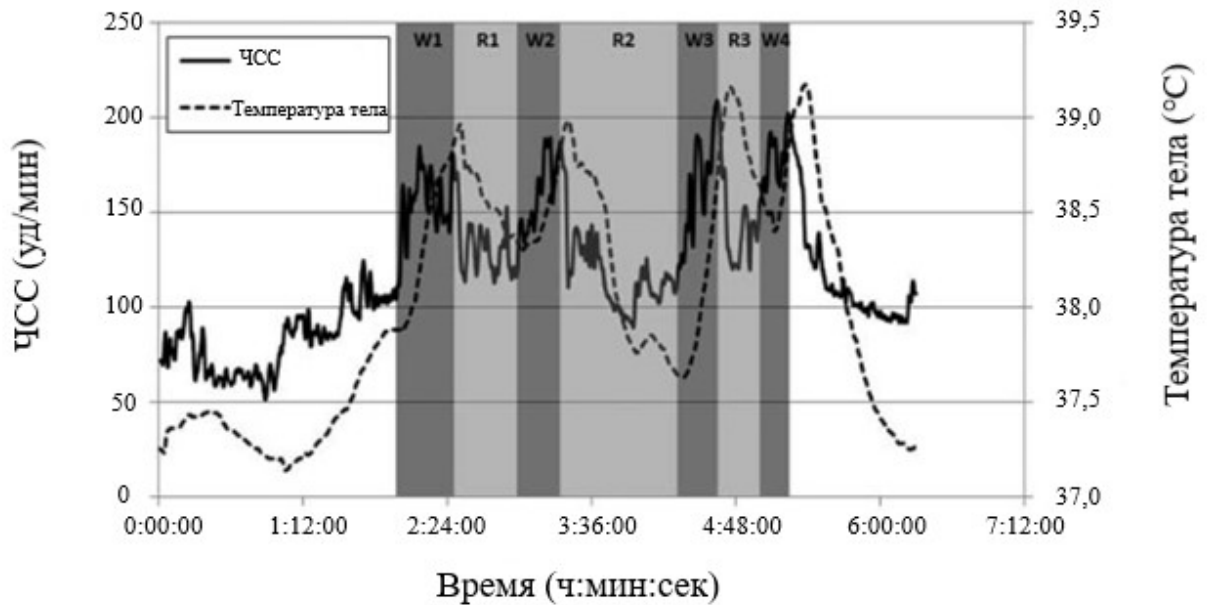


Рисунок 1.5 – Показатели ЧСС и температуры тела пожарного во время тушения пожара (W – период работы, R – период отдыха) [123]

Анализ данных, представленных на рисунке 1.5, демонстрирует тенденцию к увеличению температуры тела пожарных в процессе работы. Более того, установлено, что в результате непрерывной работы в БОП температура тела повышается в среднем на $1,9^{\circ}\text{C}$ и продолжает повышаться даже после продолжительных перерывов длительностью свыше 30 минут. Следующий этап исследований показал: темп прироста температуры тела в период покоя переходит с $0,036$ до $0,048^{\circ}\text{C}/\text{мин}$. Скорость подъема температуры тела после отдыха может увеличиваться из-за того, что в условиях высокой температуры окружающей среды организм не снижает активную выработку тепла, поддерживая метаболические процессы, а эффективность отдачи тепла при этом падает из-за ношения БОП и повышенной влажности воздуха. Все вместе эти обстоятельства составляют основу для быстрого развития гипертермии и теплового удара.

Высокие температуры в НДС действуют на газодымозащитников разносторонне, затрагивая их функциональное состояние сразу по нескольким направлениям, и подобное обстоятельство делает необходимой перестройку режимов труда и отдыха сотрудников.

1.4 Технические детерминанты

Средства индивидуальной защиты. В процессе ведения боевых действий по тушению пожаров и ПАСР в условиях воздействия ОФП газодымозащитники сталкиваются с многофакторным негативным воздействием. К числу этих факторов, требующих детального рассмотрения, относятся: прямой контакт с пламенем и искрами; воздействие повышенной температуры окружающей среды; интенсивный тепловой поток; высокая концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения; существенное снижение видимости из-за задымления; а также дефицит кислорода. Чтобы снизить их воздействие и исключить риск для личного состава, необходимо использовать специализированные СИЗ, а именно БОП, средства защиты рук и ног, подшлемник, термостойкое белье и СИЗОД [17, 18, 20, 36, 39, 88, 89, 138].

Материалы для изготовления БОП обязаны давать максимальную защиту от открытого огня и лучистого тепла. Успех боевой задачи и здоровье личного состава напрямую зависят от того, насколько эффективно снижается тепловая нагрузка, действующая на тело газодымозащитника; данный фактор признается критически важным. При высокой температуре среды теплоотдача затрудняется, из-за чего в организме накапливается тепло и тепловой баланс нарушается [1, 2]. Использование БОП лишь усиливает этот процесс, а ее высокие теплоизоляционные свойства, в свою очередь, мешают отводу тепла с поверхности тела. Накопление тепла в организме приводит к снижению работоспособности, развитию усталости и может спровоцировать возникновение гипертермии – патологического состояния, характеризующегося аномально высокой температурой тела. Гипертермия представляет серьезную угрозу для здоровья и жизни газодымозащитника, поскольку может вызвать широкий спектр негативных последствий, включая тепловой удар, нарушения в работе сердечно-сосудистой и центральной нервной систем, а также привести к необратимым повреждениям внутренних органов [45, 50, 60, 88].

Согласно проведенным научным исследованиям, установлено, что интенсивные физические нагрузки оказывают существенное дестабилизирующее влияние на процессы терморегуляции в организме человека [102, 106, 109, 133]. При интенсивной мышечной работе происходит активизация метаболических процессов, сопровождающаяся выделением значительного количества эндогенного тепла [24, 45, 59, 61]. Метаболизм мышечной ткани значительно возрастает, что приводит к увеличению скорости окислительных процессов и, как следствие, к повышению теплопродукции. Основным регуляторным механизмом, обеспечивающим поддержание теплового баланса в условиях интенсивной физической нагрузки и высокой температуры окружающей среды, является испарение пота с поверхности кожи. Скорость потовыделения в экстремальных условиях может достигать 1-2 литров/час [105], что свидетельствует о высокой интенсивности работы потовых желез и значительной нагрузке на систему терморегуляции. Нарушение адекватной терморегуляции в организме газодымозащитника происходит вследствие комплексного воздействия целого ряда факторов, включающих внешнее тепловое воздействие (конвективное тепло, тепловое излучение) и внутреннее тепло, генерируемое организмом в процессе метаболизма [7, 41, 88, 89, 140]. Длительное воздействие высоких температур, особенно в сочетании с высокой влажностью, приводит к снижению эффективности потовыделения, что затрудняет отвод тепла от поверхности тела и способствует перегреву организма [83].

Для минимизации негативного влияния тепловой нагрузки на организм газодымозащитников применяются различные методы и стратегии, направленные на поддержание оптимального теплового баланса и предотвращение развития гипертермии. Одним из наиболее распространенных методов является пассивное охлаждение, предусматривающее снижение тепловой нагрузки путем устранения или уменьшения факторов, способствующих перегреву. В частности, к методам пассивного охлаждения относится снятие БОП в безопасной зоне после завершения выполнения задачи или во время перерывов в работе [140, 146]. Снятие БОП позволяет обеспечить более эффективную теплоотдачу за счет

увеличения конвективного теплообмена и испарения пота с поверхности кожи. Кроме того, используются разнообразные вентиляционные установки, а именно вытяжные и распылительные, чье действие направлено на принудительное охлаждение воздушной среды, а также на формирование комфортабельной обстановки, нужной для отдыха и последующего восстановления газодымозащитников [107]. Для активного охлаждения применяются специальные охлаждающие жилеты и подкаски, в которых есть элементы, аккумулирующие холод [90]. Применение данных устройств позволяет добиться локального снижения температуры тела, в критических зонах, таких как грудная клетка, спина и голова.

Таким образом, перечисленные методы способствуют уменьшению тепловой нагрузки на организм газодымозащитников, что, в свою очередь, положительно сказывается на их безопасности и эффективности при выполнении оперативных задач [130, 140].

Средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения пожарных. Использование СИЗОД исторически является неотъемлемым элементом обеспечения безопасности газодымозащитников при тушении пожаров и ПАСР в условиях НДС, напрямую влияя на их тактические возможности. На сегодняшний день на вооружение пожарно-спасательных подразделений преобладают ДАСВ, составляя около 95 % от общего количества используемых СИЗОД, что обусловлено их надежностью и простотой в эксплуатации. Доля ДАСК, в свою очередь, существенно сократилась и составляет около 5 %, в виду уменьшения средней продолжительности совокупности всех пожаров и значительно трудности в их эксплуатации.

Современные модели ДАСВ, находящиеся на вооружении пожарной охраны, представляют собой высокотехнологичные устройства, оснащенные интегрированными системами телеметрии и цифровыми СОИД [18, 19, 46, 55, 72, 91], которые обеспечивают непрерывный мониторинг в режиме реального времени дыхательных и временных ресурсов, в зависимости от индивидуальных возможностей пользователя, что создает двухэтапную систему контроля

(персонализированная, групповая) за безопасностью газодымозащитников. Данные, собираемые системой телеметрии, передаются на пульт управления, расположенный на ПБ ГДЗС или в КПП ГДЗС, где постовой или начальник КПП ГДЗС могут оперативно оценивать ситуацию и принимать необходимые меры. Кроме того, системы телеметрии современных ДАСВ обладают функцией автоматического оповещения о нештатных ситуациях [71], таких как внезапное падение давления в баллоне (истощение основного запаса дыхательных ресурсов), прекращение движения газодымозащитника.

Согласно нормативным документам [18], время защитного действия ДАСВ должно составлять не менее 60 минут с учетом среднего расхода дыхательных ресурсов в $45 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$, однако на практике обеспечение данного требования представляет собой практически невыполнимую задачу. Одним из способов увеличения ВЗД ДАСВ является повышение рабочего давления, например, до 44,13 МПа [47-56], а также увеличение объема баллона, который может варьироваться в диапазоне от 4 до 10 литров, что обеспечивает больший запас дыхательных ресурсов и, как следствие, увеличивает продолжительность работы газодымозащитников в условиях НДС [10, 11]. Для повышения эффективности выполнения задач в условиях сложной обстановки звенья ГДЗС часто используют дыхательные аппараты с 2-х баллонной компоновкой, соединенные посредством коллектора. Это позволяет увеличить время защитного действия ДАСВ до 120 минут, однако такое решение увеличивает вес и габариты самого аппарата.

Стальные металлические баллоны, которые отличаются надежностью и долговечностью, при всем этом имеют сравнительно большую массу; данная особенность отрицательно сказывается на подвижности и продуктивности работы в условиях НДС [18, 119]. Как показали исследования, дополнительная нагрузка у газодымозащитника с массой тела 80 кг от ношения БОП и ДАСВ достигает около 30 %; результатом выступает ускоренное утомление и падение работоспособности [128]. На спину же ложится основная масса дыхательного аппарата, а это уже ломает естественную биомеханику движений и поднимает риск заболеваний опорно-двигательного аппарата [51, 127, 144].

Следующим шагом в развитии ДАСВ становится уменьшение массы и размеров, рост безотказности и широты функций плюс сопряжение с прочими элементами защитной экипировки и телеметрическими комплексами. Разработка и внедрение новых материалов и технологий, таких как нанокompозиты и интеллектуальные сенсорные системы, позволят создать ДАСВ нового поколения, обеспечивающие максимальную безопасность и эффективность работы газодымозащитников в самых сложных и экстремальных условиях.

Обеспечение безопасности и эффективности работы газодымозащитников в условиях НДС является сложной и многогранной задачей, требующей комплексного подхода, включающего использование современных технических средств, таких как ДАСВ с системами телеметрии, а также высокий уровень подготовки личного состава и учет особенностей условий работы [82].

Оснащение газодымозащитников. Для эффективного выполнения боевых задач, связанных с тушением пожаров, спасением людей и ПАСР в условиях задымления, звено ГДЗС должно быть обеспечено как минимальным (постоянно), так и дополнительным оснащением (в зависимости от специфики выполняемых задач) [14, 29, 69].

Современные тенденции в области оснащенности газодымозащитников характеризуются расширением номенклатуры используемого оборудования за счет интеграции специализированных инструментов и приспособлений, предназначенных для выполнения специфических операций в условиях пожара. В дополнение к минимальному и дополнительному оснащению, газодымозащитники часто используют специализированные инструменты, включающий в себя кусачки для перекусывания металлических конструкций, ножи для разрезания различных материалов, запасные индивидуальные осветительные приборы, отвертки для проведения мелкого ремонта оборудования, универсальные спасательные петли для эвакуации пострадавших и другие приспособления. Данный подход способствует расширению тактических возможностей звена ГДЗС, обеспечивая возможность проведения широкого спектра ПАСР непосредственно в условиях НДС.

Однако, расширение номенклатуры используемого оборудования влечет за собой увеличение нагрузки на газодымозащитников, что негативно сказывается на их работоспособности и общей эффективности действий. В частности, масса аварийно-спасательного инструмента и оборудования, превышает массу дыхательного аппарата и БОП, способствует утомлению, снижению скорости передвижения и, как следствие, общей эффективности действий газодымозащитников. Для нивелирования негативных последствий необходимо проведение всестороннего анализа и оптимизации применяемого оборудования, направленной на достижение оптимального баланса между функциональностью звена ГДЗС и уровнем физической нагрузки. При этом, ключевым фактором является минимизация полезной массы оборудования без ущерба для его функциональности, что позволит сохранить высокую работоспособность личного состава в условиях сложной пожарной обстановки.

Результаты научных исследований в области пожарной безопасности и физиологии труда подтверждают наличие обратной корреляции между уровнем физической нагрузки и эффективностью работы газодымозащитников в условиях НДС. Установлено, что увеличение массы носимого снаряжения на каждый дополнительный килограмм приводит к статически значимому снижению времени эффективной работы газодымозащитника, составляющему в среднем 2,5 минуты [124]. Данный факт обуславливает необходимость разработки и внедрения научно-обоснованных стратегий оптимизации оснащения звеньев ГДЗС, направленных на достижение баланса между расширением тактических возможностей и обеспечением безопасных условий труда.

Перспективным направлением в области оптимизации оснащения газодымозащитников является разработка и внедрение инновационных технологий, таких как экзоскелеты, снижающие нагрузку на опорно-двигательный аппарат, системы дополненной реальности, обеспечивающие повышенную ситуационную осведомленность, и интеллектуальные системы управления оборудованием, оптимизирующие его использование в зависимости от условий работы.

Мониторинг параметров безопасности газодымозащитников. В целях обеспечения безопасности звена ГДЗС при ведении боевых действий по тушению пожаров и ПАСР в условиях НДС организуется ПБ ГДЗС и КПП ГДЗС (рисунок 1.6), представляющий собой специальную позицию, организуемую для каждого звена ГДЗС.

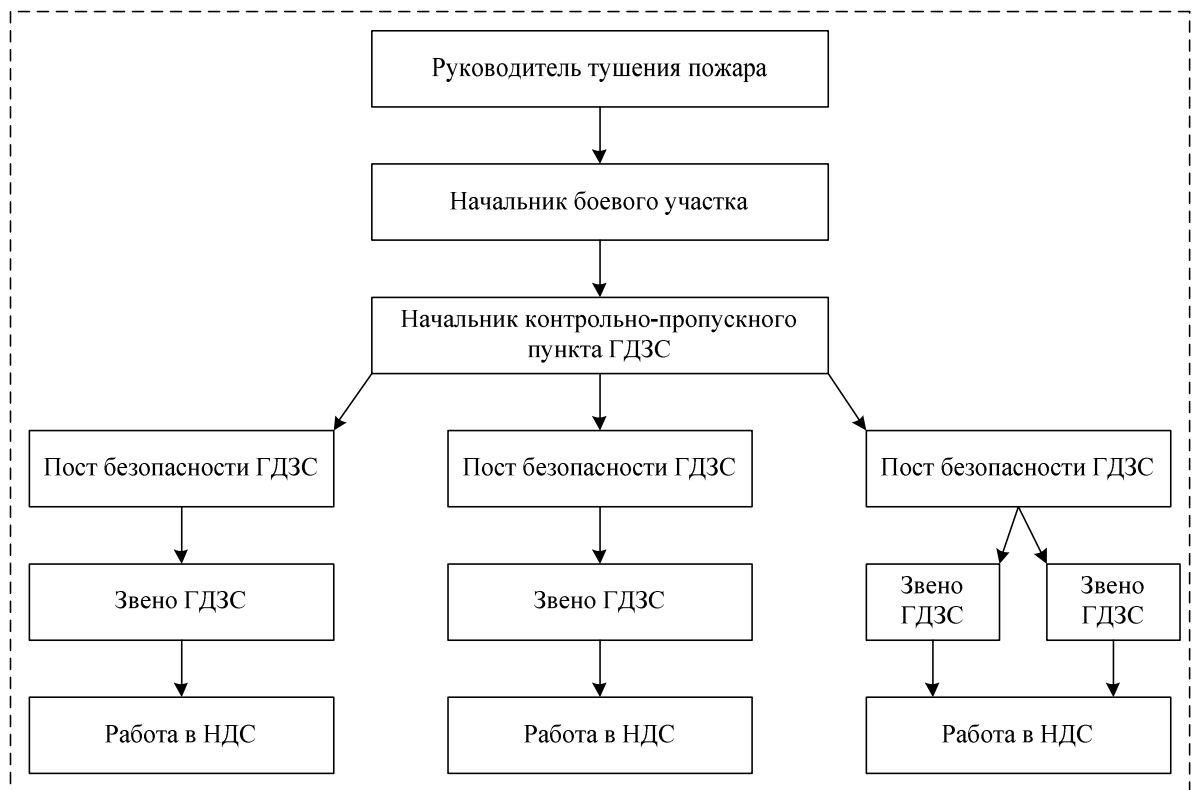


Рисунок 1.6 – Организация мониторинга параметров безопасности газодымозащитников

Его основные функции включают: расчет времени работы в СИЗОД, контроль времени возврата звена ГДЗС, расчет давления контрольного на выход звена ГДЗС из НДС, а также поддержание постоянной радиосвязи. При работе 3-х и более постов безопасности ГДЗС организуется КПП ГДЗС [97] (рисунок 1.6), который является органом управления при тушение сложных и продолжительных пожаров. Его основная задача координация звеньев ГДЗС, контроль работоспособности СИЗОД.

Актуальные исследования в области организации ПБ ГДЗС и КПП ГДЗС направлены на совершенствование методик расчета безопасных параметров работы в СИЗОД, а также на разработку и внедрение информационно-аналитического программного комплекса, для обеспечения автоматизированной обработки и визуализации данных в режиме реального времени, поступающих от систем мониторинга за параметрами работы газодымозащитников [40, 77, 81, 96, 99]. Данные системы обеспечивают:

1. Повышение точности расчетов: учет индивидуальных параметров газодымозащитников (возраст, вес, физическое состояние, легочная вентиляция) при расчете времени безопасной работы в СИЗОД.

2. Оперативную обработку данных: автоматизированный сбор и обработка данных о давлении в баллонах, времени пребывания в НДС, местоположении звена ГДЗС в режиме реального времени.

3. Визуализацию информации: отображение параметров мониторинга в виде наглядных графиков, диаграмм и карт для быстрого принятия управленческих решений.

4. Прогнозирование рисков: анализ трендов и выявление потенциальных рисков, таких как снижение давления в баллонах ниже критического уровня или превышение допустимого времени пребывания в НДС, возникновение аварийных ситуаций.

Совершенствование организации ПБ ГДЗС и КПП ГДЗС является приоритетным направлением повышения эффективности и безопасности работы газодымозащитников. Это достигается за счет интеграции современных технологий, оптимизации организационных процессов, разработке специального программного обеспечения, внедрение систем поддержки принятия управленческих решений.

1.5 Персонализированные детерминанты

Тактические возможности газодымозащитников определяется комплексом взаимосвязанных факторов, которые в совокупности формируют качество и безопасность выполняемых работ. Среди множества переменных, влияющих на успешность деятельности газодымозащитников, особое значение приобретает персонализированный фактор [138], отражающий совокупность индивидуальных качеств, определяющих способность газодымозащитника эффективно действовать в условиях экстремальных ситуаций. Под персональным фактором понимается комплекс индивидуальных характеристик газодымозащитников, предопределяющих его адаптивность, работоспособность при выполнении профессиональных задач в условиях НДС. Данный фактор включает в себя три основных компонента, обладающих синергетическим эффектом:

1. Физический компонент. В данный компонент входят уровень общей и специальной физической подготовки, состояние кардиореспираторной системы, терморегуляции и антропометрические параметры, которые описывают работоспособность газодымозащитника и функциональные возможности его организма, и благодаря этому определяется биомеханическая эффективность двигательной деятельности.

2. Эмоционально-волевая сфера газодымозащитника описывается психологическим компонентом. Стрессоустойчивость, способность регулировать эмоции, самооффективность, а также умение принимать решения при неопределенности и ограниченном времени – эти аспекты относят к данному компоненту.

3. Когнитивный компонент. Раскрытие интеллектуального потенциала и познавательных умений газодымозащитника происходит через ряд качеств мышления, среди которых выделяют быстроту и подвижность мысли, способность расчленять и объединять информацию, находить решение в условиях умственной нагрузки, ориентироваться в пространстве, поддерживать сосредоточенность, хранить материал в памяти, а также воспринимать новое.

Взаимодействие и интеграция данных компонентов формируют уникальный индивидуальный профиль газодымозащитника, определяющий его способность эффективно адаптироваться к экстремальным условиям, принимать оптимальные решения и выполнять поставленные задачи с минимальным риском для жизни и здоровья. Недостаточный учет персонализированного фактора в процессе профессионального отбора, подготовки и оперативного руководства может привести к снижению тактических возможностей, увеличению вероятности ошибок и возникновению неблагоприятных исходов.

Физический компонент. Тушение пожаров и ПАСР в условиях НДС сопряжены со значительными физическими нагрузками, предъявляющими повышенные требования к уровню физической подготовленности газодымозащитников [126, 138]. Оценка уровня физической подготовленности осуществляется с использованием различных методов, включая функциональную пробу PWC_{170} (Physical Working Capacity) [13, 37], характеризующую физическую работоспособность. В настоящее время в Российской Федерации отсутствуют стандартизированные требования к уровню физической работоспособности газодымозащитников. Вместе с тем, анализ международного опыта, в частности, практики, сложившейся в США, свидетельствует о наличии четких критериев. В США для пожарных, работающих в составе звеньев ГДЗС, минимально допустимым уровнем физической работоспособности считается показатель МПК, равный 42 мл/кг/мин. Рассматриваемое значение относят к предельным для работоспособности, поскольку без него нельзя безопасно исполнять служебные обязанности при экстремальных тепловых нагрузках, а также высоких энерготратах [73, 137, 139].

При тушении пожаров максимальное потребление кислорода, как показывают эмпирические данные, варьируется от 18 до 44 мл/кг/мин, что расценивается как высокая аэробная нагрузка [114, 116]. Согласно данным статистики, подобные нагрузки в 86 % случаев пожарные испытывают в течение суточного дежурства [127]. Результаты корреляционного анализа показывают существенную связь между аэробной выносливостью и эффективностью

профессиональной деятельности. Как следствие, у пожарных с более высокими показателями МПК отмечается уменьшение времени, затрачиваемого на выполнение поставленных задач [124, 127, 135].

Исследования в области физической подготовки газодымозащитников сосредоточены на изучении перцептивных реакций организма на профессиональные нагрузки и анализе влияния различных функциональных параметров на продолжительность работы в условиях НДС. Значимым показателем, определяющим продолжительность работы, является легочная вентиляция, характеризующая объем воздуха, проходящий через легкие за единицу времени [18]. Типичное значение среднего расхода дыхательной смеси для ДАСВ составляет 45 л·мин^{-1} . Однако, данные, полученные в результате ряда исследований [23, 31, 35, 42, 93, 111, 115, 131, 150-152], указывают на то, что данное значение может быть занижено и не в полной мере отражает реальную картину потребления дыхательной смеси в условиях тушения пожара и ПАСР. Для детального изучения факторов, влияющих на скорость потребления дыхательной смеси, в таблице 1.3 представлены результаты исследований, посвященных изучению данной проблемы.

Таблица 1.3 – Расход дыхательных ресурсов при работе в ДАСВ

№ п/п	Авторы (год публикации)	Содержание	Расход дыхательных ресурсов (ω_d), л·мин ⁻¹
1	2	3	4
1.	Стрілець В.М., Бородич П.Ю. (2006) [93]	Изучение закономерностей деятельности спасателей, использующих ДАСВ, в условиях работы на станциях метрополитена	40
2.	Von Heimburg E.D., Rasmussen A. K. R., Medbø J.I. (2006) [149]	Исследование параметров состояния пожарных и предикторов их производительности во время имитации спасательной операции по эвакуации пациентов из больницы	при подъеме по лестнице 70 ± 12
			при спасении пострадавших 113 ± 17

Продолжение таблицы 1.3

1	2	3	4
3.	Davis J., Gallagher S. (2014) [111]	Исследование физических нагрузок, испытываемых пожарными при выполнении задач по поиску в условиях ограниченной видимости	52,9
4.	Гринченко Б.Б. и др. (2019) [23]	Получены эмпирические данные, связанные с определением расхода дыхательных ресурсов ДАСВ при использовании спасательных устройств в состоянии покоя	ШМП 1 14,65 спасательное устройство капюшонного типа 37,38
5.	Захаров Д.Ю. и др. (2019) [31]	Определение расхода дыхательной ресурсов при использовании спасательного устройства капюшонного типа	работа легкой степени тяжести 37,3±13 работа средней степени тяжести 72,4±6,3 работа тяжелой степени тяжести 112,4±11,1 работа очень тяжелой степени тяжести 162,8±15,4
6.	Lambert K. и др. (2021) [131]	Исследование посвящено скорости передвижения пожарных во время проведения разведки, передвижение осуществлялось ползком	без рукавной линии 68-70 наполненной рукавной и линией 84

Известно, что легочная вентиляция находится в прямой зависимости от ЧСС. Таким образом, увеличение ЧСС приводит к увеличению легочной вентиляции, что обусловлено регуляторными механизмами адаптации в организме. Исследования, проведенные в Центре оборонных исследований города Онтарио (Канада), впервые продемонстрировали мониторинг ЧСС газодымозащитников в процессе тушения пожара [113]. Было установлено, что ЧСС газодымозащитников превышает 150 уд/мин, особенно при выполнении задач, связанных с интенсивными физическими нагрузками. Davis J. и Gallagher S. установили, что при передвижении в дыхательных аппаратах в положении «ползком» ЧСС в среднем составляет 174 уд/мин, что соответствует приблизительно 88 % от максимальной ЧСС [111].

Для успешного выполнения задач, связанных с тушением пожара и ПАСР от газодымозащитников, требуется не только высокий уровень физической подготовки, но и соответствия определенным антропометрическим параметрам. Важным фактором, влияющим на эффективность деятельности в условиях НДС, является масса тела. В частности, избыточная масса тела может оказывать существенное негативное воздействие на успешность выполнения задач при тушении пожаров и ПАСР. Эмпирические данные показывают, что лишний вес связан отрицательной корреляцией с физической выносливостью и возможностью результативно справляться с назначенными задачами, в особенности при высоких температурах [108, 112, 115, 138, 141].

Erna D. von Heimbург с коллегами установила: антропометрические показатели газодымозащитников оказывают существенное воздействие на то, сколько дыхательных ресурсов потребляется в ходе спасательных работ [149]. В отношении спасателей с большим мышечным объемом результат по эффективности оказывался более высоким, в особенности при переноске пострадавших. Причиной выступала их способность применять двигательные техники экономнее, благодаря чему дыхательной смеси расходовалось меньше – до 16 %, если сравнивать с коллегами, у кого доля жировой массы больше, при равных показателях МПК.

При всем объеме уже выполненных исследований четкие критерии оптимальных антропометрических данных для газодымозащитников так и не установлены. Исследовательские материалы, однако, указывают: физическая работоспособность выступает решающим показателем, который влияет на быстроту и качество исполнения служебных обязанностей. Физическая подготовка оставаться главным требованием при подборе и обучении газодымозащитников, что даст возможность гарантировать результативное решение задач, сопряженных с ликвидацией пожаров и ПАСР.

Психологический компонент. В условиях НДС требования к человеку повышены не только в физическом отношении, но и относительно психологической готовности газодымозащитников. Среди факторов,

действующих на их психическое состояние, применение СИЗОД занимает особое место. Эмпирические наблюдения показывают, что использование СИЗОД ведет к уменьшению уровня тревоги и стресса во время тушения пожаров и ПАСР [101, 132]. Такое состояние связано с чувством защищенности и возросшей верой в свои профессиональные силы.

Повышение эффективности газодымозащитников в условиях воздействия ОФП требует дальнейших исследований в области психологической подготовки. Разработка и последующее внедрение инновационных методик психологической поддержки представляются перспективным направлением для совершенствования профессиональной деятельности газодымозащитников и существенного снижения рисков, сопряженных с выполнением служебных обязанностей в сложной и потенциально опасной среде.

Когнитивный компонент. Действия газодымозащитников, работающих в НДС должны отличаться высокой скоростью и точностью в оценке ситуации, принятии решений. В таблице 1.4 приведены когнитивные функции и их роль в эффективности выполнения задач.

Таблица 1.4 – Когнитивные функции газодымозащитников и их влияние на тактические возможности

№ п/п	Когнитивные функции	Описание	Влияние на эффективность деятельности
1	2	3	4
1.	Быстрая обработка информации.	Способность к быстрому анализу и интерпретации входящей информации (визуальной, аудиальной, тактильной).	Оперативное выявление приоритетных угроз, быстрая ориентация в обстановке, принятие обоснованных решений.
2.	Аналитическое мышление.	Способность к комплексному анализу ситуации, выявлению причинно-следственных связей, прогнозированию развития пожара.	Разработка эффективных планов тушения, минимизация рисков, выбор оптимальных стратегий действий.

Продолжение таблицы 1.4

1	2	3	4
3.	Принятие решений в условиях риска и неопределенности.	Способность к быстрому и обоснованному принятию решений в условиях ограниченного времени и информации.	Оперативное реагирование на изменяющуюся обстановку, эффективное управление ресурсами, минимизация негативных последствий.
4.	Концентрация внимания и устойчивость к отвлекающим факторам.	Способность сохранять фокусировку на поставленной задаче, игнорируя отвлекающие факторы.	Поддержание высокой производительности в условиях хаоса и стресса, снижение вероятности ошибок.
5.	Коммуникация и координация.	Способность к эффективному обмену информацией и координации действий с другими газодымозащитниками входящие в состав звена ГДЗС, а также со службами жизнеобеспечения.	Обеспечение слаженности действий, снижение риска возникновения конфликтов, повышение эффективности тушения пожара и проведения АСР.
6.	Пространственное мышление.	Способность ориентироваться в пространстве, понимать конструктивные особенности зданий и сооружений.	Эффективная навигация в условиях задымления, быстрое определение оптимальных путей эвакуации, оценка риска обрушения конструкций.
7.	Рабочая память (оперативная память).	Способность удерживать и манипулировать информацией в кратковременной памяти.	Запоминание важных деталей (расположение пострадавших, план здания, задачи), эффективное выполнение инструкций.

Одной из основополагающих когнитивных функций является способность к быстрой обработке информации. В условиях пожара и ПАСР на газодымозащитников обрушивается поток разнородных сигналов: визуальных (дым, пламя, обрушения), аудиальных (крики о помощи, звуки разрушения, радиосвязь) и тактильных (температура, вибрация). Эффективная фильтрация, анализ и интерпретация этой информации позволяют быстро выявлять приоритетные угрозы и определять оптимальную стратегию действий. Для командиров звеньев ГДЗС, которым приходится действовать в обстоятельствах повышенного риска, неопределенности и жесткого дефицита времени, названное требование приобретает особую значимость. Не в меньшей степени это относится и к остальным газодымозащитникам: от них ожидается готовность оперативно

оценивать риски, определять наиболее рациональные маршруты движения в условиях НДС, выводить пострадавших, а также согласовывать собственные действия с действиями других членов звена ГДЗС. При быстро меняющейся обстановке и неполной информации принятие своевременного и обоснованного решения способно напрямую определять, будет ли сохранена человеческая жизнь [4].

Для газодымозащитника аналитическое мышление выступает еще одной обязательной когнитивной функцией. Благодаря комплексному анализу обстановки, установлению причинно-следственных зависимостей и предвидению развития пожара появляется возможность составлять действенные планы тушения и уменьшать опасность, которой подвергаются личный состав и пострадавшие. В этот процесс входит оценка конструктивных особенностей зданий, анализ горючих материалов, принятие во внимание направления ветра, а также прочие обстоятельства, способные влиять на динамику пожара. Помимо этого, сосредоточенность внимания и сопротивляемость отвлекающим раздражителям считаются существенными когнитивными качествами газодымозащитников [74, 122].

При тушении пожаров и ПАСР высокие температуры оказывают воздействие на газодымозащитников, в результате чего когнитивные функции снижаются (таблица 1.5) [104, 118, 121].

Таблица 1.5 – Влияние теплового стресса на когнитивные функции пожарных (обзор исследований)

№ п/п	Автор(ы)	Условия эксперимента	Измеренные когнитивные функции	Результаты
1	2	3	4	5
1.	Greenlee Т.А. и др. [118]	18-минутный тренировочный сценарий в климатической камере (высокая температура).	Непрерывный тест на внимание.	Улучшение времени реакции после тренировки, что указывает на улучшение выполнения задач.

Продолжение таблицы 1.5

1	2	3	4	5
2.	Hemmatjo R. и др. [121]	Тушение пожара в помещении при низкой (31 °C), умеренной (34 °C) и высокой (37 °C) температуре.	Обработка информации и рабочая память (задание на сложение слуховых последовательных серий).	Снижение точности выполнения задания во всех трех условиях после тушения пожара, наиболее выражено при температуре 37 °C
3.	Abrard S. и др. [104]	Ликвидация горения в транспортном контейнере (температура > 400 °C)	Когнитивный тест «Мини-психическое состояние» (счет в обратном порядке)	Отсутствие различий в производительности до и после тренировки.

Например, исследование Greenlee T.A. и др. [118] было показано, что время реакции пожарных после 18-минутного тренировочного сценария в климатической камере улучшилось, что указывает на улучшение выполнения задач после воздействия высоких температур. В исследование Hemmatjo R. и др. [121] было обнаружено, что точность выполнения задания на сложение слуховых последовательных серий снижалась после тушения пожара, особенно при высокой температуре (37 °C).

Работа Abrard S. и др. [104] у участников тушения пожара в транспортируемом контейнере при нагреве свыше 400 °C тепловой стресс не отразился на умственных функциях. Однако, согласно обзору [148], воздействие высоких температур сказывается на сложных когнитивных функциях, в числе которых устойчивое внимание, бдительность и рабочая память, не лучшим образом; стресс выступает весомым фактором, сказывающимся на когнитивных способностях газодымозащитников [142]. Как видно из исследований, концентрация внимания, память и процесс принятия решений способны ухудшаться в стрессовых условиях.

Таким образом, развитие когнитивные способности у газодымозащитников является важной задачей, и ее решение требует целостного подхода, куда входят

систематические тренировки, работа над психологической готовностью и созданием приемлемых условий труда.

Влияние профессионального опыта на психофизиологическое состояние газодымозащитников. Опыт работы становится ощутимой составляющей персонализированного фактора; он определяет тактические действия газодымозащитников в ходе тушения пожаров и ПАСР при НДС. Накопленный опыт позволяет газодымозащитникам более эффективно оценивать обстановку, прогнозировать развитие событий, принимать взвешенные решения и выполнять поставленные задачи с минимальным риском для жизни и здоровья. Несмотря на то, что отечественных и зарубежных работ по данной тематике сравнительно мало и традиционно эта проблема относится к области физической и психологической работоспособности газодымозащитников. Существует гипотеза, согласно которой, газодымозащитники с небольшим опытом работы испытывают повышенный уровень личностной тревожности и стресса при тушении пожаров и ПАСР в условиях НДС [110]. Предполагается, что недостаточный опыт работы в экстремальных условиях приводит к лабильности эмоциональных реакций, характеризующихся высокой степенью произвольности и дезадаптивности [62]. Данные реакции могут проявляться в виде гипервентиляции, что, в свою очередь, обуславливает повышенный расход дыхательных ресурсов при использовании СИЗОД [65]. Исследования показывают, что трехнедельный курс специализированной подготовки приводит к статистически значимому снижению скорости потребления дыхательной смеси у газодымозащитников более чем на 29 % [110]. Это свидетельствует о том, что систематические тренировки, направленные на формирование устойчивых навыков и повышение стрессоустойчивости, оказывает позитивное влияние на функциональные и психологические параметры, определяющие эффективность работы в экстремальных условиях.

Профессиональный опыт оказывают влияние на психофизиологическое состояние газодымозащитников и, как следствие, на тактические возможности при тушении пожаров и ПАСР в условиях НДС. Недостаток опыта коррелируется

с повышенной тревожностью и эмоциональной лабильностью, приводящей к повышенному расходу дыхательной смеси.

1.6 Выводы по главе 1

Таким образом, анализ преобладающих факторов, определяющих тактические возможности звеньев ГДЗС, позволил получить следующие результаты:

1. Разработана ресурсно-эргономическая модель тактических возможностей звена ГДЗС при выполнении задач по тушению пожаров и ПАСР в условиях НДС, которая включает в себя группу преобладающих факторов, оказывающих непосредственное влияние на тактические возможности звеньев ГДЗС. Структурно, тактические возможности определяются взаимодействием трех групп-факторов: окружающей среды (метеорологические условия, ограниченная видимость, высокая температура), технических (характеристики СИЗОД, оборудования, средств связи, СИЗ), персонализированных (физическая, психологическая и когнитивная подготовка газодымозащитников).

2. Центральным для дальнейшего изложения стало определение «Тактические возможности звена ГДЗС» – им обозначается объем трудовых операций, которые газодымозащитники выполняют при тушении пожара, проведении аварийно-спасательных работ, учений и ликвидации чрезвычайных ситуаций, ограниченные запасом дыхательных ресурсов СИЗОД.

3. Как показал анализ влияния факторов окружающей среды, метеоусловия отрицательно влияют на скорость развертывания сил и средств, мобильность личного состава и техническое состояние. Ограниченная видимость в НДС приводит к снижению темпа передвижения звена ГДЗС до 25 %, что напрямую сокращает тактические возможности и повышает время выполнения оперативных задач. Высокая температура и тепловое излучение вызывают гипертермию, дегидратацию, что приводит к ослаблению когнитивных функций; увеличению

риска сердечно-сосудистых заболеваний, данные факты подтверждают необходимость оптимизации режимов работы и отдыха газодымозащитников.

4. Рассмотрение технической стороны и роли средств индивидуальной защиты позволило установить: на физическую нагрузку и выносливость существенно влияют масса и эргономика СИЗОД. Дополнительная масса снаряжения сокращает время эффективной работы. Вместе с тем современные системы телеметрии и цифровые СОИД способствуют повышению уровня безопасности путем мониторинга дыхательных ресурсов и своевременное оповещение о нештатных ситуациях. Важным аспектом остается расход дыхательной смеси, меняющийся от 37 до 162 л·мин⁻¹ в зависимости от интенсивности нагрузки.

5. Изучение персонализированного фактора показало, что существует прямая зависимость между уровнем физической подготовки и успешностью выполнения оперативных задач. В частности, газодымозащитники с развитой аэробной выносливостью показывают более высокие результаты как по скорости, так и по точности действий. Наряду с этим, степень психологической устойчивости влияет на интенсивность расхода дыхательных ресурсов и предрасположенность к количеству ошибочных действий. Дополнительно следует учитывать, что когнитивные способности заметно снижаются в условиях теплового стресса и повышенного психоэмоционального фона, что с очевидностью обосновывает внедрение целевых программ тренировки когнитивных функций и психологической подготовки.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ РЕСУРСНО-ЭРГНОМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОТЫ ЗВЕНА ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ

Во второй главе последовательно раскрывается методологическое обоснование и детально описывается организация эксперимента, ориентированного на сбор количественных данных, служащих основой для изучения ресурсно-эргонимической модели работы звена ГДЗС. Основной целью исследования является установление объективных зависимостей между параметрами профессиональной нагрузки и индивидуальными параметрами состояния газодымозащитников.

Главной научной задачей, решаемой в рамках данной главы, стал переход от субъективных оценок выполняемой работы газодымозащитником к количественным показателям – мощность нагрузки (Вт). На основе расчета установлены коэффициенты влияния массы оборудования на мощность нагрузки в зависимости от скорости передвижения газодымозащитника. Данные коэффициенты позволили количественно соотнести пять смоделированных ступеней физической нагрузки с диапазонами массы оборудования (от 0 до 40 кг) и конкретными типами оперативных задач (разведка, работа с тяжелым инструментом и др.).

Экспериментальная часть исследования проводилась путем моделирования ступенчато возрастающей физической нагрузки (близкой к реальной), воспроизводимой на беговой дорожке, в искусственно созданных климатических условиях (термокамера). Система оценки состояния газодымозащитников включала два блока: оценка функционального и теплового состояния.

Разработанная методология позволила создать целостную картину функциональных изменений, происходящих в организме газодымозащитников в условиях моделируемой нагрузки и микроклиматического воздействия, соответствующей реальной обстановке на пожаре. Проведение серии лабораторных испытаний, позволило собрать обширный массив количественных данных приложение А.

2.1 Методика и организация исследования

В основу ресурсно-эргономической модели положено комплексное влияние трех групп детерминант, исследование направлено на оценку динамики функционального и теплового состояния организма газодымозащитников при одновременном воздействии контролируемых тепловых и физических нагрузок, моделирующих условия профессиональной деятельности (рисунок 2.1).

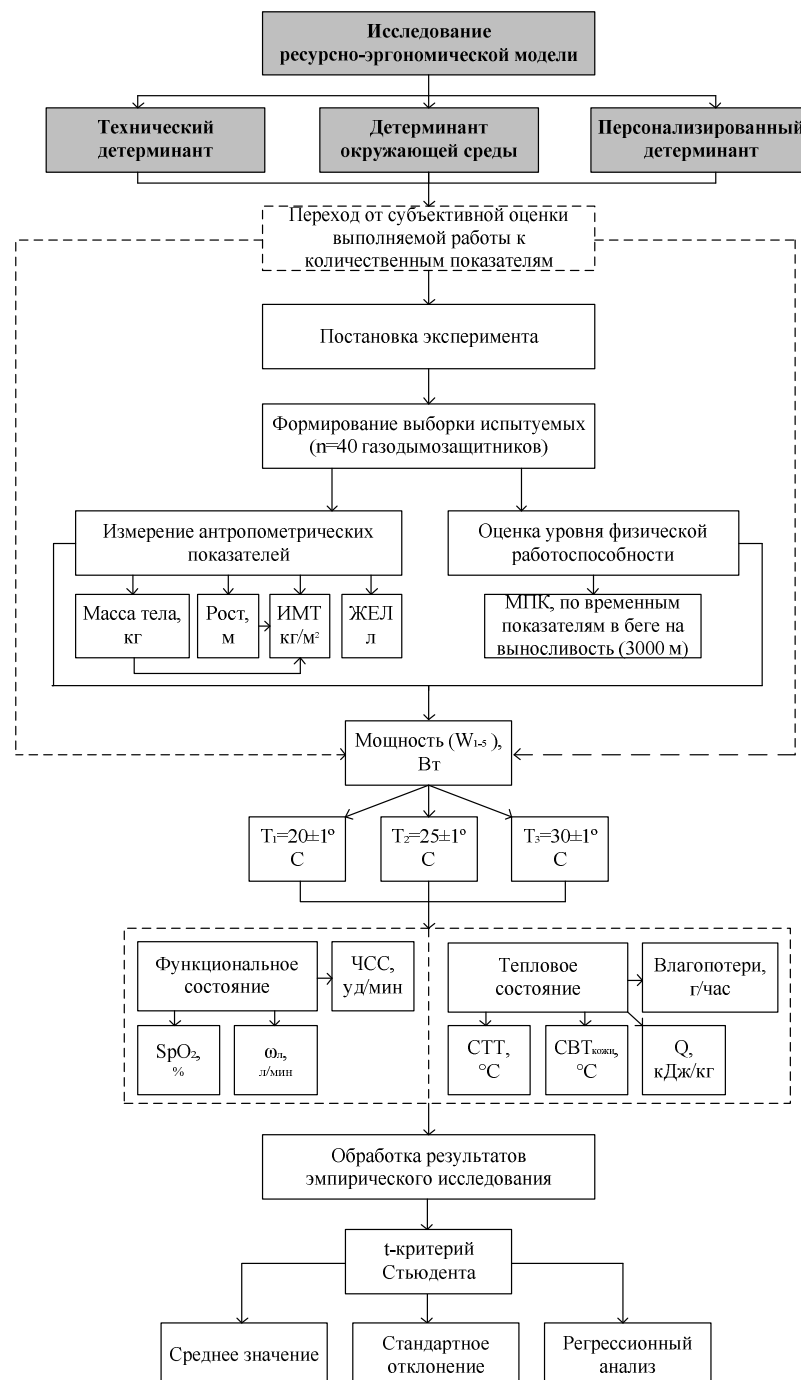


Рисунок 2.1 – Методика и организация эксперимента

1. Детерминанты окружающей среды. Основным фактором, в данной группе является температура рабочей зоны. В условиях пожара интенсивное тепловое воздействие приводит к нарушению терморегуляции и снижению оперативной эффективности. Для количественного исследования данного воздействия в термокамере моделировались и поддерживались три дискретных микроклиматических режима: $20\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $25\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $30\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Обоснование выбранных температурных режимов представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Обоснование выбранных температурных режимов для моделирования микроклиматических условий работы газодымозащитников

№ п/п	Температурный режим, $^{\circ}\text{C}$	Классификация микроклимата	Характеристика и соответствие условиям работы	Научно-практическое значение моделирования
1	2	3	4	5
1.	20 ± 1	Комфортный	Соответствует условиям подготовки к выполнению задач, нахождение в резерве или в помещениях с нормальным микроклиматом вне зоны НДС.	Позволяет оценить исходный (фоновый) уровень функционального и теплового состояния, а также измерить чистый вклад физической нагрузки без дополнительного теплового стресса.
2.	25 ± 1	Умеренно нагревающий	Моделирует типичные условия рабочих зон на пожаре (в удалении от открытого пламени), где газодымозащитники сталкиваются с повышенной тепловой нагрузкой от прогретых конструкций и среды.	Позволяет изучить адаптационные реакции организма на комбинированное воздействие физической нагрузки и умеренного тепла, что характерно для большинства оперативных задач.

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5
3.	30±1	Выраженно нагревающий (жаркий)	Воспроизводит условия вблизи очага пожара, при работе в ограниченных, непрветриваемых объемах или при тушении развившихся пожаров, характеризуется значительной тепловой нагрузкой.	Позволяет оценить предельные возможности терморегуляции организма, идентифицировать критические точки наступления гипертермии и определить индивидуальные лимиты безопасной рабочей деятельности.

Указанный температурный режимы позволяют оценить влияние тепловой нагрузки на функциональное и тепловое состояние газодымозащитников, от которого зависят их тактические возможности. Во всех режимах относительная влажность воздуха поддерживалась на уровне 40-50 % в соответствии со стандартными протоколами физиологических исследований [21], что минимизировало ее влияние как дополнительного фактора.

2. Персонализированные детерминанты. Индивидуальные параметры состояния газодымозащитника (функциональное и тепловое состояние) определяют способность адаптироваться к внешним условиям и физическим нагрузкам. Учет этих параметров позволяет оценить вариативность ответных реакций в рамках модели.

3. Технические детерминанты. В качестве интегрального количественного критерия, объединяющего разнородные элементы оснащения газодымозащитников (СИЗОД, инструмент, средства связи и т.д.), была выбрана общая масса оборудования. Напомню, что общая дополнительная масса, которую вынужден преодолевать газодымозащитник, варьируется в зависимости от поставленной задачи и может составлять от 20 до 45 кг и более.

Этот параметр напрямую определяет физическую нагрузку, создаваемую дополнительной массой, и может быть объективно соотнесен с мощностью нагрузки (Вт), развиваемой газодымозащитниками при выполнении работ.

Использование беговой дорожки в качестве инструмента дозированной физической нагрузки обусловлено необходимостью моделирования различных видов деятельности, максимально приближенных по трудоемкости к реальным условиям боевой работы на пожаре.

2.2 Переход от субъективной оценки выполняемой работы к количественным показателям

В существующей практике пожаротушения и деятельности звеньев ГДЗС при работе в НДС степень тяжести работ оценивается субъективно, на основе скорости потребления воздуха и экспертных оценок (таблицы 2.2, 2.3) [22, 31, 57, 75].

Таблица 2.2 – Скорость потребления воздуха при работах различной степени тяжести

№ п/п	Виды работ по степени тяжести	Скорость потребления воздуха, л/мин	ЧСС, уд/мин
1.	Легкая	12,5	85-100
2.	Средняя	30	101-125
3.	Тяжелая	60	126-150
4.	Очень тяжелая	85	151-170

Таблица 2.3 – Оценка некоторых видов работ и упражнений по степени тяжести

№ п/п	Упражнения	Скорость передвижения	Степень тяжести работы
1	2	3	4
1.	Спуск по лестничной клетке	10-12	Легкая
2.	Проведение разведки с отысканием очага пожара или человека	20-25	Легкая
3.	Ходьба по горизонтали (медленная)	50-60	Средняя
4.	Спуск по вертикальной лестнице	12	Средняя
5.	Работа со стволом, вязка спасательных петель, закрепление веревки за конструкцию и карабин	-	Средняя
6.	Ходьба по горизонтали (ускоренная)	85-90	Тяжелая
7.	Ползание через узкий лаз	6-8	Тяжелая
8.	Переноска груза весом 30 кг по горизонтали одним газодымозащитником	50-55	Тяжелая

Продолжение таблицы 2.3

1	2	3	4
9.	Работа с немеханизированным инструментом по вскрытию конструкций	-	Тяжелая
10.	Подъем по вертикальной лестнице	10	Очень тяжелая

Многообразие различных видов работ и не типичность каждого пожара не позволяет учесть весь спектр выполняемых работ, что создает определенного вида трудности при оценке тактических возможностей звеньев ГДЗС. Исходя из этого для объективности нагрузки применена расчетная методика определения механической мощности выполняемой работы (Вт) по формуле [63]:

$$W = \frac{V \cdot m \cdot (2,11 + G \cdot 0,25) + 2,2 \cdot m - 151}{10,5}, \quad (2.1)$$

где W – рассчитываемая мощность нагрузки (Вт); V – скорость движения полотна (км/ч); m – масса тела (кг); G – угол наклона (в исследовании $G=1$).

Преимущество выбора мощности в качестве показателя в том, что развиваемая механическая мощность оказывается напрямую связана с массой движущейся системы (тело газодымозащитника + снаряжение). Из формулы (2.1) следует, что мощность нагрузки (W) от массы имеет линейную зависимость (m). По ней можно рассчитать, какой вклад вносит каждый дополнительный килограмм массы снаряжения в итоговое усилие, развиваемое газодымозащитником.

Оценка влияния массы снаряжения на мощность нагрузки выполняется путем дифференцирования выражения (2.1) по переменной (m). В результате получаем удельный прирост мощности, приходящийся на 1 кг дополнительной нагрузки, без учета включения в расчет собственной массы газодымозащитника и защитной экипировки:

$$\frac{\Delta W}{\Delta m} = \frac{V \cdot (2,11 + 0,25 \cdot G) + 2,2}{10,5}. \quad (2.2)$$

В стандартных условиях эксперимента (начальная скорость движения полотна беговой дорожки $V=2$ км/ч, $G=1$) данное приращение составляет:

$$\frac{\Delta W}{\Delta m} = \frac{2 \cdot (2,11 + 0,25) + 2,2}{10,5} = 0,66 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}.$$

Когда движение газодымозащитника происходит с постоянной скоростью 2 км/ч, то каждый лишний килограмм снаряжения добавляет к мощности нагрузки 0,66 Вт; это и есть практическое значение. В приложении Б приведен детальный расчет того, как масса оборудования влияет на уровень мощности.

В эксперименте моделировалось пять ступеней нагрузки. Рассчитанные значения мощности для каждой ступени представлены в таблице 2.4, также для каждой ступени мощности может быть выражено соответствие с дополнительной массой оборудования, которую вынужден преодолевать газодымозащитник.

Таблица 2.4 – Мощность нагрузки и соответствие типовым задачам ($M \pm \sigma$)

№ п/п	Степень	Мощность нагрузки, Вт	Соответствующая дополнительная масса снаряжения, кг	Соответствие типовой задаче
1.	W_1	35 ± 6	0-10	Движение по горизонтали, быстрая разведка без дополнительного оборудования.
2.	W_2	69 ± 10	10-20	Работа с ручным инструментом, передвижение с минимальным оснащением.
3.	W_3	103 ± 14	20-30	Переноска дополнительного оборудования (например, напорных рукавов, гидравлического инструмента).
4.	W_4	137 ± 18	30-40	Работа с тяжелым немеханизированным инструментом в сложных условиях.
5.	W_5	171 ± 22	40	Экстремальные условия, переноска тяжелых грузов (например, баллонов с газом), предельная нагрузка.

Примечание к табл. 2.4 Расчет сделана относительно базового уровня мощности для газодымозащитника без снаряжения, с учетом полученного коэффициента $0,66 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$

Предложенный подход позволяет перейти от субъективной оценки выполняемой работы газодымозащитника к количественной оценке и его влияния на индивидуальные параметры состояния, через объективный показатель – мощность нагрузки. Установленный коэффициент влияния массы ($\text{Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$) дает возможность прогнозировать индивидуальные параметры состояния газодымозащитников для любого конкретного комплекта оборудования и

оптимизировать его состав с точки зрения, не превышая критических для терморегуляции и работоспособности уровней нагрузки.

2.3 Постановка эксперимента

Исследование было проведено в период с 2023 по 2025 год на базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Объектом исследования являлись 40 добровольцев мужского пола, имеющих квалификацию «газодымозащитник», в возрасте от 18 до 43 лет. Формирование выборки осуществлялось методом рандомизации, что позволило минимизировать систематические ошибки. Исследование проводилось в строгом соответствии с биоэтическими нормами и требованиями, включающими научное обоснование планируемых экспериментов, оценку потенциальных рисков и дискомфорта для участников, предоставление доступного описания исследования для неспециалистов и получение добровольного информированного согласия [16]. На подготовительном этапе у всех газодымозащитников была проведена комплексная характеристика исходного состояния. В рамках данного комплекса оценивались базовые антропометрические показатели (рост, масса тела), на основании которых рассчитывался ИМТ. Параллельно проводилась измерение ЖЕЛ и определения уровня физической работоспособности непрямым методом определения МПК, на основе временных показателей в беге на дистанции 3000 метров, что является валидным критерием уровня аэробной подготовленности [9]. Антропометрические и функциональные характеристики выборки представлены в таблице 2.5. Исходные первичные данные приведены в приложение А.

Таблица 2.5 – Антропологические и функциональные характеристики газодымозащитников ($n = 40$, $M \pm \sigma$)

Параметр	Возраст, лет	Рост, м	Масса тела, кг	Индекс массы тела, кг/м ²	Жизненная емкость легких, л	МПК, мл/кг/мин
Значение	23,5±6,4	1,80±0,05	75,5±8,8	23,2±2,2	5,6±0,7	52,8±7,8

Таким образом, проведенный этап предварительного исследования позволяет считать выбранную категорию газодымозащитников достаточно однородной и типичной для последующего изучения ресурсно-эргономической модели работы звена ГДЗС. Результаты комплексной характеристики участников исследования свидетельствуют о хорошем среднем уровне развития газодымозащитников, что создает благоприятные условия для дальнейшего изучения механизмов адаптации организма к специфическим профессиональным нагрузкам. Протокол исследования включал следующую последовательность действий (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Протокол экспериментального исследования

Все испытания проводились в 16:00, что обеспечивало единый циркадный статус газодымозащитников, и не ранее чем через 2 часа после приема пищи для нивелирования влияния пищеварения на метаболические и сердечно-сосудистые показатели.

На подготовительном этапе газодымозащитники находились в термонеutralном помещении (20-22 °C) для измерения массы тела с помощью электронных весов. Затем на теле газодымозащитников размещались датчики, непрерывно фиксирующих кожную температуру, а также нагрудный пульсометр для контроля ЧСС. Подключение датчиков к измерительным приборам происходило после их фиксации, с регистрацией исходных показателей каждого. Завершив подготовительный этап, в снаряжении (БОП, ДАСВ «Зевс») газодымозащитники помещались в термокамеру, приступая к ступенчатой нагрузке на беговой дорожке.

Нагрузка задавалась по ступенчатой схеме: стартовая скорость движения полотна 2 км/ч, а каждая последующая ступень предполагало ее увеличение на 2 км/ч. Длительность ступени – 4 минуты, затем следовала минутная пауза, во время которой фиксировались функциональные и тепловые показатели. Это протокол последовательно повторяли в трех температурных режимах – 20, 25, и 30 °C – разные дни. В ходе всего эксперимента велось непрерывное наблюдение за испытуемыми с участием медицинских специалистов, подготовленных в области неотложной кардиологии.

В реальных условиях работы звена ГДЗС разработанный протокол позволяет адекватно оценивать оперативную обстановку и заблаговременно прогнозировать изменения функционального состояния газодымозащитников при выполнении задач в НДС и ПАСР. Для реализации поставленных в исследовании задач потребовался следующий набор оборудования, перечень которого приведен в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Используемое снаряжение и оборудование

№ п/п	Наименование оборудования и аппаратуры	Страна-производитель	Назначение и регистрируемые параметры
1.	Секундомер Casio HS-80TW-1E	Япония	Точное измерение временных интервалов при выполнении тестовых заданий и физической нагрузки.
2.	Пульсометр Polar H10 с приложением Polar Flow	Финляндия	Непрерывный мониторинг и регистрация ЧСС в режиме реального времени с последующей обработкой данных
3.	Беговая дорожка HouseFit HT-9164E	Китай	Дозирование воспроизведение ступенчатой физической нагрузки
4.	Комплекс СИЗ: БОП типа У, шерстяной подшлемник, СЗР	Россия	Защитная экипировка газодымозащитников при работе в условиях НДС
5.	ДАСВ «Зевс»	Россия	Обеспечение дыхания в условиях НДС. Мониторинг расхода воздуха, для последующего расчета легочной вентиляции.
6.	Датчики-термохроны iButton	США	Непрерывный мониторинг кожной температуры в 4 стандартных точках тела для последующего расчета средневзвешенной температуры кожи.
7.	Медицинский пальцевой пульсоксиметр Pulse Oximeter	Китай	Оценка уровня насыщения (сатурации) гемоглобина артериальной крови кислородом (SpO ₂).
8.	Ростомер медицинский Р-Ст МСК 234	Россия	Измерение длины тела (роста) участников исследования.
9.	Весы электронные CAS DL-150	Южная Корея	Определение массы тела до и после эксперимента для расчета влагопотерь.
10.	Спирометр Contec SP80B	Китай	Измерение показателей функции внешнего дыхания, в частности, жизненной емкости легких (ЖЕЛ).

2.3.1 Оценка функционального состояния газодымозащитников

Для комплексной оценки функционального состояния газодымозащитников в условиях моделируемых комбинированных нагрузок был использован ряд показателей, отражающих реакцию кардиореспираторной системы.

Одним из параметров регистрирующее функциональное состояние газодымозащитников являлся расход дыхательной смеси, оцениваемый через показатель легочной вентиляции (ω_L). Легочной вентиляцией называют тот объем

воздуха, который проходит за единицу времени через легкие; его вычисляли на каждой ступени нагрузки, применяя формулу 2.3:

$$\omega_{\text{л}} = \frac{P_{\text{пад}} \cdot 6,8}{t}, \quad (2.3)$$

в которой $\omega_{\text{л}}$ – объем легочной вентиляции, л·мин⁻¹; $P_{\text{пад}}$ – давление, расходуемое в ходе упражнения (МПа); 6,8 – вместимость баллона дыхательного аппарата «Зевс»; t – затраченное на упражнение время (мин).

Данный показатель информативен для оценки функционального состояния, поскольку адекватная легочная вентиляция обеспечивает приток кислорода в кровь и выведение углекислого газа из организма.

Параллельно с этим осуществлялся непрерывный мониторинг ЧСС, который является интегральным показателем функционального напряжения сердечно-сосудистой системы в ответ на физическую нагрузку и сопутствующий тепловой стресс, характерный при работе газодымозащитников в условиях НДС. В целях предотвращения неблагоприятных последствий для организма испытуемых, критерием для немедленного прекращения тестирования, служило достижение индивидуально рассчитанной максимальной ЧСС или добровольный отказ участника от продолжения нагрузки [99]. Расчет максимальной ЧСС производился по формуле 2.4:

$$\text{ЧСС}_{\text{max}} = 220 - \text{возраст (в годах)}. \quad (2.4)$$

В качестве дополнительного параметра, характеризующего функциональное состояние организма, был выбран показатель сатурации крови кислородом (SpO_2), представляющим собой прямой индикатор эффективности газообмена в легких и адекватности кислородного снабжения тканей. Измерение SpO_2 позволяет определить, насколько эффективно сердечно-сосудистая и дыхательные системы справляются с доставкой кислорода к тканям. Снижение сатурации указывает на то, что организм не успевает компенсировать кислородный запас, и является объективным признаком предельного физического напряжения.

Объективную основу оценки функционального состояния ГДЗС задает перечень измеряемых параметров, охватывающий легочную вентиляцию, ЧСС и сатурацию SpO_2 . Применение этого набора данных как единого целого дает

возможность количественно фиксировать степень напряжения, которое испытывают главные системы жизнеобеспечения, а на основе того же анализа определяются индивидуальные границы переносимости физической нагрузки и формируются меры, улучшающие режимы деятельности в условиях НДС.

2.3.2 Оценка теплового состояния газодымозащитников

Способность газодымозащитников сохранять работоспособность и оставаться в безопасности при экстремальных тепловых нагрузках, обычных для тушения пожаров, напрямую определяется тем, насколько эффективно работает терморегуляция. Комплексная оценка теплового состояния газодымозащитников проводилась по совокупности взаимодополняющих показателей: средневзвешенная температура кожи (СВТ кожи), температура внутренних органов (t_p), средняя температура тела (СТТ) и влагопотери.

Для определения (СВТ кожи) использовалась стандартизированная схема расположения датчиков-термохронов в четырех точках на поверхности тела (рисунок 2.3): грудь, плечо, бедро и голень. Расчет проводился по формуле 2.5, учитывающий вклад различных сегментов тела [8]:

$$\text{СВТ кожи} = 0,3 \cdot (T_{\text{грудь}} + T_{\text{плечо}}) + 0,2 \cdot (T_{\text{голень}} + T_{\text{бедро}}), \quad (2.5)$$

где СВТ кожи – средневзвешенная температура кожи (°C),
 $T_{\text{грудь}}$ – температура кожи в области груди (°C), $T_{\text{плечо}}$ – плеча (°C),
 $T_{\text{голень}}$ – голени (°C), $T_{\text{бедро}}$ – бедра (°C).

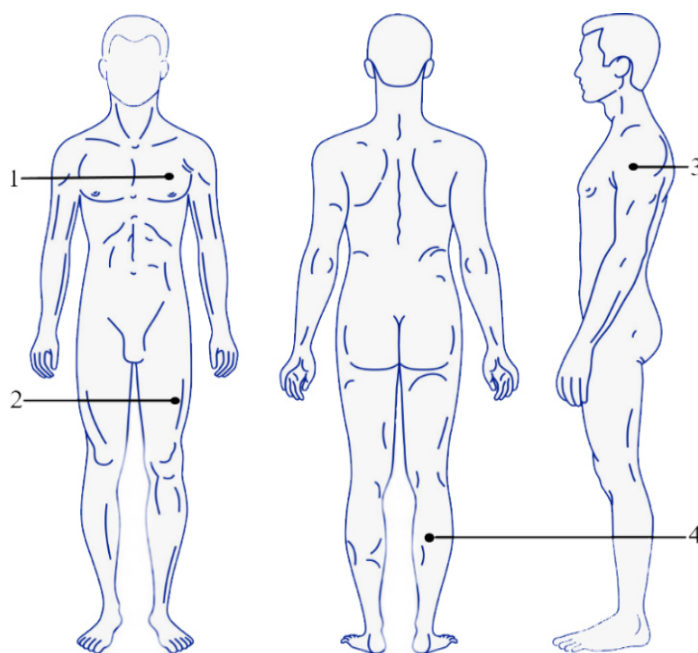


Рисунок 2.3 – Схема расположения датчиков на поверхности тела
(1 – грудь, 2 – бедро, 3 – плечо, 4 – голень)

Температура внутренних органов (t_p) являющаяся индикатором тепловой нагрузки на жизненно важные системы, определялась расчетным методом в связи с невозможностью использования инвазивных или оральных методов измерения (эксперимент проводился в ДАСВ и БОП). Для ее определения применялась формула 2.6, основанная на величине энергозатрат организма и площади поверхности тела [27]:

$$t_p = 36,61 + 0,007 \cdot \frac{Q_{\text{эт}}}{S}, \quad (2.6)$$

где t_p – температура внутренних органов ($^{\circ}\text{C}$), $Q_{\text{эт}}$ – величина энергозатрат организма ($\text{Вт}/\text{м}^2$), S – площадь поверхности тела газодымозащитника (м^2).

Величина энергозатрат ($Q_{\text{эт}}$) определялась на основании мониторинга ЧСС с учетом возраста и массы тела газодымозащитника, в соответствии с данными, представленными в таблице 2.7 [52].

Площадь поверхности тела (S) вычислялась по модифицированной формуле Дюбуа (2.7) [8]:

$$S = 0,0167 \cdot \sqrt{MT \cdot P}, \quad (2.7)$$

где MT – масса тела (кг); P – рост (см).

Таблица 2.7 – Взаимосвязь между уровнем энергозатрат (Вт/м²) и ЧСС как функция возраста и массы человека

№ п/п	Возраст, лет	Уровень энергозатрат (Вт/м ²) в зависимости от массы тела, кг				
		50	60	70	80	90
1.	20	3,7·ЧСС – 201	4,2·ЧСС – 238	4,7·ЧСС – 273	5,2·ЧСС – 307	5,6·ЧСС – 339
2.	30	3,6·ЧСС – 197	4,1·ЧСС – 233	4,6·ЧСС – 268	5,1·ЧСС – 301	5,5·ЧСС – 333
3.	40	3,5·ЧСС – 192	4,0·ЧСС – 228	4,5·ЧСС – 262	5,0·ЧСС – 295	5,4·ЧСС – 326

На основе полученных данных вычислялись интегральные показатели, характеризующие общее тепловое состояние организма:

Средняя температура тела (СТТ), отражающая общую степень теплового напряжения, рассчитывалась по формуле А. Бартоном и О. Эдхолмом (2.8), учитывающая вклад как внутренних, так и кожных температур [64]:

$$СТТ = 0,7 \cdot t_p + 0,3 \cdot СВТ \text{ кожи}, \quad (2.8)$$

где СТТ – средняя температура тела (°С), 0,7 и 0,3 – коэффициенты смешивания.

Теплосодержания организма (Q , кДж/кг), характеризующее общее количество аккумулируемого тепла, определялась по формуле 2.9:

$$Q = 3,48 \cdot СТТ, \quad (2.9)$$

где Q – теплосодержание, 3,48 – удельная теплоемкость человека (кДж/кг·°С).

Изменение теплосодержания (Q) относительно исходного уровня (состояние покоя в комфортных условиях) служило прямым критерием тепловой нагрузки. Положительное значение ($+Q$) свидетельствует о кумуляции тепла в организме и является объективным индикатором риска развития гипертермии.

Интенсивность влагопотерь оценивали гравиметрическим методом – по разнице массы тела газодымозащитника, зафиксированной с помощью электронных весов до и после пребывания в термокамере. Этот показатель служит объективным критерием влияния функциональной и тепловой нагрузки на терморегуляторную систему организма.

Итак, используемая система параметров (СВТ кожи, t_p , СТТ, Q , влагопотери) позволяет не только поэтапно охарактеризовать тепловое состояние, но и судить о полноценности терморегуляторного ответа, а также дать количественную оценку вероятности перегрева организма у газодымозащитников.

2.4 Обработка результатов эмпирического исследования

Комплексная статистическая обработка экспериментальных данных, полученных при изучении функционального и теплового состояния газодымозащитников в условиях моделируемых нагрузок, была выполнена с привлечением пакета прикладных программ IBM SPSS Statistics версии 23.0, совместно с Microsoft Excel 2010; оба инструмента применялись в связке.

Цель, с которой выполнялась обработка, состояла в объективной проверке гипотез, выявлении существенных закономерностей и создании количественных моделей связей. Применяемый комплекс методов охватывал этапы первичного описания данных, проверки статистических гипотез, анализа взаимосвязей и регрессионного моделирования.

Дескриптивный статистический анализ. На первом этапе все количественные показатели были подвергнуты описательной статистической обработке для формирования общего представления о данных. Для каждой переменной в рамках исследуемых групп (по температурным режимам и ступеням нагрузки) рассчитывались следующие основные показатели:

Среднее арифметическое (M) – мера центральной тенденции, характеризующая типичное значение показателя в выборке.

Стандартное отклонение (σ) – показатель дисперсии, количественно отражающий разброс индивидуальных значений вокруг среднего и, следовательно, вариабельность признака.

Результаты представлены в виде $M \pm \sigma$, что позволяет одновременно оценить как средний уровень реакции организма, так и степень однородности или разнородности выборки газодымозащитников.

Анализ достоверности различий. Для оценки статистической значимости различий между средними значениями сравниваемых независимых групп (например, показатели при 20 °С и 30 °С на одной ступени нагрузки) применялся параметрический t-критерий Стьюдента для независимых выборок. Предварительно проверялось соответствие данных закону нормального

распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка. Различия считались статистически достоверными при уровне значимости $p < 0,05$, что соответствует 95 % доверительной вероятности и является стандартным порогом в биомедицинских исследованиях [26, 66].

Корреляционный анализ. Для исследования силы и направленности линейных взаимосвязей между различными параметрами (например, между мощностью нагрузки (Вт) и ЧСС или между теплосодержанием и легочной вентиляцией) применялся корреляционный анализ Пирсона с вычислением коэффициента корреляции (r). Статистическая значимость каждого коэффициента проверялась при $p < 0,05$. Сила корреляционной связи интерпретировалась в соответствии с модифицированной шкалой Чеддока [84].

Регрессионный анализ. Для построения прогностических моделей и количественной оценки влияния независимых переменных на зависимые показатели применялся линейный регрессионный анализ. Строились уравнения простой линейной регрессии вида (формула 2.10):

$$Y = a + bX, \quad (2.10)$$

где Y – зависимая переменная, X – независимая переменная (предиктор), a – свободный член уравнения, b – коэффициент регрессии

Адекватность и информативность построенных моделей оценивалась с помощью коэффициента детерминации (R^2), который показывает, какая доля дисперсии (изменчивости) зависимой переменной Y объясняется вариацией независимой переменной X в рамках данной модели.

Обработка данных осуществлялась в соответствии со следующей логической последовательностью, направленной на обеспечение валидности и надежности выводов:

1. Первичное описание и проверка условий. Расчет дескриптивных статистик (M, σ) для всех переменных и визуальный анализ распределений. Проверка данных на соответствие нормальному распределению для обоснованного выбора параметрических критериев.

2. Сравнительный анализ. Проведение попарных сравнений средних значений ключевых показателей между разными экспериментальными условиями (температурными режимами) с использованием t-критерия Стьюдента для выявления статистически значимых эффектов воздействия.

3. Анализ взаимосвязей. Выполнение корреляционного анализа (Пирсона) для изучения структуры связей между исследуемыми параметрами и идентификации наиболее тесно связанных показателей.

4. Моделирование. На основе выявленных сильных корреляций осуществлялось построение простых линейных регрессионных моделей для количественного прогнозирования изменений критических функциональных показателей в зависимости от ведущих факторов нагрузки (физической и тепловой).

5. Интерпретация результатов. Формирование статистических выводов. Все выводы о наличии различий, связей или влияний считались обоснованными только при достижении 95% уровня доверительной вероятности ($p < 0,05$).

Данный многоэтапный подход служит основанием системности анализа: с его помощью исследование переходит от общего обзора экспериментальных данных к выдвижению конкретных гипотез и выстраиванию математических зависимостей, позволяющих прогнозировать работоспособность газодымозащитников и оценивать их риски.

2.5 Выводы по главе 2

Исходя из поставленной задачи, выполнен переход от субъективной оценки деятельности газодымозащитника к количественным показателям; основой послужило определение мощности выполняемой работы, и в итоге получены следующие результаты:

1. В качестве количественного показателя эффективности работы звена ГДЗС предложено использовать (Вт), которую развивает газодымозащитник в процессе работы. Рассчитанный коэффициент влияния массы снаряжения –

0,66 Вт·кг⁻¹, который отражает величину дополнительной нагрузки, приходящейся на каждый килограмм снаряжения звена ГДЗС.

2. Предложенный протокол эксперимента разработан и апробирован как репрезентативная модель, воспроизводящая сочетанное воздействие профессиональных нагрузок. Данный протокол охватывает:

- репрезентативную выборку из 40 газодымозащитников, имеющих типичные антропометрические и функциональные характеристики;
- три контролируемых температурных режима (20, 25 и 30 °С), которые соответствуют комфортным, типичным и экстремальным условиям теплового воздействия при пожаре;
- ступенчато возрастающую физическую нагрузку на беговой дорожке в условиях полной экипировки (БОП, ДАСВ), что обеспечивает дозированность и воспроизводимость воздействия.

3. Для оценки функционального и теплового состояния газодымозащитников обоснован и применен комплекс апробированных методик. В диагностике функционального блока опирались на такие ключевые показатели: легочная вентиляция, являющаяся интегральной величиной, показывающей, сколько воздуха расходуется из ДАСВ; ЧСС, отражающий нагрузку на сердце; сатурация SpO₂, по которой судили об эффективности газообмена. Для теплового состояния оценка проводилась через взаимодополняющие расчетные и прямые показатели: в их перечень входили средневзвешенная температура кожи, расчетная температура внутренних органов, температура тела в среднем, теплосодержание организма и суммарные влагопотери.

4. Статистическая обработка данных выстроена по схеме, обеспечивающей достоверность и обоснованность выводов. План анализа включает дескриптивную статистику, проверку гипотез с использованием t-критерия Стьюдента, корреляционный и регрессионный анализ для выявления значимых закономерностей и построения прогностических моделей.

ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗВЕНА ГДЗС С УЧЕТОМ ПАРАМЕТРОВ СОСТОЯНИЯ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ

В третьей главе представлена формализация экспериментальных данных, полученных в ходе лабораторных испытаний. Цель этого этапа – создать рабочий математический аппарат, пригодный для количественной оценки времени, в течение которого газодымозащитник способен выполнять задачи в НДС без превышения индивидуальных физиологических лимитов.

Центральным результатом главы является регрессионная модель, прогнозирующая остаточное время эффективной работы ($T_{\text{раб}}$) отдельного газодымозащитника до момента достижения им предельного функционального состояния. В дальнейшем, при планировании действий звена ГДЗС, используется минимальное из прогнозных значений по всем членам звена ГДЗС – так называемый принцип лимитирующего звена (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Логическая цепочка взаимосвязи индивидуальных показателей, лимитирующих время эффективной работы

В основу создания модели лег массив экспериментальных данных, собранный в процессе лабораторных испытаний, в которых принимали участие 40 газодымозащитников (всего 600 наблюдений); собранный материал послужил исходной базой [76]. В ходе опыта регулирование охватывало два параметра: нагрузка, которую развивал испытуемый (W), а также температура внешней среды ($T_{\text{окр}}$). На каждой ступени протокола фиксировались ЧСС и СТТ, и именно эти показатели служили критериями наступления индивидуального предела.

Значения зависимой переменной $T_{\text{раб}}$ для каждой комбинации факторов определялись методом линейной интерполяции по данным, полученным на ступенчатой нагрузке. Параметры модели оценивались через метод наименьших квадратов. На этапе спецификации проводилось сравнение альтернативных вариантов: рассматривались линейная и нелинейные формы (с квадратичными членами W^2 и $T_{\text{окр}}^2$), а также модели, учитывающие взаимодействие факторов. По итогам сопоставления линейная модель признана финальной, поскольку она проще и легче поддается интерпретации, а точность прогноза остается сопоставимой.

Полученное уравнение регрессии отличает высокие значения R^2 и RMSE, и именно эти статистические показатели говорят о том, что модель пригодна для практики. В окончании главы внимание уделяется ограничениям, накладываемым условиями лабораторного эксперимента, а отдельно выносится предложение ввести поправочный коэффициент безопасности, чтобы модель адаптировалась к обстановке реального пожара. Отдельно рассматриваются перспективы внедрения разработанной модели в контур поддержки тактических решений: как для прямого расчета – прогнозирования допустимого времени работы, так и для обратного – определения предельной нагрузки на звено ГДЗС. Кроме того, модель может быть использована в качестве целевой функции или ограничения при формализации задачи оптимизации ротации газодымозащитников в ходе ПАСР.

Итогом главы стала разработка количественного инструмента, позволяющего определять допустимое время работы газодымозащитника с учетом объективных параметров его деятельности и внешних тепловых условий.

Построенная модель в дальнейшем используется для расчета тактических возможностей звена ГДЗС и может быть встроена в информационно-аналитическую систему поддержки решений, описание которой вынесено в четвертую главу.

3.1 Формализация входных параметров

Легочная вентиляция (ω_L) отражает метаболические потребности организма и служит интегральным показателем функционального состояния дыхательной системы газодымозащитника. При использовании ДАСВ вычисление ω_L по расходу воздуха из баллона служит наиболее точным методом оценки функциональных затрат, как указано в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Показатели ω_L при различных температурах ($M \pm \delta$)

Температура, °C	Параметр	W_1 (35,4 ± 5,8 Вт)	W_2 (69,3 ± 9,8 Вт)	W_3 (103,2 ± 13,8 Вт)	W_4 (137,1 ± 17,7 Вт)	W_5 (171,1 ± 21,7 Вт)
20±1	ω_L , л·мин ⁻¹	31,5±4,8	36,5±4,4	50,9±6,4	73,1±8,6	85,1±9,7
25±1		31,8±4,7	36,8±4,2	52,6±6,3	75,9±8,5	88,8±9,8
30±1		33,0±4,7	38,9±4,3	54,6±6,3	81,9±8,4	95,3±9,9

Полученные данные подтверждают закономерное возрастание легочной вентиляции по мере увеличения мощности нагрузки – эта тенденция устойчиво воспроизводится во всех трех температурных режимах (рисунок 3.2). Так, при 20 °C показатель поднялся с 31,0 до 85,1 л·мин⁻¹, что соответствует росту в 2,7 раза. При 25 и 30 °C увеличение составило 2,8 и 2,9 раза соответственно.

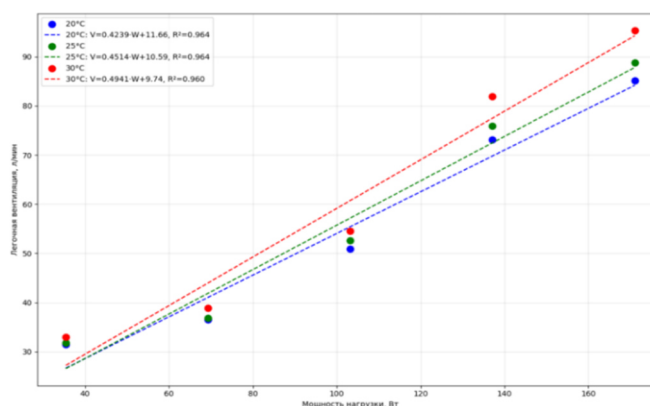


Рисунок 3.2 – Легочная вентиляция при различных мощностях нагрузки

Повышение температуры с 20 до 30 °С сопровождалось достоверным ростом легочной вентиляции на всех ступенях нагрузки, за исключением самой низкой W_1 , где увеличение было незначительным (с 31,5 до 33,0 л·мин⁻¹). Наибольший прирост – около 12% – отмечен на максимальной ступени W_5 (с 85,1 до 95,3 л·мин⁻¹), что указывает на усиление эффекта при сочетанном действии тепловой и физической нагрузок. Высокие значения коэффициентов детерминации ($R^2 > 0,96$) подтверждают, что линейная модель адекватно описывает экспериментальные данные во всем исследованном диапазоне температур и мощностей.

Частота сердечных сокращений служит обобщающим показателем функционального напряжения сердечно-сосудистой системы. Ее динамика позволяет судить о степени кардиоваскулярного стресса и ориентировочно устанавливать границы безопасной работоспособности в условиях комбинированной нагрузки. Данные измерений представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Значения ЧСС (уд/мин, $M \pm \sigma$) при различных температурах

Температура °С	Параметр	W_1 (35,4 ± 5,8 Вт)	W_2 (69,3 ± 9,8 Вт)	W_3 (103,2 ± 13,8 Вт)	W_4 (137,1 ± 17,7 Вт)	W_5 (171,1 ± 21,7 Вт)
20±1	ЧСС, уд/мин	108±6,0	115 ±6,0	138±8,0	173±5,0	185±5,0
25±1		110±7,0	125±6,0	144±8,0	179±7,0	193,0±6,0
30±1		115±9,0	132±5,0	147±6,0	181±7,0	196±6,0

По мере повышения нагрузки ЧСС закономерно возрастала во всех температурных режимах (рисунок 3.3). При 20°С величина ЧСС увеличилась на 71,2 % – с 108 до 185 уд/мин; при 25 °С прирост составил 75,5 %, при 30 °С – 70,6 %.

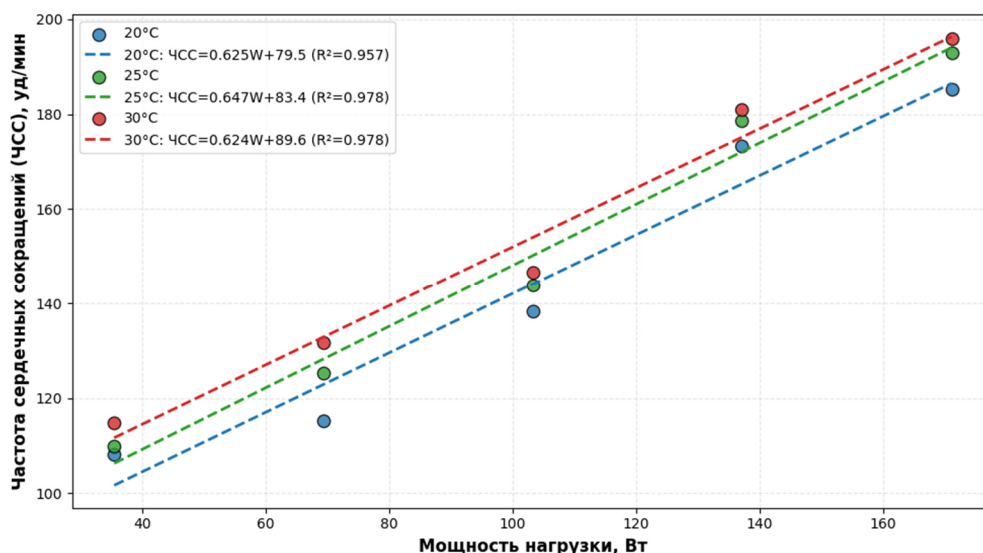


Рисунок 3.3 – Зависимость ЧСС от мощности нагрузки при различных температурах

По данным таблицы 3.2, ЧСС последовательно возрастала с увеличением мощности нагрузки во всех исследованных микроклиматических условиях. Такой ответ носит адаптивный характер и отражает усиление кислородтранспортной функции организма при нарастании интенсивности работы. Рисунок 3.3 подтверждает, что зависимость ЧСС от нагрузки в изученном диапазоне близка к линейной.

В качестве интегрального неинвазивного маркера эффективности легочной оксигенации и адекватности тканевого кислородного обеспечения использовалась сатурация крови кислородом (SpO_2). Ее контроль особенно важен в условиях теплового стресса и работы в СИЗОД, когда возрастает риск гипоксических состояний. Результаты изменений SpO_2 в зависимости от мощности нагрузки и температуры окружающей среды обобщены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Значения SpO_2 (%), $M \pm \sigma$) при различных температурах

Температура °C	Параметр	W ₁ (35,4 ± 5,8 Вт)	W ₂ (69,3 ± 9,8 Вт)	W ₃ (103,2 ± 13,8 Вт)	W ₄ (137,1 ± 17,7 Вт)	W ₅ (171,1 ± 21,7 Вт)
20±1	SpO ₂ , %	96,8±0,8	96,8±0,6	96,3±0,7	94,3±0,8	91,9±0,5
25±1		96,5±0,8	96,4±0,8	96,3±0,9	94,0±0,8	91,7±0,6
30±1		96,5±0,8	96,2±0,7	96,1±0,7	92,8±0,8	91,0±0,6

Анализ результатов позволил выделить две фазы:

1. Фаза стабильной оксигенации (нагрузки W_1 - W_3). При выполнении работы низкой и средней интенсивности (до ~ 103 Вт) уровень SpO_2 остается стабильным и соответствует пороговой норме (>96 %) во всех исследуемых температурных режимах (20 - 30 °C). Это свидетельствует о достаточности компенсаторных возможностей кардиореспираторной системы для поддержания адекватной оксигенации крови на данном этапе.

2. Фаза прогрессирующей гипоксии (нагрузки W_4 - W_5). Начиная с уровня нагрузки W_4 (~ 137 Вт) регистрируется значимое снижение SpO_2 что является объективным признаком начала развития гипоксического состояния (рисунок 3.4).

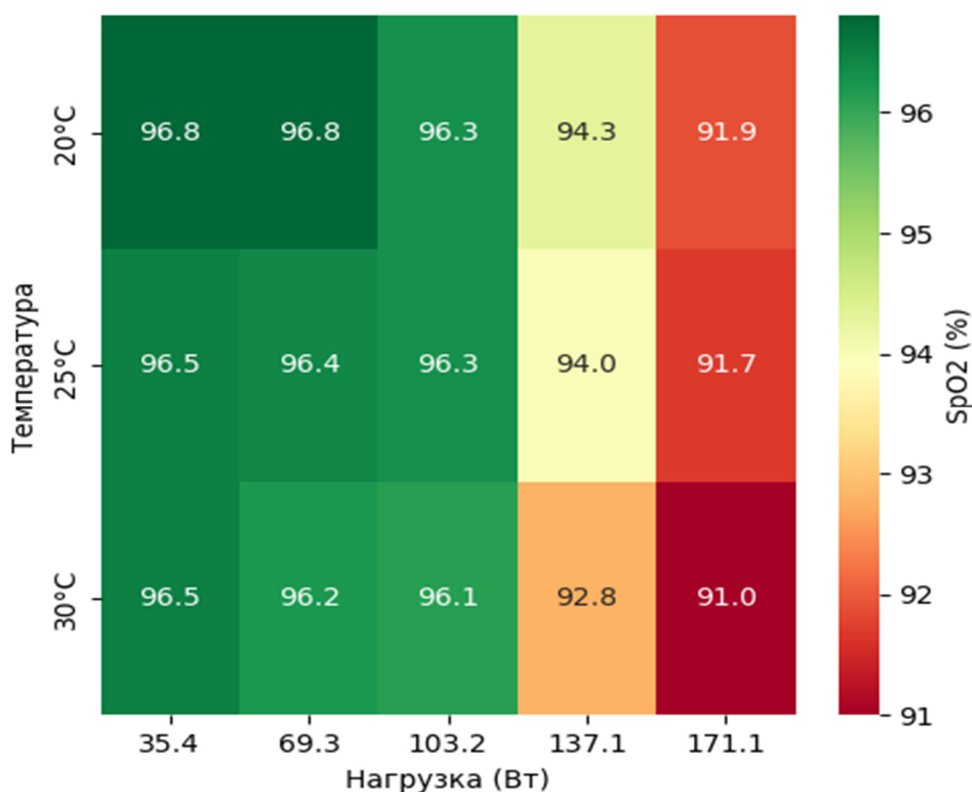


Рисунок 3.4 – Тепловая карта значений SpO_2 по температуре и мощности выполняемой работы

При температурах 20 °C и 25 °C динамика снижения SpO_2 с ростом нагрузки носит сходный характер. При повышении температуры до 30 °C

отмечается более выраженное падение SpO_2 на высоких ступенях нагрузки (W_4 , W_5).

Средневзвешенная температура кожи ($CBT_{\text{кожи}}$) является индикатором эффективности периферической теплоотдачи и активности кожного кровотока. Результаты измерений представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Значения средневзвешенной температуры кожи ($CBT_{\text{кожи}}$, °C, $M \pm \sigma$)

Температура, °C	Исходное состояние	W_1 (35,4 ± 5,8 Вт)	W_2 (69,3 ± 9,8 Вт)	W_3 (103,2 ± 13,8 Вт)	W_4 (137,1 ± 17,7 Вт)	W_5 (171,1 ± 21,7 Вт)
20±1	32,4±0,6	32,8±0,6	32,9±0,6	33,2±0,6	33,5±0,6	33,8±0,6
25±1	32,6±0,4	33,2±0,4	35,0±0,6	35,4±0,6	35,6±0,6	36,0±0,6
30±1	32,7±0,4	35,4±0,6	36,4±0,7	37,0±0,6	37,2±0,6	37,5±0,6

Прогрессирующий рост $CBT_{\text{кожи}}$ наблюдался во всех условиях с увеличением мощности нагрузки и температуры среды. Изменение температуры между исходным состоянием и ступенью W_5 представлено в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Динамика средневзвешенной температуры кожи ($CBT_{\text{кожи}}$) при переходе от состояния покоя к максимальной нагрузке W_5 в зависимости от температуры окружающей среды

Температура, °C	$\Delta CBT_{\text{кожи}}$, °C
20±1	1,4
25±1	3,4
30±1	4,8

Критические значения $CBT_{\text{кожи}} > 37,0$ °C, свидетельствующее о напряжении механизмов теплоотдачи, достигалось:

- при 20 °C – только на ступени W_5 (33,8 °C, не достигалось);
- при 25 °C – только на ступени W_5 (36,0 °C, не достигалось);
- при 30 °C – на ступени W_3 - W_5 (37,0-37,5 °C).

Для оценки глубокого теплового состояния использовались расчетные показатели: t_p и СТТ (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Значения расчетной температуры внутренних органов и средней температуры тела ($M \pm \sigma$)

Параметр / Условия	W ₁ (35,4 ± 5,8 Вт)	W ₂ (69,3 ± 9,8 Вт)	W ₃ (103,2 ± 13,8 Вт)	W ₄ (137,1 ± 17,7 Вт)	W ₅ (171,1 ± 21,7 Вт)
t _p °С, при 20°С	37,5±0,2	37,6±0,2	37,9±0,2	38,5±0,2	38,8±0,1
t _p °С, при 25°С	37,5±0,2	37,6±0,2	38,0±0,2	38,6±0,2	38,9±0,1
t _p °С, при 30°С	37,6±0,2	37,8±0,2	38,1±0,2	38,7±0,2	38,9±0,1
СТТ°С, при 20°С	36,1±0,2	36,2±0,3	36,5±0,3	37,0±0,2	37,3±0,2
СТТ°С, при 25°С	36,2±0,2	36,8±0,2	37,2±0,3	37,7±0,2	38,0±0,2
СТТ°С, при 30°С	36,9±0,2	37,4±0,3	37,8±0,3	38,2±0,2	38,5±0,2

Пороговые нормы внутренней температуры тела (t_p≈38,0 °С) превышались:

- при 20 °С – на ступени W₃ (37,9 °С, близко к порогу);
- при 25 °С – на ступени W₂-W₃ (37,6-38,0 °С);
- при 30 °С – уже на W₁ (37,6 °С).

Порог риска гипертермии (СТТ > 38,5 °С) был достигнут только в условиях повышения температуры 30 °С. При этом на ступени W₄ у отдельных испытуемых были зафиксированы значения, превышающие данный порог, а на максимальной ступени нагрузки W₅ среднее групповое значение СТТ достигло 38,5 °С.

Между температурой окружающей среды и мощностью нагрузки выявлен эффект взаимного усиления влияния на тепловое состояние. По своему воздействию на СТТ повышение температуры на 10 °С (от 20 до 30 °С) оказалось сопоставимо с подъемом нагрузки на две ступени (около 70 Вт). Например, СТТ при 20 °С и W₅ (37,3 °С) оказалась практически равна величине при 30 °С и W₂ (37,4 °С). Достижение пороговых значений теплового статуса, особенно в жарких условиях, а также выраженная компенсация теплопродукции за счет внешнего нагрева послужили основанием для остановки экспериментального повышения температуры.

Теплосодержание организма, отражающее общее накопленное тепло, представлено в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Изменение теплосодержания относительно исходного состояния ($M \pm \sigma$)

Температура, °C	Параметр	W ₁ (35,4 ± 5,8 Вт)	W ₂ (69,3 ± 9,8 Вт)	W ₃ (103,2 ± 13,8 Вт)	W ₄ (137,1 ± 17,7 Вт)	W ₅ (171,1 ± 21,7 Вт)
20±1	Q, кДж/кг	1,6±0,6	2,1±0,7	3,3±0,6	5,0±0,6	5,9±0,5
25±1		2,1±0,5	4,4±0,8	5,8±0,9	7,4±0,8	8,4±0,7
30±1		4,5±0,8	6,0±0,9	7,5±0,9	9,1±0,8	10,0±0,7

Накопительный эффект тепловой нагрузки наиболее ярко проявлялся при 30 °C: уже на ступени средней интенсивности (W₃) теплосодержание возрастало на 7,5 кДж/кг, что свидетельствует о формировании значительного теплового долга. Пороговое значение ($Q > 10$ кДж/кг), ассоциируемое с риском перегрева, было зафиксировано на ступени W₅ при 30 °C (10 кДж/кг) и из-за такого перегрева восстановление занимает продолжительное время.

Данные таблицы 3.8 и рисунка 3.5 указывают на следующее: влагопотери служат непосредственным показателем того, насколько напряжен основной механизм теплоотдачи, когда газодымозащитник пребывает в условиях нагревающего микроклимата.

Таблица 3.8 – Суммарные влагопотери (Δm , кг) за полный цикл нагрузки при разных температурах

Температура, °C	Средние влагопотери, кг ($M \pm \sigma$)	Диапазон, кг	% от исходной массы тела
20±1	0,8±0,1	0,6-1,1	0,8-0,9 %
25±1	1,3±0,2	1,0-2,1	1,3-1,8 %
30±1	1,7±0,2	1,2-2,4	1,6-2,1 %

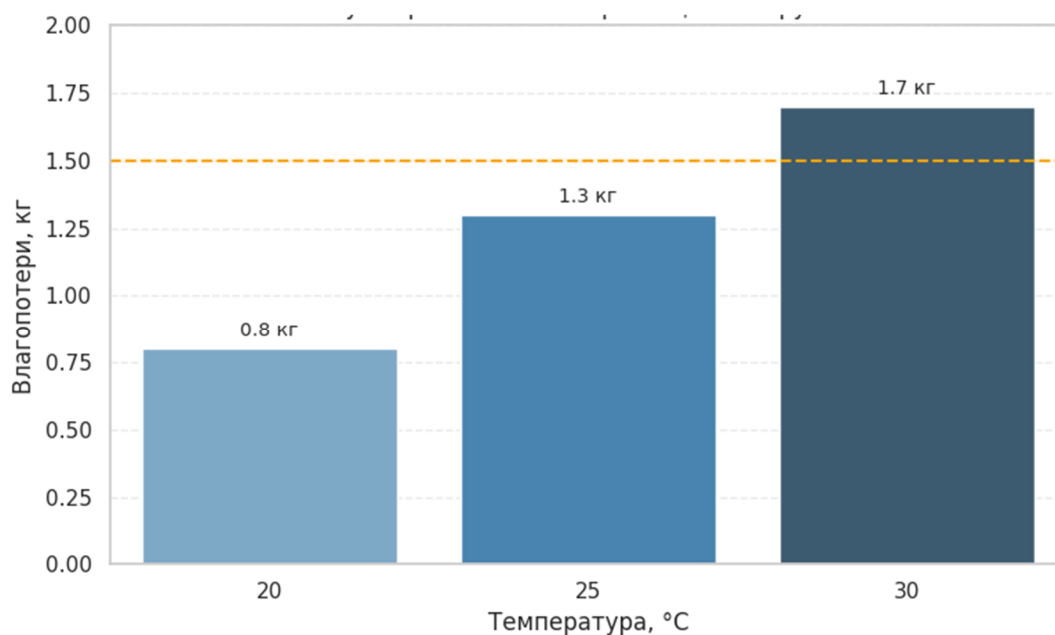


Рисунок 3.5 – Суммарные влагопотери за цикл нагрузки

По результатам эксперимента порог снижения работоспособности, обусловленный дегидратацией (потеря массы тела $> 2\%$), достигается в зависимости от температуры окружающей среды следующим образом. При $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ни у одного из испытуемых не зафиксировано обезвоживания выше 2% . При $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ этот порог преодолели лишь 8% участников. При $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ критический уровень дегидратации был зафиксирован у подавляющего большинства – 80% газодымозащитников.

Для выявления структуры взаимосвязей между основными параметрами состояния использован корреляционный анализ Пирсона. Соответствующие коэффициенты парной линейной корреляции приведены на рисунке 3.6 [33].

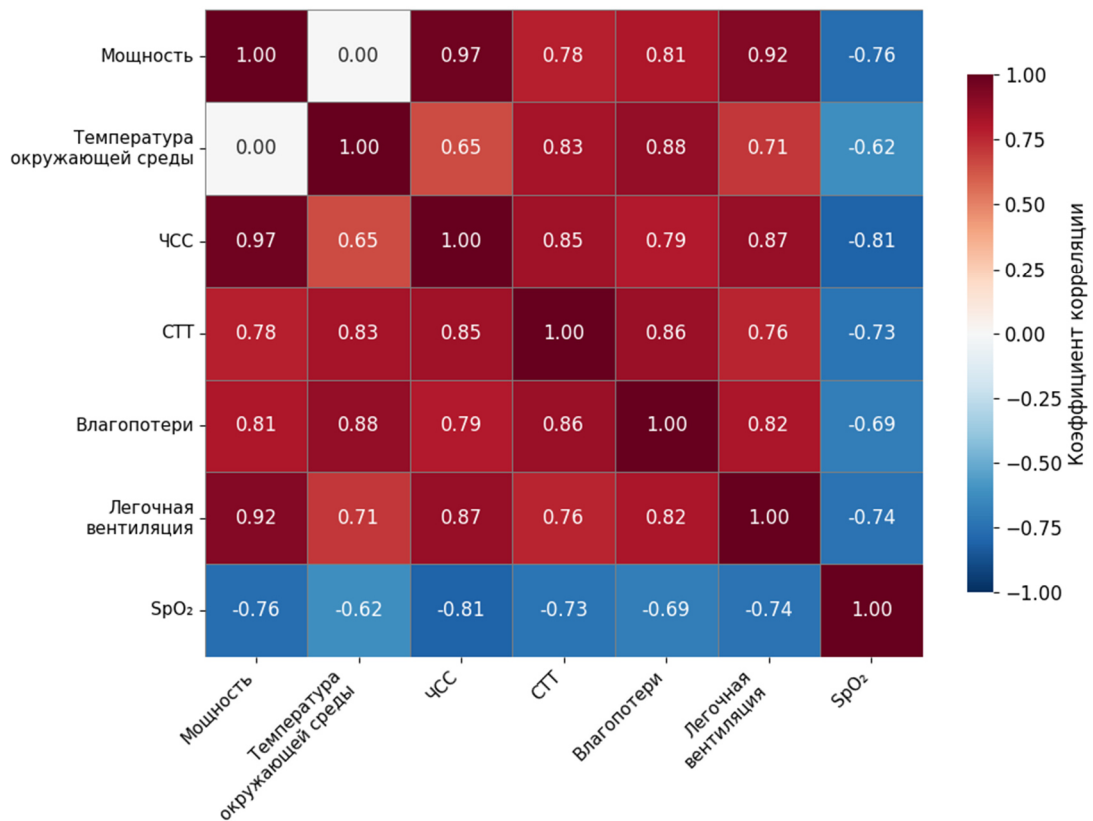


Рисунок 3.6 – Матрица корреляций между параметрами

Корреляционный анализ выявил следующую структуру взаимосвязей. Наиболее тесные связи зафиксированы между температурой среды и показателями теплового состояния: особенно высокие коэффициенты получены для влагодотерь ($r=0,88$) и средней температуры тела (СТТ, $r=0,83$), что указывает на определяющую роль теплового стресса в сдвигах терморегуляторных процессов. Мощность нагрузки (W) ожидаемо сильно коррелирует с ЧСС ($r=0,97$) и легочной вентиляцией ($r=0,92$), что обосновывает использование ЧСС в качестве надежного маркера интенсивности выполняемой работы. Сатурация кислорода (SpO₂) устойчиво отрицательно связана со всеми факторами нагрузки и температуры, отражая нарастающее напряжение кардиореспираторной системы в экстремальных условиях.

Экспериментальные данные демонстрируют выраженные, близкие к линейным, зависимости индивидуальных показателей от мощности и температуры. Однако для построения прогностической модели необходимо перейти от статической картины к временной – оценить, за какое время при

заданных условиях достигается предельный уровень нагрузки, индивидуальный для каждого газодымозащитника. Поскольку протокол предусматривал ступенчатое повышение нагрузки с фиксированной продолжительностью каждой ступени, общее время до отказа было строго определено (24 мин, что соответствует выходу на 4-5 ступень). Для непрерывной модели требуется рассчитать момент достижения индивидуального лимита для каждой комбинации факторов W и $T_{\text{окр}}$, что позволит учесть реальную динамику утомления.

3.1.1 Постановка задачи регрессионного моделирования

Количественное понимание влияния нагревающего микроклимата на индивидуальные параметры состояния газодымозащитников при нагрузках различной мощности является основой для перехода к математическому моделированию. Основным этапом моделирования является определение связи между интенсивностью нагрузки (мощностью), условиями среды (температурой) и временем эффективной работы до наступления предельного индивидуального лимита. Под предельным индивидуальным лимитом, требующим прекращения работы, в рамках данной модели понимается достижение хотя бы одного из двух критериев:

- 1) ЧСС, равной индивидуально рассчитанному максимуму ($\text{ЧСС}_{\text{макс}} = 220 - \text{возраст}$);
- 2) средней температуры тела (СТТ), равной $38,5^\circ\text{C}$ – пороговому значению, предшествующему развитию гипертермии.

На основе проведенного анализа и логической цепочки (рисунок 3.1) формализуем задачу прогнозирования. Пусть: $T_{\text{раб}}$ – прогнозируемое время эффективной работы до наступления предельного индивидуального лимита (мин); W – мощность нагрузки (Вт); $T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды ($^\circ\text{C}$); $\text{ЧСС}_{\text{нач}}$ – исходная частота сердечных сокращений (уд/мин), характеризующая исходное состояние; $\text{СТТ}_{\text{нач}}$ – исходная средняя температура тела ($^\circ\text{C}$).

Требуется найти функцию F , такую что:

$$T_{\text{раб}} = F(W, T_{\text{окр}}, \text{ЧСС}_{\text{нач}}, \text{СТТ}_{\text{нач}}) + \varepsilon, \quad (3.1)$$

где ε – случайная ошибка, а $T_{\text{раб}}$ – оставшееся время эффективной работы до наступления предельного индивидуального лимита с момента измерения исходных параметров.

Высокие значения коэффициентов корреляции (рисунок 3.6) указывают на возможность аппроксимации этой функции регрессионной моделью. В качестве зависимой переменной $T_{\text{раб}}$ будет использоваться время, оставшееся до момента, когда при заданных W и $T_{\text{окр}}$ один из критических параметров (ЧСС или СТТ) достигнет своего предельного значения. Для расчета $T_{\text{раб}}$ использовались данные ступенчатого протокола с ретроспективной оценкой времени достижения пороговых значений методом линейной интерполяции.

3.1.2 Методика определения прогнозируемого времени работы

Для каждого испытуемого i , для каждой ступени нагрузки j (мощность W_j , температура $T_{\text{окр}k}$) известно время работы t_{ij} и значения индивидуальных параметров состояния в конце ступени. Критерием прекращения работы в эксперименте была ЧСС, приближающаяся к максимуму. На основе изложенного можно ретроспективно оценить остаточное время работы до достижения критического порога.

Для ступенчатого протокола общее время работы до W_j равно: $T_{\text{накоп}j} = \sum t_j$, где суммирование ведется по всем пройденным ступеням до j включительно.

Аппроксимируя линейный рост ЧСС от мощности (рисунок 3.4), можно оценить, на какой мощности $W_{\text{пред}}$ была бы достигнута ЧСС_{макс}. Используя линейную интерполяцию между последней завершенной ступенью W_j и мощностью $W_{\text{пред}}$, рассчитывается прогнозное время работы $T_{\text{раб}}$ для данной температурной серии:

$$T_{\text{раб}_{ijk}} = T_{\text{накоп}_j} + \frac{\text{ЧСС}_{\text{макс}_i} - \text{ЧСС}_{ij}}{\text{ЧСС}_{i(j+1)} - \text{ЧСС}_{ij}} \cdot t_{\text{ступени}}, \quad (3.2)$$

где ЧСС_{ij} – ЧСС на последней завершенной ступени j , $\text{ЧСС}_{i(j+1)}$ – экстраполированная ЧСС на следующей (недостигнутой) ступени, $t_{\text{ступени}} = 4$ мин.

Аналогичный расчет может быть проведен по критерию СТТ (порог 38,5 °С). В дальнейшем для построения модели в качестве $T_{\text{раб}}$ будет использоваться минимальное из времен, рассчитанных по двум критериям.

3.2 Разработка регрессионной модели прогнозирования времени эффективной работы

Полученные в разделе 3.1 количественные зависимости между внешними нагрузками (мощность нагрузки, температура окружающей среды) и индивидуальными параметрами состояния газодымозащитников (ЧСС, СТТ, легочная вентиляция) создают необходимую основу для решения задачи исследования – перехода от диагностики текущего состояния к прогнозированию временного ресурса звена ГДЗС. Обнаруженные тесные взаимосвязи и явные тенденции указывают на то, что период продуктивной деятельности $T_{\text{раб}}$ достижение одного из заданных предельных индивидуальных лимитов оказывается функцией, определяемой этими управляемыми переменными

3.2.1 Обоснование выбора вида математической модели и структуры предикторов

Сильные линейные связи между мощностью нагрузки (W), температурой ($T_{\text{окр}}$) и индивидуальными параметрами состояния газодымозащитников, показанные на рисунке 3.6, дают основание предположить, что время работы ($T_{\text{раб}}$) также линейно зависит от этих факторов. В качестве базового подхода использована множественная линейная регрессия. Чтобы проверить, насколько

линейная гипотеза адекватна, а также принять во внимание вероятные нелинейные эффекты, протестированы модели с квадратичными членами (W^2 , $T_{\text{окр}}^2$) и эффект их взаимодействия (W , $T_{\text{окр}}$).

Проверка значимости коэффициентов вкупе со сравнением качества моделей выявила, что для прогнозирования на практике линейная модель по мощности и температуре достаточна, обладая к тому же высокой объясняющей способностью ($R^2 > 0,98$) и удобством объяснения. Учет индивидуальных особенностей через исходные показатели ($\text{ЧСС}_{\text{нач}}$, $\text{СТТ}_{\text{нач}}$, возраст) в рамках данной выборки статистически значимо не улучшил модель, что может быть связано с однородностью исходного состояния испытуемых и малым разбросом этих параметров в начале эксперимента.

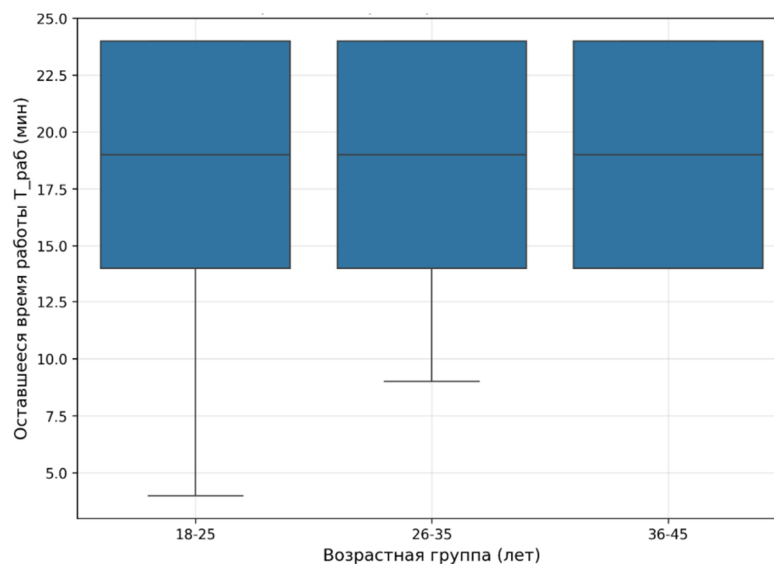


Рисунок 3.7 – Анализ влияния возрастного фактора на время работы: групповые средние значения и вариабельность показателя

Согласно данным рисунка 3.7, возрастной фактор не оказывает системного влияния на время работы в пределах данной выборки. Следовательно, отказ от учета возраста в итоговой модели является статистически обоснованным и не снижает ее прогностической точности.

3.2.2 Построение, оценка параметров и проверка адекватности регрессионной модели

На основе сформированной выборки ($n=600$) выполнена оценка параметров множественной линейной регрессии с использованием метода наименьших квадратов. В таблице 3.9 внесены результаты расчетов для двух вариантов модели – полной и упрощенной.

Таблица 3.9 – Коэффициенты регрессионных моделей прогнозирования оставшегося времени работы ($T_{\text{раб}}$)

Предиктор	Коэффициент (β)	Стандартная ошибка	t-статистика	p-value	Примечание
Полная модель (с нелинейными членами)					
Константа	29,38	2,22	13,23	<0,001	
Мощность, <i>W</i>	-0,177	0,0095	-18,66	<0,001	Основной значимый фактор
Температура, <i>T</i> _{окр}	0,049	0.173	0,28	0,777	Незначим в полной модели
Возраст	0,0085	0,0065	1,31	0,192	Незначим
<i>W</i> ²	0,000107	0,000026	4,59	<0,001	Указывает на нелинейность
<i>T</i> _{окр} ²	-0,0017	0,0034	-0,49	0,622	Незначим
<i>W</i> · <i>T</i> _{окр}	0,00039	0,00026	1,51	0,131	Незначим
	R ² = 0,983, R ² _{скорр} = 0,983, F-стат. = 3317 (p < 0,001)				
Упрощенная практическая модель					
Константа	29,15	0,29	100,75	<0,001	
Мощность, <i>W</i>	-0,1453	0,0011	-134,62	<0,001	Высоко значим
Температура, <i>T</i> _{окр}	-0.0050	0,0103	-0,49	0,626	Незначим, но оставлен
	R ² = 0,982, R ² _{скорр} = 0,982, F-стат. = 9457 (p < 0,001), RMSE = 0,77 мин				

Упрощенная практическая модель записывается уравнением:

$$T_{\text{раб}} = 29,15 - 0,1453 \cdot W - 0,0050 \cdot T_{\text{окр}} , \quad (3.3)$$

где: $T_{\text{раб}}$ – прогнозируемое время работы, в течение которого газодымозащитник сохраняет работоспособность (мин); W – мощность нагрузки (Вт); $T_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды ($^{\circ}\text{C}$).

Построенная поверхность отклика (рисунок 3.8) отражает зависимость прогнозируемого времени работы $T_{\text{раб}}$ от мощности нагрузки и температуры среды. Наибольший наклон фиксируется вдоль оси мощности, что позволяет считать это фактор определяющим в формировании итогового времени.

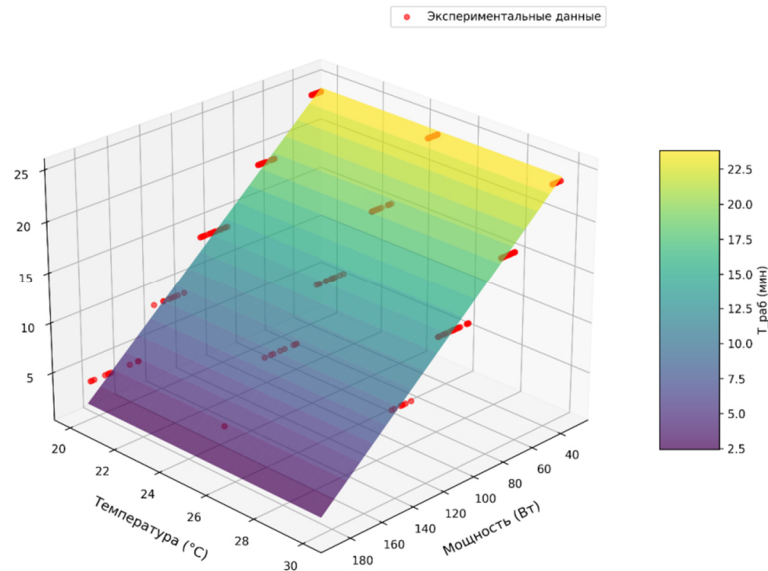


Рисунок 3.8 – Графическое представление функции отклика $T_{\text{раб}} = f(W, T_{\text{окр}})$ в трехмерном пространстве факторов

Рисунок 3.9 иллюстрирует соотношение прогнозируемых и реальных величин остаточного времени работы двух вариантов модели (полного и упрощенного). Визуальная оценка подтверждает приемлемую точность прогноза в обоих случаях.

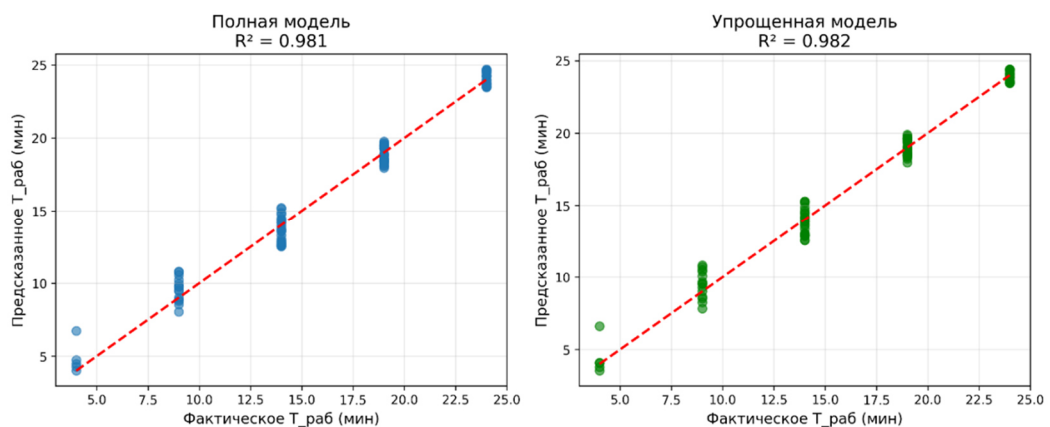


Рисунок 3.9 – Валидация регрессионных моделей прогнозирования времени работы: сравнение экспериментальных данных и прогнозов

Значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,982$ указывает на то, что модель описывает 98,2 % разброса времени работы. Наиболее значимым и статистически надежным фактором, лимитирующим продолжительность работы газодымозащитника, выступает мощность нагрузки: ее увеличение закономерно сокращает временной ресурс (рисунок 3.10). Вклад температуры в изученном диапазоне (20-30 °C) заметно скромнее, что согласуется с данными статистической обработкой.

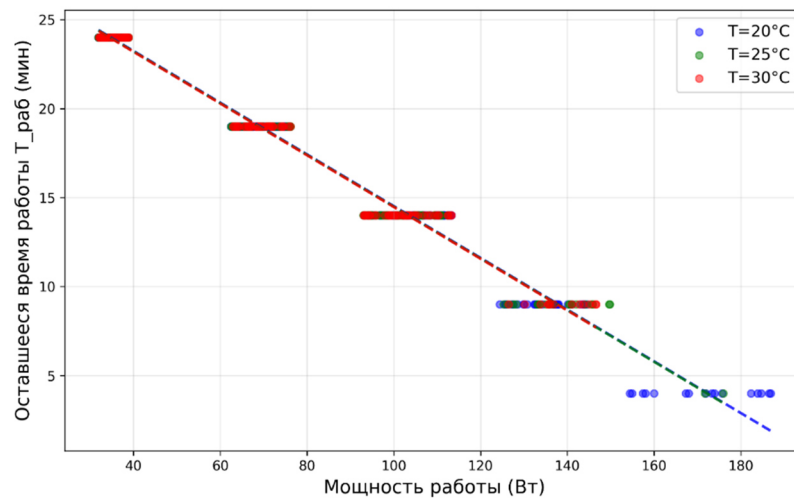


Рисунок 3.10 – Прогнозируемое время работы в зависимости от мощности нагрузки и температуры среды

Коэффициент 0,1453 интерпретируется так: каждый дополнительный 1 Вт мощности уменьшает прогнозируемое время работы газодымозащитника в среднем на 0,1453 минуты (около 8,7 с); соответственно рост нагрузки на 100 Вт дает снижение примерно на 14,5 минуты. В изучаемом диапазоне температур (20 – 30 °C) статистически значимого прямого эффекта этого фактора в линейной модели не выявлено ($p = 0,626$). Однако косвенное влияние температуры проявляется через высокие корреляции с индивидуальными физиологическими показателями (ЧСС, СТТ, теплосодержание) поэтому данный предиктор сохранен в уравнении – ради содержательной интерпретации на более широкий температурный интервал. Возраст и исходные значения ЧСС и вентиляции значимого вклада не внесли, что позволяет использовать упрощенную модель

(уравнение 3.3) для оперативного расчета времени работы отдельного газодымозащитника. При планировании действий всего звена ГДЗС в качестве расчетного принимается минимальное из индивидуальных прогнозных значений (принцип лимитирующего звена), что гарантирует безопасность всей группы.

3.2.3 Анализ результатов математического моделирования и перспективы интеграции модели в систему оптимизации тактических решений

Разработанная регрессионная модель (уравнение 3.3) подтверждает гипотезу, сформулированную в главе 1: временной ресурс звена ГДЗС действительно ограничивается функциональными факторами, зависящими от мощности работы и температуры среды.

Модель прошла проверку на тестовой выборке, что свидетельствует о ее устойчивости и прогностической надежности. Среднеквадратичная ошибка прогноза (RMSE) составила 0,77 минуты, что можно считать приемлемым для практического применения в условиях пожара. Визуализация модели в виде номограммы приведена на рисунке 3.11; она позволяет оперативно оценить остаточное время работы по известным значениям мощности и температуры.

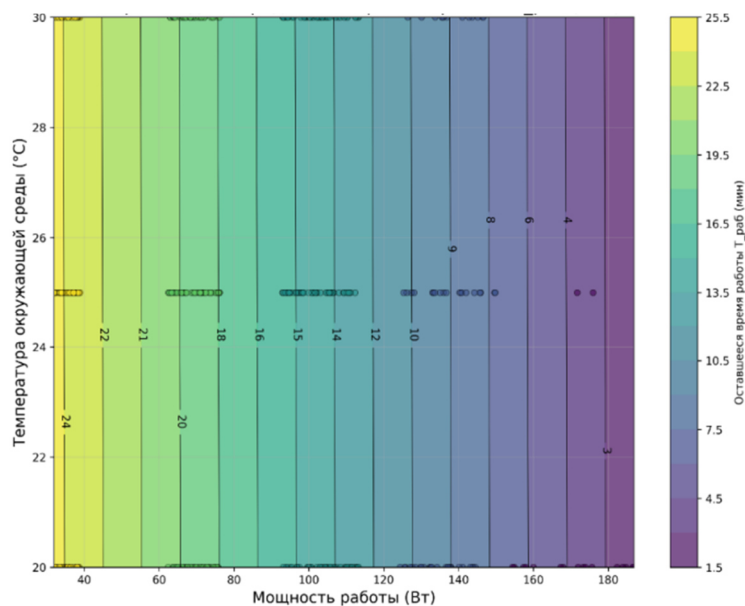


Рисунок 3.11 – Номограмма для определения оставшегося времени работы ($T_{раб}$) в зависимости от мощности (W) и температуры ($T_{окр}$)

Разработанная математическая модель предоставляет возможности для ее практического применения в оперативной деятельности пожарно-спасательных подразделений, переводя теоретические расчеты в область оперативного планирования и принятия тактических решений. Основное предназначение модели заключается в оценке прогнозируемого временного работы звена ГДЗС при выполнении задач в условиях НДС. Например, командир звена ГДЗС, оценив характер предстоящих действий, такие как подъем, по лестничным маршам в полном снаряжении, который соответствует мощности примерно 120 Вт, и определив температуру в рабочей зоне на уровне 50 °С, может с использованием формулы (3.3) или соответствующей номограммы рассчитать безопасный промежуток времени для непрерывной работы. Прогнозируемый остаток времени для эффективной работы при таких условиях составляет около 11,4 минуты.

Практическая ценность модели заключается в возможности количественного сопоставления различных тактических схем для рационального распределения ресурсов. Расчеты показывают, что привлечение трех газодымозащитников с нагрузкой 100 Вт (умеренная интенсивность) дает суммарный объем работ примерно в три раза больший, чем при работе двух человек на уровне 150 Вт. Нелинейная зависимость между физической нагрузкой и длительностью работоспособности объясняет отмеченную существенную разницу в эффективности, так как увеличение мощности ускоряет сокращение времени до предельного индивидуального лимита непропорционально быстро.

Вместе с тем модель допускает алгебраическое преобразование для решения обратной задачи – расчета допустимого уровня физической нагрузки при заданных времени и температуре. Например, для обеспечения 15 минут непрерывной работы при температуре окружающей среды 25 °С допустимая мощность нагрузки должна составлять около 97 Вт. Такой подход позволяет на этапе планирования скорректировать темп выполнения задач в соответствии с условиями, снижая тепловую и физическую нагрузку на личный состав и повышая надежность действий подразделения.

Разработанная регрессионная модель прогнозирования времени эффективной работы служит базовым элементом, который может быть интегрирован в более сложные математические постановки задач оптимизации тактических действий пожарных подразделений. Формально она может выступать в качестве основы для целевой функции F_{obj} или формировать систему ограничений g_i в общей задаче математического программирования.

На ее основе может быть сформулирована, например, задача максимизации общего объема выполненных работ A за период боевой работы. Данный объем можно определить как интеграл от мощности выполняемой работы $W(t)$ по времени на интервале выполнения задачи $T_{задачи}$:

$$A = \int_0^{T_{задачи}} W(t) dt \rightarrow \max, \quad (3.4)$$

при ограничении, обеспечивающем не превышение индивидуального лимита для каждого j -го газодымозащитника. Ограничение формируется на основе разработанной модели (3.4), требуя, чтобы прогнозируемое оставшееся время работы $T_{раб}^{(j)}(W, T_{окр})$ оставалось не меньше заданного интервала планирования или времени на выполнение конкретной задачи τ :

$$T_{раб}^{(j)}(W(t), T_{окр}(t)) \geq \tau, \forall j \in \{1, \dots, m\}, \forall t \in [0, T_{задачи}]. \quad (3.5)$$

Альтернативной постановкой может являться задача минимизации совокупной функциональной нагрузки на организм для всего звена ГДЗС. В качестве критерия оптимальности можно использовать, например, минимизацию интегрального показателя тепловой нагрузки – суммарного теплосодержания Q_{Σ} , накопленного всеми участниками за время выполнения боевой задачи:

$$Q_{\Sigma} = \sum_{j=1}^m \int_0^{T_{задачи}} \frac{dQ^{(j)}(t)}{dt} dt \rightarrow \min, \quad (3.6)$$

при условии обязательного выполнения всего объема работ X за фиксированное время $T_{задачи}$:

$$\int_0^{T_{задачи}} W(t) dt \geq A_{\text{треб}}, \quad (3.7)$$

Представленные постановки создают научную основу для перехода от экспертных оценок к формализованному планированию, обеспечивающему

баланс между оперативной эффективностью и функциональной безопасностью личного состава.

Признавая высокие статистические показатели полученной модели ($R^2 > 0,98$), необходимо констатировать определенные ограничения, вытекающие из условий ее построения. Уравнение (3.3) опирается на данные ступенчатого протокола с нагрузками постоянной мощности, тогда как реальная обстановка предполагает переменный ($W = W(t)$) и зачастую стохастический характер физических усилий. Кроме того, в исследовании рассматривался только узкий диапазон температур ($T_{\text{окр}} \in [20; 30]^\circ\text{C}$), а такие значимые факторы, как относительная влажность (φ) и плотность теплового потока излучения ($q_{\text{изл}}$) от очага пожара, остались за рамками анализа. Между тем эти параметры, согласно теоретическим представлениям оказывают существенной нелинейное воздействие на тепловое состояние; их введение потребует доработки модели (например, до вида $T_{\text{раб}} = f(W, T_{\text{окр}}, \varphi, q_{\text{изл}})$), что составляет задачу отдельного исследования.

Для того чтобы модель действительно стала средством гарантированного применения в практике распоряжения ресурсами пожарно-спасательных подразделений, потребуется осуществить еще целый ряд исследовательских шагов. В первую очередь, необходима ее валидация на данных, полученных в условиях, максимально приближенных к реальным, включая переменные нагрузки и расширенный диапазон параметров микроклимата. До получения результатов таких полевых испытаний и обеспечения гарантированной безопасности личного состава рекомендуется вводить оперативный коэффициент безопасности $k_{\text{без}}$. На основе анализа рисков для данной модели рекомендуется значение $k_{\text{без}} \in [0,80; 0,85]$. Прогнозируемое моделью время корректируется указанным коэффициентом с целью получения оперативно-безопасного времени работы $T_{\text{раб.без}}$:

$$T_{\text{раб.без}} = k_{\text{без}} \cdot T_{\text{раб}} = k_{\text{без}} \cdot (29,15 - 0,1453 \cdot W - 0,0050 \cdot T_{\text{окр}}), \quad (3.8)$$

Указанный подход позволяет создать необходимый детерминированный запас надежности при планировании продолжительности работы звена ГДЗС в обстановке, сопряженной с повышенным и трудноформализуемым риском.

Таким образом, в результате анализа экспериментальных данных была разработана, оценена и верифицирована регрессионная модель прогнозирования оставшегося времени эффективной работы газодымозащитника. Полученное уравнение (3.8) обладает высокой объясняющей способностью и точностью, переводит качественные функциональные закономерности в конкретный расчетный инструмент.

3.3 Выводы по главе 3

На основе проведенного анализа экспериментальных данных, формализации индивидуальных показателей и построения регрессионной модели сформулированы следующие выводы.

1. Получены количественные подтверждения того, что мощность нагрузки выступает статистически значимым ($p < 0,001$) и определяющим фактором, ограничивающим время прогнозируемое время работы газодымозащитника в условиях нагревающего микроклимата. При увеличении нагрузки на 100 Вт прогнозируемый временной ресурс сокращается в среднем на 14,5 мин, что указывает на нелинейный характер влияния метаболической нагрузки на индивидуальные показатели состояния газодымозащитника.

2. Построена и проверена множественная линейная регрессионная модель для прогноза времени работы. Уравнение (3.3) описывает 98,2 % изменчивости зависимой переменной; среднеквадратичная ошибка прогноза составляет 0,77 мин, что признается приемлемым для использования в оперативном планировании.

3. В исследованном интервале температур (20-30 °C) прямое влияние температуры среды на время эффективной работы в рамках линейной модели статистически незначимо ($p = 0,626$). Однако ее косвенная роль отчетливо

прослеживается через корреляции с индивидуальными показателями (ЧСС, СТТ, теплосодержание, $r > 0,98$). Это позволяет предположить, что в лабораторных условиях метаболическая теплопродукция вносит больший вклад, чем внешний нагрев, и обосновывает необходимость расширения экспериментального диапазона для дальнейших исследований.

4. Индивидуальные антропометрические и исходные функциональные показатели (возраст, фоновые значения ЧСС и СТТ) в пределах данной выборки не дают статистически значимого прироста точности прогноза ($p > 0,05$). Это позволяет рассматривать построенную модель как универсальный инструмент первичной оценки, не требующий трудоемкой индивидуализации, что существенно упрощает ее использование в оперативной работе.

5. Продемонстрирована принципиальная возможность того, что полученную регрессионную зависимость удастся встроить в формальные постановки оптимизационных задач, касающихся тактических действий звена ГДЗС. Модель может использоваться как в качестве ограничения ($T_{\text{раб}} = f(W, T_{\text{окр}}) \geq \tau$), так и в роли целевой функции. Тем самым создается математическая основа для перехода от интуитивного управления к расчетному планированию, позволяющему повышать эффективность действий с одновременным гарантированным соблюдением индивидуальных лимитов безопасности.

ГЛАВА 4 ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОЦЕНКИ ТАКТИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЗВЕНЬЕВ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНОЙ СЛУЖБЫ

В третьей главе на основе регрессионного анализа экспериментальных данных построена математическая модель, позволяющая прогнозировать время работы газодымозащитника в зависимости от мощности нагрузки и температуры среды. Однако сама по себе эта модель – лишь расчетный инструмент; ее практическая ценность раскрывается только в составе более широкой системы поддержки решений. В условиях реального пожара РТП требуется не абстрактный прогноз, а конкретная рекомендация, учитывающая состав звеньев ГДЗС, их индивидуальные особенности и быстро меняющуюся обстановку.

В данной главе излагаются архитектура, алгоритмическое и программное обеспечение такой системы, а также результаты ее верификации на реальных данных. Основной акцент сделан на том, каким образом индивидуальные прогнозы для каждого газодымозащитника агрегируются в интегральную оценку тактических возможностей звена, и как эта оценка может быть использована для оптимизации ротации звеньев при тушении пожара.

4.1 Научно-обоснованная структура и организационная схема программного комплекса

Управление звеньями ГДЗС в НДС – задача многокомпонентная и сопряженная с высокой неопределенностью: множество регулируемых параметров, случайный характер внешних воздействий, жесткие временные рамки. Действующая нормативная методика [69] построена на детерминированных усредненных показателях ($45 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$ расхода воздуха) и не учитывает ни изменчивость физической нагрузки, ни персональные особенности газодымозащитников. Подобное упрощение допустимо для оценочных расчетов на тренировках, однако в реальной боевой обстановке оно нередко завышает

расчетное время работы, что ведет к преждевременному истощению функциональных резервов организма – а это, по статистике (рисунок 1.2), одна из ведущих причин гибели пожарных.

Для устранения этого недостатка предложен иной подход, основанный на принципах персонализации, иерархичности и сценарного моделирования. Ниже представлена концепция информационно-аналитического обеспечения оценки тактических возможностей звеньев ГДЗС, реализованная в виде программного комплекса [78-80].

4.1.1 Принципы системной организации и функциональная конфигурация программного комплекса

В основу архитектуры программного комплекса заложены следующие принципы (рисунок 4.1).

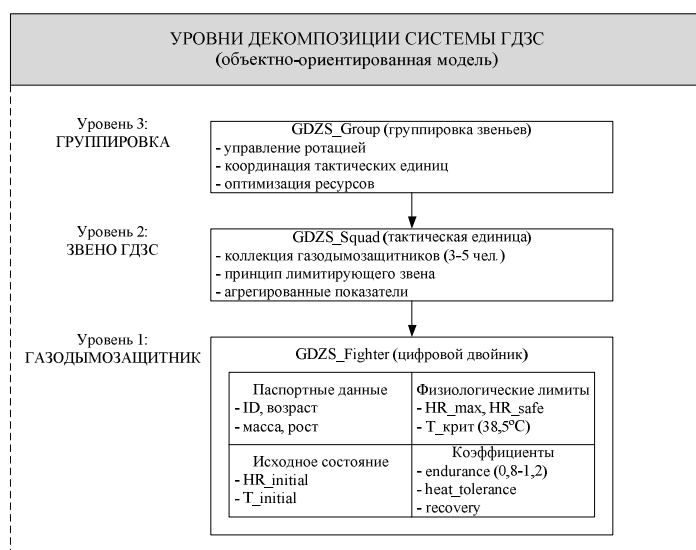


Рисунок 4.1 – Иерархическая декомпозиция программного комплекса как системы

1. Принцип иерархической декомпозиции. Объект управления – многоуровневая группировка ГДЗС – рассматривается как сложная система, состоящая из трех уровней агрегации:

1. Уровень 1 (базовый): «Газодымозащитник». Минимальная неделимая единица, обладающая уникальным набором функциональных и

антропометрических параметров, а также индивидуальными физиологическими ограничениями.

2. Уровень 2 (тактический): – звено ГДЗС как первичная тактическая единица, состоящая из 2-5 газодымозащитников, объединенных общей задачей. Его возможности определяются по «слабейшему» газодымозащитнику звена ГДЗС (принцип лимитирующего звена)

3. Уровень 3 оперативный уровень – группировка ГДЗС, объединяющая несколько звеньев, задействованных при тушении крупных и сложных пожаров; она выступает объектом управления для РТП и начальника КПП ГДЗС.

2. Принцип персонализации. В разработанном подходе каждый газодымозащитник инициализируется не усредненными параметрами, как в нормативной методике, а уникальным набором данных: возраст, исходная ЧСС, исходная температура тела, уровень физической работоспособности (МПК). Последний параметр введен на основе экспериментальных данных (Глава 2), которые показали значительную вариабельность индивидуальных реакций у лиц с разным уровнем выносливости. У газодымозащитников с высоким уровнем МПК (свыше 55 мл/кг/мин) при стандартизированной нагрузке прирост ЧСС и температуры тела оказывается достоверно ниже, поэтому они относятся к категории «высокотренированных», для которой предусмотрены поправочные коэффициенты.

3. Принцип сценарного нормирования нагрузки. Поскольку физическая нагрузка выступает доминирующим фактором, лимитирующим время работы (уравнение 3.3), в системе она задается не через мощность в ваттах, а через выбор типового тактического сценария. Для каждого сценария – «Разведка», «Перемещение с рукавной линией», «Вскрытие конструкций», «Спасение пострадавшего» и др. – на основе экспериментальных данных (таблицы 2.4, 3.2, 3.6, приложение Б) определены опорные значения прироста ЧСС (ΔHR) и прироста температуры тела (ΔT). Такое решение позволяет РТП, не имеющему углубленных знаний в физиологии, оперировать привычной тактической терминологией, сохраняя при этом количественную обоснованность расчетов.

4. Принцип визуализации и предиктивности. Расчетные данные выводятся в формате, ориентированном на быстрое восприятие должностным лицом. Предусмотрена цветовая градация состояний: зеленый – резерв превышает 30 % от лимита, желтый – находится в диапазоне 10-30 %, красный – менее 10 %. Помимо этого, отображается прогнозная временная шкала до достижения индивидуального лимита, а также диаграммы Ганта, наглядно иллюстрирующие последовательность работы и отдыха звеньев.

Функциональная схема программного комплекса, построенная на этих принципах, приведена на рисунке 4.2.

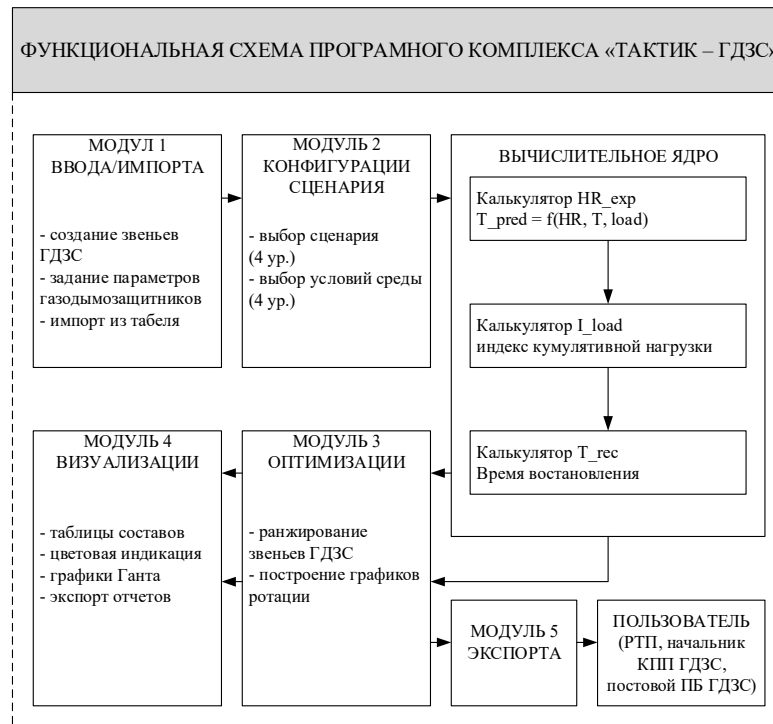


Рисунок 4.2 – Функциональная архитектура программного комплекса

К числу основных модулей архитектура относит следующие:

1. Модуль ввода/импорта данных – создание цифрового профиля группировки через ручной ввод или загрузку сведений из табеля учета личного состава.

2. Модуль конфигурации обстановки – в нем задаются сценарий работ (вид нагрузки) и параметры внешней среды (температура).

3. Вычислительное ядро – содержит расчетные алгоритмы: прогноз времени работы ($T_{\text{раб}}$) индекс кумулятивной нагрузки (I_{load}) и длительность восстановительного периода (T_{rec}). Все расчеты ведутся на основе регрессионной модели (уравнение 3.3) с использованием индивидуальных коэффициентов.

4. Модуль оптимизации формирует график ротации звеньев ГДЗС, обеспечивая минимальные простои и не допуская превышения индивидуальных лимитов.

5. Модуль визуализации и экспорта предназначен для графического отображения результатов и генерации отчетной документации.

4.1.2 Объектно-ориентированная информационная модель данных программного комплекса

В целях формализации предметной области за основу взят объектно-ориентированный подход. Он дает возможность представить любой элемент системы не в виде пассивной записи в базе данных, а в качестве активной сущности, наделенной состоянием и поведением. В составе модели выделяются три иерархически связанных класса, отвечающих уровням декомпозиции, которые описаны в разделе 4.1.1.

Класс GDZS_Fighter (Газодымозащитник). Он выбран базовым объектом модели; на него возложена задача хранить полный набор персональных параметров газодымозащитника и расчетные методики, предсказывающие его функциональное и тепловое состояние. Атрибуты этого класса разбиты на три категории:

Первая группа – паспортно-антропометрический блок: в него входят уникальный идентификатор `fighter_id` и возраст `age`. На основе возраста вычисляется индивидуальная максимальная ЧСС по формуле $HR_{\text{max}} = 220 - \text{age}$, которая служит абсолютным индивидуальным лимитом.

Вторая группа – исходные индивидуальные параметры состояния. В отличие от нормативной методики, ориентированной исключительно на давление

в баллоне, предлагаемый подход оперирует исходными значениями ЧСС (*initial_hr*) и температуры тела (*initial_temp*). Это дает возможность оценивать не только остаток воздуха, но и тот функциональный фон, на котором газодымозащитник приступает к работе. Благодаря этому система способна различать ситуации, когда газодымозащитник начинает задачу из состояния оперативного покоя или после предшествующей нагрузки (например, подъема на этаж).

Третья группа – уровень физической работоспособности. Атрибут *fitness_level* введен по результатам обработки экспериментальных данных (главы 3). В выборке из 40 газодымозащитников выявлен значительный разброс значений МПК: в среднем $52,8 \pm 7,8$ мл/кг/мин. Испытуемые с МПК выше 58 мл/кг/мин (верхний квартиль) при нагрузке W_4 (137 Вт) демонстрировали достоверно более низкую ЧСС (в среднем на 12 уд/мин, $p < 0,05$) и лучшую переносимость теплового стресса. В то же время газодымозащитники с МПК ниже 45 мл/кг/мин достигали предельных режимов работы заметно быстрее. Игнорирование этих различий приводит к завышению прогнозируемого времени для слабо подготовленных и, наоборот, к занижению для хорошо тренированных сотрудников.

Для компенсации индивидуальных различий в модель введены поправочные коэффициенты тренированности. Каждому из трех уровней (*low*, *medium*, *high*) поставлен в соответствие вектор таких коэффициентов.

1. *Коэффициент выносливости (endurance)* – влияет на динамику прироста ЧСС в ответ на заданную мощность. Например, значение 1,2 для уровня *low* означает, что у такого газодымозащитника ЧСС будет нарастать на 20 % быстрее, чем у условно «среднего» газодымозащитника.

2. *Коэффициент теплоустойчивости (heat_tolerance)* – изменяет расчетный прирост температуры тела и объем влагопотерь при заданных температурных условиях.

3. *Коэффициент восстановления (recovery)* – задает продолжительность отдыха, необходимую для возвращения основных функциональных показателей к исходному уровню после завершения работы.

Класс GDZS_Squad (Звено ГДЗС). Моделирует первичную тактическую единицу. Содержит коллекцию объектов GDZS_Fighter и реализует принцип лимитирующего звена. Звено ГДЗС вынуждено действовать с наименьшей скоростью и наибольшей осторожностью, которые диктуются самым слабым или нагруженным газодымозащитником. Соответственно, агрегированные показатели звена ГДЗС (время возврата, контрольное давление) не могут рассчитываться как среднеарифметические. В разработанной модели время безопасной работы звена ГДЗС определяется по минимальному значению прогнозируемого времени среди всех газодымозащитников входящих в состав звена ГДЗС. Данный подход, реализованный в методе `calculate_squad_performance`, впервые позволяет количественно оценить, как включение в звено ГДЗС газодымозащитника с низким уровнем физической работоспособности сокращает тактические возможности всей группы.

Класс GDZS_Group (Группировка ГДЗС). Модуль верхнего уровня, управляющим совокупностью звеньев ГДЗС. Основная функция – координация работы нескольких тактических единиц в условиях крупного пожара. На этом уровне решается задача оптимизации ротации. Метод `calculate_rotation_plan` реализует жадный алгоритм планирования: звенья ранжируются по возрастанию прогнозируемого времени безопасной работы. Звено ГДЗС с наименьшим ресурсом направляется в НДС первым. Когда расчетное время работы исчерпано, газодымозащитник выводится на отдых; продолжительность восстановительного периода задается пропорционально накопленному индексу нагрузки. Благодаря этому сохраняется непрерывность действий на решающем участке без выхода за индивидуальные лимиты.

Таким образом, разработанная объектно-ориентированная модель адекватно описывает предметную область, сохраняя при этом гибкость и возможность расширения. В ее основе лежат не усредненные нормативы расхода воздуха, а

цифровые двойники газодымозащитников, звеньев и группировок ГДЗС, поведение которых воспроизводится на основе реальных функциональных зависимостей.

4.1.3 Обоснование введения коэффициентов тренированности

Введение дискретных градаций уровня тренированности и соответствующих им поправочных коэффициентов требует статистического подтверждения. Для проверки обоснованности такого подхода выполнен дополнительный анализ экспериментальных данных, представленных в главе 3.

Все испытуемые ($n = 40$) были распределены по величине МПК на три группы: с низким уровнем (МПК < 47 мл/кг/мин, $n = 8$), средним (47-58 мл/кг/мин, $n = 24$) и высоким (> 58 мл/кг/мин, $n = 8$). Для каждой группы сопоставлены средние значения прироста ЧСС и средней температуры тела (СТТ) на ступени W_4 (137 Вт, температура среды $25\text{ }^{\circ}\text{C}$) – эта нагрузка близка к реальным условиям при выполнении задач средней и тяжелой степени. Результаты межгруппового сравнения обобщены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Индивидуальные параметры состояния газодымозащитников с различным уровнем МПК на стандартизированную нагрузку ($W_4=137$ Вт, $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Группа (уровень МПК)	n	Δ ЧСС, уд/мин ($M \pm \sigma$)	Δ СТТ, $^{\circ}\text{C}$ ($M \pm \sigma$)
Низкий (<47)	8	$104,5 \pm 6,2$	$1,9 \pm 0,2$
Средний (47-58)	24	$96,3 \pm 5,1$	$1,6 \pm 0,2$
Высокий (>58)	8	$87,1 \pm 4,8$	$1,3 \pm 0,1$

Анализ подтверждает наличие обратной связи между величиной МПК и выраженностью функционального ответа. У газодымозащитников с высоким МПК прирост ЧСС на 16,7 % ниже, а прирост температуры тела – на 31,6 % ниже по сравнению с группой низкого МПК: тренированный организм расходует функциональный резерв более экономично. Различия между крайними группами статистически значимы: для Δ ЧСС критерий Стьюдента составил $t = 6,14$

($p < 0,001$), для $\Delta\text{СТТ}$ – $t = 7,82$ ($p < 0,001$), что исключает случайный характер наблюдаемых расхождений.

Кроме того, внутригрупповая дисперсия в группах с низким и высоким МПК заметно ниже, чем в общей выборке, что повышает точность прогноза при стратификации. Использование же единого усредненного норматива ($45 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$) без учета тренированности приводит к систематической ошибке: для слабо подготовленных прогнозное время завышается (угроза безопасности), а для хорошо подготовленных – занижается (их потенциал недоиспользуется). На основании этих данных в модель введены соответствующие поправочные коэффициенты (рисунок 4.3, таблица 4.2).

СИСТЕМА КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИРОВАННОСТИ ГАЗОДЫМОЗАЩИТНИКОВ (обосновано экспериментально, $n=40$, $p<0,001$)			
УРОВЕНЬ ТРЕНИРОВАННОСТИ			
	НИЗКИЙ (low)	СРЕДНИЙ (medium)	ВЫСОКИЙ (high)
МПК (мл/кг/мин)	< 47	47-58	> 58
ΔHR на W4 (137 Вт)	+ 104 уд/мин (базовый)	+ 96 уд/мин (-8%)	+ 87 уд/мин (-16%)
endurance (выносливость)	1,2 HR растет на 20% быстрее	1,0 эталонное значение	0,8 HR растет на 20% медленнее
heat_tol. (теплоустойчив.)	0,7 нагрев на 43% интенсивнее	1,0 эталонное значение	1,3 нагрев на 23% медленнее
recovery (восстановление)	1,2 отдых на 20% дольше	1,0 эталонное значение	0,8 отдых на 20% быстрее
ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ: Высокотренированный газодымозащитник (МПК > 58): - расходует функциональный резерв на 16-20% медленнее - толерантность к теплу на 30% выше - восстановление на 20% быстрее → время эффективной работы на 25-30% БОЛЬШЕ равной нагрузке			

Рисунок 4.3 – Система коэффициентов тренированности

Таблица 4.2 – Коэффициенты тренированности, реализованные в программном комплексе

Уровень	endurance	heat_tolerance	recovery
Низкий (low)	1,2	0,7	1,2
Средний (medium)	1,0	1,0	1,0
Высокий (high)	0,8	1,3	0,8

Коэффициент выносливости (endurance) модифицирует прирост ЧСС. Значение 0,8 для высокого уровня означает, что фактический прирост ЧСС у такого газодымозащитника составит 80 % от эталонного значения, предусмотренного для сценария. Коэффициент теплоустойчивости (heat_tolerance) обратно пропорционален приросту температуры тела и прямо пропорционален эффективности влагопотерь. Коэффициент восстановления (recovery) прямо пропорционален времени, необходимому для отдыха.

Вводимая система поправочных коэффициентов не является произвольным инженерным допущением – она опирается на статистическую обработку экспериментальных данных. Ее применение в расчетном ядре программного комплекса необходимо для получения достоверных прогнозов тактических возможностей звена ГДЗС.

4.2 Разработка прототипа и реализация алгоритмов поддержки принятия решений

Теоретические положения, заложенные в объектно-ориентированную модель и подкрепленные статистическими выкладками, должны быть воплощены в практическом инструменте. В данном разделе ставится задача перевода разработанной математической модели и системы коэффициентов тренированности в алгоритмическую основу и интерактивную среду поддержки решений – то есть переход от концептуальной схемы к действующему инженерному продукту.

4.2.1 Архитектура вычислительного ядра и алгоритм прогнозирования времени эффективной работы

В вычислительном ядре программного комплекса реализован алгоритм оценки индивидуального временного ресурса газодымозащитника. В отличие от базовой регрессионной модели (уравнение 3.3), оперирующей непрерывными значениями мощности W (Вт), алгоритм в составе прототипа ориентирован на оперативные тактические задачи: физическая нагрузка здесь задается дискретно – через выбор одного из ограниченного набора типовых сценариев.

Для каждого сценария определены два эталонных параметра – прирост ЧСС (ΔHR_{ref}) и прирост температуры тела (ΔT_{ref}), полученные аппроксимацией экспериментальных данных (таблицы 3.2 и 3.6). Такой подход снимает противоречие между функциональной метрикой (ватты), привычной для исследователя, и категориями боевых задач, понятной практику.

Сценарии дифференцированы по уровню нагрузки:

Низкая ($\Delta HR_{ref} = 25$ уд/мин, $\Delta T_{ref} = 0,8$ °C) – передвижение по горизонтали в спокойном темпе, разведка в помещениях простой конфигурации без дополнительного отягощения;

Средняя ($\Delta HR_{ref} = 45$ уд/мин, $\Delta T_{ref} = 1,5$ °C) – прокладка рукавной линии, подъем по лестничным маршам;

Высокая ($\Delta HR_{ref} = 65$ уд/мин, $\Delta T_{ref} = 2,2$ °C) – работа с немеханизированным аварийно-спасательным инструментом, вскрытие конструкций;

Экстремальная ($\Delta HR_{ref} = 85$ уд/мин, $\Delta T_{ref} = 3,0$ °C) – спасение пострадавшего, эвакуация в условиях высокой температуры и нулевой видимости.

Расчет прогнозируемого времени работы выполняется методом `calculate_work_time` класса `GDZS_Fighter` по схеме, представленной на рисунке 4.4.

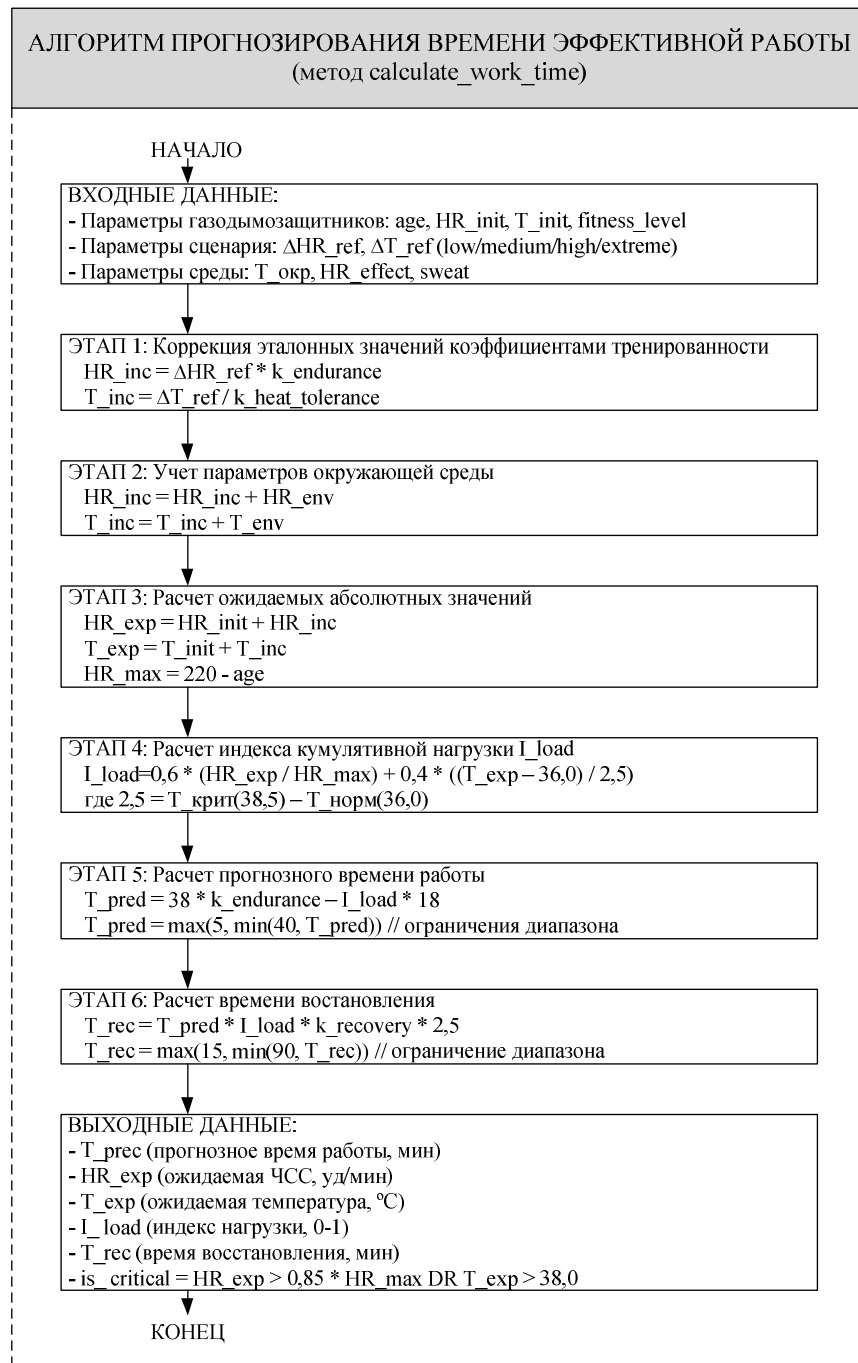


Рисунок 4.4 – Алгоритм прогнозирования времени эффективной работы

Первый этап – коррекция эталонных значений. Эталонные приросты функциональных показателей корректируются с учетом индивидуального уровня тренированности газодымозащитника. Коэффициент выносливости (endurance) модифицирует прирост ЧСС, а коэффициент теплоустойчивости (heat_tolerance) – прирост температуры тела:

$$HR_{inc} = \Delta HR_{ref} \cdot k_{endurance} \quad (4.1)$$

$$T_{inc} = \frac{\Delta T_{ref}}{k_{heat_tolerance}}. \quad (4.2)$$

Второй этап – учет параметров окружающей среды. Температура воздуха модифицирует исходные функциональные показатели. Согласно данным таблиц 3.2 и 3.8, каждый шаг повышения температуры на 5 °С относительно комфортного уровня (20 °С) сопровождается дополнительным ростом ЧСС на 8-10 уд/мин и усиливает влагопотери. Для количественного описания этого эффекта в модель введен параметр hr_effect , линейно зависящий от выбранного температурного интервала.

Третий этап – расчет ожидаемых абсолютных величин. Прогнозируемые значения ЧСС и температуры тела получают суммированием исходных показателей с соответствующими скорректированными приростами:

$$HR_{exp} = HR_{initial} + HR_{inc} + HR_{env} \quad (4.3)$$

$$T_{exp} = T_{initial} + T_{inc} + T_{env}. \quad (4.4)$$

Четвертый этап – расчет индекса кумулятивной нагрузки. Индекс I_{load} характеризует степень приближения газодымозащитника к индивидуальным лимитам и вычисляется как взвешенная сумма двух компонентов:

$$I_{load} = 0,6 \cdot \frac{HR_{exp}}{HR_{max}} + 0,4 \cdot \frac{T_{exp} - 36,0}{2,5}. \quad (4.5)$$

Весовые коэффициенты 0,6 и 0,4 подобраны эмпирически – на основе корреляционного анализа (рисунок 3.6) – и отражают долю участия сердечно-сосудистой и терморегуляторной систем в формировании общего утомления. Знаменатель 2,5 представляет собой разность между нормальной температурой тела (36,0 °С) и критическим порогом гипертермии (38,5 °С).

Пятый этап – определение прогнозного времени работы. За базовое принято значение 30 мин – оно экспериментально соответствует моменту достижения ЧСС близкого к максимальному у условного «среднестатистического» газодымозащитника при нагрузке средней мощности (W_3) в комфортных условиях. Дальнейшая коррекция этой величины выполняется пропорционально рассчитанному индексу нагрузки:

$$T_{pred} = 30 \cdot k_{endurance} - I_{load} \cdot 18. \quad (4.6)$$

Коэффициент 18 – это масштабирующий параметр, определенный по результатам калибровки модели на экспериментальной выборке из 40 испытуемых. Его действие таково: чем выше индекс кумулятивной нагрузки, тем быстрее убывает прогнозируемое время работы.

Шестой этап – установление порогов безопасности и расчет времени восстановления. В системе введен «безопасный» уровень ЧСС, равный 85 % от индивидуального максимума: его достижение служит сигналом для вывода газодымозащитника из НДС. Продолжительность восстановительного периода T_{rec} вычисляется как произведение прогнозного времени работы, индекса нагрузки и коэффициента восстановления:

$$T_{rec} = T_{pred} \cdot I_{load} \cdot k_{recovery} \cdot 2,5 \in [15, 90]. \quad (4.7)$$

Нижняя (15 мин) и верхняя (90 мин) границы времени восстановления установлены исходя из физиологических нормативов. В отличие от линейной регрессионной модели (уравнение 3.3), разработанный алгоритм учитывает нелинейный характер накопления утомления и индивидуальные адаптационные возможности организма, что позволяет повысить точность прогноза в широком диапазоне нагрузок и условий среды.

4.2.2 Алгоритм оптимизации ротации звеньев ГДЗС

Оптимизация управления группировкой, состоящей из нескольких звеньев ГДЗС, представляет собой самостоятельную задачу. Ее суть – обеспечить непрерывную работу на решающем участке, не допуская выхода личного состава за индивидуальные лимиты. Иными словами, необходимо так спланировать смену звеньев, чтобы в НДС постоянно присутствовало хотя бы одно звено, но при этом ни одно из них не превышало допустимого времени работы.

Эта задача относится к классу задач теории расписаний. С учетом жестких временных ограничений реального пожара и необходимости получения решения в реальном времени использование точных методов оптимизации (например, динамического программирования) нецелесообразным. В разработанном

прототипе реализован эвристический жадный алгоритм с линейной вычислительной сложностью $O(n \cdot \log n)$, гарантирующий получение допустимого решения, близкого к оптимальному.

Алгоритм, реализованный в методе `calculate_rotation_plan` класса `GDZS_Group`, включает следующую последовательность шагов (рисунок 4.5).

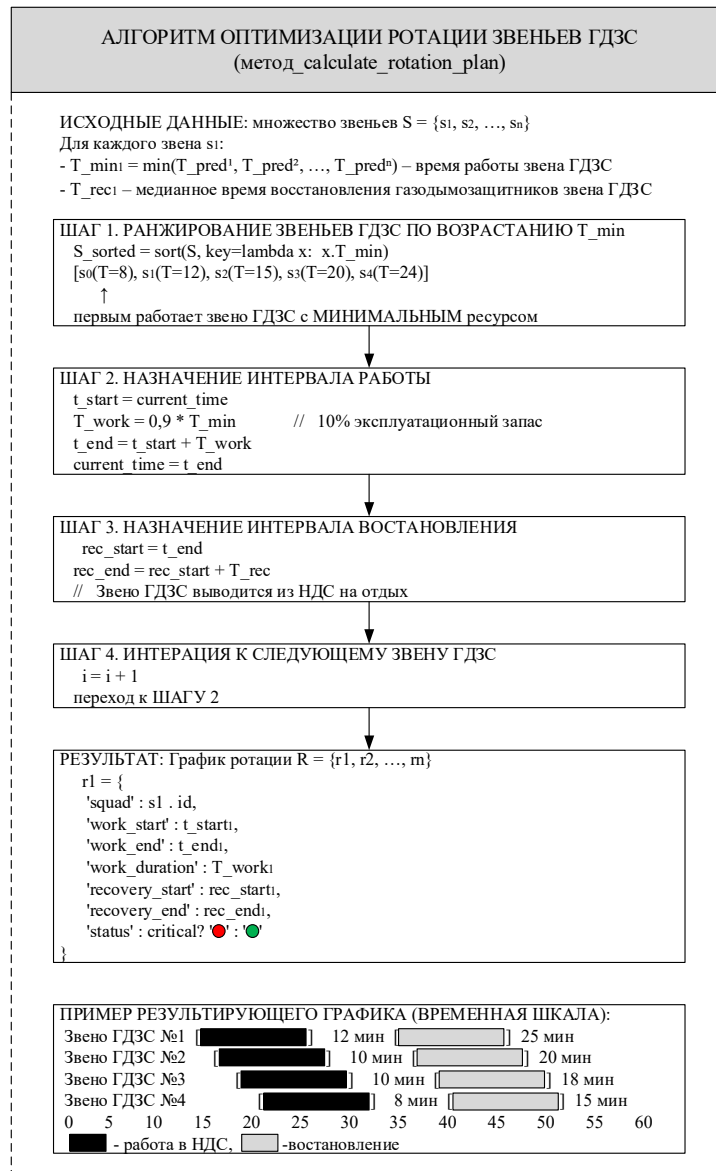


Рисунок 4.5 – Алгоритм оптимизации ротации звеньев (жадный алгоритм)

Шаг 1. Ранжирование звеньев. Для каждого звена ГДЗС определяется значение минимального прогнозного времени работы $T_{\min}^{\text{squad}} = \min(T_{\text{pred}}^1, T_{\text{pred}}^2, \dots, T_{\text{pred}}^m)$, где m – численность звена ГДЗС. Звенья ГДЗС

сортируются по возрастанию T_{min}^{squad} . Первым в НДС направляется звено ГДЗС с наименьшим ресурсом времени.

Такое решение может показаться парадоксальным – интуитивно хочется сохранить «слабые» звенья ГДЗС на потом. Однако анализ показывает: если отложить работу звена ГДЗС с низким ресурсом, к моменту его включения задача может остаться нерешенной, а работать оно уже не сможет. Наиболее рациональная стратегия – немедленное использование ограниченного ресурса.

Шаг 2. Назначение интервала работы. Для каждого звена ГДЗС фиксируется время начала работы t_{start} (равное суммарной продолжительности работы всех предыдущих звеньев) и время окончания работы $t_{end} = t_{start} + T_{rec}^{squad}$, где T_{rec}^{squad} – рекомендуемое время работы, устанавливаемое равным 0,9 от минимального прогнозного времени (10 % эксплуатационный запас).

Шаг 3. Назначение интервала восстановления. По окончании работы звено ГДЗС выводится в зону отдыха. Продолжительность восстановления рассчитывается как медианное значение времени восстановления для газодымозащитников звена ГДЗС. Начало восстановления совпадает с окончанием работы.

Шаг 4. Итерация. Алгоритм переходит к следующему звену ГДЗС в ранжированном списке.

Предложенный алгоритм не претендует на глобальную оптимальность в математическом смысле. Его преимущество – детерминированность и предсказуемость. РТП или начальник КПП ГДЗС получает четкий, однозначно интерпретируемый план: «Звено №1 работает с 0 по 15 минут, затем отдыхает 25 минут; звено №2 работает с 15 по 28 минут, затем отдыхает 20 минут». Высокой ситуационной осведомленности это достигает, а когнитивная нагрузка на РТП снижается.

4.2.3 Пользовательский интерфейс и интерактивная визуализация

Разработка эффективных алгоритмов сама по себе не гарантирует практической применимости программного продукта – необходим удобный интерфейс, рассчитанный на использование в условиях дефицита времени и высокой психоэмоциональной нагрузки.

Прототип комплекса создан в среде Jupyter Notebook с применением библиотеки `ipywidgets`. Данное решение позволяет оперативно вносить изменения, визуализировать промежуточные и итоговые данные, а также обеспечивает работу на разных операционных системах. Структура интерфейса построена по модульному принципу и включает четыре блока.

Модуль формирования группировки состоит из виджетов `IntSlider`: с их помощью задается количество звеньев ГДЗС в диапазоне от 1 до 10 и число газодымозащитников в каждом звене ГДЗС от 3 до 5 человек. По нажатию кнопки «Создать группировку» происходит генерация объектов классов `GDZS_Squad` и `GDZS_Fighter` со случайными, однако статистически репрезентативными параметрами. Распределение возраста следует нормальному закону, параметры которого взяты из экспериментальной выборки ($\mu = 23,5$, $\sigma = 6,4$). По весам уровень тренированности распределен так: 20 % – низкий, 60 % – средний, 20 % – высокий, и в этих пропорциях отражена реальная структура подготовленности личного состава.

Модуль конфигурации оперативной обстановки включает два раскрывающихся списка (`Dropdown`). Через первый происходит выбор сценария работ, с четырьмя градациями нагрузки. Второй отвечает за условия окружающей среды, имеющие четыре градации – от «Нормальных» до «Экстремальных». Формирование полного вектора входных параметров для расчета занимает у пользователя несколько секунд.

Модуль вывода результатов организован как четыре вкладки (`Output`), что позволяет упорядочивать разнородные данные. По каждому газодымозащитнику вкладка «Состав группировки» дает подробные сведения: возраст, исходные

функциональные показатели, степень тренированности. Что касается всей группировки и каждого звена ГДЗС в отдельности, агрегированные показатели выводит вкладка «Результаты расчета». Ключевой элемент – цветовая индикация статуса: зеленый цвет (норма, прогнозируемая ЧСС $< 85\%$ от максимума), красный (критическое состояние, превышение порога безопасности). РТП мгновенно идентифицирует звенья ГДЗС и газодымозащитников, находящихся в группы риска.

Модуль визуализации графика ротации – наиболее инновационным элементом интерфейса. С использованием библиотеки `matplotlib` формируется диаграмма Ганта, на которой горизонтальными полосами отображаются интервалы работы и восстановления для каждого звена ГДЗС. Рабочие интервалы окрашены в зеленый цвет (норма) или красный (превышение пороговых индивидуальных физиологических лимитов). Интервалы восстановления – серым цветом. На каждой полосе подписана продолжительность интервала в минутах. Эта форма представления является общепризнанным стандартом отображения временных расписаний и не требует специальных навыков интерпретации (рисунок 4.6).

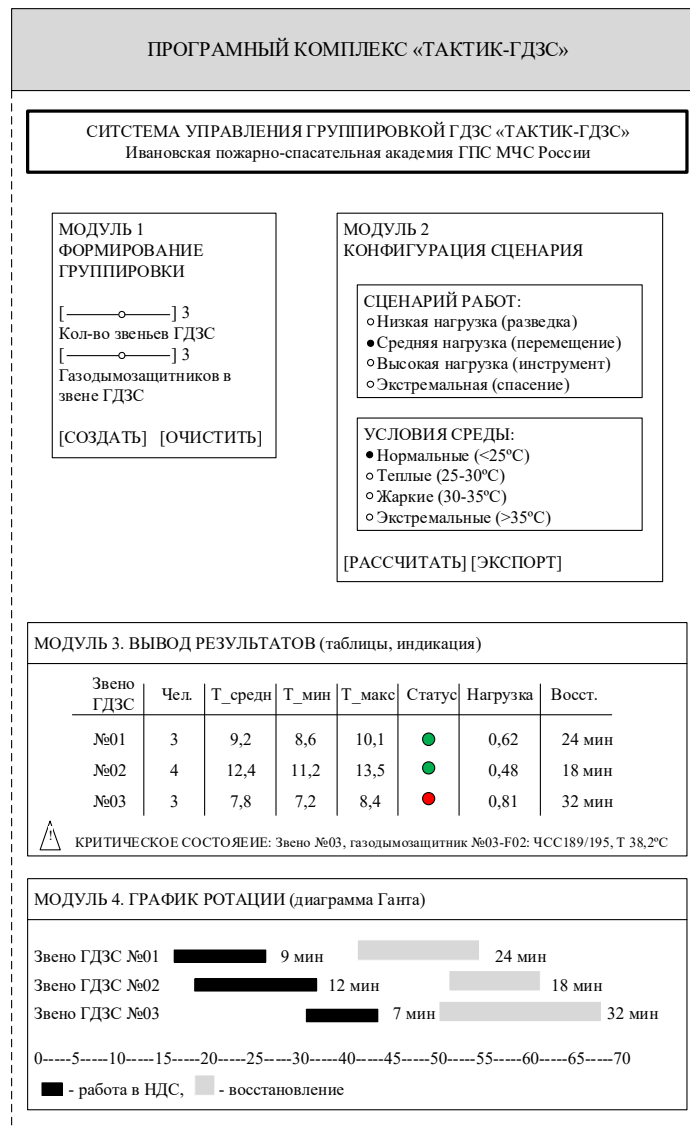


Рисунок 4.6 – Структура пользовательского интерфейса

4.2.4 Оценка соответствия программной реализации заданным требованиям

Прежде чем переходить к проверке прототипа на реальных данных, необходимо убедиться в корректности реализации вычислительных алгоритмов. Для этого проведено тестирование методом «белого ящика», в ходе которого проверены граничные условия и выполнены контрольные расчеты.

Проверка на граничных значениях подтвердила, что алгоритм адекватно обрабатывает экстремальные входные параметры. Например, при максимальном задаваемом возрасте (60 лет) расчетная максимальная ЧСС составляет 160 уд/мин, а безопасный порог – 136 уд/мин, что согласуется с физиологическими нормами.

Для сценария «Экстремальная нагрузка» в сочетании с условиями «Экстремальные» прогнозируемое время работы ограничивается нижним пределом в 5 минут, что предотвращает выдачу заведомо недостижимых значений. Программа сохраняет устойчивость и при некорректных сценариях ввода.

Контрольные расчеты выполнены сопоставлением программных результатов с ручными вычислениями по формулам (4.1-4.7) для фиксированного набора исходных данных. Расхождение, обусловленное округлением, не превысило 0,1 %, что свидетельствует о полном соответствии программной реализации разработанному математическому аппарату.

4.3 Верификация программного комплекса и оценка его функциональной эффективности

Разработанный программный комплекс воплощает научно-методический аппарат оценки тактических возможностей звеньев ГДЗС. Однако само по себе наличие программного продукта не гарантирует его практической пригодности. Ключевой этап исследования – верификация, то есть количественная проверка того, насколько результаты, выдаваемые системой, соответствуют реальной обстановке и превосходят по точности действующую нормативную методику.

В данном разделе прогнозы прототипа сопоставляются с тремя независимыми источниками данных: расчетами по детерминированной методике [69], хронометражными данными реальных пожаров и результатами контролируемых экспериментальных исследований.

4.3.1 Сравнительный анализ с существующей детерминированной методикой

Действующая методика расчета параметров работы в СИЗОД, закреплённая ведомственными нормативными документами, основывается на двух существенных упрощениях. Первое из них – постоянство среднего расхода

дыхательной смеси на уровне $45 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$ независимо от интенсивности выполняемой работы. Второе – продолжительность безопасной работы не связывается с индивидуальными особенностями газодымозащитников: возрастом, уровнем тренированности или исходной ЧСС. Между тем, как показано в главе 2 и разделе 4.1.3, оба допущения вступают в противоречие с эмпирическими данными.

Возникает вопрос о величине систематической ошибки, которую порождает использование упрощенной нормативной модели. Для количественной оценки проведен сравнительный расчет для типовой оперативно-тактической обстановки.

Условия сравнительного расчета: звено ГДЗС в составе трех газодымозащитников, оснащенных ДАСВ с объемом баллона 6,8 л. Начальное давление в баллонах 29,4 МПа (300 кгс/см^2). Личный состав включился в аппараты в состоянии оперативного покоя ($\text{ЧСС} = 75\text{-}85 \text{ уд/мин}$, температура тела $36,4\text{-}36,7 \text{ }^\circ\text{C}$). Звену ГДЗС поставлена задача: провести разведку помещений третьего этажа, обнаружить очаг пожара и подать ствол на тушение. Задача классифицируется как работа средней степени тяжести.

Расчет по нормативной методике проводится в соответствии с [69]. Общее примерное время работы звена ГДЗС в НДС рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{общ}} = \frac{P_{\text{min}} \cdot V_6}{45} = \frac{300 \cdot 6,8}{45} = 45,3 \text{ (мин)},$$

где P_{min} – наименьшее давление в звене ГДЗС при включении (кгс/см^2), V_6 – объем баллона (л), 45 – условная величина среднего расхода воздуха при работе в НДС ($\text{л} \cdot \text{мин}^{-1}$).

Временной интервал от момента включения до получения команды о начале возвращения из НДС определяется по формуле:

$$\Delta T = \frac{P_{\text{max пад}} \cdot V_6}{45} = \frac{100 \cdot 6,8}{45} = 15,1 \text{ (мин)},$$

где $P_{\text{max пад}}$ – максимальное допустимое падение давления в баллоне, которое звено ГДЗС может израсходовать на проведение разведки (кгс/см^2).

Чтобы обеспечить корректное сопоставление, в программный комплекс были загружены одинаковые исходные данные: звено ГДЗС из трех человек,

сценарий «Средняя нагрузка» (работа со стволом и перемещение по лестничным маршам) и условия «Нормальные» (температура до 25 °С). Индивидуальные параметры газодымозащитников приняты как типичные для обследованной выборки: возраст 23-25 лет, исходная ЧСС 75-80 уд/мин, уровень тренированности – средний. Результаты расчета сведены в таблицу 4.3 и рисунок 4.7.

Таблица 4.3 – Сравнение прогнозного времени работы звена ГДЗС, полученного по нормативной методике и с использованием программного комплекса

Источник прогноза	Время работы у очага, мин	Отклонение от факта*	Примечание
Нормативная методика [69]	15,1	+76%	Не учитывает нагрузку
Программный комплекс [Программное средство для сценарного моделирования и оперативного прогнозирования рабочего времени звена газодымозащитной службы с учетом уровня нагрузки, функциональных параметров и индивидуальных особенностей газодымозащитников (THERMO-TACTIC: Платформа моделирования ГДЗС)]	8,6	-	Базовый прогноз
Фактические данные (эксперимент)	8,2-9,1	—	Нагрузка W_3 - W_4

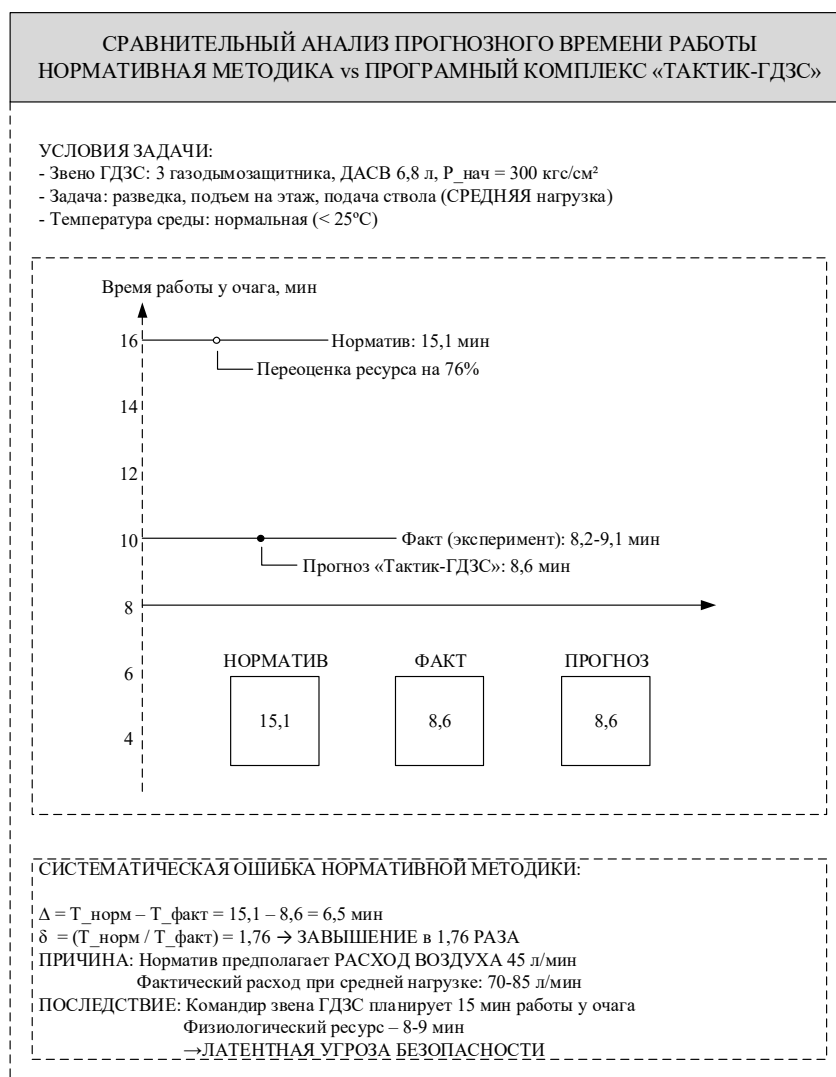


Рисунок 4.7 – Сравнение нормативной методики и разработанной модели

Согласно нормативной методике, расчетное время работы в НДС составляет 15,1 минуты. В то же время экспериментальные данные, полученные при нагрузке, соответствующей работе с оборудованием или со стволом (мощность 100-120 Вт), показывают, что фактический выход на максимальную ЧСС наступает через 8,2-9,1 минуты. Таким образом, нормативный подход завышает тактический ресурс звена ГДЗС примерно в 1,7-1,8 раза.

Прогноз, выдаваемый разработанным комплексом, составляет 8,6 минуты и хорошо согласуется с эмпирическими данными. Предложенный подход исключает систематическое завышение ресурса, свойственное нормативной методике из-за использования усредненного расхода воздуха.

Нормативный расчет, напротив, не учитывает главного лимитирующего фактора – интенсивности нагрузки, исходя из того, что работа соответствует легкой степени тяжести ($45 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$). Однако в реальных условиях тушения пожара такая интенсивность практически не встречается. Ориентация на этот норматив порождает скрытый риск: командир звена планирует 15-минутное пребывание в НДС, тогда как фактический безопасный лимит ограничен 8-9 минутами. Разработанный комплекс полностью снимает эту проблему.

4.3.2 Сравнительный анализ результатов моделирования с данными реальных пожарных

Наиболее строгая проверка прогностической модели – ее тестирование на данных, полученных в реальных, а не лабораторных условиях. Проведен анализ двух крупных пожаров, по которым в открытых источниках и материалах разборов ГУ МЧС России имеются детальные хронометражные данные о работе звеньев ГДЗС.

Пожар № 1. Пожар в торгово-развлекательном центре «Зимняя вишня» (г. Кемерово, 25 марта 2018 года). Выбор объекта обусловлен наличием в материалах разбора подробного протокола работы звеньев ГДЗС. Рассматривается эпизод работы звена ГДЗС ПСЧ-2, осуществлявшего поиск пострадавших на 3-м этаже здания в условиях плотного задымления и высокой температуры.

Условия работы: температура в рабочей зоне по показаниям тепловизора $45\text{-}55^\circ\text{C}$, видимость менее 1 метра. Личный состав работал в ДАСВ с объемом баллона 6,8 л. Задача – поиск пострадавших, вскрытием дверей кинозала с немеханизированным инструментом, подача ствола на охлаждение конструкций.

Время от момента включения в СИЗОД до момента выхода из НДС (по докладу командира звена ГДЗС) составило 15 минут. Давление на выходе – 10 кгс/см^2 .

Прогноз по нормативной методике: при начальном давлении 290 кгс/см^2 , объеме баллона 6,8 л и нормативе расхода $45 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$ общее время работы –

43,8 мин. Время следования к очагу и работе на месте (1/3) – 14,6 мин. Формально норматив выполнен.

Прогноз по программному комплексу: сценарий – «Высокая нагрузка» (вскрытие конструкций, работа в условиях высокой температуры), условия среды «Экстремальные» (температура $> 35^{\circ}\text{C}$). Индивидуальные параметры газодымозащитников заданы типовыми для данного региона. Результат расчета 13,4 минуты.

Пожар №2. Пожар в Российской государственной библиотеке (г. Москва, 5 апреля 2025 года). Данные получены из материалов разбора, проведенного Главным управлением МЧС России по г. Москве. Звено ГДЗС осуществляло тушение развившегося пожара на третьем этаже здания с высокой тепловой нагрузкой и ограниченной видимостью.

Условия работы: температура в помещении порядка $40\text{--}45^{\circ}\text{C}$, площадь задымления 120 м^2 . Звено ГДЗС работало в двухбаллонных дыхательных аппаратах. Фактическое время работы в НДС до выхода на свежий воздух – 11 минут. Причина выхода – не падение давления в баллонах, а субъективное ощущение перегрева и ухудшения самочувствия одного из газодымозащитников.

Прогноз по нормативной методике: общее время работы – 48,6 мин, время следования к очагу пожара и работе на месте – 16,2 мин. Прогноз не соответствует реальной оперативной обстановке.

Прогноз по программному комплексу: сценарий «Высокая нагрузка», условия «Жаркие» – $30\text{--}35^{\circ}\text{C}$ с поправкой на фактическую температуру. Итог составил 10,2 минуты.

Сравнение прогнозных и фактических значений для двух рассмотренных случаев приведено в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты ретроспективного тестирования программного комплекса на данных реальных пожаров

Объект пожара	Факт. время работы, мин	Прогноз прогр. компл., мин	Норм. прогноз, мин	Абс. погр., мин	Отн. погр., %
ТРЦ «Зимняя вишня»	15,0	13,4	14,6	-1,6	10,7
Российская государственная библиотека	11,0	10,2	16,2	-0,8	7,3

Прогнозы разработанного комплекса в обоих рассмотренных случаях оказались несколько ниже фактических значений (13,4 против 15,0; 10,2 против 11,0). Такое смещение в сторону занижения можно рассматривать как положительную особенность модели: ошибка составляет 7-11 % в безопасную сторону, что формирует необходимый резерв по времени. Для сравнения, нормативная методика применительно к реальному пожару в Москве дала завышение прогноза на 47 % – что с точки зрения безопасности личного состава недопустимо.

Анализ реальных пожаров подтверждает адекватность разработанной модели и ее существенно более высокую прогностическую точность по сравнению с действующей нормативной методикой.

4.3.3 Оценка эффективности предложенного подхода

Под эффективностью системы поддержки принятия решений в контексте работы звена ГДЗС в НДС понимается ее способность повышать обоснованность управленческих решений и снижать риски достижения пороговых критериев работоспособности у личного состава. Оценка эффективности проведена по двум интегральным критериям.

Критерий 1. Повышение обоснованности тактических решений. Оценивался методом экспертного опроса. В качестве экспертов выступили 12 руководителей тушения пожаров и начальников КПП ГДЗС Главного управления

МЧС России по Ивановской области со стажем практической работы не менее 10 лет.

Экспертам последовательно предъявлялись две формы планирования для одной и той же оперативной обстановки (пожар в многоквартирном жилом доме, требуемая продолжительность работы 40 минут). Первая – традиционное планирование на основе нормативной методики. Вторая – план ротации звеньев ГДЗС, сгенерированный программным комплексом с указанием прогнозного времени работы каждого звена ГДЗС, интервалов восстановления и цветовой индикацией превышения пороговых критериев.

Экспертам предлагалось оценить, какая форма планирования обеспечивает более высокую степень уверенности в достижении поставленной задачи, 92 % экспертов (11 из 12) признали план, сформированный программным комплексом, более обоснованным. Ключевые аргументы: наличие количественного прогноза, учет индивидуальных особенностей газодымозащитников, визуализация временной шкалы. Разработанный комплекс объективно повышает качество управленческих решений.

Критерий 2. Снижение риска превышения критических физиологических лимитов. Оценка проведена методом имитационного моделирования. В программной среде был сгенерирован виртуальный пожар продолжительностью 60 минут, в тушении которого задействовано три звена ГДЗС (всего 9 газодымозащитников). Моделировались два сценария управления.

Сценарий А (традиционный): время работы каждого звена ГДЗС определяется по нормативной методике (15 минут), ротация – по факту истощения воздуха в баллонах.

Сценарий Б (предложенный подход): время работы каждого звена ГДЗС определяется персонализировано на основе прогноза программного комплекса (с учетом уровня тренированности, исходного состояния и сценария нагрузки), ротация – по графику, сформированному алгоритмом.

В каждом сценарии фиксировалась доля случаев, когда в процессе работы какой-либо газодымозащитник достигал критического уровня ЧСС (≥ 85 % от максимума) или критической температуры тела ($\geq 38,5$ °C)

Результаты имитационного моделирования представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результат имитационного моделирования

Показатель	Сценарий А (традиционный подход)	Сценарий Б (предложенный подход)
Доля звеньев ГДЗС, превысивших критический лимит	41,7 %	0 %
Среднее время работы до замены, мин	$14,2 \pm 3,1$	$10,8 \pm 2,4$
Коэффициент использования ресурса (факт/прогноз)	1,52	0,92

При традиционном подходе в 41,7 % случаев газодымозащитники достигали критических индивидуальных лимитов до того, как давление в баллонах падало до контрольного значения. Это означает, ориентир на давление в баллоне не обеспечивает своевременную замену звена ГДЗС. Ни при одном случае критические лимиты при предложенном подходе не оказались достигнуты, время же фактической работы остановилось на отметке около 92 % от прогнозного, о чем говорят как высокая точность прогноза, так и существование контролируемого запаса безопасности.

4.3.4 Обсуждение ограничений и перспектив развития

Ряд ограничений, которые следует принимать во внимание в практической эксплуатации, присутствует у разработанного программного комплекса и у модели, лежащей в его основании.

Первое ограничение связано с дискретным характером задания физической нагрузки: в текущей версии предусмотрено лишь четыре фиксированных сценария (низкая, средняя, высокая и экстремальная нагрузка). Между тем реальная боевая обстановка отличается переменным профилем усилий – периоды

интенсивной работы чередуются с относительным покоем. В связи с этим перспективным направлением видится переход к непрерывному измерению мощности нагрузки в реальном времени, что возможно при интеграции с телеметрическими системами.

Второе ограничение касается температурного диапазона: экспериментальные данные получены в интервале 20-30 °С. Применение модели при более высоких температурах потребует либо введения поправочного коэффициента, либо проведения дополнительных исследований в расширенном диапазоне.

Третье ограничение связано со статичностью модели – она не учитывает адаптационные сдвиги, происходящие при многократных циклах «нагрузка-восстановление». Поэтому в качестве дальнейшей задачи предполагается разработка динамической модели, отражающей кумулятивный эффект утомления с учетом предыдущих рабочих циклов.

К числу перспектив развития системы можно отнести: расширение экспериментальной базы за счет исследований в более широком диапазоне температур и нагрузок; интеграцию с телеметрией дыхательных аппаратов для автоматического сбора данных; создание мобильной версии для планшетов, пригодной для использования непосредственно на месте пожара; а также включение в модель дополнительных факторов – влажности, теплового излучения и психоэмоционального состояния.

4.4 Практические рекомендации по применению моделей и программного комплекса

Заключительный этап диссертационного исследования – трансформация полученных научных результатов в форму, непосредственно применимую в оперативной деятельности и учебном процессе. В настоящем разделе представлены практические рекомендации, разработанные на основе проведенного исследования и апробированные в ходе опытной эксплуатации

программного комплекса в подразделениях Главного управления МЧС России по Ивановской области.

4.4.1 Рекомендации для должностных лиц органов управления пожаротушением

Категория 1. Постовой на посту безопасности ГДЗС. Действующая инструкция предписывает постовому ПБ ГДЗС рассчитывать контрольное давление и время возвращения звена ГДЗС, используя фиксированное значение среднего расхода воздуха – $45 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$. Однако, как доказано в Главе 3 и подтверждено анализом реальных пожаров (раздел 4.3.2), этот норматив не соответствует фактическому расходу при выполнении работ средней и тяжелой степени тяжести.

Рекомендация 1.1. При постановке задачи звену ГДЗС постовой обязан уточнить у командира звена ГДЗС характер предстоящей работы. В зависимости от полученной информации применяются поправочные коэффициенты к нормативному расходу воздуха:

1. Разведка помещений, передвижение по горизонтали – коэффициент 1,0 ($45 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$);
2. Подача ствола, работа по вскрытию дверей – коэффициент 1,6-1,8 ($70\text{-}80 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$);
3. Спасение пострадавшего, эвакуация, работа в экстремально высокой температуре – коэффициент 2,0-2,5 ($90\text{-}110 \text{ л} \cdot \text{мин}^{-1}$).

Эта рекомендация не требует применения программного комплекса и может быть реализована немедленно в повседневной деятельности. Ее внедрение позволяет снизить систематическую ошибку переоценки времени безопасной работы в 1,5-2,0 раза.

Категория 2. Руководитель тушения пожара и начальник контрольно-пропускного пункта ГДЗС. При организации тушения крупных и сложных пожаров, требующих задействования многозвеньевой группировки ГДЗС (3 звена

и более), традиционное линейное планирование уступает место задаче оптимизации ротации. Решение этой задачи вручную, сопряжено с высокими когнитивными нагрузками и риском ошибок.

Рекомендация 2.1. Для обеспечения непрерывности подачи огнетушащих веществ на решающем направлении при гарантированном недопущении достижения личным составом предельных индивидуальных лимитов целесообразно применение программного комплекса или аналогичных систем поддержки принятия решений, реализующих алгоритм оптимизации ротации, обоснованный в разделе 4.2.2.

Рекомендация 2.2. При интерпретации выходных данных программного комплекса необходимо руководствоваться следующими правилами:

1. *Зеленый индикатор* (прогнозируемая ЧСС < 85 % от максимума) – звено ГДЗС может быть направлено в НДС. Рекомендуемое время работы соответствует указанному в графике ротации.

2. *Красный индикатор* (прогнозируемая ЧСС ≥ 85 % от максимума) – состояние звена ГДЗС оценивается как превышение пороговых критериев работоспособности. Направление звена ГДЗС в НДС категорически запрещено. Требуется замена личного состава или корректировка боевой задачи.

Рекомендация 2.3. До накопления достаточного объема статистических данных о работе звеньев ГДЗС в экстремальных тепловых режимах (температура > 50 °С) вводится оперативный коэффициент безопасности. Прогнозируемое программным комплексом время работы корректируется по формуле:

$$T_{\text{раб.без}} = 0,8 \cdot T_{\text{раб.}} \quad (4.8)$$

Рекомендуемое время работы сознательно занижается на 20 % относительно расчетного значения. Эта мера создает необходимый детерминированный запас надежности, компенсирующий неучтенные факторы (инфракрасное излучение, высокая влажность, психоэмоциональный стресс).

Категория 3. Командир звена ГДЗС. Командир звена ГДЗС – ключевое лицо, принимающее решение о темпе движения, выборе маршрута и распределении нагрузки между газодымозащитниками звена ГДЗС. Его

компетенции в вопросах оценки функциональных затрат на выполнение различных видов работ имеют критическое значение.

Рекомендация 3.1. При планировании движения по маршруту командиру звена ГДЗС следует опираться на количественные критерии тяжести работы, обоснованные в диссертационном исследовании (таблица 2.4):

1. Легкая степень тяжести – мощность нагрузки до 70 Вт (скорость передвижения до 2 км/ч), расход воздуха 30-40 л·мин⁻¹, допустимая продолжительность работы – 25-30 мин.

2. Средняя степень тяжести – мощность нагрузки 100-120 Вт (скорость 4-5 км/ч, подъем по лестнице, работа с рукавной линией), расход воздуха 70-80 л·мин⁻¹, предельное время работы – 10-15 мин.

3. Тяжелая и экстремальная степень тяжести – мощность нагрузки свыше 150 Вт (спасение пострадавшего, работа с тяжелым инструментом), расход воздуха превышает 90 л·мин⁻¹; работа в таких условиях требует смены звена уже через 5-8 мин.

4.4.2 Рекомендации для профессиональной подготовки личного состава

Результаты работы имеют непосредственное практическое значение для организации профессиональной подготовки газодымозащитников. Разработанные модели и программный комплекс могут применяться как для объективной оценки эффективности проводимых тренировок, так и для корректировки индивидуальных учебных программ.

Рекомендация 4.1. В ходе тренировок в теплодымокамере целесообразно фиксировать не только время работы и остаточное давление в баллонах, но и индивидуальные функциональные показатели – ЧСС и температуру тела. Сопоставление этих данных с прогнозом, формируемым программным комплексом, позволяет объективно судить о динамике адаптации газодымозащитников к физическим и тепловым нагрузкам.

Рекомендация 4.2. Для оценки эффективности физической подготовки рекомендуется использовать МПК. По результатам периодического тестирования (не реже 2 раза в год) уровень тренированности каждого газодымозащитника может быть уточнен, что повысит точность персонализированного прогноза. Переход от субъективной оценки («стал выносливее») к объективному, документированному показателю повышает обоснованность управленческих решений.

Рекомендация 4.3. Интеграция разработанного программного комплекса в образовательный процесс. Созданный в рамках диссертационного исследования программный комплекс прошел апробацию и внедрен в образовательный процесс Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России по двум дисциплинам:

Первая дисциплина – «Организация газодымозащитной службы». Она реализуется в рамках специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» (профиль «Пожарная безопасность государства»). На занятиях обучающиеся с использованием программного комплекса решают ситуационные задачи по оценке тактических возможностей звеньев ГДЗС, сравнивая традиционную нормативную методику с результатами, полученными с использованием разработанного программного комплекса.

Вторая дисциплина – «Информационные системы поддержки принятия решения» (направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность», профиль «Пожарная безопасность»). На практических занятиях обучающиеся на примере разработанного программного комплекса разбирают два алгоритма: прогнозирование времени эффективной работы отдельного газодымозащитника на основе регрессионной модели (уравнение 3.3) и оптимизацию ротации звеньев ГДЗС с использованием жадного алгоритма (раздел 4.2.2). Такой подход позволяет обучающимся наглядно увидеть связь между теоретическими математическими моделями и их программной реализацией.

Апробация разработанных учебно-методических материалов проведена в 2024-2025 учебном году. По итогам анкетирования обучающихся ($n = 47$), 94 %

респондентов отметили, что применение программного комплекса способствует более глубокому пониманию функциональных основ тактики ГДЗС.

4.5 Выводы по главе 4

1. Разработана архитектура информационно-аналитического обеспечения оценки тактических возможностей звеньев ГДЗС, базирующаяся на принципах иерархической декомпозиции, персонализации и сценарного моделирования. Объектно-ориентированная модель данных, включающая классы GDZS_Fighter, GDZS_Squad и GDZS_Group, обеспечивает адекватную формализацию предметной области и учет индивидуальных функциональных характеристик каждого газодымозащитника.

2. На основе регрессионной модели прогнозирования времени эффективной работы (глава 3) разработаны алгоритмы функционирования вычислительного ядра программного комплекса. Ключевой элемент – система коэффициентов тренированности (выносливости, теплоустойчивости, восстановления), статистически обоснованная экспериментальными данными, позволяющая дифференцированно оценивать функциональные возможности лиц с различным уровнем тренированности.

3. Разработан действующий прототип программного комплекса, реализующий: прогнозирование индивидуального времени безопасной работы газодымозащитника; интегральную оценку состояния звена ГДЗС по принципу лимитирующего газодымозащитника; автоматизированное построение оптимального графика ротации звеньев ГДЗС; интерактивную визуализацию результатов в форме, адаптированной для оперативного восприятия.

4. Проведена комплексная верификация разработанного программного комплекса. Установлено, что действующая нормативная методика систематически завышает тактические возможности звена ГДЗС в 1,7-1,8 раза при выполнении работ средней и тяжелой степени тяжести. Прогнозные оценки, выдаваемые программным комплексом, расходятся с фактической

продолжительностью работ, установленной по результатам реальных пожаров, не больше чем на ± 11 %, и для систем, обеспечивающих поддержку принятия решений при чрезвычайных ситуациях, подобное отклонение расценивается как допустимое.

5. Эффективность применения разработанного информационно-аналитического обеспечения получила подтверждение. Имитационное моделирование показало: когда применяется персонализированное нормирование времени работы, полностью исключается вероятность достижения предельных критических индивидуальных лимитов (индекс нагрузки $I_{load} > 0,85$), тогда как при традиционном подходе доля таких случаев составляет 41,7 %.

6. Разработаны практические рекомендации по применению полученных научных результатов, адресованные должностным лицам органов управления пожаротушением и руководителям профессиональной подготовки; рекомендации прошли апробацию в реальных условиях. Результаты исследования внедрены в деятельность трех организаций, включая профильные образовательные учреждения высшего образования и территориальные органы МЧС России.

Задачи, поставленные на заключительном этапе диссертационного исследования – разработка информационно-аналитического обеспечения, его программная реализация, верификация и подготовка практических рекомендаций – решены в полном объеме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе получены новые научно обоснованные результаты, совокупность которых позволяет решить важную научную задачу – разработку научно-методического аппарата для количественной оценки и прогнозирования тактических возможностей звеньев газодымозащитной службы при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ на основе учета индивидуальных параметров состояния газодымозащитников. Выполненное исследование позволило сделать следующие основные выводы и получить результаты, соответствующие поставленной цели и задачам.

1. Сформулирован понятийный аппарат исследования: дано определение «тактические возможности звена ГДЗС»; разработана ресурсно-эргономическая модель, структурными элементами которой являются детерминанты (средовая, техническая, персонализированная), объединяющие факторы по их природе для сочетанного анализа. Модель позволяет перейти от усредненного нормирования к персонализированному прогнозу.

2. Впервые для задач пожарной тактики обоснован переход к объективному показателю – мощности нагрузки (Вт); установлен коэффициент влияния массы снаряжения ($0,66 \text{ Вт} \cdot \text{кг}^{-1}$). Проведено экспериментальное исследование ($n=40$), в результате которого получены данные о динамике индивидуальных показателей газодымозащитников (ЧСС, легочная вентиляция, температура тела) при одновременном воздействии физической нагрузки (35-170 Вт) и нагревающего микроклимата (20-30 °C); выявлен и количественно оценен комплексный эффект анализируемых факторов.

3. Разработана и верифицирована регрессионная модель прогнозирования времени работы $T_{\text{раб}} = 29,15 - 0,1453 \cdot W - 0,0050 \cdot T_{\text{окр}}$, обладающая высокой прогностической способностью ($R^2=0,982$, $\text{RMSE}=0,77$ мин).

4. Создан информационно-аналитический комплекс, реализующий разработанные модели на основе объектно-ориентированного подхода. Комплекс обеспечивает персонализированный прогноз (с учетом возраста, исходного

состояния и уровня тренированности), автоматизированное построение оптимальных графиков ротации звеньев ГДЗС и наглядную визуализацию.

5. Проведена комплексная верификация, подтвердившая, что разработанный научно-методический аппарат устраняет систематическую ошибку переоценки ресурса, присущую действующим детерминированным подходам (завышение в 1,7-1,8 раза), и позволяет при соблюдении рекомендаций, полностью исключить риск превышения критических индивидуальных лимитов.

6. Разработаны практические рекомендации для должностных лиц, которые внедрены в деятельность подразделений МЧС России и учебный процесс профильных вузов, что подтверждает практическую значимость работы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

БОП – боевая одежда пожарного

БУ – боевой участок

ВЗД – время защитного действия

ГДЗС – газодымозащитная служба

ДАСВ – дыхательный аппарат со сжатым воздухом

ДАСК – дыхательный аппарат со сжатым кислородом

ЖЕЛ – жизненная емкость легких

ИМТ – индекс массы тела

КПП ГДЗС – контрольно-пропускной пункт газодымозащитной службы

МПК – максимальное потребление кислорода

НДС – непригодная для дыхания среда

ОВ – огнетушащие вещества

ОФП – опасные факторы пожара

ПА – пожарная автоцистерна

ПБ ГДЗС – пост безопасности газодымозащитной службы

ПАСР – проведение аварийно-спасательные работы

РТП – руководитель тушения пожаров

СИЗ – средства индивидуальной защиты

СИЗОД – средства индивидуальной защиты органов дыхания и зрения

СОИД – система определения и индикации давления

СЗР – средства защиты рук

ЧС – чрезвычайные ситуации

ЧСС – частота сердечных сокращений

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьева Р. Ф., Антонов А. Г., Лосик Т. К. Оценка влияния средств индивидуальной защиты на тепловое состояние работающих в нагревающем микроклимате // Медицина труда и промышленная экология. 2005. № 5. С. 13–18.
2. Баканов М. О., Захаров Д. Ю. Влияние теплового стресса на эффективность боевых действий пожарных: экспериментальные исследования микроклиматических условий. Постановка задачи // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : материалы IX Международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 19–20 марта 2024 года. М. : Академия Государственной противопожарной службы, 2024. С. 81–85.
3. Баканов М. О., Захаров Д. Ю., Суровегин А. В. Влияние тепловой нагрузки на функциональное состояние газодымозащитников при тушении пожаров // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации : материалы X международной научно-практической конференции. В 2-х частях, Москва, 18–19 марта 2026 года. М. : Академия ГПС МЧС России, 2026. С. 332–336.
4. Баканов М. О., Гринченко Б. Б., Захаров Д. Ю. Влияние теплового стресса на когнитивные функции пожарных: анализ эмпирических данных // Современные аспекты пожарной безопасности : материалы научно-практической конференции с международным участием молодых ученых и специалистов, Балашиха, 19 марта 2026 года. Балашиха : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2026. С. 274–278.
5. Баканов М. О., Гринченко Б. Б., Захаров Д. Ю. Ресурсно-эргономическая модель оценки эффективности работы звеньев газодымозащитной службы в непригодной для дыхания среде // Безопасность жизнедеятельности. 2025. № 10(298). С. 28–39.
6. Батухтин Е. К. Усовершенствование элементов боевой одежды пожарных : дис. ... канд. техн. наук. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2019.
7. Болибрух Б. В., Хмель М., Мазур Ю. Модель теплового состояния пожарного в защитной одежде // Safety & Fire Technology. 2016. Т. 41. С. 37–46.

8. Брагин М. А., Дворников М. В., Киш А. А., Петрова В. В. Методика интегральной оценки теплового состояния спортсмена в условиях высоких температур // Медицинская наука и образование Урала. 2017. Т. 18. № 4. С. 118–122.

9. Бянкин В. В., Бянкина Л. В. Определение максимального потребления кислорода студентов на занятиях по физической культуре // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. 2014. № 8 (114). С. 42–48.

10. Габдуллин В. Б. Тактические возможности звеньев газодымозащитной службы при тушении затяжных пожаров на объектах энергетики в условиях непригодной для дыхания среды // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2022. № 2. С. 100–108.

11. Габдуллин В. Б., Ищенко А. Д. Влияние периодов работы звеньев газодымозащитной службы на непрерывность тушения пожара // Технологии техносферной безопасности. 2020. № 1. С. 25–37.

12. Габдуллин В. Б., Ищенко А. Д. Исследование механизма действий звеньев газодымозащитной службы в приближенных к реальным условиям // Материалы международной научно-технической конференции «Системы безопасности». М. : Академия ГПС МЧС России, 2019. № 28. С. 51–55.

13. Газизова Ю. С., Демченко О. Ю. Особенности применения диагностических и формирующих технологий в практике профессиональной подготовки специалистов ГДЗС к работе в измененных условиях // Психолого-педагогические аспекты подготовки кадров к профессиональной деятельности в экстремальных условиях. 2021. С. 352–360.

14. Гайнуллин Т. Ф., Михеева Е. В., Архипов М. В. Анализ работы звеньев газодымозащитной службы в условиях ликвидации чрезвычайной ситуации в метрополитене // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2022. № 11. С. 137–147.

15. Гальцов Е. Д., Тихонов Э. Е. Разработка мероприятий по поддержанию сил и средств газодымозащитной службы в постоянной готовности при тушении пожаров в условиях непригодных для дыхания // Научный вестник

Государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Невинномысский государственный гуманитарно-технический институт». 2022. № 1. С. 6–10.

16. Генин А. М., Ильин Е. А., Капланский А. С. Биоэтические правила проведения исследований на человеке и животных в авиационной, космической и морской медицине // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2001. Т. 35. № 4. С. 14–20.

17. ГОСТ 34734-2021. Средства индивидуальной защиты ног пожарного. Общие технические требования. Методы испытаний : дата введения 01.07.2024. М. : Российский институт стандартизации, 2022. 15 с.

18. ГОСТ Р 53255-2019. Техника пожарная. Аппараты дыхательные со сжатым воздухом с открытым циклом дыхания. Общие технические требования. Методы испытаний : дата введения 01.01.2022. М. : Стандартинформ, 2019. 39 с.

19. ГОСТ Р 53256-2019. Техника пожарная. Аппараты дыхательные со сжатым кислородом с замкнутым циклом дыхания. Общие технические требования. Методы испытаний : дата введения 01.01.2022. М. : Стандартинформ, 2019. 37 с.

20. ГОСТ Р 53264-2019. Техника пожарная. Одежда пожарного специальная защитная. Общие технические требования. Методы испытаний : дата введения 01.01.2022. М. : Стандартинформ, 2019. 41 с.

21. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М. : Изд-во стандартов, 1988.

22. Грачев В. А., Тербнев В. В., Поповский Д. В. Газодымозащитная служба : учебно-методическое пособие. Изд. 2-е, перераб. и доп. М. : ООО «Издательство «Калан», 2012. 280 с.

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

24. Гринченко Б. Б., Захаров Д. Ю., Терехнев В. В. Влияние фактора аккумуляции внутреннего тепла на процесс восстановления газодымозащитников // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 1 (46). С. 5–12.

25. Гринченко Б. Б., Чистяков И. М., Захаров Д. Ю. Тренажер для отработки действий газодымозащитников в условиях возможного взрыва газовых баллонов // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, посвященной 90-й годовщине образования гражданской обороны, Иваново, 24 ноября 2022 года. Иваново : ИПСА ГПС МЧС России, 2022. С. 340–346.

26. Губа В. П., Попов Г. И., Пресняков В. В., Леонтьева М. С. Педагогические измерения в спорте: методы, анализ и обработка результатов. М. : Litres, 2022.

27. Делль Р. А., Афанасьева Р. Ф., Чубарова З. С. Гигиена одежды. М. : Легпромбытиздат, 1991.

28. Дыхательный аппарат со сжатым воздухом ДАСВ «Зевс» : руководство по эксплуатации. ЦРКЯ 05940.00.000 РЭ.

29. Елисеев И. Б., Бесков М. С., Новиков В. Р. О необходимости внедрения табеля боевого расчета звена газодымозащитной службы // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России». 2020. № 2. С. 179–184.

30. Задачник по пожарной тактике : учебное пособие / А. В. Наумов, А. О. Семенов, Д. В. Тараканов, Ю. П. Самохвалов. Иваново : ИПСА ГПС МЧС России, 2019. 190 с.

31. Захаров Д. Ю., Шипилов Р. М., Давиденко А. С. Определение расхода воздуха при использовании спасательного устройства с дыхательным аппаратом на сжатом воздухе ПТС «ПРОФИ»-М // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 3 (32). С. 42–51.

32. Захаров Д. Ю., Баканов М. О. Физиологические особенности организма при выполнении боевых действий по тушению пожаров и проведению аварийно-

спасательных работ // Пожарная и аварийная безопасность : сборник материалов. Иваново, 2023. С. 439.

33. Захаров Д. Ю., Гринченко Б. Б., Баканов М. О. Исследование корреляции между интенсивностью расхода дыхательных ресурсов и частотой сердечных сокращений газодымозащитников // Новые технические, организационные и методические решения в области пожарной безопасности : сборник материалов научно-практической конференции молодых ученых, приуроченной ко Дню российской науки, Балашиха, 07 февраля 2025 года. Балашиха : ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2025. С. 119–125.

34. Захаров Д. Ю., Гринченко Б. Б., Баканов М. О. Специфика работы газодымозащитников в условиях непригодной для дыхания среды // Актуальные вопросы совершенствования инженерных систем обеспечения пожарной безопасности объектов : сборник материалов XII всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 22 апреля 2025 года. Иваново : ИПСА ГПС МЧС России, 2025. С. 116–119.

35. Захаров Д. Ю., Гринченко Б. Б., Баканов М. О. Факторы, влияющие на скорость потребления дыхательных ресурсов газодымозащитниками // Безопасность в Арктической зоне: современные вызовы и пути их решения : сборник материалов Всероссийского круглого стола, Иваново, 30 января 2025 года. Иваново : ИПСА ГПС МЧС России, 2025. С. 43–49.

36. Иванюк О. Е., Ищенко А. Д. Об эффективности использования пожарными средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 1. С. 98–103.

37. Каврига С. Г. Проблемные вопросы оценки физической подготовленности пожарных и спасателей к работе в средствах индивидуальной защиты органов дыхания // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2021. № 3. С. 107–115.

38. Казанцев С. Г., Гринченко Б. Б., Катин Д. С., Кузнецов И. А., Суровегин А. В. Методика оценки времени выполнения нормативов по профессиональной

подготовке пожарных // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 4(45). С. 29–40.

39. Кисляков Р. А., Иванов А. В., Панкратов И. А. Направления совершенствования материалов и тканей для боевой одежды пожарного // Пожарная безопасность: современные вызовы. Проблемы и пути решения. Санкт-Петербург, 2020. С. 101–103.

40. Кобылкин С.С., Котельников А.Е., Есина Е.Н., Сис М., Барри А.М. Спутниковый мониторинг параметров безопасности при ведении открытых горных работ // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2025. – № 2. – С. 43–56.

41. Коннова Л. А., Артамонов В. С. Тепловой дискомфорт как проблема охраны труда пожарных // Вестник Санкт-Петербургского университета МВД России. 2000. № 3. С. 96–98.

42. Коршунов И. В., Смагин А. В., Панков Ю. И., Андреев Д. В. О поисково-спасательных работах звена газодымозащитной службы // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 4. С. 82–88.

43. Коршунов И. В., Смагин А. В., Теребнев В. В., Массерова И. В. Оценка тактических возможностей звеньев газодымозащитной службы // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2024. № 1. С. 39–46.

44. Коршунов И. В., Смагин А. В., Теребнев В. В. О тактических возможностях звеньев газодымозащитной службы при работе в сложных условиях // Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. 2023. № 2. С. 66–72.

45. Литвицкий П. Ф. Нарушения теплового баланса организма: гипертермия, гипертермические реакции, тепловой удар, солнечный удар // Вопросы современной педиатрии. 2010. Т. 9. № 1. С. 96–102.

46. Логинов В. И., Маслов Ю. Н., Дымов С. М. и др. Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре // Пожарная безопасность. 2012. № 2. С. 158–167.

47. Логинов В. И., Розанов В. В., Маслов Ю. Н. и др. Необходимость корректировки расчета времени защитного действия СИЗОД пожарных-спасателей // Пожарная безопасность. 2017. № 1. С. 108–112.

48. Логинов В. И., Маслов Ю. Н., Кисляков Р. А. и др. Разработка дыхательного аппарата со сжатым воздухом с рабочим давлением 44, 13 МПа // Пожарная безопасность. 2017. № 2. С. 57–61.

49. Логинов В. И., Маслов Ю. Н., Кисляков Р. А. Способ увеличения времени работы газодымозащитников в дыхательных аппаратах, оснащенных системой телеметрии // Сборник материалов «Есть идея!» VII Международного салона «Комплексная безопасность-2014». 2014. С. 63–64.

50. Логинов В. И., Маслов Ю. Н., Кисляков Р. А. и др. Проблемные вопросы тепловой защиты средств индивидуальной защиты дыхания и зрения пожарных // Безопасность труда в промышленности. 2022. № 11. С. 26–33.

51. Ломова И. П., Кожевникова В. В., Рыбников В. Ю. и др. Периодическая боль в спине у сотрудников Федеральной противопожарной службы МЧС России с различным возрастом, стажем, профессиональной нагрузкой и успешностью трудовой деятельности // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2024. № 4. С. 34–48.

52. Лосик Т. К., Иванов И. В., Зибарев Е. В. и др. Комплексный способ определения энерготрат у работников на производстве // Медицина труда и промышленная экология. 2020. Т. 60. № 2. С. 123–127.

53. Лосик Т. К., Афанасьева Р. Ф., Константинов Е. И. Физиолого-гигиеническая оценка теплового состояния военнослужащих, выполняющих непрерывную физическую работу в нагревающем микроклимате // Медицина труда и промышленная экология. 2015. № 10. С. 41–46.

54. Лысова В. Н. Влияние температуры окружающей среды на спортивную работоспособность // Актуальная медицина. 2018. С. 787–790.

55. Маслов Ю. Н., Дымов С. М., Кисляков Р. А., Карпова И. А. Направления совершенствования средств индивидуальной защиты органов дыхания пожарных // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от

чрезвычайных ситуаций : сборник статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции, Железногорск, 26 апреля 2019 года. Железногорск : СПСА ГПС МЧС России, 2019. С. 665–670.

56. Маслов Ю. Н., Логинов В. И., Кисляков Р. А. Современные технические средства обеспечения безопасности работы газодымозащитников // Актуальные вопросы пожарной безопасности. 2014. С. 337–351.

57. Методические рекомендации по организации и проведению занятий с личным составом газодымозащитной службы ФПС МЧС России : утв. Главным военным экспертом генерал-полковником Платом 30 июня 2008 г. № 2-4-60-14-18.

58. Мокшанцев А. В., Топольский Н. Г., До Т. Х. Модель информационной системы поддержки принятия управленческих решений при проведении поисковых работ в условиях пожара // Исторический опыт, современные проблемы и перспективы образовательной и научной деятельности в области пожарной безопасности. 2018. С. 543–547.

59. Некрасов А. К., Логинов В. И., Архиреев К. Э., Михайлов Е. С. Математическое моделирование сложного нестационарного теплообмена в многослойных теплозащитных конструкциях с воздушными прослойками // Пожарная безопасность. 2016. № 2. С. 37–42.

60. Некрасов А. К., Логинов В. И., Архиреев К. Э. Численное моделирование температурных режимов многослойных пакетов материалов и тканей боевой одежды пожарных // Пожарная безопасность. 2018. № 1. С. 70–75.

61. Новиков В. С., Голянич В. М., Шустов Е. Б. Физиология экстремальных состояний. СПб. : Наука, 1998. 247 с.

62. Осипов А. В. Психологическая готовность специалистов пожарно-спасательных подразделений // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 6. Философия, политология, социология, психология, право, международные отношения. 2007. № 3. С. 353–357.

63. Павлов В. И., Пачина А. И., Орджоникидзе Г. З. и др. Сравнительный анализ нагрузочного тестирования на различных видах эргометров // Спортивная медицина: наука и практика. 2011. № 1. С. 5–10.

64. Панина Н. Г. Физиологические особенности функционального состояния организма человека при физической работе в условиях ограничения теплоотдачи: дис. ... канд. мед. наук: 03.03.01. Волгоград, 2010. 157 с.

65. Перов Р. П., Коновалов С. П., Смирнов В. В. и др. Способы рационального использования запаса дыхательной смеси при работе в СИЗОД // Пожарная и аварийная безопасность. 2018. № 4 (11). С. 458–461.

66. Петров П. К. Математико-статистическая обработка и графическое представление результатов педагогических исследований с использованием информационных технологий: учебное пособие. Ижевск: Удмуртский университет, 2013. 179 с.

67. Повзик Я. С., Ключ П. П., Матвейкин А. М. Пожарная тактика: учебник для пожарно-технических училищ. М.: Стройиздат, 1990. 335 с.

68. Пожарно-спасательная подготовка. Часть 1: практическое руководство / С. Г. Казанцев, М. В. Серегин, Р. М. Шипилов [и др.]. Иваново: ИПСА ГПС МЧС России, 2020. 250 с.

69. Приказ МЧС России от 27 июля 2022 года № 640 «Об утверждении Правил использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения личным составом подразделений пожарной охраны».

70. Распоряжение МЧС России от 15.12.2024 № 1224 «Об утверждении Сборника упражнений по профессиональной подготовке личного состава федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы».

71. Рожков А. Г., Ходатенко Е. Н., Леонович И. А. и др. Перспективы развития информационных систем для пожарных и спасательных подразделений МЧС России // Пожары и чрезвычайные ситуации: предупреждение, ликвидация. 2022. № 3. С. 82–89.

72. Руденко В.А., Кобылкин С.С. Тактика ведения горноспасательных работ членами ВГК с ограниченной численностью // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2025. – № S11. – С. 3–18.

73. Руненко С. Д., Таламбум Е. А., Ачкасов Е. Е. Исследование и оценка функционального состояния спортсменов: учебное пособие. М.: Профиль-2С, 2010. 72 с.

74. Рядинская Е. Н. Влияние интуиции пожарных на принятие профессиональных решений в условиях экстремальных ситуаций // Фундаментальные и прикладные исследования в практиках ведущих научных школ. 2014. № 3. С. 33–42.

75. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2019620566 Российская Федерация. Информационные ресурсы системы поддержки управления газодымозащитниками: № 2019620413: заявл. 28.03.2019: опубл. 11.04.2019 / Б. Б. Гринченко. – 1 с.

76. Свидетельство о государственной регистрации базы данных №2026622178 Российская Федерация. База данных мониторинга функционального и теплового состояния газодымозащитников при выполнении физической нагрузки в разных микроклиматических режимах: заявл. 19.02.2026: опубл. 15.05.2026 / Д.Ю. Захаров, Б.Б. Гринченко, М.О. Баканов, Д.А. Ульев; заявитель ИПСА ГПС МЧС России.

77. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2021615512 Российская Федерация. Программа расчета безопасных условий работы звеньев ГДЗС в непригодной для дыхания среде («Безопасность ГДЗС»): № 2021614621: заявл. 01.04.2021: опубл. 08.04.2021 / Г.П. Сурина, Р. А. Кисляков, Ю.Н. Маслов [и др.]; заявитель ФГБУ ВНИИПО МЧС России.

78. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2026617251 Российская Федерация. Веб-ориентированное программное средство для оперативного прогнозирования ресурса безопасной работы звена газодымозащитной службы в условиях комбинированной тепловой и физической

нагрузки (FIRE-TIME WEB: веб-калькулятор безопасного времени ГДЗС): заявл. 03.03.2026: опубл. 13.03.2026 / М.О. Баканов, Б.Б. Гринченко, Д.Ю. Захаров; заявитель ИПСА ГПС МЧС России.

79. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2026616817 Российская Федерация. Программное средство для прогностического моделирования предельного времени работы газодымозащитников на основе регрессионного анализа влияния мощности труда и температуры окружающей среды (THERMO-WORK PREDICTOR: аналитический модуль ГДЗС): заявл. 03.03.2026: опубл. 11.03.2026 / М.О. Баканов, Б.Б. Гринченко, Д.Ю. Захаров; заявитель ИПСА ГПС МЧС России.

80. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2026617320 Российская Федерация. Программное средство для сценарного моделирования и оперативного прогнозирования рабочего времени звена газодымозащитной службы с учетом уровня нагрузки, физиологических параметров и индивидуальных особенностей газодымозащитников (THERMO-TASTIC: Платформа моделирования ГДЗС): заявл. 03.03.2026: опубл. 16.03.2026 / М.О. Баканов, Б.Б. Гринченко, Д.Ю. Захаров; заявитель ИПСА ГПС МЧС России.

81. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2017663825 Российская Федерация. Программное обеспечение для информационно-аналитической системы управления газодымозащитниками на пожарах в техногенных чрезвычайных ситуациях: № 2017661219: заявл. 23.10.2017: опубл. 12.12.2017 / Д.В. Тараканов, Б.Б. Гринченко.

82. Серегин М. В. Обеспечение безопасности личного состава при тушении пожаров и проведения аварийно-спасательных работ // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2015. Т. 1. № 1 (6). С. 19–25.

83. Сетко А. Г., Русаков В. Н. Особенности организации питания лиц, работающих в условиях нагревающего микроклимата (обзор литературы) // Гигиена и санитария. 2025. Т. 104. № 10. С. 1334–1340.

84. Сизова Т.М. Статистика для бакалавров: учебное пособие. Ч. II. СПб.: Университет ИТМО, 2016. 70 с.

85. Смиловенко О. О., Курлович И. Г. Повышение безопасности труда пожарного-спасателя // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2017. Т. 1. № 4. С. 459–467.

86. Смыгалин С. Н., Ищенко А. Д., Коршунов И. В. и др. Особенности работы звеньев газодымозащитной службы при массовом спасении людей // Технологии техносферной безопасности. 2022. № 2 (96). С. 20–33.

87. Соковнин А. И., Ищенко А. Д., Федяев В. Д. Условия видимости для пожарных в задымленной зоне при тушении пожаров на объектах энергетики // Технологии техносферной безопасности. 2016. № 3. С. 69–73.

88. Сорокин Д. В., Никифоров А. Л., Шарабанова И. Ю. и др. Влияние температурно-влажностного режима подкостюмного пространства на защитные свойства боевой одежды пожарного // Современные проблемы гражданской защиты. 2018. № 1 (26). С. 44–48.

89. Сорокин Д. В., Никифоров А. Л., Циркина О. Г. и др. Композиционный полимерный материал для боевой одежды пожарного с улучшенными эксплуатационными характеристиками // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2019. № 1-2. С. 47–51.

90. Сорокина Д. Н. Анализ одежды с системами охлаждения // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2018. № 6. С. 122–127.

91. Станкус А. Р., Мнускин Ю. В. Современные разработки и применение СИЗОД // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2020. № 2. С. 409–412.

92. Степанов Е. В., Тараканов Д. В., Топольский Н. Г. Волновой алгоритм определения оптимального маршрута движения газодымозащитников в зданиях при пожарах и задымлениях // Пожаровзрывобезопасность. 2021. Т. 30. № 3. С. 31–40.

93. Стрілець В. М., Бородич П. Ю. Закономерности работы спасателей в изолирующих аппаратах при проведении работ на станциях метрополитена. Харьков: УГЗУ, 2006. 104 с.

94. Терещенко В. В., Подгрушный А. В. Пожарная тактика: Основы тушения пожаров: учебное пособие. М.: Академия ГПС МЧС России, 2012. 322 с.

95. Технический регламент Евразийского экономического союза «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности (ТР ЕАЭС 043/2017): решение Совета Евразийской экономической комиссии от 23.06.2017 г. № 40. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс.

96. Хачиров А. В., Подгрушный А. В., Кузовков И. М. Анализ деятельности поста безопасности и звена ГДЗС согласно нормативным документам // Пожаротушение: проблемы, технологии, инновации. 2022. С. 213–217.

97. Чистяков И. М., Тараканов Д. В., Семенов А. О. и др. Способы совершенствования работы постового поста безопасности при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ в непригодной для дыхания среде // Пожарная и аварийная безопасность. 2017. № 2. С. 402–405.

98. Чистяков И. М., Кичайкин В. В., Краснов И. А. и др. Влияние снижения видимости на пожаре на работу звеньев ГДЗС // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2016. Т. 1. № 1 (7). С. 346–347.

99. Шалявин Д. Н., Шмелева Е. А., Тараканов Д. В. и др. Методика формирования безопасных режимов работы газодымозащитников с учетом мониторинга пульсовых зон // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 4. С. 251–272.

100. Шипилов Р. М., Гринченко Б. Б., Захаров Д. Ю. и др. Влияние физических нагрузок на показатели дыхания и частоты сердечных сокращений у курсантов при работе в дыхательных аппаратах со сжатым воздухом // Пожарная и аварийная безопасность. 2023. № 4 (31). С. 46–55.

101. Шипилов Р. М., Строкова М. А., Гринченко Б. Б. и др. Психологическая устойчивость газодымозащитников при самоспасании // Пожарная и аварийная безопасность. 2024. № 4 (35). С. 142–149.

102. Шупнев Д. С. Метод управления продолжительностью безопасных действий газодымозащитников в условиях перегрева: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.10. СПб., 2000. 173 с.

103. Яровой В. Ю., Погорельцев М. В., Михайлова А. К. О необходимости контроля функциональности здоровья газодымозащитников при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ // Актуальные проблемы безопасности в техносфере. 2023. № 4 (12). С. 65–68.

104. Abrard S., Bertrand M., De Valence T. et al. Physiological, cognitive and neuromuscular effects of heat exposure on firefighters after a live training scenario // International Journal of Occupational Safety and Ergonomics. 2021. Vol. 27, No. 1. P. 185–193.

105. Budd G. M., Brotherhood J. R., Hendrie A. L. et al. Project Aquarius 6. Heat load from exertion, weather, and fire in men suppressing wildland fires // International Journal of Wildland Fire. 1997. Vol. 7, No. 2. P. 119–131.

106. Bygrave S., Legg S. J., Myers S. et al. Effect of backpack fit on lung function // Ergonomics. 2004. Vol. 47, No. 3. P. 324–329.

107. Carter J. B. Effectiveness of rest pauses and cooling in alleviation of heat stress during simulated fire-fighting activity // Ergonomics. 1999. Vol. 42, No. 2. P. 299–313.

108. Cavuoto L. A., Nussbaum M. A. The influences of obesity and age on functional performance during intermittent upper extremity tasks // Journal of Occupational and Environmental Hygiene. 2014. Vol. 11, No. 9. P. 583–590.

109. Cheung S. S., Petersen S. R., McLellan T. M. Physiological strain and countermeasures with firefighting // Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports. 2010. Vol. 20, No. S3. P. 103–116.

110. Corrêa C., Falcão A. G., da Silva B. A. P. et al. Firefighting: intensive training and improvement in air consumption in self-contained breathing apparatus (SCBA) // Concilium. 2023. Vol. 23, No. 13. P. 127–133.

111. Davis J., Gallagher S. Physiological demand on firefighters crawling during a search exercise // *International Journal of Industrial Ergonomics*. 2014. Vol. 44, No. 6. P. 821–826.
112. Dervis S., Coombs G. B., Chaseling G. K. et al. A comparison of thermoregulatory responses to exercise between mass-matched groups with large differences in body fat // *Journal of Applied Physiology*. 2016. Vol. 120, No. 6. P. 615–623.
113. Duggan A. Energy cost of stepping in protective clothing ensembles // *Ergonomics*. 1988. Vol. 31, No. 1. P. 3–11.
114. Firoozeh M., Saremi M., Maleki A. et al. Investigation into maximal aerobic capacity and its associated factors in firefighters // *Biennial Conference on Ergonomics*. 2015.
115. Gendron P., Freiburger E., Laurencelle L. et al. Greater physical fitness is associated with better air ventilation efficiency in firefighters // *Applied Ergonomics*. 2015. Vol. 47. P. 229–235.
116. Gledhill N., Jamnik V. K. Characterization of the physical demands of firefighting // *Canadian Journal of Sport Sciences*. 1992. Vol. 17, No. 3. P. 207–213.
117. Gonzalez D. E., Lanham S. N., Martin S. E. et al. Firefighter health: A narrative review of occupational threats and countermeasures // *Healthcare*. 2024. Vol. 12, No. 4. P. 440.
118. Greenlee T. A., Horn G., Smith D. L. et al. The influence of short-term firefighting activity on information processing performance // *Ergonomics*. 2014. Vol. 57, No. 5. P. 764–773.
119. Griefahn B., Künemund C., Bröde P. Evaluation of performance and load in simulated rescue tasks for a novel design SCBA: effect of weight, volume and weight distribution // *Applied Ergonomics*. 2003. Vol. 34, No. 2. P. 157–165.
120. Grimwood P. Euro firefighter: global firefighting strategy and tactics, command and control and firefighter safety. Lindley: Jeremy Mills Publishing Ltd, 2008. 352 p.

121. Hemmatjo R., Motamedzade M., Aliabadi M. et al. The effect of various hot environments on physiological responses and information processing performance following firefighting activities in a smoke-diving room // *Safety and Health at Work*. 2017. Vol. 8, No. 4. P. 386–392.
122. Heydari P., Babamiri M., Tapak L. et al. Weighing and prioritization of individual factors affecting the performance of industries firefighters // *Fire Safety Journal*. 2022. Vol. 127. P. 103512.
123. Horn G. P., Hostler D., Fernhall B. et al. Core temperature and heart rate response to repeated bouts of firefighting activities // *Ergonomics*. 2013. Vol. 56, No. 9. P. 1465–1473.
124. Johnson A. T., Coyne K. M., Caretti D. M. et al. Effects of PAPR helmet weight on voluntary performance time at 80-85% of maximal aerobic capacity // *Journal of the International Society for Respiratory Protection*. 2006. Vol. 23, No. 3/4. P. 111–121.
125. Kaczmarzyk P., Macko M., Małozieć D. et al. Possibilities of using mobile fans and the parameters conditioning the effectiveness of tactical mechanical ventilation // *Safety & Fire Technology*. 2022. Vol. 59, No. 1. P. 58–82.
126. Kaikkonen P., Lindholm H., Lusa S. Physiological load and psychological stress during a 24-hour work shift among Finnish firefighters // *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2017. Vol. 59, No. 1. P. 41–46.
127. Kang J., Chaloupka E. C., Mastrangelo M. A. et al. Physiological and biomechanical analysis of treadmill walking up various gradients in men and women // *European Journal of Applied Physiology*. 2002. Vol. 86. P. 503–508.
128. Kesler R. M., Deetjen G. S., Ensari I. et al. Impact of SCBA size and fatigue from different firefighting work cycles on firefighter gait // *Ergonomics*. 2018. Vol. 61, No. 9. P. 1208–1215.
129. Kuorinka I., Korhonen O. Firefighters' reaction to alarm, an ECG and heart rate study // *Journal of Occupational Medicine*. 1981. Vol. 23, No. 11. P. 762–766.

130. Kutlu B., Cireli A. Thermal analysis and performance properties of thermal protective clothing // *Fibres and Textiles in Eastern Europe*. 2005. Vol. 13, No. 3. P. 58–63.
131. Lambert K., Delichatsios M., Zhang J. et al. Search & rescue operations during interior firefighting: A study into crawling speeds // *Fire Safety Journal*. 2021. Vol. 121. P. 103269.
132. Li J., Wu L., Wang J. et al. Quantifying self-contained breathing apparatus on physiology and psychological responses during firefighting: A systematic review and meta-analysis // *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*. 2023. Vol. 29, No. 1. P. 77–89.
133. Louhevaara V., Tuomi T., Korhonen O. et al. Cardiorespiratory effects of respiratory protective devices during exercise in well-trained men // *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1984. Vol. 52, No. 3. P. 340–345.
134. Manning J. E., Griggs T. R. Heart rates in fire fighters using light and heavy breathing equipment: similar near-maximal exertion in response to multiple work load conditions // *Journal of Occupational Medicine*. 1983. Vol. 25, No. 3. P. 215–218.
135. Martin J. R., Abel M. G., Cleveland R. E. et al. The relationship between cardiorespiratory fitness and firefighter occupational performance: a systematic review and meta-analysis examining absolute versus relative VO₂max // *Ergonomics*. 2026. Vol. 69, No. 4. P. 561–578.
136. McAllister M. J., Mears M. J., Chander H. et al. Risk factors for cardiometabolic disease in professional firefighters // *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2023. Vol. 65, No. 2. P. 119–124.
137. Mews I. Exploring Associations Between Health and Fitness Measures and Metabolic Syndrome Risk Factors in Rural Firefighters: Master of Kinesiology thesis. Statesboro: Georgia Southern University, 2025. 85 p.
138. Michaelides M. A., Parpa K. M., Henry L. J. et al. Assessment of physical fitness aspects and their relationship to firefighters' job abilities // *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2011. Vol. 25, No. 4. P. 956–965.

139. National Fire Protection Association 1582. Standard on comprehensive occupational medical program for fire departments. Quincy, MA: NFPA Fire Analysis and Research Division, 2018. 84 p.
140. Nayak R., Houshyar S., Padhye R. Recent trends and future scope in the protection and comfort of fire-fighters' personal protective clothing // *Fire Science Reviews*. 2014. Vol. 3. P. 1–19.
141. Nazari G., MacDermid J. C., Sinden K. E. et al. The relationship between physical fitness and simulated firefighting task performance // *Rehabilitation Research and Practice*. 2018. Vol. 2018. P. 3234176.
142. Robinson S. J., Sünram-Lea S. I., Leach J. et al. Stress reactivity and cognitive performance in a simulated firefighting emergency // *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2013. Vol. 84, No. 6. P. 592–599.
143. Romet T. T., Frim J. Physiological responses to firefighting activities // *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1987. Vol. 56. P. 633–638.
144. Santee W. R., Allison W. F., Blanchard L. A. et al. A proposed model for load carriage on sloped terrain // *Aviation, Space, and Environmental Medicine*. 2001. Vol. 72, No. 6. P. 562–566.
145. Savchenkova V. A., Korshunov N. A., Perminov A. V. et al. The problem of fire fighting during the hours of darkness // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 421, No. 6. P. 062002.
146. Selkirk G. A., McLellan T. M., Wong J. Active versus passive cooling during work in warm environments while wearing firefighting protective clothing // *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*. 2004. Vol. 1, No. 8. P. 521–531.
147. Svensson S. Experimental study of fire ventilation during firefighting operations // *Fire Technology*. 2001. Vol. 37. P. 69–85.
148. Thompson C., Ferrie L., Pearson S. J. et al. Do extreme temperatures affect cognition? A short review of the impact of acute heat stress on cognitive performance of firefighters // *Frontiers in Psychology*. 2024. Vol. 14. P. 1270898.

149. Von Heimburg E. D., Rasmussen A. K. R., Medbø J. I. Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients // *Ergonomics*. 2006. Vol. 49, No. 2. P. 111–126.
150. Williams-Bell F. M., Boisseau G., McGill J. et al. Air management and physiological responses during simulated firefighting tasks in a high-rise structure // *Applied Ergonomics*. 2010. Vol. 41, No. 2. P. 251–259.
151. Williams-Bell F. M., Boisseau G., McGill J. et al. Physiological responses and air consumption during simulated firefighting tasks in a subway system // *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*. 2010. Vol. 35, No. 5. P. 671–678.
152. Ziesler P. S., Gunnerson F. S., Williams S. K. Advances in positive pressure ventilation: Live fire tests and laboratory simulation // *Fire Technology*. 1994. Vol. 30, No. 2. P. 269–277.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты экспериментального исследования.

Таблица А. 1 – Подготовка к эксперименту, формирование выборки испытуемых

№ п/п	Возраст, лет	Рост, м	Масса тела, кг	Индекс массы тела, кг/м ²	ЖЕЛ, л	МПК
1	20	1,84	76	22,45	4,46	50
2	43	1,74	82	27,08	4,85	32
3	43	1,75	79	25,8	4,83	51
4	36	1,87	117	33,46	6,8	27
5	20	1,72	66	22,31	6,96	58
6	40	1,76	72	23,24	4,37	33
7	20	1,79	72	22,47	5,47	53
8	20	1,71	73	24,96	6,65	63
9	19	1,69	66	23,11	4,84	63
10	19	1,75	68	22,2	7,18	59
11	19	1,93	88	23,62	7,26	56
12	19	1,84	68	20,09	6,61	59
13	19	1,8	67	20,68	4,9	54
14	19	1,91	82	22,48	6,1	53
15	21	1,83	70	20,9	5,23	50
16	20	1,81	74	22,59	5,51	59
17	19	1,79	77	24,03	4,89	56
18	19	1,72	64	21,63	4,27	59
19	20	1,76	72	23,24	5,3	57
20	20	1,9	90	24,93	6,3	56
21	21	1,73	70	23,39	5,5	53
22	20	1,86	75	21,68	5,1	59
23	19	1,79	67	20,91	4,7	64
24	19	1,85	72	21,04	5,9	55
25	19	1,86	72	20,81	6	58
26	23	1,8	75	23,15	5,62	52
27	25	1,78	74	23,36	5,58	54
28	24	1,81	77	23,5	5,73	51
29	22	1,79	73	22,79	5,54	55
30	26	1,83	79	23,59	5,82	49
31	21	1,76	71	22,91	5,49	57
32	28	1,85	81	23,67	5,95	46
33	24	1,8	76	23,46	5,68	52
34	22	1,78	73	23,03	5,58	56
35	27	1,84	78	23,03	5,89	48
36	23	1,77	74	23,62	5,6	53
37	25	1,82	78	23,55	5,77	50
38	22	1,79	72	22,48	5,53	57
39	29	1,86	82	23,7	6,01	45
40	26	1,81	77	23,49	5,74	51

Таблица А. 2 – Расчет мощности выполняемой работы

№ п/п	Масса тела, кг	Скорость движения полотна беговой дорожки, км/ч				
		2	4	6	8	10
		Мощность нагрузки, Вт				
		W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅
1	76	35,7	69,9	104,0	138,2	172,4
2	82	39,7	76,5	113,4	150,2	187,1
3	79	37,7	73,2	108,7	144,2	179,7
4	117	62,7	115,3	167,9	220,5	273,1
5	66	29,1	58,8	88,5	118,1	147,8
6	72	33,1	65,4	97,8	130,2	162,5
7	72	33,1	65,4	97,8	130,2	162,5
8	73	33,7	66,5	99,4	132,2	165,0
9	66	29,1	58,8	88,5	118,1	147,8
10	68	30,4	61,0	91,6	122,1	152,7
11	88	43,6	83,2	122,7	162,3	201,8
12	68	30,4	61,0	91,6	122,1	152,7
13	67	29,8	59,9	90,0	120,1	150,2
14	82	39,7	76,5	113,4	150,2	187,1
15	70	31,8	63,2	94,7	126,2	157,6
16	74	34,4	67,7	100,9	134,2	167,4
17	77	36,4	71,0	105,6	140,2	174,8
18	64	27,8	56,6	85,3	114,1	142,9
19	72	33,1	65,4	97,8	130,2	162,5
20	90	44,9	85,4	125,8	166,3	206,8
21	70	31,8	63,2	94,7	126,2	157,6
22	75	35,0	68,8	102,5	136,2	169,9
23	67	29,8	59,9	90,0	120,1	150,2
24	72	33,1	65,4	97,8	130,2	162,5
25	72	33,1	65,4	97,8	130,2	162,5
26	75	35,0	68,8	102,5	136,2	169,9
27	74	34,4	67,7	100,9	134,2	167,4
28	77	36,4	71,0	105,6	140,2	174,8
29	73	33,7	66,5	99,4	132,2	165,0
30	79	37,7	73,2	108,7	144,2	179,7
31	71	32,4	64,3	96,2	128,2	160,1
32	81	39,0	75,4	111,8	148,2	184,6
33	76	35,7	69,9	104,0	138,2	172,4
34	73	33,7	66,5	99,4	132,2	165,0
35	78	37,0	72,1	107,2	142,2	177,3
36	74	34,4	67,7	100,9	134,2	167,4
37	78	37,0	72,1	107,2	142,2	177,3
38	72	33,1	65,4	97,8	130,2	162,5
39	82	39,7	76,5	113,4	150,2	187,1
40	77	36,4	71,0	105,6	140,2	174,8

Таблица А. 3 – Исходное состояние газодымозащитников перед проведением эксперимента с температурой окружающей среды 20 °С

№ п/п	СВТ кожи, °С	Т _р , °С	Q энергозатраты, Вт	S, м ²	ЧСС, уд/мин	СТТ, °С	Q теплосодержание, кДж/кг
1	30,60	36,94	93,6	1,97	78	35,04	121,94
2	31,77	36,96	100	1,99	79	35,40	123,20
3	31,93	36,96	98	1,96	80	35,45	123,37
4	32,09	36,73	41	2,47	68	35,34	122,97
5	32,26	36,93	81,2	1,78	76	35,53	123,64
6	32,42	36,92	84,5	1,88	77	35,57	123,79
7	32,59	36,90	79,5	1,90	75	35,61	123,92
8	32,75	37,10	131,2	1,87	86	35,80	124,57
9	33,60	36,90	72,8	1,76	74	35,91	124,96
10	31,70	37,00	102,2	1,82	81	35,41	123,23
11	33,93	36,84	72,6	2,18	73	35,97	125,17
12	31,13	37,02	110,6	1,87	83	35,26	122,69
13	32,81	36,86	64,4	1,83	72	35,64	124,03
14	32,88	37,04	129,8	2,09	84	35,80	124,57
15	32,96	36,83	60,7	1,89	71	35,67	124,14
16	32,30	36,83	60,7	1,93	71	35,47	123,44
17	32,80	36,81	56	1,96	70	35,61	123,91
18	31,69	37,10	123,2	1,75	86	35,48	123,47
19	32,43	36,80	51,3	1,88	69	35,49	123,50
20	32,45	37,09	148,2	2,18	87	35,69	124,22
21	32,44	36,93	84,2	1,84	76	35,58	123,83
22	31,71	36,99	107,7	1,97	81	35,41	123,22
23	32,97	36,86	64,4	1,83	72	35,69	124,20
24	33,04	37,02	112,4	1,93	82	35,82	124,67
25	32,95	36,90	79,5	1,93	75	35,71	124,28
26	32,52	36,91	84,2	1,94	76	35,60	123,87
27	32,41	36,93	88,9	1,92	77	35,58	123,81
28	32,48	36,89	79,5	1,97	75	35,57	123,78
29	32,39	37,02	112,4	1,91	82	35,63	124,00
30	32,53	36,87	74,8	2,01	74	35,57	123,78
31	32,36	37,01	107,7	1,87	81	35,62	123,95
32	32,56	36,75	40,6	2,04	73	35,49	123,51
33	32,42	37,03	117,1	1,95	83	35,65	124,05
34	32,47	36,85	65,4	1,90	72	35,54	123,67
35	32,38	37,04	121,8	2,00	84	35,64	124,02
36	32,52	36,83	60,7	1,91	71	35,54	123,67
37	32,35	37,06	126,5	1,99	85	35,64	124,04
38	32,55	36,82	56	1,90	70	35,54	123,67
39	32,41	37,09	140,2	2,06	86	35,68	124,18
40	32,46	36,79	51,3	1,97	69	35,49	123,51

Таблица А. 4 – Исходное состояние газодымозащитников перед проведением эксперимента с температурой окружающей среды 25°C

№ п/п	СВТ кожи, °С	Т _р , °С	Q энергозатраты, Вт	S, м ²	ЧСС, уд/мин	СТТ, °С	Q теплосодержание, кДж/кг
1	32,70	36,89	79,5	1,97	75	35,63	124,01
2	32,20	36,91	85	1,99	76	35,50	123,53
3	32,80	36,91	84,5	1,96	77	35,68	124,16
4	32,00	36,68	24,5	2,47	65	35,28	122,76
5	32,50	36,88	68,6	1,78	73	35,57	123,77
6	32,30	36,87	71	1,88	74	35,50	123,55
7	33,00	36,85	65,4	1,90	72	35,70	124,22
8	32,60	37,05	117,1	1,87	83	35,71	124,29
9	33,30	36,85	60,2	1,76	71	35,78	124,53
10	32,10	36,95	89,6	1,82	78	35,50	123,53
11	33,40	36,79	57	2,18	70	35,78	124,50
12	31,80	36,98	98	1,87	80	35,42	123,28
13	32,70	36,81	51,8	1,83	69	35,58	123,80
14	32,80	36,99	114,2	2,09	81	35,73	124,36
15	32,90	36,78	46,6	1,89	68	35,62	123,95
16	32,40	36,78	46,6	1,93	68	35,47	123,42
17	32,90	36,76	41,9	1,96	67	35,60	123,89
18	32,00	37,05	110,6	1,75	83	35,54	123,67
19	32,50	36,75	37,2	1,88	66	35,47	123,45
20	32,60	37,05	137	2,18	85	35,71	124,29
21	32,30	36,89	74,8	1,84	74	35,52	123,60
22	32,10	36,94	93,6	1,97	78	35,49	123,50
23	32,80	36,82	56	1,83	70	35,62	123,95
24	33,10	36,97	98,3	1,93	79	35,81	124,61
25	33,20	36,86	70,1	1,93	73	35,76	124,46
26	32,60	36,88	74,8	1,94	74	35,60	123,87
27	32,30	36,90	79,5	1,92	75	35,52	123,61
28	32,40	36,86	70,1	1,97	73	35,52	123,61
29	32,50	36,97	98,3	1,91	79	35,63	123,99
30	32,70	36,84	65,4	2,01	72	35,60	123,88
31	32,50	36,96	93,6	1,87	78	35,62	123,97
32	32,50	36,71	30,2	2,04	71	35,45	123,36
33	32,60	36,98	103	1,95	80	35,67	124,12
34	32,30	36,82	56	1,90	70	35,46	123,40
35	32,60	36,99	107,7	2,00	81	35,67	124,13
36	32,40	36,76	41,9	1,91	67	35,45	123,38
37	32,70	37,01	112,4	1,99	82	35,71	124,28
38	32,50	36,78	46,6	1,90	68	35,50	123,53
39	32,50	37,03	124,6	2,06	83	35,67	124,14
40	32,40	36,74	37,2	1,97	66	35,44	123,33

Таблица А. 5 – Исходное состояние газодымозащитников перед проведением эксперимента с температурой окружающей среды 30 °С

№ п/п	СВТ кожи, °С	Т _р , °С	Q энергозатраты, Вт	S, м ²	ЧСС, уд/мин	СТТ, °С	Q теплосодержание, кДж/кг
1	32,80	36,91	84,2	1,97	76	35,68	124,15
2	32,30	36,93	90	1,99	77	35,54	123,67
3	32,90	36,93	89	1,96	78	35,72	124,30
4	32,10	36,73	41	2,47	68	35,34	122,98
5	32,60	36,90	72,8	1,78	74	35,61	123,91
6	32,40	36,89	75,5	1,88	75	35,54	123,69
7	33,10	36,87	70,1	1,90	73	35,74	124,37
8	32,70	37,03	112,4	1,87	82	35,73	124,35
9	33,40	36,87	64,4	1,76	72	35,83	124,67
10	32,20	36,97	93,8	1,82	79	35,54	123,68
11	33,50	36,81	62,2	2,18	71	35,82	124,64
12	31,90	36,99	102,2	1,87	81	35,47	123,42
13	32,80	36,82	56	1,83	70	35,62	123,95
14	32,90	36,98	109	2,09	80	35,75	124,42
15	33,00	36,80	51,3	1,89	69	35,66	124,10
16	32,50	36,80	51,3	1,93	69	35,51	123,56
17	33,00	36,78	46,6	1,96	68	35,64	124,04
18	32,10	37,04	106,4	1,75	82	35,55	123,73
19	32,60	36,77	41,9	1,88	67	35,52	123,60
20	32,70	37,01	125,8	2,18	83	35,72	124,30
21	32,40	36,91	79,5	1,84	75	35,56	123,75
22	32,20	36,94	93,6	1,97	78	35,52	123,61
23	32,90	36,82	56	1,83	70	35,65	124,05
24	33,20	36,97	98,3	1,93	79	35,84	124,71
25	33,30	36,88	74,8	1,93	74	35,81	124,61
26	32,70	36,88	74,8	1,94	74	35,63	123,98
27	32,40	36,92	84,2	1,92	76	35,56	123,76
28	32,50	36,88	74,8	1,97	74	35,56	123,76
29	32,60	36,97	98,3	1,91	79	35,66	124,09
30	32,80	36,85	70,1	2,01	73	35,64	124,02
31	32,60	36,96	93,6	1,87	78	35,65	124,07
32	32,60	36,73	35,4	2,04	72	35,49	123,51
33	32,70	36,98	103	1,95	80	35,70	124,22
34	32,40	36,83	60,7	1,90	71	35,50	123,55
35	32,70	36,99	107,7	2,00	81	35,70	124,24
36	32,50	36,78	46,6	1,91	68	35,50	123,53
37	32,80	36,99	107,7	1,99	81	35,73	124,35
38	32,60	36,80	51,3	1,90	69	35,54	123,68
39	32,60	37,02	119,4	2,06	82	35,69	124,20
40	32,50	36,76	41,9	1,97	67	35,48	123,47

Таблица А. 6 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_1=35 \pm 6$ Вт) и температуре окружающего воздуха 20 °С

№ п/п	W_1 , Вт	$\omega_{л}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t_p , °С	$Q_{эт}$, Вт/м ²	СТТ, °С	Q , кДж/кг	ΔQ
1	35,7	27	100	98	30,83	37,39	220,5	35,42	123,27	1,34
2	39,7	27	113	97	32,00	37,50	255	35,85	124,77	1,57
3	37,7	37	107	98	32,16	37,33	201,5	35,78	124,51	1,14
4	62,7	35	101	96	32,32	37,26	228	35,78	124,50	1,53
5	29,1	31	115	98	32,49	37,92	333,2	36,29	126,29	2,66
6	33,1	34	105	96	32,65	37,38	206	35,96	125,14	1,34
7	33,1	27	118	96	32,82	37,62	272,2	36,18	125,89	1,97
8	33,7	27	103	97	32,98	37,31	187,6	36,01	125,33	0,76
9	29,1	27	109	97	33,83	37,67	266	36,52	127,07	2,11
10	30,4	27	98	96	31,93	37,26	169,4	35,66	124,10	0,87
11	43,6	41	112	98	34,16	37,24	197,4	36,32	126,39	1,22
12	30,4	27	106	97	31,36	37,37	203	35,57	123,77	1,08
13	29,8	45	119	96	33,04	37,40	207,2	36,09	125,60	1,57
14	39,7	23	104	95	33,11	37,41	239	36,12	125,70	1,13
15	31,8	41	110	95	33,19	37,37	206,4	36,12	125,69	1,55
16	34,4	31	97	96	32,53	37,97	375,6	36,34	126,46	3,02
17	36,4	29	111	97	33,03	37,31	197	36,03	125,38	1,47
18	27,8	27	105	98	31,92	37,35	186,2	35,72	124,32	0,85
19	33,1	34	117	97	32,66	37,38	206,4	35,96	125,15	1,65
20	44,9	27	102	97	32,68	37,32	221	35,93	125,03	0,81
21	31,8	29	108	96	32,67	37,40	206,4	35,98	125,20	1,37
22	35,0	27	114	97	31,94	37,34	206,4	35,72	124,31	1,09
23	29,8	29	103	97	33,20	37,19	152,6	36,00	125,27	1,06
24	33,1	29	109	96	33,27	37,41	220,5	36,17	125,87	1,20
25	33,1	41	116	95	33,18	37,36	206,4	36,10	125,64	1,36
26	35,0	30	101	97	32,61	37,46	234,6	36,00	125,29	1,42
27	33,7	31	107	97	32,78	37,48	239,3	36,07	125,53	1,72
28	36,4	32	113	97	32,95	37,49	248,7	36,13	125,73	1,95
29	33,7	28	104	97	32,44	37,44	225,2	35,94	125,06	1,06
30	37,0	33	110	97	33,12	37,51	258,1	36,19	125,95	2,17
31	34,4	31	115	97	32,91	37,52	244	36,14	125,77	1,82
32	35,7	34	102	97	33,29	37,50	259	36,23	126,10	2,58
33	33,7	29	108	97	32,50	37,45	234,6	35,97	125,16	1,11
34	36,4	32	112	97	32,86	37,54	253,4	36,14	125,76	2,09
35	33,1	35	106	97	33,34	37,56	272,2	36,30	126,31	2,28
36	37,0	33	118	97	33,52	37,62	276,9	36,39	126,65	2,97
37	34,4	30	103	97	32,69	37,47	244	36,03	125,40	1,36
38	35,7	34	109	97	33,17	37,56	258,1	36,25	126,13	2,47
39	33,7	37	114	97	33,60	37,62	296,2	36,41	126,71	2,53
40	36,4	32	105	97	33,08	37,54	262,8	36,20	125,99	2,48

Таблица А. 7 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении второй ступени нагрузки ($W_2=69 \pm 10$ Вт) и температуре окружающего воздуха 20 °С

№ п/п	W ₂ , Вт	ω _л , л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t _р , °С	Q _{эт} , Вт/м ²	СТТ, °С	Q, кДж/кг	ΔQ
1	69,9	29	106	98	30,93	37,56	267,5	35,57	123,78	1,85
2	76,5	34	120	97	32,10	37,61	285	35,96	125,13	1,93
3	73,2	38	114	98	32,26	37,25	179	35,75	124,42	1,05
4	115,3	41	108	96	32,42	37,35	261	35,87	124,83	1,86
5	58,8	38	122	98	32,59	38,05	366,8	36,41	126,72	3,08
6	65,4	41	112	96	32,75	37,51	242	36,08	125,57	1,77
7	65,4	30	125	96	32,92	37,62	272,2	36,21	126,00	2,08
8	66,5	34	110	97	33,08	37,37	201,7	36,08	125,56	0,99
9	58,8	34	117	97	33,93	37,78	295,4	36,63	127,46	2,50
10	61,0	27	105	96	32,03	37,36	194,6	35,76	124,44	1,21
11	83,2	45	119	98	34,26	37,35	228,6	36,42	126,74	1,57
12	61,0	35	113	97	31,46	37,51	240,8	35,70	124,22	1,53
13	59,9	41	126	96	33,14	37,56	249,2	36,23	126,10	2,06
14	76,5	45	111	95	33,21	37,86	374,2	36,47	126,91	2,34
15	63,2	34	117	95	33,29	37,60	267,5	36,31	126,35	2,21
16	67,7	38	104	96	32,63	38,04	394,4	36,42	126,73	3,29
17	71,0	35	118	96	33,13	37,43	229,9	36,14	125,77	1,86
18	56,6	28	112	98	32,02	37,40	198,8	35,79	124,55	1,08
19	65,4	41	122	97	32,76	37,52	244	36,09	125,60	2,09
20	85,4	35	109	97	32,78	37,37	237,8	35,99	125,26	1,04
21	63,2	32	115	96	32,77	37,54	244	36,11	125,66	1,83
22	68,8	30	121	97	32,04	37,41	225,2	35,80	124,58	1,36
23	59,9	32	110	97	33,30	37,39	203	36,16	125,84	1,64
24	65,4	34	116	96	33,37	37,67	291	36,38	126,59	1,92
25	65,4	35	123	95	33,28	37,60	272,2	36,30	126,33	2,04
26	68,8	36	109	97	32,71	37,63	281,6	36,15	125,81	1,93
27	67,7	37	114	97	32,88	37,67	291	36,23	126,10	2,29
28	71,0	38	120	97	33,05	37,68	300,4	36,29	126,28	2,51
29	66,5	33	111	97	32,54	37,57	262,8	36,06	125,50	1,50
30	73,2	39	117	97	33,22	37,71	314,5	36,36	126,53	2,76
31	64,3	37	122	97	33,01	37,68	286,3	36,28	126,26	2,31
32	75,4	40	109	97	33,39	37,73	326,6	36,43	126,77	3,25
33	69,9	35	116	97	32,60	37,59	272,2	36,09	125,59	1,54
34	66,5	38	119	97	32,96	37,70	295,7	36,28	126,24	2,57
35	72,1	42	113	97	33,44	37,69	309,8	36,42	126,73	2,71
36	67,7	39	125	97	33,62	37,78	319,2	36,53	127,13	3,45
37	72,1	36	111	97	32,79	37,60	281,6	36,16	125,83	1,79
38	65,4	40	116	97	33,27	37,70	295,7	36,37	126,58	2,91
39	76,5	44	121	97	33,70	37,76	337,8	36,54	127,16	2,98
40	71,0	38	112	97	33,18	37,68	300,4	36,33	126,42	2,91

Таблица А. 8 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении третьей ступени нагрузки ($W_3=103 \pm 14$ Вт) и температуре окружающего воздуха 20 °С

№ п/п	W ₃ , Вт	ω _л , л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t _р , °С	Q _{эт} , Вт/м ²	СТТ, °С	Q, кДж/кг	ΔQ
1	104,0	45	125	97	31,27	37,72	314,5	35,79	124,54	2,61
2	113,4	45	136	97	32,44	37,96	385	36,30	126,34	3,14
3	108,7	49	125	96	32,60	37,52	255,5	36,04	125,44	2,07
4	167,9	58	128	96	32,76	37,66	371	36,19	125,94	2,98
5	88,5	53	161	98	32,93	38,33	438,2	36,71	127,76	4,12
6	97,8	54	131	96	33,09	37,83	327,5	36,41	126,70	2,90
7	97,8	41	147	96	33,26	38,15	417,9	36,69	127,66	3,74
8	99,4	45	130	97	33,42	37,88	338	36,54	127,16	2,59
9	88,5	47	149	97	34,27	38,15	387,8	36,99	128,71	3,74
10	91,6	42	133	96	32,37	37,60	257,6	36,03	125,39	2,15
11	122,7	54	128	95	34,60	37,60	306,6	36,70	127,71	2,53
12	91,6	41	134	97	31,80	37,83	324,8	36,02	125,35	2,65
13	90,0	70	155	96	33,48	38,19	413	36,77	127,98	3,94
14	113,4	57	141	95	33,55	38,04	426,2	36,69	127,69	3,12
15	94,7	48	141	95	33,63	38,05	389,7	36,73	127,81	3,67
16	100,9	52	146	96	32,97	38,11	413,2	36,57	127,25	3,81
17	105,6	46	137	96	33,47	37,93	370,9	36,59	127,35	3,44
18	85,3	42	132	98	32,36	37,87	316,4	36,22	126,05	2,58
19	97,8	54	130	97	33,10	37,87	338	36,44	126,80	3,30
20	125,8	49	131	97	33,12	37,87	394,6	36,45	126,84	2,62
21	94,7	54	133	96	33,11	37,95	352,1	36,50	127,02	3,19
22	102,5	45	135	97	32,38	37,89	361,5	36,24	126,11	2,89
23	90,0	45	131	97	33,64	37,64	270,2	36,44	126,82	2,62
24	97,8	52	150	96	33,71	38,18	432	36,84	128,20	3,53
25	97,8	70	146	95	33,62	38,11	413,2	36,76	127,93	3,64
26	102,5	49	137	96	33,01	37,95	370,9	36,47	126,90	3,03
27	100,9	50	139	96	33,18	38,00	380,3	36,55	127,21	3,40
28	105,6	51	141	96	33,35	37,99	389,7	36,60	127,37	3,59
29	99,4	47	133	96	32,84	37,90	352,1	36,38	126,61	2,61
30	108,7	53	143	96	33,52	38,00	399,1	36,66	127,57	3,79
31	96,2	50	138	96	33,31	38,02	375,6	36,61	127,39	3,44
32	111,8	54	145	96	33,69	38,03	415	36,73	127,82	4,30
33	104,0	48	134	96	32,90	37,89	356,8	36,39	126,64	2,59
34	99,4	52	140	96	33,26	38,03	385	36,60	127,35	3,69
35	107,2	56	143	96	33,73	38,01	399,1	36,72	127,80	3,77
36	100,9	53	145	97	33,91	38,11	408,5	36,85	128,23	4,55
37	107,2	49	136	96	33,08	37,90	366,2	36,45	126,86	2,82
38	97,8	54	139	96	33,56	38,01	380,3	36,68	127,64	3,97
39	113,4	58	142	97	33,99	38,07	431,4	36,85	128,23	4,06
40	105,6	52	141	96	33,41	37,99	389,7	36,62	127,43	3,92

Таблица А. 9 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении четвертой ступени нагрузки ($W_4=137 \pm 18$ Вт) и температуре окружающего воздуха 20 °С

№ п/п	W ₄ , Вт	ω _л , л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t _р , °С	Q _{эт} , Вт/м ²	СТТ, °С	Q, кДж/кг	ΔQ
1	138,2	68	170	95	31,60	38,47	526	36,41	126,71	4,78
2	150,2	67	168	96	32,77	38,52	545	36,80	128,05	4,85
3	144,2	75	167	94	32,93	38,19	444,5	36,62	127,42	4,05
4	220,5	82	171	95	33,09	38,02	497,5	36,54	127,16	4,20
5	118,1	82	184	96	33,26	38,71	534,8	37,08	129,03	5,39
6	130,2	82	169	94	33,42	38,30	453,5	36,84	128,19	4,39
7	130,2	61	180	94	33,59	38,73	573	37,18	129,40	5,48
8	132,2	65	174	95	33,75	38,65	544,8	37,18	129,40	4,82
9	118,1	58	184	94	34,60	38,73	534,8	37,49	130,47	5,51
10	122,1	57	168	94	32,70	38,13	396,2	36,50	127,03	3,80
11	162,3	61	171	93	34,93	38,15	478,2	37,18	129,40	4,22
12	122,1	73	178	94	32,13	38,52	509,6	36,60	127,38	4,69
13	120,1	77	177	94	33,81	38,54	505,4	37,12	129,18	5,14
14	150,2	63	173	95	33,88	38,59	592,6	37,18	129,39	4,82
15	126,2	88	175	95	33,96	38,65	549,5	37,24	129,59	5,45
16	134,2	81	180	94	33,30	38,69	573	37,07	129,00	5,56
17	140,2	68	178	93	33,80	38,62	563,6	37,18	129,37	5,46
18	114,1	57	166	95	32,69	38,44	459,2	36,72	127,78	4,31
19	130,2	82	167	95	33,43	38,39	479	36,90	128,43	4,92
20	166,3	67	175	95	33,45	38,66	641	37,10	129,11	4,89
21	126,2	84	170	93	33,44	38,43	479	36,94	128,54	4,71
22	136,2	63	168	95	32,71	38,44	516,6	36,72	127,80	4,58
23	120,1	63	167	95	33,97	38,22	421,4	36,95	128,58	4,37
24	130,2	86	180	92	34,04	38,69	573	37,30	129,79	5,12
25	130,2	88	177	93	33,95	38,63	558,9	37,23	129,56	5,27
26	136,2	73	171	94	33,17	38,52	530,7	36,92	128,48	4,60
27	134,2	74	173	95	33,34	38,58	540,1	37,01	128,79	4,99
28	140,2	75	175	95	33,51	38,56	549,5	37,05	128,92	5,14
29	132,2	70	166	94	33,00	38,47	507,2	36,83	128,16	4,16
30	144,2	77	178	94	33,68	38,57	563,6	37,11	129,13	5,35
31	128,2	74	172	94	33,47	38,62	535,4	37,07	129,02	5,07
32	148,2	78	180	94	33,85	38,65	597	37,21	129,50	5,99
33	138,2	71	168	94	33,06	38,46	516,6	36,84	128,21	4,16
34	132,2	75	174	94	33,42	38,61	544,8	37,06	128,95	5,29
35	142,2	79	177	94	33,89	38,57	558,9	37,16	129,33	5,30
36	134,2	76	179	95	34,07	38,69	568,3	37,30	129,82	6,15
37	142,2	72	170	94	33,24	38,46	526	36,89	128,39	4,35
38	130,2	77	173	94	33,72	38,60	540,1	37,14	129,24	5,58
39	150,2	81	176	95	34,15	38,67	608,2	37,32	129,86	5,69
40	140,2	75	175	94	33,57	38,56	549,5	37,06	128,98	5,47

Таблица А. 10 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении пятой ступени нагрузки ($W_5=171 \pm 22$ Вт) и температуре окружающего воздуха 20 °С

№ п/п	W ₅ , Вт	ω _л , л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t _р , °С	Q _{эт} , Вт/м ²	СТТ, °С	Q, кДж/кг	ΔQ	Влагопотери Δm, кг
1	172,4	82	183	93	31,95	38,69	587,1	36,67	127,61	5,67	0,6
2	187,1	88	185	92	33,12	38,82	630	37,11	129,14	5,94	0,7
3	179,7	82	179	92	33,28	38,39	498,5	36,85	128,26	4,89	0,8
4	273,1	122	181	92	33,44	38,49	662,5	36,97	128,67	5,70	1,1
5	147,8	75	188	93	33,61	38,78	551,6	37,23	129,56	5,92	0,7
6	162,5	95	170	92	33,77	38,48	503	37,07	129,00	5,21	0,7
7	162,5	80	189	92	33,94	38,88	615,3	37,40	130,15	6,23	0,7
8	165,0	85	189	91	34,10	38,92	615,3	37,47	130,41	5,83	0,8
9	147,8	82	190	91	34,95	38,83	560	37,67	131,08	6,12	0,8
10	152,7	63	184	91	33,05	38,65	530,6	36,97	128,65	5,42	0,7
11	201,8	88	183	92	35,28	38,68	644,6	37,66	131,06	5,89	1,0
12	152,7	91	191	92	32,48	38,72	564,2	36,85	128,24	5,55	0,7
13	150,2	81	190	92	34,16	38,75	560	37,37	130,05	6,02	0,8
14	187,1	80	190	91	34,23	38,89	681	37,49	130,47	5,91	0,8
15	157,6	79	188	92	34,31	38,87	610,6	37,50	130,51	6,37	0,8
16	167,4	85	190	91	33,65	38,86	620	37,29	129,78	6,34	0,7
17	174,8	86	178	92	34,15	38,62	563,6	37,28	129,74	5,82	0,8
18	142,9	62	182	92	33,04	38,71	526,4	37,01	128,80	5,33	0,7
19	162,5	95	170	93	33,78	38,57	526	37,13	129,22	5,72	0,7
20	206,8	88	190	93	33,80	38,93	725	37,39	130,13	5,91	0,8
21	157,6	95	180	91	33,79	38,79	573	37,29	129,78	5,94	0,8
22	169,9	67	186	92	33,06	38,74	601,2	37,04	128,89	5,68	0,8
23	150,2	77	177	92	34,32	38,54	505,4	37,28	129,72	5,52	0,8
24	162,5	79	188	92	34,39	38,83	610,6	37,50	130,49	5,82	0,8
25	162,5	79	188	91	34,30	38,82	610,6	37,47	130,38	6,10	0,8
26	169,9	85	184	92	33,53	38,74	591,8	37,18	129,39	5,52	0,8
27	167,4	86	186	92	33,70	38,81	601,2	37,27	129,71	5,90	0,7
28	174,8	87	188	92	33,87	38,78	610,6	37,31	129,82	6,04	0,8
29	165,0	83	181	92	33,36	38,73	577,7	37,12	129,17	5,17	0,8
30	179,7	89	191	92	34,04	38,79	624,7	37,36	130,02	6,25	0,7
31	160,1	86	185	92	33,83	38,85	596,5	37,34	129,95	6,00	0,9
32	184,6	90	189	92	34,21	38,81	643,8	37,43	130,27	6,75	0,7
33	172,4	84	182	92	33,42	38,70	582,4	37,11	129,16	5,11	0,8
34	165,0	88	187	92	33,78	38,84	605,9	37,32	129,88	6,21	0,8
35	177,3	92	191	92	34,25	38,80	624,7	37,43	130,26	6,24	0,8
36	167,4	89	190	92	34,43	38,88	620	37,55	130,66	6,98	0,7
37	177,3	85	183	92	33,60	38,68	587,1	37,15	129,29	5,25	0,8
38	162,5	90	186	92	34,08	38,83	601,2	37,40	130,17	6,50	0,7
39	187,1	94	189	92	34,51	38,90	675,8	37,59	130,80	6,62	0,8
40	174,8	88	188	92	34,22	38,78	610,6	37,41	130,19	6,67	0,8

Таблица А. 11 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_1=35 \pm 6$ Вт) и температуре окружающего воздуха 25 °С

№ п/п	W_1 , Вт	$\omega_{\text{л}}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t_p , °С	$Q_{\text{эт}}$, Вт/м ²	СТТ, °С	Q , кДж/кг	ΔQ
1	35,7	28	107	98	33,33	37,42	229,9	36,20	125,96	1,96
2	39,7	28	112	97	32,83	37,54	265	36,13	125,72	2,20
3	37,7	38	105	98	33,43	37,36	210,5	36,18	125,91	1,75
4	62,7	36	116	96	32,63	37,29	239	35,89	124,90	2,14
5	29,1	32	104	98	33,13	37,95	341,6	36,51	127,04	3,27
6	33,1	35	115	96	32,93	37,41	215	36,07	125,51	1,96
7	33,1	28	103	96	33,63	37,65	281,6	36,44	126,82	2,60
8	33,7	28	117	96	33,23	37,35	197	36,11	125,67	1,39
9	29,1	28	102	96	33,93	37,70	274,4	36,57	127,26	2,73
10	30,4	28	118	96	32,73	37,29	177,8	35,92	125,02	1,48
11	43,6	42	101	98	34,03	37,28	207,8	36,30	126,34	1,84
12	30,4	28	119	97	32,43	37,40	211,4	35,91	124,97	1,69
13	29,8	46	100	96	33,33	37,43	215,6	36,20	125,98	2,18
14	39,7	23	120	95	33,43	37,45	249,4	36,24	126,12	1,76
15	31,8	42	99	95	33,53	37,41	215,8	36,25	126,13	2,18
16	34,4	32	121	96	33,03	38,00	385	36,51	127,06	3,64
17	36,4	30	98	97	33,53	37,35	206,4	36,20	125,98	2,09
18	27,8	28	122	96	32,63	37,39	194,6	35,96	125,14	1,48
19	33,1	34	97	97	33,13	37,41	215,8	36,13	125,73	2,28
20	44,9	28	123	97	33,23	37,35	232,2	36,12	125,69	1,40
21	31,8	30	108	96	32,93	37,43	215,8	36,08	125,56	1,97
22	35,0	28	111	97	32,73	37,38	215,8	35,98	125,22	1,71
23	29,8	30	106	97	33,43	37,23	161	36,09	125,58	1,64
24	33,1	30	114	96	33,73	37,44	229,9	36,33	126,43	1,82
25	33,1	42	113	95	33,83	37,39	215,8	36,32	126,40	1,94
26	35,0	31	110	97	33,23	37,49	244	36,21	126,02	2,14
27	34,4	32	109	97	32,93	37,52	248,7	36,14	125,77	2,16
28	36,4	33	112	97	33,03	37,51	253,4	36,17	125,86	2,24
29	33,7	29	108	96	33,13	37,49	239,3	36,18	125,91	1,92
30	37,7	31	111	96	33,33	37,43	234,6	36,20	125,97	2,09
31	32,4	30	107	97	33,13	37,52	244	36,21	126,00	2,03
32	39,0	32	113	96	33,13	37,39	227,8	36,11	125,67	2,31
33	35,7	31	106	97	33,23	37,50	248,7	36,22	126,05	1,93
34	33,7	33	114	96	32,93	37,51	244	36,13	125,75	2,34
35	37,0	29	105	96	33,23	37,43	234,6	36,17	125,87	1,74
36	34,4	31	115	96	33,03	37,45	229,9	36,13	125,72	2,34
37	37,0	30	104	97	33,33	37,45	239,3	36,22	126,03	1,75
38	33,1	32	116	96	33,13	37,48	234,6	36,17	125,88	2,35
39	39,7	31	103	97	33,13	37,51	265	36,20	125,96	1,82
40	36,4	33	117	96	33,03	37,46	239,3	36,13	125,74	2,41

Таблица А. 12 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_2=69 \pm 10$ Вт) и температуре окружающего воздуха 25 °С

№ п/п	W_2 , Вт	$\omega_{\text{л}}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO_2 , %	$CBT_{\text{кожи}}$, °С	t_p , °С	$Q_{\text{эт}}$, Вт/м ²	СТТ, °С	Q , кДж/кг	ΔQ
1	69,9	30	115	98	33,07	37,62	286,3	36,26	126,18	2,17
2	76,5	35	130	97	34,24	37,68	305	36,65	127,54	4,01
3	73,2	39	123	98	34,40	37,31	197	36,44	126,81	2,65
4	115,3	42	117	95	34,56	37,41	283	36,56	127,22	4,46
5	58,8	39	132	98	34,73	38,12	383,6	37,10	129,12	5,35
6	65,4	42	122	96	34,89	37,58	260	36,77	127,97	4,42
7	65,4	31	136	96	35,06	37,68	291	36,90	128,40	4,18
8	66,5	35	120	96	35,22	37,44	220,5	36,77	127,97	3,68
9	58,8	35	126	96	36,07	37,85	312,2	37,32	129,86	5,33
10	61,0	28	113	96	34,17	37,42	211,4	36,45	126,83	3,30
11	83,2	46	129	98	36,40	37,41	249,4	37,11	129,14	4,64
12	61,0	36	123	95	33,60	37,58	257,6	36,38	126,61	3,34
13	59,9	42	137	96	35,28	37,63	266	36,92	128,49	4,69
14	76,5	46	121	95	35,35	37,93	395	37,16	129,31	4,95
15	63,2	35	127	95	35,43	37,67	286,3	37,00	128,75	4,80
16	67,7	39	112	96	34,77	38,11	413,2	37,11	129,13	5,71
17	71,0	36	128	97	35,27	37,50	248,7	36,83	128,17	4,27
18	56,6	29	122	96	34,16	37,47	215,6	36,48	126,94	3,28
19	65,4	42	135	97	34,90	37,59	262,8	36,78	128,00	4,55
20	85,4	36	119	97	34,92	37,44	260,2	36,69	127,67	3,38
21	63,2	33	125	96	34,91	37,61	262,8	36,80	128,07	4,47
22	68,8	31	131	97	34,18	37,48	244	36,49	126,98	3,47
23	59,9	33	120	97	35,44	37,45	219,8	36,85	128,23	4,28
24	65,4	35	126	96	35,51	37,74	309,8	37,07	129,00	4,39
25	65,4	36	134	95	35,42	37,66	291	36,99	128,73	4,27
26	68,8	36	119	96	34,85	37,63	281,6	36,79	128,04	4,17
27	67,7	37	124	96	35,02	37,69	295,7	36,89	128,37	4,76
28	71,0	38	130	97	35,19	37,71	309,8	36,95	128,60	4,99
29	66,5	34	121	96	34,68	37,61	272,2	36,73	127,82	3,83
30	73,2	39	127	96	35,36	37,74	323,9	37,03	128,85	4,97
31	64,3	36	133	97	35,15	37,68	286,3	36,92	128,49	4,53
32	75,4	40	119	96	35,53	37,76	337	37,09	129,09	5,72
33	69,9	33	126	96	34,61	37,57	267,5	36,68	127,65	3,53
34	66,5	37	129	97	34,97	37,71	300,4	36,89	128,38	4,98
35	72,1	41	123	96	35,44	37,71	314,5	37,03	128,86	4,73
36	67,7	38	136	97	35,62	37,81	328,6	37,16	129,30	5,92
37	72,1	35	120	96	34,79	37,58	276,9	36,75	127,88	3,59
38	65,4	39	127	96	35,27	37,74	305,1	37,00	128,75	5,22
39	76,5	42	132	97	35,70	37,79	348,2	37,16	129,33	5,19
40	71,0	36	122	96	35,08	37,64	291	36,87	128,32	4,99

Таблица А. 13 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_3=103 \pm 14$ Вт) и температуре окружающего воздуха 25 °С

№ п/п	W _з , Вт	ω _л , л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t _р , °С	Q _{эт} , Вт/м ²	СТТ, °С	Q, кДж/кг	ΔQ
1	104,0	47	131	98	33,44	37,82	342,7	36,51	127,05	3,05
2	113,4	47	142	97	34,61	38,07	415	37,03	128,86	5,34
3	108,7	51	131	98	34,77	37,62	282,5	36,76	127,94	3,78
4	167,9	60	134	95	34,93	37,75	404	36,91	128,44	5,68
5	88,5	55	167	98	35,10	38,43	463,4	37,43	130,27	6,50
6	97,8	56	137	96	35,26	37,93	354,5	37,13	129,21	5,66
7	97,8	43	153	96	35,43	38,26	446,1	37,41	130,18	5,96
8	99,4	47	136	96	35,59	37,98	366,2	37,27	129,68	5,40
9	88,5	49	155	96	36,44	38,25	413	37,71	131,22	6,69
10	91,6	44	139	96	34,54	37,70	282,8	36,75	127,89	4,36
11	122,7	56	134	98	36,77	37,70	337,8	37,42	130,22	5,72
12	91,6	43	140	95	33,97	37,92	350	36,74	127,84	4,57
13	90,0	72	151	96	35,65	38,28	438,2	37,49	130,47	6,67
14	113,4	58	147	95	35,72	38,14	457,4	37,42	130,21	5,85
15	94,7	49	147	95	35,80	38,16	417,9	37,45	130,33	6,38
16	100,9	54	152	96	35,14	38,21	441,4	37,29	129,76	6,34
17	105,6	48	143	97	35,64	38,03	399,1	37,32	129,86	5,97
18	85,3	44	138	96	34,53	37,97	341,6	36,94	128,56	4,89
19	97,8	56	136	97	35,27	37,97	366,2	37,16	129,33	5,88
20	125,8	51	137	97	35,29	37,98	428,2	37,17	129,37	5,08
21	94,7	56	139	96	35,28	38,06	380,3	37,22	129,54	5,95
22	102,5	47	141	95	34,55	37,99	389,7	36,96	128,62	5,12
23	90,0	47	127	95	35,81	37,74	295,4	37,16	129,32	5,37
24	97,8	54	156	96	35,88	38,28	460,2	37,56	130,71	6,10
25	97,8	72	152	95	35,79	38,21	441,4	37,48	130,44	5,98
26	102,5	51	143	96	35,18	38,05	399,1	37,19	129,42	5,54
27	100,9	52	145	97	35,35	38,10	408,5	37,28	129,72	6,11
28	105,6	53	147	97	35,52	38,09	417,9	37,32	129,88	6,27
29	99,4	49	139	96	35,01	38,00	380,3	37,11	129,13	5,14
30	108,7	55	150	96	35,69	38,12	432	37,39	130,11	6,23
31	96,2	52	144	97	35,48	38,12	403,8	37,33	129,91	5,94
32	111,8	56	152	96	35,86	38,16	451,4	37,47	130,39	7,02
33	104,0	48	140	96	35,07	37,99	385	37,11	129,16	5,04
34	99,4	53	146	97	35,43	38,13	413,2	37,32	129,87	6,47
35	107,2	57	149	96	35,90	38,11	427,3	37,44	130,30	6,17
36	100,9	54	151	97	36,08	38,21	436,7	37,57	130,75	7,36
37	107,2	50	142	96	35,25	38,00	394,4	37,17	129,36	5,08
38	97,8	55	145	96	35,73	38,12	408,5	37,40	130,16	6,63
39	113,4	59	148	97	36,16	38,18	462,6	37,57	130,76	6,62
40	105,6	53	147	96	35,64	38,09	417,9	37,36	130,00	6,68

Таблица А. 14 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_4=137 \pm 18$ Вт) и температуре окружающего воздуха 25 °С

№ п/п	W_4 , Вт	$\omega_{\text{л}}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	$t_{\text{р}}$, °С	$Q_{\text{эт}}$, Вт/м ²	СТТ, °С	Q , кДж/кг	ΔQ
1	138,2	71	176	93	33,71	38,57	554,2	37,12	129,16	5,15
2	150,2	69	174	95	34,88	38,63	575	37,50	130,51	6,99
3	144,2	78	173	95	35,04	38,29	471,5	37,32	129,86	5,70
4	220,5	84	167	94	35,20	38,11	530,5	37,24	129,59	6,83
5	118,1	84	190	96	35,37	38,81	560	37,78	131,47	7,71
6	130,2	84	165	93	35,53	38,40	480,5	37,54	130,63	7,09
7	130,2	64	186	94	35,70	38,83	601,2	37,89	131,86	7,64
8	132,2	68	180	93	35,86	38,76	573	37,89	131,86	7,57
9	118,1	61	190	94	36,71	38,83	560	38,20	132,92	8,39
10	122,1	60	174	95	34,81	38,23	421,4	37,20	129,47	5,93
11	162,3	64	167	94	37,04	38,25	509,4	37,89	131,84	7,34
12	122,1	76	184	94	34,24	38,61	534,8	37,30	129,81	6,53
13	120,1	80	183	95	35,92	38,64	530,6	37,82	131,62	7,81
14	150,2	66	179	94	35,99	38,70	623,8	37,89	131,85	7,49
15	126,2	91	181	93	36,07	38,75	577,7	37,95	132,05	8,10
16	134,2	84	186	94	35,41	38,79	601,2	37,77	131,45	8,04
17	140,2	71	184	95	35,91	38,72	591,8	37,88	131,82	7,93
18	114,1	60	172	94	34,80	38,55	484,4	37,42	130,23	6,56
19	130,2	84	176	94	35,54	38,50	507,2	37,61	130,89	7,44
20	166,3	69	181	93	35,56	38,77	674,6	37,81	131,57	7,29
21	126,2	87	176	94	35,55	38,54	507,2	37,64	131,00	7,41
22	136,2	66	174	93	34,82	38,54	544,8	37,43	130,24	6,74
23	120,1	66	163	92	36,08	38,32	446,6	37,65	131,01	7,07
24	130,2	89	186	93	36,15	38,79	601,2	38,00	132,24	7,63
25	130,2	91	183	94	36,06	38,74	587,1	37,93	132,01	7,55
26	136,2	76	177	94	35,28	38,63	558,9	37,62	130,93	7,05
27	134,2	77	179	94	35,45	38,69	568,3	37,71	131,25	7,64
28	140,2	78	181	95	35,62	38,66	577,7	37,75	131,37	7,75
29	132,2	73	172	94	35,11	38,57	535,4	37,53	130,62	6,63
30	144,2	79	184	94	35,79	38,67	591,8	37,81	131,57	7,70
31	128,2	76	178	94	35,58	38,72	563,6	37,78	131,48	7,51
32	148,2	81	186	94	35,96	38,76	628,2	37,92	131,96	8,60
33	138,2	74	174	94	35,17	38,56	544,8	37,54	130,66	6,54
34	132,2	78	180	94	35,53	38,72	573	37,76	131,41	8,00
35	142,2	82	183	94	36,00	38,66	587,1	37,86	131,77	7,64
36	134,2	79	185	95	36,18	38,79	596,5	38,01	132,28	8,89
37	142,2	75	176	94	35,35	38,56	554,2	37,60	130,84	6,55
38	130,2	80	179	94	35,83	38,71	568,3	37,84	131,70	8,17
39	150,2	84	182	95	36,26	38,78	639,4	38,02	132,32	8,18
40	140,2	78	181	94	35,74	38,66	577,7	37,78	131,49	8,16

Таблица А. 15 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_5=171 \pm 22$ Вт) и температуре окружающего воздуха 25 °С

№ п/п	W_5 , Вт	$\omega_{л}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t_p , °С	$Q_{эт}$, Вт/м ²	СТТ, °С	Q , кДж/кг	ΔQ	Влагопотери Δm , кг
1	172,4	85	191	92	34,10	38,82	624,7	37,41	130,18	6,17	1,0
2	187,1	92	193	91	35,26	38,96	670	37,85	131,72	8,20	1,2
3	179,7	85	177	91	35,42	38,52	534,5	37,59	130,80	6,64	1,2
4	273,1	126	189	92	35,59	38,61	706,5	37,71	131,21	8,46	2,1
5	147,8	78	196	91	35,75	38,91	585,2	37,96	132,11	8,34	1,2
6	162,5	98	178	91	35,92	38,62	539	37,81	131,57	8,02	1,2
7	162,5	84	197	90	36,08	39,02	652,9	38,14	132,72	8,50	1,2
8	165,0	89	197	91	36,25	39,06	652,9	38,22	132,99	8,71	1,4
9	147,8	85	198	91	37,10	38,97	593,6	38,41	133,65	9,12	1,4
10	152,7	66	192	91	35,20	38,78	564,2	37,70	131,21	7,68	1,2
11	201,8	92	191	91	37,43	38,82	686,2	38,40	133,64	9,14	1,8
12	152,7	95	199	92	34,63	38,85	597,8	37,58	130,79	7,52	1,2
13	150,2	85	198	91	36,31	38,88	593,6	38,11	132,61	8,81	1,4
14	187,1	84	198	91	36,38	39,03	722,6	38,24	133,06	8,70	1,4
15	157,6	83	196	91	36,46	39,01	648,2	38,25	133,09	9,14	1,4
16	167,4	88	198	91	35,80	38,99	657,6	38,03	132,36	8,94	1,2
17	174,8	90	186	92	36,30	38,76	601,2	38,02	132,31	8,41	1,4
18	142,9	66	190	92	35,19	38,85	560	37,75	131,37	7,70	1,2
19	162,5	98	178	91	35,93	38,71	563,6	37,88	131,81	8,36	1,2
20	206,8	92	198	92	35,95	39,08	769,8	38,14	132,72	8,44	1,4
21	157,6	98	188	92	35,94	38,94	610,6	38,04	132,37	8,77	1,4
22	169,9	70	194	93	35,21	38,88	638,8	37,78	131,46	7,96	1,4
23	150,2	81	185	92	36,47	38,67	539	38,01	132,28	8,33	1,4
24	162,5	83	196	93	36,54	38,96	648,2	38,24	133,06	8,46	1,4
25	162,5	83	196	92	36,45	38,96	648,2	38,21	132,96	8,49	1,4
26	169,9	89	192	92	35,68	38,88	629,4	37,92	131,96	8,09	1,4
27	167,4	90	194	92	35,85	38,94	638,8	38,02	132,29	8,68	1,2
28	174,8	91	196	92	36,02	38,91	648,2	38,04	132,39	8,78	1,4
29	165,0	87	189	92	35,51	38,87	615,3	37,86	131,75	7,76	1,4
30	179,7	93	199	92	36,19	38,92	662,3	38,10	132,59	8,71	1,2
31	160,1	90	193	92	35,98	38,99	634,1	38,09	132,54	8,57	1,6
32	184,6	94	197	92	36,36	38,96	685,4	38,18	132,86	9,50	1,2
33	172,4	88	190	92	35,57	38,83	620	37,85	131,73	7,61	1,4
34	165,0	92	195	92	35,93	38,98	643,5	38,06	132,46	9,05	1,4
35	177,3	96	199	92	36,40	38,93	662,3	38,17	132,83	8,69	1,4
36	167,4	93	198	92	36,58	39,02	657,6	38,29	133,24	9,86	1,2
37	177,3	89	191	92	35,75	38,81	624,7	37,89	131,86	7,57	1,4
38	162,5	94	194	92	36,23	38,97	638,8	38,15	132,75	9,22	1,2
39	187,1	98	197	92	36,66	39,04	717,4	38,33	133,39	9,24	1,4
40	174,8	92	196	92	36,14	38,91	648,2	38,08	132,52	9,19	1,4

Таблица А. 16 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_1=35 \pm 6$ Вт) и температуре окружающего воздуха 30 °С

№ п/п	W_1 , Вт	$\omega_{л}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t_p , °С	$Q_{эт}$, Вт/м ²	СТТ, °С	Q , кДж/кг	ΔQ
1	35,7	29	112	96	33,46	37,51	253,4	36,29	126,30	2,15
2	39,7	29	117	97	34,63	37,63	290	36,73	127,81	4,14
3	37,7	38	110	98	34,79	37,44	233	36,65	127,53	3,22
4	62,7	37	109	96	34,96	37,37	266,5	36,64	127,52	4,54
5	29,1	33	143	98	35,12	38,04	362,6	37,16	129,32	5,41
6	33,1	36	111	96	35,28	37,49	237,5	36,83	128,17	4,48
7	33,1	29	123	96	35,45	37,74	305,1	37,05	128,94	4,57
8	33,7	29	105	96	35,61	37,44	220,5	36,89	128,37	4,03
9	29,1	29	127	97	36,46	37,78	295,4	37,39	130,10	5,43
10	30,4	29	110	96	34,56	37,37	198,8	36,53	127,12	3,45
11	43,6	42	104	98	36,79	37,36	233,8	37,19	129,42	4,78
12	30,4	29	112	97	33,99	37,48	232,4	36,43	126,79	3,37
13	29,8	47	113	96	35,67	37,51	236,6	36,96	128,62	4,68
14	39,7	24	112	95	35,74	37,53	275,4	36,99	128,74	4,32
15	31,8	42	109	95	35,82	37,50	239,3	36,99	128,74	4,64
16	34,4	33	145	96	35,16	38,09	408,5	37,21	129,49	5,93
17	36,4	30	107	97	35,66	37,43	229,9	36,90	128,41	4,37
18	27,8	29	108	98	34,55	37,47	215,6	36,59	127,35	3,62
19	33,1	35	109	97	35,29	37,50	239,3	36,84	128,20	4,60
20	44,9	29	107	97	35,31	37,44	260,2	36,80	128,08	3,77
21	31,8	31	109	96	35,30	37,52	239,3	36,86	128,26	4,51
22	35,0	29	109	95	34,57	37,46	239,3	36,59	127,34	3,73
23	29,8	31	100	97	35,83	37,31	182	36,86	128,29	4,23
24	33,1	31	112	96	35,90	37,53	253,4	37,04	128,90	4,19
25	33,1	42	109	95	35,81	37,48	239,3	36,98	128,68	4,07
26	35,0	31	115	97	35,14	37,58	267,5	36,84	128,22	4,24
27	34,4	32	116	97	35,31	37,60	272,2	36,92	128,47	4,71
28	36,4	33	117	97	35,48	37,59	276,9	36,96	128,62	4,86
29	33,7	30	114	96	35,04	37,57	262,8	36,81	128,11	4,02
30	37,7	34	119	96	35,72	37,61	286,3	37,04	128,90	4,88
31	32,4	32	115	97	35,51	37,61	267,5	36,98	128,70	4,63
32	39,0	35	120	96	35,89	37,59	285	37,08	129,03	5,52
33	35,7	30	114	96	35,10	37,55	262,8	36,82	128,12	3,90
34	33,7	33	117	97	35,46	37,63	276,9	36,98	128,68	5,13
35	37,0	37	120	96	35,93	37,63	291	37,12	129,17	4,93
36	34,4	34	121	97	36,11	37,69	295,7	37,22	129,52	5,99
37	37,0	31	115	96	35,28	37,55	267,5	36,87	128,31	3,96
38	33,1	35	118	96	35,76	37,65	281,6	37,08	129,05	5,37
39	39,7	39	121	97	36,19	37,70	322,2	37,25	129,63	5,42
40	36,4	33	117	96	35,67	37,59	276,9	37,02	128,82	5,34

Таблица А. 17 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_2=69 \pm 10$ Вт) и температуре окружающего воздуха 30 °С

№ п/п	W_2 , Вт	$\omega_{\text{л}}$, л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t_p , °С	$Q_{\text{эт}}$, Вт/м ²	СТТ, °С	Q , кДж/кг	ΔQ
1	69,9	31	122	96	34,40	37,74	319,2	36,74	127,85	3,70
2	76,5	37	138	97	35,57	37,80	340	37,13	129,22	5,55
3	73,2	41	131	96	35,73	37,42	228,5	36,92	128,47	4,17
4	115,3	43	125	96	35,90	37,52	321,5	37,03	128,88	5,90
5	58,8	41	130	95	36,06	38,23	413	37,58	130,79	6,87
6	65,4	43	130	96	36,22	37,70	291,5	37,25	129,64	5,95
7	65,4	33	133	96	36,39	37,81	323,9	37,38	130,09	5,72
8	66,5	37	128	96	36,55	37,56	253,4	37,26	129,66	5,31
9	58,8	37	134	97	37,40	37,97	341,6	37,80	131,53	6,86
10	61,0	30	121	96	35,50	37,54	240,8	36,92	128,50	4,82
11	83,2	47	137	96	37,73	37,53	285,8	37,59	130,81	6,17
12	61,0	38	131	97	34,93	37,69	287	36,86	128,27	4,85
13	59,9	43	144	96	36,61	37,74	295,4	37,40	130,15	6,20
14	76,5	48	129	95	36,68	38,05	431,4	37,64	131,00	6,58
15	63,2	37	135	95	36,76	37,79	319,2	37,48	130,44	6,34
16	67,7	41	120	96	36,10	38,23	446,1	37,59	130,81	7,24
17	71,0	37	136	97	36,60	37,62	281,6	37,31	129,84	5,80
18	56,6	31	130	95	35,49	37,59	245	36,96	128,62	4,89
19	65,4	43	132	97	36,23	37,71	295,7	37,27	129,69	6,09
20	85,4	38	127	97	36,25	37,57	299,4	37,17	129,36	5,06
21	63,2	34	133	96	36,24	37,74	295,7	37,29	129,76	6,02
22	68,8	33	139	95	35,51	37,59	276,9	36,97	128,65	5,04
23	59,9	34	128	97	36,77	37,56	249,2	37,33	129,89	5,84
24	65,4	37	134	96	36,84	37,85	342,7	37,55	130,67	5,96
25	65,4	38	131	95	36,75	37,78	323,9	37,47	130,41	5,80
26	68,8	38	127	96	36,28	37,80	328,6	37,34	129,95	5,97
27	67,7	39	132	96	36,45	37,83	333,3	37,41	130,20	6,44
28	71,0	40	138	97	36,62	37,83	342,7	37,46	130,38	6,62
29	66,5	36	129	96	36,17	37,73	305,1	37,26	129,67	5,57
30	73,2	42	135	96	36,79	37,85	356,8	37,53	130,62	6,60
31	64,3	39	130	97	36,58	37,88	338	37,49	130,46	6,39
32	75,4	43	127	96	37,02	37,89	373,4	37,63	130,95	7,43
33	69,9	35	134	96	36,13	37,72	309,8	37,24	129,61	5,39
34	66,5	40	137	97	36,49	37,87	342,7	37,46	130,35	6,80
35	72,1	44	131	96	37,06	37,86	356,8	37,62	130,91	6,67
36	67,7	41	133	97	37,24	37,95	366,2	37,74	131,33	7,80
37	72,1	37	128	96	36,31	37,73	319,2	37,31	129,83	5,48
38	65,4	42	135	96	36,79	37,86	338	37,54	130,63	6,95
39	76,5	46	140	97	37,32	37,92	384,6	37,74	131,32	7,12
40	71,0	40	130	96	36,70	37,84	347,4	37,50	130,50	7,03

Таблица А. 18 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_3=103 \pm 14$ Вт) и температуре окружающего воздуха 30 °С

№ п/п	W _з , Вт	ω _л , л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t _р , °С	Q _{эт} , Вт/м ²	СТТ, °С	Q, кДж/кг	ΔQ
1	104,0	49	134	95	35,07	37,87	356,8	37,03	128,88	4,72
2	113,4	49	145	97	36,24	38,12	430	37,56	130,69	7,02
3	108,7	53	144	95	36,40	37,67	296	37,29	129,75	5,45
4	167,9	62	137	96	36,57	37,80	420,5	37,43	130,26	7,29
5	88,5	57	150	95	36,73	38,48	476	37,96	132,09	8,18
6	97,8	58	140	96	36,89	37,98	368	37,65	131,03	7,34
7	97,8	45	156	96	37,06	38,31	460,2	37,93	132,01	7,64
8	99,4	49	139	96	37,22	38,04	380,3	37,79	131,52	7,17
9	88,5	51	158	96	38,07	38,30	425,6	38,23	133,04	8,37
10	91,6	46	142	96	36,17	37,75	295,4	37,27	129,71	6,03
11	122,7	58	137	96	38,40	37,75	353,4	37,94	132,04	7,40
12	91,6	45	143	95	35,60	37,97	362,6	37,26	129,66	6,24
13	90,0	74	144	96	37,28	38,33	450,8	38,02	132,29	8,35
14	113,4	60	150	95	37,35	38,19	473	37,94	132,03	7,62
15	94,7	51	150	95	37,43	38,21	432	37,98	132,16	8,06
16	100,9	56	155	96	36,77	38,26	455,5	37,81	131,59	8,02
17	105,6	50	146	97	37,27	38,09	413,2	37,84	131,69	7,65
18	85,3	46	141	95	36,16	38,03	354,2	37,47	130,38	6,65
19	97,8	58	139	97	36,90	38,03	380,3	37,69	131,16	7,56
20	125,8	53	140	97	36,92	38,04	445	37,70	131,20	6,90
21	94,7	58	142	96	36,91	38,11	394,4	37,75	131,38	7,63
22	102,5	49	144	95	36,18	38,04	403,8	37,48	130,44	6,84
23	90,0	49	140	97	37,44	37,79	308	37,68	131,14	7,09
24	97,8	56	159	96	37,51	38,33	474,3	38,09	132,54	7,83
25	97,8	74	155	95	37,42	38,26	455,5	38,01	132,27	7,66
26	102,5	53	146	96	36,81	38,10	413,2	37,71	131,24	7,26
27	100,9	54	148	97	36,98	38,15	422,6	37,80	131,55	7,79
28	105,6	55	150	97	37,15	38,14	432	37,85	131,70	7,94
29	99,4	51	142	96	36,64	38,06	394,4	37,63	130,96	6,86
30	108,7	57	153	96	37,32	38,17	446,1	37,91	131,93	7,91
31	96,2	54	147	97	37,11	38,18	417,9	37,86	131,74	7,67
32	111,8	58	155	96	37,49	38,21	467	37,99	132,22	8,71
33	104,0	50	143	96	36,70	38,04	399,1	37,64	130,98	6,76
34	99,4	55	149	97	37,06	38,18	427,3	37,84	131,70	8,15
35	107,2	59	152	96	37,53	38,15	441,4	37,97	132,13	7,89
36	100,9	56	154	97	37,71	38,26	450,8	38,10	132,57	9,05
37	107,2	52	145	96	36,88	38,05	408,5	37,70	131,19	6,84
38	97,8	57	148	96	37,36	38,17	422,6	37,93	131,99	8,31
39	113,4	61	151	97	37,79	38,23	478,2	38,10	132,59	8,38
40	105,6	55	150	96	37,27	38,14	432	37,88	131,83	8,35

Таблица А. 19 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_4=137 \pm 18$ Вт) и температуре окружающего воздуха 30 °С

№ п/п	W ₄ , Вт	ω _л , л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t _р , °С	Q _{эт} , Вт/м ²	СТТ, °С	Q, кДж/кг	ΔQ
1	138,2	77	180	92	35,34	38,64	573	37,65	131,02	6,87
2	150,2	75	178	93	36,51	38,70	595	38,04	132,38	8,71
3	144,2	83	175	92	36,67	38,36	489,5	37,85	131,72	7,41
4	220,5	90	161	93	36,84	38,18	552,5	37,77	131,46	8,48
5	118,1	90	194	91	37,00	38,88	576,8	38,32	133,34	9,42
6	130,2	90	169	93	37,16	38,47	498,5	38,07	132,50	8,81
7	130,2	70	190	93	37,33	38,90	620	38,43	133,73	9,36
8	132,2	74	184	92	37,49	38,83	591,8	38,43	133,73	9,38
9	118,1	67	184	92	38,34	38,90	576,8	38,73	134,79	10,11
10	122,1	66	178	93	36,44	38,29	438,2	37,74	131,33	7,65
11	162,3	70	161	93	38,67	38,32	530,2	38,42	133,71	9,06
12	122,1	82	188	91	35,87	38,68	551,6	37,83	131,67	8,25
13	120,1	86	187	93	37,55	38,70	547,4	38,35	133,47	9,53
14	150,2	72	183	92	37,62	38,77	644,6	38,42	133,72	9,30
15	126,2	97	185	91	37,70	38,82	596,5	38,48	133,92	9,83
16	134,2	89	180	93	37,04	38,86	620	38,31	133,32	9,76
17	140,2	76	188	93	37,54	38,79	610,6	38,42	133,68	9,65
18	114,1	66	176	92	36,43	38,61	501,2	37,96	132,09	8,36
19	130,2	90	170	93	37,17	38,57	526	38,15	132,76	9,16
20	166,3	75	185	93	37,19	38,84	697	38,35	133,45	9,15
21	126,2	92	170	93	37,18	38,61	526	38,18	132,88	9,13
22	136,2	72	178	92	36,45	38,61	563,6	37,96	132,11	8,50
23	120,1	72	177	91	37,71	38,38	463,4	38,18	132,87	8,82
24	130,2	95	190	93	37,78	38,86	620	38,54	134,11	9,40
25	130,2	97	187	95	37,69	38,80	605,9	38,47	133,88	9,27
26	136,2	82	181	93	36,91	38,69	577,7	38,16	132,79	8,81
27	134,2	83	183	93	37,08	38,75	587,1	38,25	133,12	9,36
28	140,2	84	185	94	37,25	38,73	596,5	38,28	133,23	9,47
29	132,2	79	176	93	36,74	38,64	554,2	38,07	132,49	8,39
30	144,2	86	178	93	37,42	38,74	610,6	38,34	133,43	9,41
31	128,2	83	182	93	37,21	38,79	582,4	38,32	133,35	9,28
32	148,2	87	190	93	37,59	38,83	649	38,46	133,84	10,33
33	138,2	80	178	93	36,80	38,63	563,6	38,08	132,52	8,30
34	132,2	84	184	93	37,16	38,79	591,8	38,30	133,28	9,73
35	142,2	88	187	93	37,63	38,73	605,9	38,40	133,63	9,39
36	134,2	85	189	94	37,81	38,86	615,3	38,55	134,15	10,62
37	142,2	81	180	93	36,98	38,63	573	38,13	132,70	8,35
38	130,2	86	183	93	37,46	38,78	587,1	38,38	133,57	9,89
39	150,2	90	186	94	37,89	38,85	660,2	38,56	134,20	9,99
40	140,2	84	185	93	37,37	38,73	596,5	38,32	133,36	9,88

Таблица А. 20 – Функциональное и тепловое состояние газодымозащитников при выполнении первой ступени нагрузки ($W_5=171 \pm 22$ Вт) и температуре окружающего воздуха 30 °С

№ п/п	W_5 , Вт	ω_l , л/мин	ЧСС, уд/мин	SpO ₂ , %	СВТ _{кожи} , °С	t_p , °С	$Q_{эп}$, Вт/м ²	СТТ, °С	Q , кДж/кг	ΔQ	Влагопотери Δm , кг
1	172,4	91	194	90	35,63	38,87	638,8	37,90	131,90	7,74	1,2
2	187,1	98	196	91	36,80	39,01	685	38,35	133,46	9,78	1,5
3	179,7	91	180	91	36,96	38,56	548	38,08	132,53	8,22	1,5
4	273,1	132	192	91	37,13	38,66	723	38,20	132,94	9,96	2,4
5	147,8	85	199	91	37,29	38,96	597,8	38,46	133,84	9,93	1,5
6	162,5	105	181	91	37,45	38,67	552,5	38,30	133,29	9,60	1,5
7	162,5	90	200	90	37,62	39,07	667	38,64	134,46	10,09	1,5
8	165,0	95	200	92	37,78	39,11	667	38,71	134,72	10,37	1,7
9	147,8	91	201	92	38,63	39,02	606,2	38,90	135,37	10,70	1,7
10	152,7	72	195	92	36,73	38,83	576,8	38,20	132,93	9,25	1,7
11	201,8	98	194	91	38,96	38,87	701,8	38,90	135,35	10,71	2,2
12	152,7	101	202	91	36,16	38,90	610,4	38,08	132,50	9,09	1,5
13	150,2	91	201	91	37,84	38,92	606,2	38,60	134,32	10,38	1,7
14	187,1	90	201	92	37,91	39,08	738,2	38,73	134,78	10,36	1,7
15	157,6	89	199	91	37,99	39,06	662,3	38,74	134,82	10,72	1,7
16	167,4	95	199	90	37,33	39,04	671,7	38,53	134,08	10,52	1,5
17	174,8	96	189	90	37,83	38,81	615,3	38,51	134,03	9,99	1,7
18	142,9	72	193	92	36,72	38,90	572,6	38,24	133,09	9,36	1,5
19	162,5	105	181	90	37,46	38,76	577,7	38,37	133,53	9,93	1,5
20	206,8	98	199	90	37,48	39,13	786,6	38,64	134,45	10,15	1,7
21	157,6	105	191	90	37,47	38,99	624,7	38,53	134,10	10,35	1,7
22	169,9	77	197	92	36,74	38,93	652,9	38,27	133,18	9,57	1,7
23	150,2	87	188	91	38,00	38,72	551,6	38,50	134,00	9,95	1,7
24	162,5	89	199	91	38,07	39,02	662,3	38,73	134,79	10,07	1,7
25	162,5	89	199	91	37,98	39,01	662,3	38,70	134,68	10,07	1,7
26	169,9	96	195	91	37,21	38,93	643,5	38,42	133,68	9,71	1,7
27	167,4	97	197	91	37,38	38,99	652,9	38,51	134,02	10,26	1,5
28	174,8	98	199	91	37,55	38,96	662,3	38,54	134,11	10,35	1,7
29	165,0	94	192	91	37,04	38,92	629,4	38,35	133,47	9,38	1,7
30	179,7	100	202	91	37,72	38,97	676,4	38,59	134,31	10,29	1,5
31	160,1	97	196	91	37,51	39,04	648,2	38,58	134,26	10,19	1,9
32	184,6	101	200	91	37,89	39,01	701	38,67	134,59	11,07	1,5
33	172,4	95	193	91	37,10	38,88	634,1	38,35	133,45	9,23	1,7
34	165,0	99	198	91	37,46	39,03	657,6	38,56	134,18	10,63	1,7
35	177,3	103	202	91	37,93	38,98	676,4	38,66	134,55	10,31	1,7
36	167,4	100	201	92	38,11	39,07	671,7	38,78	134,96	11,43	1,5
37	177,3	96	194	91	37,28	38,86	638,8	38,38	133,58	9,23	1,7
38	162,5	101	197	91	37,76	39,02	652,9	38,64	134,48	10,80	1,5
39	187,1	105	200	92	38,19	39,10	733	38,83	135,11	10,91	1,7
40	174,8	99	199	91	37,67	38,96	662,3	38,57	134,24	10,76	1,7

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Расчет влияния массы снаряжения на мощность нагрузки, развиваемую газодымозащитником

Таблица Б. 1 – Удельный прирост мощности ($\Delta W/\Delta m$, Вт·кг⁻¹) приходящийся на 1 кг дополнительной нагрузки

Масса снаряжения <i>m</i> , кг	V=0 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=1 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=2 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=3 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=4 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=5 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=6 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=7 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=8 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=9 км/ч, Вт·кг ⁻¹	V=10 км/ч, Вт·кг ⁻¹
1	0,21	0,43	0,66	0,88	1,11	1,33	1,55	1,78	2,01	2,23	2,45
2	0,42	0,86	1,32	1,76	2,22	2,66	3,1	3,56	4,02	4,46	4,9
3	0,63	1,29	1,98	2,64	3,33	3,99	4,65	5,34	6,03	6,69	7,35
4	0,84	1,72	2,64	3,52	4,44	5,32	6,2	7,12	8,04	8,92	9,8
5	1,05	2,15	3,3	4,4	5,55	6,65	7,75	8,9	10,05	11,15	12,25
6	1,26	2,58	3,96	5,28	6,66	7,98	9,3	10,68	12,06	13,38	14,7
7	1,47	3,01	4,62	6,16	7,77	9,31	10,85	12,46	14,07	15,61	17,15
8	1,68	3,44	5,28	7,04	8,88	10,64	12,4	14,24	16,08	17,84	19,6
9	1,89	3,87	5,94	7,92	9,99	11,97	13,95	16,02	18,09	20,07	22,05
10	2,1	4,3	6,6	8,8	11,1	13,3	15,5	17,8	20,1	22,3	24,5
11	2,31	4,73	7,26	9,68	12,21	14,63	17,05	19,58	22,11	24,53	26,95
12	2,52	5,16	7,92	10,56	13,32	15,96	18,6	21,36	24,12	26,76	29,4
13	2,73	5,59	8,58	11,44	14,43	17,29	20,15	23,14	26,13	28,99	31,85
14	2,94	6,02	9,24	12,32	15,54	18,62	21,7	24,92	28,14	31,22	34,3
15	3,15	6,45	9,9	13,2	16,65	19,95	23,25	26,7	30,15	33,45	36,75
16	3,36	6,88	10,56	14,08	17,76	21,28	24,8	28,48	32,16	35,68	39,2
17	3,57	7,31	11,22	14,96	18,87	22,61	26,35	30,26	34,17	37,91	41,65
18	3,78	7,74	11,88	15,84	19,98	23,94	27,9	32,04	36,18	40,14	44,1
19	3,99	8,17	12,54	16,72	21,09	25,27	29,45	33,82	38,19	42,37	46,55
20	4,2	8,6	13,2	17,6	22,2	26,6	31	35,6	40,2	44,6	49
21	4,41	9,03	13,86	18,48	23,31	27,93	32,55	37,38	42,21	46,83	51,45
22	4,62	9,46	14,52	19,36	24,42	29,26	34,1	39,16	44,22	49,06	53,9
23	4,83	9,89	15,18	20,24	25,53	30,59	35,65	40,94	46,23	51,29	56,35
24	5,04	10,32	15,84	21,12	26,64	31,92	37,2	42,72	48,24	53,52	58,8
25	5,25	10,75	16,5	22	27,75	33,25	38,75	44,5	50,25	55,75	61,25
26	5,46	11,18	17,16	22,88	28,86	34,58	40,3	46,28	52,26	57,98	63,7
27	5,67	11,61	17,82	23,76	29,97	35,91	41,85	48,06	54,27	60,21	66,15
28	5,88	12,04	18,48	24,64	31,08	37,24	43,4	49,84	56,28	62,44	68,6
29	6,09	12,47	19,14	25,52	32,19	38,57	44,95	51,62	58,29	64,67	71,05
30	6,3	12,9	19,8	26,4	33,3	39,9	46,5	53,4	60,3	66,9	73,5
31	6,51	13,33	20,46	27,28	34,41	41,23	48,05	55,18	62,31	69,13	75,95
32	6,72	13,76	21,12	28,16	35,52	42,56	49,6	56,96	64,32	71,36	78,4
33	6,93	14,19	21,78	29,04	36,63	43,89	51,15	58,74	66,33	73,59	80,85
34	7,14	14,62	22,44	29,92	37,74	45,22	52,7	60,52	68,34	75,82	83,3
35	7,35	15,05	23,1	30,8	38,85	46,55	54,25	62,3	70,35	78,05	85,75
36	7,56	15,48	23,76	31,68	39,96	47,88	55,8	64,08	72,36	80,28	88,2
37	7,77	15,91	24,42	32,56	41,07	49,21	57,35	65,86	74,37	82,51	90,65
38	7,98	16,34	25,08	33,44	42,18	50,54	58,9	67,64	76,38	84,74	93,1
39	8,19	16,77	25,74	34,32	43,29	51,87	60,45	69,42	78,39	86,97	95,55
40	8,4	17,2	26,4	35,2	44,4	53,2	62	71,2	80,4	89,2	98

ПРИЛОЖЕНИЕ В**Акты внедрения результатов диссертационного исследования**

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
Академии ГПС МЧС России
по учебной работе
кандидат исторических наук, доцент



В.С. Шныпко
« 12 » 05 2026 г.

А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы

Захарова Дмитрия Юрьевича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки) на тему: «Разработка научно-методического аппарата оценки тактических возможностей газодымозащитников» в учебный процесс кафедры пожарно-строевой и газодымозащитной подготовки (в составе учебно-научного комплекса пожаротушения) Академии Государственной противопожарной службы МЧС России

Комиссия в составе председателя – заместителя начальника учебно-научного комплекса пожаротушения – начальника кафедры пожарной тактики и службы (в составе УНК пожаротушения), к.т.н., доцента, полковника внутренней службы Ширинкина Павла Владимировича и членов – начальника кафедры пожарно-строевой и газодымозащитной подготовки (в составе УНК пожаротушения), к.т.н., доцента, полковника внутренней службы Коршунова Игоря Васильевича, заместителя начальника кафедры пожарно-строевой и газодымозащитной подготовки (в составе УНК пожаротушения), к.т.н., доцента, полковника внутренней службы Смагина Александра Владимировича подтверждают, что научные результаты кандидатской диссертации внедрены для проведения лекционных и практических учебных занятий по дисциплине «Пожарно-прикладная подготовка» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность» профиль «Пожарная безопасность государства»).

При проведении лекционных и практических занятий, касающихся тем подготовки газодымозащитников к действиям на пожаре (аварии) и основ

физиологии дыхания и кровообращения человека, используются следующие результаты кандидатской диссертации Захарова Д.Ю.:

- ресурсно-эргономическая модель тактических возможностей звеньев ГДЗС, основанная на комплексном влиянии детерминант окружающей среды, технических и персонализированных факторов;

- регрессионная модель прогнозирования времени работы звена ГДЗС в зависимости от мощности физической нагрузки и температуры окружающей среды, обеспечивающая расчет предельного времени эффективной работы газодымозащитников в непригодной для дыхания среде с учетом массы снаряжения, скорости передвижения и теплового режима.

Председатель комиссии



П.В. Ширинкин

Члены комиссии




И.В. Коршунов

А.В. Смагин

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
Ивановской пожарно-спасательной
академии ГПС МЧС России
по учебной работе
полковник внутренней службы
А.С. Федорин
« 05 » 05 2026 г.

А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы
Захарова Дмитрия Юрьевича, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по научной специальности

2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки) в образовательную деятельность
Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе: председателя комиссии – начальника кафедры пожарно-строевой, физической подготовки и газодымозащитной службы (в составе УНК «Пожаротушение»), канд. пед. наук., доцента полковника внутренней службы Смирнова В.А. и членов – начальника кафедры пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК «Пожаротушение»), канд. техн. наук, доцента, подполковника внутренней службы Никишова С.Н., заместителя начальника кафедры пожарно-строевой, физической подготовки и газодымозащитной службы (в составе УНК «Пожаротушение»), канд. пед. наук., доцента, полковника внутренней службы Шипилова Р.М., подтверждают, что результаты диссертационной работы Захарова Дмитрия Юрьевича используются при организации и проведении учебных занятий по дисциплинам «Организация газодымозащитной службы» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность» профиль «Пожарная безопасность государства») и «Информационные системы поддержки принятия решения» (направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность», профиль «Пожарная безопасность»).

1. Вид внедрения результатов.

В учебный процесс внедрены следующие результаты диссертационного исследования:

1. Математическая модель прогнозирования оставшегося времени эффективной работы газодымозащитника ($T_{\text{раб}}$) в зависимости от мощности физической нагрузки и температуры окружающей среды.

2. Прототип программного комплекса (алгоритмы и интерфейс), реализующий расчет прогнозного времени работы, индекса кумулятивной нагрузки, продолжительности восстановления и оптимизацию смены звеньев ГДЗС.

3. Система коэффициентов тренированности (выносливости, теплоустойчивости, восстановления), позволяющая дифференцированно оценивать функциональные возможности обучающихся с разным уровнем физической работоспособности.

2. Место и форма внедрения

Внедрение результатов осуществлено в 2025-2026 учебном году в рамках преподавания следующих дисциплин:

- «Организация газодымозащитной службы» (специальность 20.05.01 «Пожарная безопасность» профиль «Пожарная безопасность государства»). На практических занятиях обучающиеся решают задачи по оценке тактических возможностей звеньев ГДЗС, сравнивая традиционную нормативную методику с результатами, полученными с использованием разработанного программного комплекса.

- «Информационные системы поддержки принятия решения» (направление подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность», профиль «Пожарная безопасность»). На практических занятиях обучающиеся изучают реализацию прогнозирования времени эффективной работы звена ГДЗС и оптимизацию ротации звеньев ГДЗС.

3. Эффективность внедрения.

Использование разработанных материалов в учебном процессе позволило:

- Повысить уровень понимания обучающимися функциональных систем организма, лимитирующих тактические возможности звеньев ГДЗС.

- Сформировать у будущих руководителей тушения пожаров навыки количественной оценки и прогнозирования безопасного времени работы личного состава в непригодной для дыхания среде.

4. Заключение

Результаты диссертационного исследования Захарова Дмитрия Юрьевича имеют высокую научно-методическую ценность и практическую значимость. Внедрение разработанных моделей, алгоритмов и программного комплекса в учебный процесс академии способствует совершенствованию профессиональной подготовки специалистов в области пожарной безопасности.

Председатель комиссии:

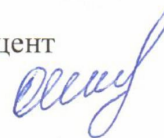
начальник кафедры пожарно-строевой,
физической подготовки и газодымозащитной службы
(в составе УНК «Пожаротушение»), канд. пед. наук., доцент
полковник внутренней службы



В.А. Смирнов

Члены комиссии:

начальник кафедры пожарной тактики и основ
аварийно-спасательных и других неотложных работ
(в составе УНК «Пожаротушение»), канд. техн. наук., доцент
подполковник внутренней службы



С.Н. Никишов

заместитель начальника кафедры пожарно-строевой,
физической подготовки и газодымозащитной службы
(в составе УНК «Пожаротушение»), канд. пед. наук., доцент
полковник внутренней службы



Р.М. Шипилов

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника

Ивановской пожарно-спасательной
академии ГПС МЧС России

по научной работе

полковник внутренней службы

И.Ю. Шарабанова

2026 г.

А К Т

о внедрении результатов диссертационной работы Захарова Дмитрия Юрьевича, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки) в научную деятельность Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России

Комиссия в составе:

председатель комиссии – начальник научно-технического отдела Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, канд. техн. наук., майор внутренней службы Палин Д.Ю.

члены комиссии:

- начальник отделения координации научной и редакционно-издательской деятельности Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России, канд. филол. наук, подполковник внутренней службы Шулякина Ю.С.

- начальник отделения перспективных технологий научно-технического отдела Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России майор внутренней службы Катин Д.С.

Подтверждает, что результаты диссертационной работы внедрены в следующих формах:

1. Реализация научно-методического аппарата перехода к количественной оценке нагрузки в рамках выполнения научно-исследовательской работы (п. 28. НИР «Разработка научно-практических подходов для актуализации временных показателей боевого развертывания сил и средств первым прибывшим пожарно-спасательным подразделением») кафедры пожарно-строевой, физической подготовки и газодымозащитной службы (в составе УНК «Пожаротушение») внедрена и используется расчетная методика позволяющая определить интенсивность работы газодымозащитников. Научная значимость заключается в переходе от субъективной классификации тяжести работ («легкая», «средняя», «тяжелая») к объективному физическому параметру – механической мощности (Вт).

2. Использование результатов в качестве научного задела для диссертационных работ, а именно объектно-ориентированный подход к декомпозиции системы «Группировка – Звено ГДЗС – Газодымозащитник» и внедрена система коэффициентов тренированности, обоснованная статистическим анализом экспериментальных данных, используется адъюнктами и соискателями академии в качестве теоретической основы при проведении исследований по научной специальности 2.10.1. «Пожарная безопасность».

3. Регистрация результатов интеллектуальной деятельности в научный фонд и портфель интеллектуальной собственности академии включены следующие зарегистрированные программные продукты, созданные в рамках данного исследования:

- свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026616817 Российская Федерация. Программное средство для прогностического моделирования предельного времени работы газодымозащитников на основе регрессионного анализа влияния мощности труда и температуры окружающей среды (THERMO-WORK PREDICTOR: аналитический модуль ГДЗС): заявл. 03.03.2026: опубл. 11.03.2026 / М.О. Баканов, Б.Б. Гринченко, Д.Ю. Захаров; заявитель 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»;

- свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026617251 Российская Федерация. Веб-ориентированное программное средство для оперативного прогнозирования ресурса безопасной работы звена газодымозащитной службы в условиях комбинированной тепловой и физической нагрузки (FIRE-TIME WEB: веб-калькулятор безопасного времени ГДЗС): заявл. 03.03.2026: опубл. 13.03.2026 / М.О. Баканов, Б.Б. Гринченко, Д.Ю. Захаров; заявитель 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»;

- свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2026617320 Российская Федерация. Программное средство для сценарного моделирования и оперативного прогнозирования рабочего времени звена газодымозащитной службы с учетом уровня нагрузки, физиологических параметров и индивидуальных особенностей газодымозащитников (THERMO-TACTIC: Платформа моделирования ГДЗС): заявл. 03.03.2026: опубл. 16.03.2026 / М.О. Баканов, Б.Б. Гринченко, Д.Ю. Захаров; заявитель 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».

Заключение

Внедрение результатов диссертационного исследования способствует развитию отрасли знаний в области пожарной безопасности людей и объектов защиты, и вносит существенный вклад в научное обоснование тактики тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ газодымозащитниками в непригодной для дыхания среде.

Председатель комиссии:

начальник научно-технического отдела
майор внутренней службы



Д.Ю. Палин

Члены комиссии:

начальник отделения координации
научной и редакционно-издательской деятельности
подполковник внутренней службы



Ю.С. Шулякина

начальник отделения перспективных технологий научно-технического отдела
майор внутренней службы



Д.С. Катин

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель начальника
Главного управления МЧС России
по Ивановской области
по Государственной
противопожарной службе,
полковник внутренней службы

А.Ю. Сергеев

« 09 » июня 2026 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы
Захарова Дмитрия Юрьевича, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук по научной специальности
2.10.1. Пожарная безопасность (технические науки) в главном управлении МЧС
России по Ивановской области при разработке документов предварительного
планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных
работ с применением сил и средств ГДЗС

Комиссия в составе: председателя – заместителя начальника службы пожаротушения – начальника дежурной смены службы пожаротушения федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы подполковника внутренней службы Борисова Алексея Борисовича, и членов – старшего помощника начальника дежурной смены службы пожаротушения федеральной противопожарной службы Государственной противопожарной службы подполковника внутренней службы Чиркова Олега Владимировича, заместителя начальника отдела организации пожаротушения управления организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России подполковника внутренней службы Степанова Николая Сергеевича, подтверждает, что результаты диссертационной работы Захарова Дмитрия Юрьевича используются при разработке документов предварительного планирования действий по тушению пожаров и проведению аварийно-спасательных работ с применением сил и средств ГДЗС.

Председатель комиссии:

А.Б. Борисов

Члены комиссии:

О.В. Чирков

Н.С. Степанов