

На правах рукописи



Шалявин Денис Николаевич

**РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ПЛАНИРОВАНИЯ
ЦИКЛИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ**

2.10.1. Пожарная безопасность

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Иваново – 2024

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

Научный руководитель: **Семенов Алексей Олегович**
кандидат технических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Хафизов Ильдар Фанилевич**
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры пожарной и промышленной безопасности Уфимского государственного нефтяного технического университета

Холостов Александр Львович
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры специальной электротехники автоматизированных систем и связи Академии ГПС МЧС России

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий»

Защита состоится 05 декабря 2024 года в 14.30 на заседании диссертационного совета 04.2.005.02 на базе Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России по адресу: 153040, г. Иваново, пр. Строителей, д. 33, ауд. 1101.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России: <https://www.edufire37.ru/>.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 04.2.005.02
кандидат технических наук, доцент

Колбашов Михаил Александрович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Одной из задач, обозначенных в Стратегии национальной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента РФ от 2 июля 2021 г. № 400, является достижение целей обеспечения государственной и общественной безопасности посредством комплексного развития подразделений пожарной охраны и аварийно-спасательных формирований в соответствии с решаемыми ими задачами, повышение уровня их технической оснащенности, усиление социальной защищенности их сотрудников, совершенствование системы профессиональной подготовки специалистов. Практика борьбы с пожарами в Российской Федерации требует от личного состава пожарной охраны работы в условиях непригодной для дыхания среды, чрезмерных физических и психологических нагрузок. К этим нагрузкам добавляется то, что пожарным, работающим в сложных условиях, часто приходится повторно выходить на место тушения пожара с минимальным временем восстановления. Длительная рабочая деятельность без должного физического восстановления подвергает пожарных риску возникновения различных симптомов из-за накопления усталости, таких как задержка реакции на раздражитель, снижение двигательной функции. Появление таких симптомов на месте тушения пожара может привести к серьезным последствиям в результате ошибок в индивидуальном восприятии уровней возникающих опасностей. Поэтому актуальными являются вопросы оценки реализации циклических работ пожарными в непригодной для дыхания среде при планировании тактики тушения пожаров и мониторинг их состояния безопасности. В исследовании рассматривается социотехническая система: человек (газодымозащитник, участник тушения пожара) – средство защиты (дыхательный аппарат на сжатом воздухе, оснащенный системой дистанционного мониторинга) – внешняя среда (непригодная для дыхания среда, нагретая продуктами горения при пожаре). В данной системе осуществляется мониторинг трех параметров: показателя снижения давления в баллоне дыхательного аппарата – параметр средства защиты человека от внешней среды; температура окружающей среды – параметр воздействия на человека опасных факторов пожара; оценка состояния человека – показатель работоспособности. Предполагается, что наличие данных по трем показателям достаточно полно характеризует мониторинг в системе человек – средство защиты – внешняя среда и является достаточным для качественного предварительного планирования тактики тушения пожаров с выполнением циклических работ в непригодной для дыхания среде.

Степень разработанности темы исследования

В разработку теоретических процедур мониторинга безопасности участников тушения пожара, учитывающих первые два показателя социотехнической системы, существенные результаты внесли отечественные и зарубежные ученые: Н. Г. Топольский, С. В. Соколов, А. А. Таранцев, А. Д. Ищенко, А. В. Матюшин, А. А. Порошин, Д. В. Тараканов, В. М. Стрелец, P. Dollar, G. Cottrell и др.

Однако вопросы планирования тактики тушения пожаров при выполнении циклических работ, связанные с оценкой физических возможностей газодымозащитников, остались не изучены. Таким образом, решаемая в диссертации задача состоит в разработке научных основ по оценке и планированию циклических работ в процессе тушения пожаров. Результаты решения данной научной задачи имеют важное значение для развития отрасли знаний в области планирования тактики тушения пожаров и соответствуют п. 8 «Разработка научных основ тактики тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ» паспорта научной специальности 2.10.1. «Пожарная безопасность».

Объектом исследования является процесс выполнения циклических работ при тушении пожаров, а **предметом** исследования – система оценки циклических работ при тушении пожаров.

Цель исследования – разработка научных основ оценки реализации циклических работ при планировании тактики тушения пожаров.

Для достижения поставленной цели в диссертации определены следующие **задачи**:

1. Провести анализ специфики реализации циклических работ при тушении пожаров с учетом функциональных возможностей участников тушения пожаров.
2. Разработать систему оценки реализации циклических работ при планировании тактики тушения пожаров.
3. Разработать комплекс технических решений для предварительного планирования циклических работ при тушении пожаров.
4. Разработать практические рекомендации по применению результатов исследования при выполнении циклических работ в процессе тушения пожаров.

Научная новизна. В процессе выполнения диссертации получены следующие научные результаты:

- разработана модель динамики режимов работы и отдыха участников тушения пожаров при выполнении циклических работ. В отличие от известных, в модели на основе уровня работоспособности определяются критические значения времени пребывания участников тушения пожаров в режимах работы и отдыха;
- разработан критерий для оценки реализации циклических работ при тушении пожаров. В отличие от известных, данный критерий позволяет оценить способность участников тушения пожаров соблюдать режим работы и отдыха;
- предложена концепция системы оценки функциональных возможностей участников тушения пожара при выполнении циклических работ в процессе тушения пожаров.

Теоретическая значимость работы заключается в создании системы оценки реализации циклических работ в непригодной для дыхания среде, а **практическая значимость** состоит в разработке комплекса технических средств, включающих в себя устройства мониторинга безопасности газодымозащитника, баз данных и программного обеспечения для оценки циклических работ в процессе тушения пожаров. Проблематика исследования соответствует Указу Президента РФ от 01.01.2018 г. № 2 «Об утверждении основ государственной политики Российской Федерации в области пожарной безопасности на период до 2030 года» и п. 8 паспорта научной специальности 2.10.1. «Пожарная безопасность».

Методология и методы исследования. Для решения научных задач в комплексе применялись методы аналитического и эмпирического уровней исследования, а именно: на аналитическом уровне – методы математического моделирования, теории принятия решений при многих критериях; на эмпирическом уровне – методы планирования эксперимента-наблюдения и элементы теории вероятности и математической статистики. При разработке информационных ресурсов была использована технология объектно-ориентированного программирования, построенная на основе теории алгоритмов и реляционных моделей данных. Для определения перцептивных реакций у газодымозащитников на интенсивность нагрузки в условиях эксперимента была использована модифицированная шкала Борга.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Система оценки реализации циклических работ при тушении пожаров, включающая в себя модель динамики режимов работы и отдыха участников тушения пожаров при выполнении циклических работ, и критерий для оценки способности реализации циклических работ при тушении пожаров.
2. Комплекс технических ресурсов, включающих в себя устройство мониторинга безопасности газодымозащитника, баз данных и программного обеспечения тушения пожаров с выполнением циклических работ.
3. Практические рекомендации по применению результатов исследования при выполнении участниками тушения пожара циклических работ в непригодной для дыхания среде.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность и адекватность результатов исследования достигается применением апробированного математического аппарата, корректным использованием исходных данных с проверкой достоверности

полученных экспериментальных данных с помощью t-критерия Стьюдента и согласованностью с результатами работ других авторов.

Основные результаты работы обсуждались на международных научно-технических конференциях: Системы безопасности (Москва, АГПС МЧС России, 2023 г.); Пожарная и аварийная безопасность (Иваново, ИПСА ГПС МЧС России, 2023 г.); Актуальные проблемы пожарной безопасности (Балашиха, ВНИИПО МЧС России, 2020); Школа молодых ученых и специалистов МЧС России (Санкт-Петербург, УГПС МЧС России, 2020 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них 3 – в изданиях, рекомендованных ВАК России для публикации научных результатов по специальности 2.10.1. Пожарная безопасность, 1 – в изданиях, входящих в международные базы научного цитирования (Scopus), 1 – монография, получены свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, патент на полезную модель, свидетельство о государственной регистрации базы данных.

Личный вклад автора. В совместных публикациях результаты, связанные с разработкой системы оценки реализации циклических работ в непригодной для дыхания среде при планировании тактики тушения пожаров, получены автором лично. Из совместных работ с д-ром техн. наук, профессором [Топольским Н. Г.], д-ром психол. наук, доцентом Шмелевой Е. А., д-ром техн. наук Таракановым Д. В., канд. техн. наук, доцентом Ульевым Д. А., канд. техн. наук, доцентом Семеновым А. О., канд. техн. наук Гринченко Б. Б. в диссертационную работу включены только те результаты, которые принадлежат лично автору.

Внедрение результатов работы. Разработанные теоретические положения информационно-аналитического обеспечения использованы:

- в деятельности Ивановского гарнизона пожарной охраны при планировании действий по тушению пожаров;
- в деятельности Московского гарнизона пожарной охраны при планировании действий по тушению пожаров;
- при разработке учебных и методических материалов пособий на кафедре пожарно-строевой, физической подготовки и газодымозащитной службы (в составе УНК «Пожаротушение») Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 147 страниц. Работа иллюстрирована 42 рисунками, содержит 28 таблиц и 4 приложения. Список литературы включает в себя 125 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, выносимых на защиту.

В первой главе «Анализ специфики реализации циклических работ при тушении пожаров» проведен анализ литературных источников о проведении циклических работ газодымозащитниками на крупных и затяжных пожарах. Рассмотрены методы оценки функциональных возможностей участников тушения пожара. Проанализированы исследования отечественных и зарубежных ученых о режимах работы и отдыха пожарных и влияния их на психофизическую работоспособность. Рассмотрены системы мониторинга безопасности и определены пути их совершенствования.

Проведено экспериментальное исследование, в ходе которого проведена оценка соответствия субъективных реакций на тяжесть нагрузки и объективных показателей интенсивности нагрузки у газодымозащитников.

В ходе исследования выявлены:

- субъективная оценка тестируемыми тяжести полученной нагрузки в ходе выполнения тестового задания (рисунок 1а);

– тяжесть нагрузки, объективно выполненной тестируемыми в ходе эксперимента. Данная тяжесть установлена с помощью показателей ЧСС, полученных от тестируемых по завершении выполнения упражнения (рисунок 1б).

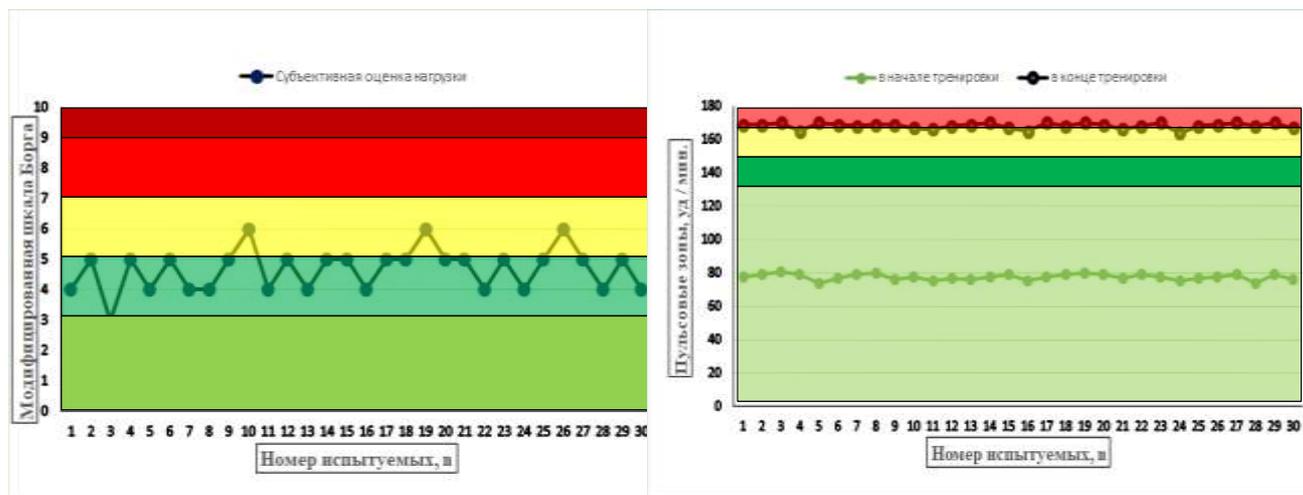


Рисунок 1а – Результаты субъективной оценки получаемой нагрузки

Рисунок 1б – Результаты объективной оценки получаемой нагрузки

Результаты проведенного экспериментального исследования показали, что существует различие между реальным уровнем работоспособности участника тушения пожара и его субъективной оценкой.

Во второй главе «Система оценки реализации циклических работ в процессе тушения пожаров» представлено аналитическое исследование. Глава включает в себя следующие основные новые научные результаты: критерий оценки реализации циклических работ в процессе тушения пожаров; разработанный программный комплекс планирования циклических работ при работе в непригодной для дыхания среде.

Аналитические методы решения научной задачи

Разработка **динамической модели режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления)**. Модель объединяет уровень работоспособности исполнителей работ и время выполнения работы в том или ином режиме.

Для построения модели используются следующие исходные данные.

Интенсивности переходов различных режимов работ рассчитываются по формуле (1):

$$P_n = 1 - \exp(-\lambda_{1 \rightarrow 2} \tau_{1-2}). \quad (1)$$

Если $\lambda_{1 \rightarrow 2} \neq \lambda_{2 \rightarrow 3}$, то применяется формула (2):

$$P_n = 1 - \frac{\lambda_{2 \rightarrow 3}}{\lambda_{2 \rightarrow 3} - \lambda_{1 \rightarrow 2}} \exp(-\lambda_{1 \rightarrow 2} \tau_{1-3}) + \frac{\lambda_{1 \rightarrow 2}}{\lambda_{2 \rightarrow 3} - \lambda_{1 \rightarrow 2}} \exp(-\lambda_{2 \rightarrow 3} \tau_{1-3}). \quad (2)$$

Если $\lambda_{1 \rightarrow 2} = \lambda_{2 \rightarrow 3}$, то применяется следующая формула (3):

$$P_n = 1 - \exp(-\lambda_{1 \rightarrow 2} \tau_{1-3}) + (\lambda_{1 \rightarrow 2} \tau_{1-3}) \exp(-\lambda_{1 \rightarrow 2} \tau_{1-3}), \quad (3)$$

где $\lambda_{1 \rightarrow 2}$ – интенсивность перехода из 1-го режима (легкого) во 2-й (средний); $\lambda_{2 \rightarrow 3}$ – интенсивность перехода из 2-го режима (среднего) в 3-й (тяжелый).

Данные параметры принимаются для первого цикла.

Время пребывания участников тушения пожаров в том или ином функциональном состоянии при выполнении второго и третьего цикла работ умножают на коэффициенты нагрузки (Кн) K_{H2} – для второго цикла и K_{H3} – для третьего цикла.

Интенсивности перехода режимов отдыха рассчитываются по формуле (4):

$$P_e = 1 - \exp(-\mu_{3 \rightarrow 2} \tau_{3-2}). \quad (4)$$

Если $\mu_{3 \rightarrow 2} \neq \mu_{2 \rightarrow 1}$, то применяется формула (5):

$$P_B = 1 - \frac{\mu_{3 \rightarrow 2}}{\mu_{3 \rightarrow 2} - \mu_{2 \rightarrow 1}} \exp(-\mu_{2 \rightarrow 1} \tau_{3-1}) + \frac{\mu_{2 \rightarrow 1}}{\mu_{3 \rightarrow 2} - \mu_{2 \rightarrow 1}} \exp(-\mu_{3 \rightarrow 2} \tau_{3-1}). \quad (5)$$

Если $\mu_{3 \rightarrow 2} = \mu_{2 \rightarrow 1}$, то применяется формула (6):

$$P_B = 1 - \exp(-\mu \tau_{3-1}) + (\mu \tau_{3-1}) \exp(-\mu \tau_{3-1}), \quad (6)$$

где $\mu_{3 \rightarrow 2}$ – интенсивность перехода из 3-го режима (тяжелый) во 2-й (средний); $\mu_{2 \rightarrow 1}$ – интенсивность перехода из 2-го режима (средний) в 3-й (тяжелый).

Время пребывания участников тушения пожаров в том или ином функциональном состоянии при отдыхе между вторым и третьим циклом работ умножают на коэффициенты восстановления (Кв) K_{B2} – для второго цикла и K_{B3} – для третьего цикла.

Модель применяется следующим образом: при заданном уровне работоспособности выбирается значение P_n , с помощью которого в случае оценки режима труда по формуле (1), а в случае режима отдыха по формуле (4) определяются прогнозируемые значения времени нахождения организма человека в том или ином режиме работы (легкий, средний, тяжелый). Разработанная модель является основой процедуры оценки физических состояний человека при циклических работах в процессе тушения пожаров.

Дискретно-событийная модель физических состояний при циклических работах

Дискретно-событийная модель представляет из себя блок-схему режима труда и отдыха при повторных циклах работ. В данной модели спрогнозированы варианты событий режима труда и отдыха при выполнении циклических работ.

Дискретно-событийная модель физических состояний будет основываться на следующих особенностях: для представления выполнения повторных (циклических) работ были использованы события-«сообщения», которые определяют степень восстановления перед началом выполнения этапов работ; в соответствии с уровнями восстановления, предусмотренными перед началом работ, было определено 3 группы сообщений: работа после полного восстановления (H), работа после частичного восстановления (D), работа без восстановления (F).

На основании выбранного принципа моделирования в модели были реализованы следующие компоненты: тяжелая работа, средняя работа, легкая работа, полный отдых, частичный отдых, без отдыха. Данные компоненты были использованы для построения структуры дискретно-событийной модели физических состояний при циклических работах.

Подходы к выполнению циклических работ реализованы в виде трех генераторов сообщений, учитывающих степень восстановления работоспособности. Сообщения моделируют поток управленческих решений о временных интервалах отдыха, с которых начинается следующий этап выполнения циклических работ.

Структура дискретно-событийной модели физических состояний при циклических работах представлена на рисунке 2.

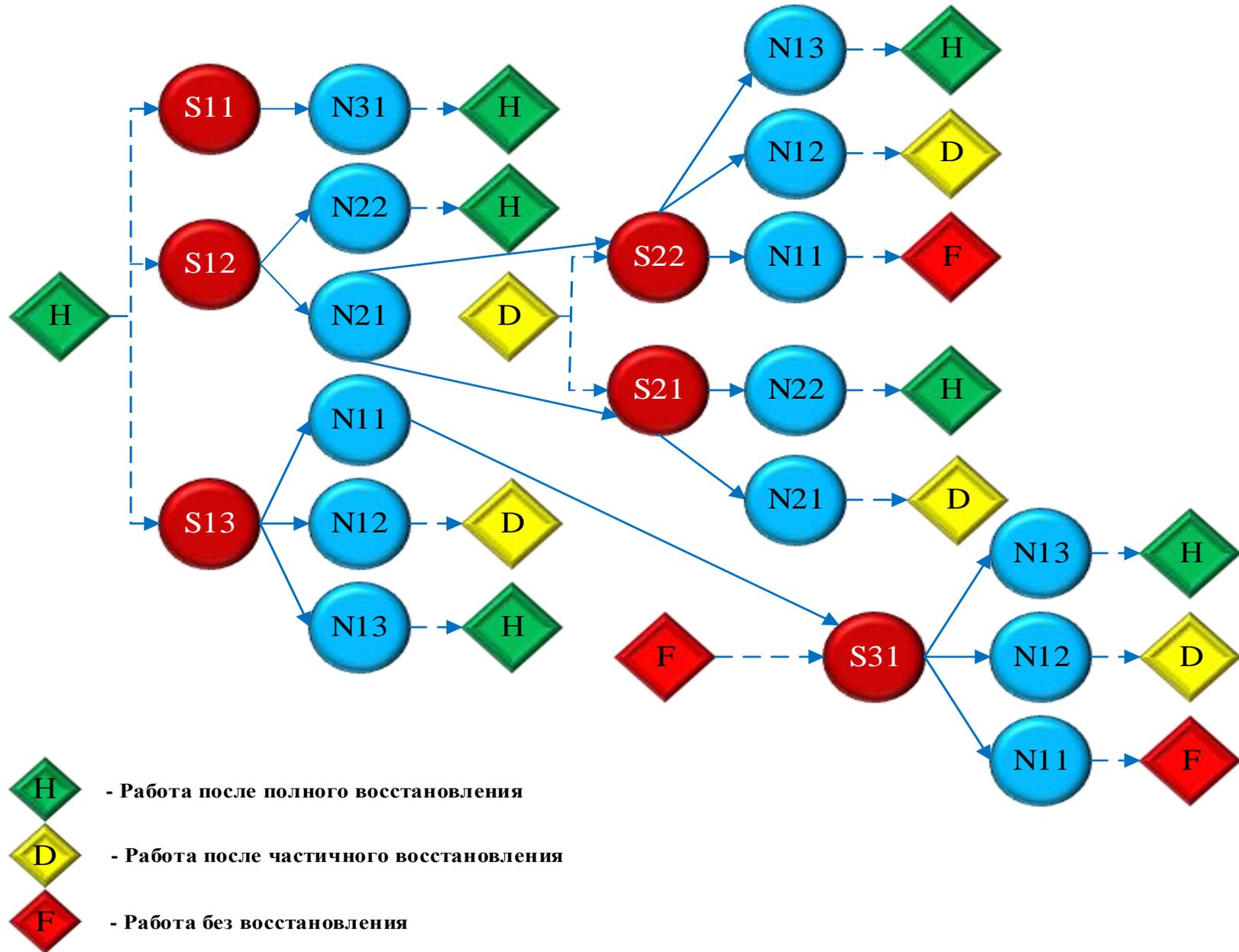


Рисунок 2 – Дискретно-событийная модель физических состояний при циклических работах

Дискретно-событийные модели режимов труда и отдыха при повторных циклических работах представлены активными событиями (временные интервалы отдыха и работы), что позволяет определять логику выполнения повторных этапов работ. Каждому режиму труда и отдыха в узле был назначен отдельный объект (модель), учитывающий особенности (сложность) выполнения нагрузки после периодов восстановления. Разные сложности работ могут выполняться при разном уровне восстановления. В зависимости от типа восстановления и видов выполняемых работ модели формируются следующие режимы труда и отдыха (события в модели) (таблица 1).

Таблица 1 – Перечень событий в модели и их интерпретация

Режим труда	Буквенно-цифровое отображение	Режим отдыха после работы
Выполнение повторной легкой работы после полного восстановления	H – S11 – N31	Полное восстановление
Выполнение повторной средней работы после полного восстановления	H – S12 – N22 H – S12 – N21	Полное восстановление, частичное восстановление
Выполнение повторной тяжелой работы после полного восстановления	H – S13 – N11 H – S13 – N12 H – S12 – N13	Полное восстановления, частичное восстановление, без восстановления
Выполнение повторной средней работы после частичного восстановления	D – S21 – N22 D – S21 – N21	Полное восстановление, частичное восстановление
Выполнение повторной тяжелой работы после частичного восстановления	D – S21 – N11 D – S21 – N12 D – S21 – N13	Полное восстановления, частичное восстановление, без восстановления
Выполнение повторной тяжелой работы без восстановления	F – S31 – N11 F – S31 – N12 F – S31 – N13	Полное восстановления, частичное восстановление, без восстановления

Разработанная дискретно-событийная модель физических состояний при повторных циклических работах позволяет обеспечить адекватность оценки и оптимальность планирования режима труда и отдыха при выполнении циклических видов работ. Это достигается путем прогнозного анализа всех предполагаемых событий режима труда и отдыха при выполнении данных видов работ.

Разработка научно обоснованного критерия для оценки способности успешной реализации циклических работ при тушении пожаров

Критерий «Способность» (восстанавливаемый критерий) показывает, сможет ли газодымозащитник выполнять поставленную задачу при повторном цикле работ, и достаточно ли он восстановился после первого и последующего цикла работ.

Критерий «Возможность» (невосстанавливаемый критерий) показывает, хватит ли газодымозащитнику дыхательных ресурсов в баллоне ДА на все время выполнения поставленных задач.

Однако стоит отметить, что при планировании циклических работ существуют и независимые факторы, такие как поломка ДА, плохое самочувствие газодымозащитника, угроза жизни и здоровью пожарного. При проявлении таких факторов работу начинать запрещено, и при формальной задаче управления они не могут быть учтены.

Нормированный «восстанавливаемый» критерий рассчитывается для каждого этапа в отдельности (у нас три этапа) по формулам (7–8):

$$L = \frac{1}{1+R_{сп}} ; \quad (7)$$

$$R_{СП} = \frac{A_H X_1 + B_H X_2 + C_H X_3}{A_B Y_1 + B_B Y_2 + C_B Y_3}, \quad (8)$$

где A_H, B_H, C_H – коэффициенты выполнения циклов работ;

A_B, B_B, C_B – коэффициенты восстановления после выполнения циклов работ;

X_1, X_2, X_3 – векторные оценки этапа нагрузки, мин.;

Y_1, Y_2, Y_3 – векторные оценки этапа восстановления, мин.

Коэффициенты выполнения циклов работ при нагрузке и восстановления выбраны таким образом, чтоб удовлетворять модифицированной (10-балльной) шкале Борга. Сопоставление результатов расчета критерия L в совокупности с событиями в модели (S-N) и соответствующие им значения оценки по шкале Борга представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сопоставление оценок по критерию L с оценками по шкале Борга

Наименование цикла работ	Буквенно-цифровое обозначение цикла	Оценка цикла по шкале Борга	Оценка цикла по критерию (L)
Легкая работа – полное восстановление	S11 – N31	1–2	0,85
Нормальная работа – полное восстановление	S12 – N22	3–4	0,66
Нормальная работа – частичное восстановление	S12 – N21	5	0,5
Тяжелая работа – полное восстановление	S13 – N13	5	0,5
Тяжелая работа – частичное восстановление	S13 – N12	6–7	0,33
Тяжелая работа – не восстановился	S13 – N11	8–9	0,14
Нормальная работа после частичного восстановления – полное восстановление	S21 – N22	3–4	0,66
Нормальная работа после частичного восстановления – частичное восстановление	S21 – N21	5	0,5
Тяжелая работа после частичного восстановления – полное восстановление	S22 – N13	5	0,5
Тяжелая работа после частичного восстановления – частичное восстановление	S22 – N12	6–7	0,33
Тяжелая работа после частичного восстановления – не восстановился	S22 – N11	8–9	0,14
Тяжелая работа без восстановления – полное восстановление	S31 – N13	5	0,5
Тяжелая работа без восстановления – частично восстановился	S31 – N12	6–7	0,33
Тяжелая работа без восстановления – не восстановился	S31 – N11	8–9	0,14

Нормированный критерий планирования по параметру «Способность» будет иметь значения при следующих условиях:

$K_R > 0$ и $K_R < 0,5$, когда числитель больше, чем знаменатель (нагрузка превышает восстановление); $K_R = 0,5$, когда числитель равен знаменателю (нагрузка равна восстановлению); $K_R > 0,5$ и $K_R < 1,0$, когда числитель меньше, чем знаменатель (нагрузка меньше восстановления).

Помимо способности выполнения циклических работ в НДС, необходима оценка возможности их выполнения, которая определяется по расчетам необходимого запаса дыхательных ресурсов в баллоне дыхательного аппарата (ДА). Однако критерии при выборе режимов работы должны иметь единую шкалу измерения, поэтому расчет нормированного критерия по параметру «Возможность» проводится так же, как и критерий «Способность» для каждого этапа в отдельности по следующим формулам (9–10):

$$L = \frac{1}{1+W}; \quad (9)$$

$$W = \frac{W_{\phi}}{W_0}, \quad (10)$$

где W_0 – имеющийся запас дыхательного ресурса (объем воздуха в баллоне дыхательного аппарата), л;

W_{ϕ} – прогнозируемый запас ресурса, который будет израсходован в процессе реализации выбранной схемы повторной работы, л.

Расчет фактического расхода дыхательных ресурсов при циклических работах производится по следующей формуле (11):

$$W_{\phi} = G_1 X_1 + G_2 X_2 + G_3 X_3, \quad (11)$$

где G_1, G_2, G_3 – расход дыхательных ресурсов при легкой, средней и тяжелой работе, л/мин.; X_1, X_2, X_3 – время выполнения циклов повторных работ, мин.

Оценка риска невыполнения повторной работы при тушении пожара построена на общеизвестном утверждении, что риск является двумерной величиной. Поэтому построенные правила оценки риска неудачи при выполнении циклических работ рассчитываются по формуле (12):

$$R = B(L)B(R), \quad (12)$$

где $B(L)$ и $B(R)$ – дискретные функции для балльной оценки критериев выбора.

Вербальные оценки риска представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Вербальные оценки риска

Значение риска R	Пренебрежим	Незначительный	Средний	Выше среднего	Высокий	Недопустимый
Баллы R_i	«9»	«6»	«4»	«3»	«1–2»	«0»

Правила назначения баллов при оценке риска представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Правила назначения баллов при оценке риска

K	L	Условие	Баллы (BK)	Значение	Баллы (BL)
K^*	L^*	$K \in [0; K^*)$	«0»	$L \in [0; L^*)$	«0»
		$K \in [K^*; K^{**})$	«1»	$L \in [L^*; L^{**})$	«1»
K^{**}	L^{**}	$K \in [K^{**}; K^{***})$	«2»	$L \in [L^{**}; L^{***})$	«2»
K^{***}	L^{***}	$K \in [K^{***}; 1)$	«3»	$L \in [L^{***}; 1)$	«3»

По умолчанию в модели принято: $K^*=L^*=0,5$; $K^{**}=L^{**}=0,6$; $K^{***}=L^{***}=0,75$, но данные значения могут быть изменены на основе практики применения модели.

Для оценки риска способности реализации циклических работ при тушении пожаров разработана шкала (рисунок 3), которая дает оценку выполнения поставленных задач по тушению пожаров или проведению аварийно-спасательных работ в комплексе по двум параметрам «Способность» и «Возможность».

Возможность	(0,75;1,00)	0	3	6	9
	(0,6;0,75)	0	2	4	6
	(0,5;0,6)	0	1	2	3
	(0,0;0,5)	0	0	0	0
		(0,0;0,5)	(0,5;0,6)	(0,6;0,75)	(0,75;1,00)
		Способность			

Рисунок 3 – Шкала оценки риска способности реализации циклических работ на пожарах

Шкала оценки риска способности реализации циклических работ на пожарах показывает, что если значение риска 9, то риск неудачи проведения работ оценивается понятием «Пренебрежим». Если оценка риска 6 или 4, то риск оценивается как «Незначительный». Если оценка риска 3, то риск «Средний». Если оценка риска 2, то риск будет «Выше среднего». Если оценка риска 1, то риск «Высокий», и если 0, то выполнение работ «Недопустимо».

Разработанный критерий для оценки способности реализации циклических работ при тушении пожаров позволяет качественно планировать тактические действия по тушению пожаров с выполнением циклических работ в непригодной для дыхания среде.

Разработка программного комплекса управления профессиональными рисками при организации проведения циклических работ на пожаре

Программный комплекс предназначен для аналитической обработки данных при выполнении циклических работ при тушении пожаров с целью выбора наиболее предпочтительного варианта режима проведения циклических работ с учетом предполагаемых рисков (для повышения безопасности труда пожарных и планирования тактики тушения пожаров).

Интерфейс программного комплекса представлен на рисунке 4.

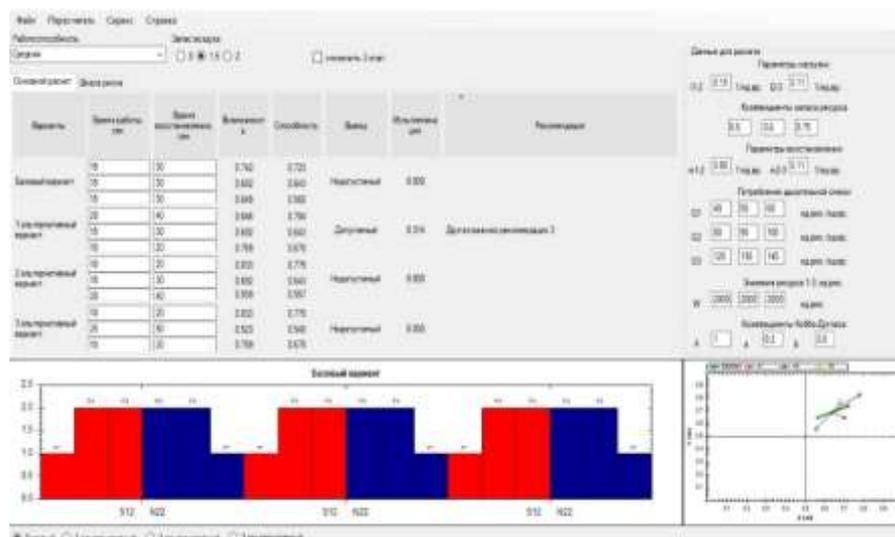


Рисунок 4 – Интерфейс программного комплекса

Данный программный комплекс может применяться для системы планирования тактики тушения пожаров при выполнении циклических работ в непригодной для дыхания среде. С помощью моделей динамики режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления) и дискретно-событийной модели физических состояний программный комплекс с учетом

времени восстановления и уровня работоспособности: 1) определяет интенсивности переходов из одного режима работы в другой; 2) графически идентифицирует на циклограмме состояния режимов труда и отдыха при циклических работах в НДС; 3) с помощью критерия планирования и по шкале риска оценивает варианты выполнения циклических работ.

В третьей главе «Комплекс технических решений планирования тактики тушения пожара при выполнении циклических работ» представлены результаты разработки практических рекомендаций по применению полученных результатов исследования при планировании тактики проведения циклических работ в процессе тушения пожаров. Практическая значимость главы заключается в создании устройства мониторинга безопасности газодымозащитника, базы данных с информационными ресурсами для проведения качественного мониторинга и разработке практических рекомендаций по их применению.

Определим исходные данные для критерия L – способность. Для определения исходных данных по критерию L был проведен двухфакторный эксперимент. Экспериментальное тестирование проводилось во время проведения тренировочных заданий в процессе изучения дисциплины «Организация газодымозащитной службы» у курсантов третьего года обучения Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России.

Результаты исследования влияния факторов позволили сформировать массив коэффициентов факторной модели и начального среднего времени динамики состояний. Рассчитанные исходные данные приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Исходные данные для моделирования

Среднее время, мин.	Высокий уровень работоспособности					
	Этапы работы		Исходные данные (Модель 1)			
	Первичный	Повторный				
T _{m(1→2)}	5,28	4,38	λ _{1→2}	0,19	K _{H1}	1,21
T _{m(2→3)}	6,53	5,2	λ _{2→3}	0,15	K _{H2}	1,26
T _{m(2→1)}	4,8	5,87	μ _{2→1}	0,21	K _{B1}	1,22
T _{m(3→2)}	5,38	6,22	μ _{3→2}	0,19	K _{B2}	1,16
Средний уровень работоспособности						
	Первичный	Повторный	Исходные данные (Модель 2)			
T _{m(1→2)}	2,95	2,05	λ _{1→2}	0,34	K _{H1}	1,44
T _{m(2→3)}	4,4	3,07	λ _{2→3}	0,23	K _{H2}	1,43
T _{m(3→2)}	6	7,07	μ _{3→2}	0,17	K _{B1}	1,18
T _{m(2→1)}	5,62	7,12	μ _{2→1}	0,18	K _{B2}	1,27

Для оценки гарантии проведения циклических работ введем понятие коэффициент безопасности (K_б) проведения циклических работ при тушении пожаров. Коэффициент безопасности (K_б) представляет собой отношение времени выполнения циклических работ ко времени отдыха между циклами. Для участников тушения пожаров с высоким уровнем работоспособности он будет составлять K_{без}=0,86, для участников тушения пожара со средним уровнем работоспособности K_{без} = 1,17 (при уровне значимости P=0,8) на одно повторное включение соответственно.

Таким образом, необходимое количество звеньев для осуществления непрерывного тушения пожара с учетом коэффициента безопасности представляется возможным определить по формуле (13):

$$N_{ГДЗС} = Ц \left(\frac{(t_1 + t_2 + t_4)(1 + K_б)}{t_1} \right), \quad (13)$$

где t₁ – минимальный ресурс ДА одного из газодымозащитников в звене с учётом возможности выхода из зоны задымления, мин.;

t₂ – время выхода из зоны задымления к месту восстановления готовности, мин.;

t_4 – время возвращения звена ГДЗС на позицию подачи огнетушащих веществ, мин.

Результаты и анализ расчета необходимого количества звеньев ГДЗС для осуществления непрерывного тушения пожара с учетом коэффициента безопасности и с различными временами продолжительности тушения пожара представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов необходимого количества звеньев ГДЗС

Время тушения пожара, мин.	90		120		150		180		210													
	G, л*мин. ⁻¹																					
G, л*мин. ⁻¹	40	60	40	60	40	60	40	60	40	60												
$t_{об}$, мин.	45	30	45	30	45	30	45	30	45	30												
t_p (не более), мин.	30	20	30	20	30	20	30	20	30	20												
$N_{ГДЗС}$ при $Kб=0,86$	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3												
t_0 (не менее), мин.	25	17	25	17	25	17	25	17	25	17												
$N_{вкл}$	1	2	2	2	2	3	2	3	3	4												
Уровень раб-ти	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср		
Вывод	Д	Н	Д	Н	Д	Н	Д	Н	Д	Н	Н	Н	Д	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	Н	
$N_{ГДЗС}$ при $Kб=1,17$	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4		
t_0 (не менее), мин.	35	23	35	23	35	23	35	23	35	23	35	23	35	23	35	23	35	23	35	23		
$N_{вкл}$	1	2	1	2	2	2	2	2	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3		
Уровень раб-ти	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср	В	Ср
Вывод	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Д	Н	Д	Д	Д	Н	

* В таблице введены следующие условные обозначения: G – расход дыхательных ресурсов при выполнении циклических работ; $t_{об}$ – общее время одного включения; t_p – время работы звена ГДЗС; $N_{ГДЗС}$ – количество звеньев ГДЗС; t_0 – время отдыха; $N_{вкл}$ – количество включений в ДА; В – высокая работоспособность; Ср – средняя работоспособность; Д – допустимый вариант; Н – недопустимый вариант.

Полученные данные расчетов необходимого количества звеньев ГДЗС с учетом различного времени продолжительности тушения пожаров показывают, что возможным представляется выполнение работы, которая определена условиями пожарно-тактической задачи, только тремя звеньями ГДЗС при высокой работоспособности участников тушения пожара и четырьмя звеньями ГДЗС при средней работоспособности.

Разработка комплекса технических решений

Для реализации использования расчётных параметров, полученных в программном комплексе, разработано устройство безопасности газодымозащитника, защищенное патентом на полезную модель, а также представлена база данных с параметрами, необходимыми для его работы. В разработанной базе данных представлены информационные ресурсы для мониторинга безопасных режимов работы газодымозащитников при тушении пожаров. Таким образом, комплекс информационных и технических решений, включающий в себя программу для ЭВМ, устройство мониторинга безопасности газодымозащитника и базу данных, позволяет в режиме реального времени сопоставлять прогнозные (табличные) значения параметров безопасности с фактическими и корректировать результаты планирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Рассмотрены научные работы, посвященные действиям пожарных при выполнении циклических работ и планированию их последующих действий с точки зрения работоспособности газодымозащитников. Показано, что существует различие между реальным уровнем работоспособности участника тушения пожара и его субъективной оценкой. Рассмотрены основные способы и системы мониторинга безопасности. Определены направления их развития в части учета работоспособности газодымозащитников, оцениваемых на качественном и количественном уровнях.

2. Разработана система оценки реализации циклических работ в непригодной для дыхания среде при планировании тактики тушения пожаров на основе динамической модели режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления) и дискретно-событийной модели физических состояний при циклических работах, позволяющая повысить эффективность планирования тактики тушения пожаров при выполнении циклических работ в непригодной для дыхания среде. Впервые предложен критерий для оценки способности реализации циклических работ при тушении пожаров по параметрам «Способность» и «Возможность».

3. Разработаны информационные ресурсы, необходимые для мониторинга работоспособности газодымозащитников на качественном и количественном уровне, дополняющие известные данные мониторинга безопасности при тушении пожаров. Получены значения коэффициентов безопасности проведения циклических работ при тушении пожаров. Коэффициент безопасности проведения циклических работ при тушении пожаров представляет собой отношение времени выполнения циклической работы ко времени отдыха. Для участников тушения пожаров с высоким уровнем работоспособности он будет составлять $K_{без}=0,86$, для участников тушения пожара со средним уровнем работоспособности $K_{без} = 1,17$ (при уровне значимости $P=0,8$) на одно повторное включение соответственно.

4. Разработаны практические рекомендации по применению результатов исследования в процессе мониторинга безопасности газодымозащитников при тушении пожаров. Реализован в виде программного продукта алгоритм планирования тактики тушения пожаров с выполнением циклических работ в непригодной для дыхания среде.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК

1. **Шалявин Д. Н.** Разработка дополнительных нормативных заданий и их временных показателей к работе со штурмовой лестницей / Р. М. Шипилов, С. Г. Казанцев, А. С. Давиденко, Д. Н. Шалявин // Современные проблемы гражданской защиты. 2019. № 2(31). С. 106–112. EDN XDCTJC.

2. **Шалявин Д. Н.** Оценка профессионального риска выполнения повторных включений газодымозащитниками при планировании действий по тушению пожара / Д. Н. Шалявин, А. О. Семенов, Д. В. Тараканов, В. Б. Габдуллин // Технологии техносферной безопасности. 2024. № 2(104). С. 199–212. DOI 10.25257/TTS.2024.2.104.199-212. EDN DCWGLM.

3. **Шалявин Д. Н.** Оценка реализации тактических задач пожарных подразделений в процессе выполнения повторных работ при тушении крупных пожаров / Д. Н. Шалявин // Современные проблемы гражданской защиты. 2024. № 2(51). С. 101–107. EDN WRWZJD

Научные публикации в изданиях, входящих в международные системы цитирования

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

5. **Шалявин Д. Н.** Программный комплекс для анализа режимов выполнения повторных работ при тушении пожаров на объектах текстильной промышленности / Д. Н. Шалявин, А. О. Семенов, Д. В. Тараканов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 3(411). С. 225–234. DOI 10.47367/0021-3497_2024_3_225. EDN SKZTAE.

Монография

6. Информационная поддержка управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде: монография / Б. Б. Гринченко, Д. В. Тараканов, Д. Н. Шалявин [и др.]. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. 213 с.

Публикации в иных научных изданиях

7. **Шалявин Д. Н.** Модель ранжирования многофункциональных тренировочных объектов для специальной подготовки пожарных / Д. Н. Шалявин, А. В. Кулагин, А. А. Сорокин // Технологии техносферной безопасности. 2019. № 4(86). С. 71–78. DOI 10.25257/TTS.2019.4.86.71-78. EDN AALTOC.

8. **Шалявин Д. Н.** Алгоритм информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде на объектах энергетики / Д. Н. Шалявин, Д. В. Тараканов, Б. Б. Гринченко // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 53–61.
9. **Шалявин Д. Н.** Модель для оценки надежности системы дистанционного мониторинга параметров безопасности газодымозащитников / Д. Н. Шалявин, Д. В. Тараканов, Б. Б. Гринченко [и др.] // Современные проблемы гражданской защиты. 2022. № 2 (43). С. 13–19.
10. **Шалявин Д. Н.** Экспериментальная модель восстановления газодымозащитников с учётом уровня работоспособности и повторности тренировочных нагрузок / Д. Н. Шалявин, Е. А. Шмелева, А. Д. Ищенко, Д. В. Тараканов // Технологии техносферной безопасности. 2022. № 4(98). С. 79–95. DOI 10.25257/TTS.2022.4.98.79-95. EDN NPUXJF.
11. **Шалявин Д. Н.** Проблемно-ориентированная модель управления подготовкой газодымозащитников для выполнения длительных работ на затяжных пожарах / Д. Н. Шалявин // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 4(49). С. 106–113. EDN HMSVVE.
12. **Шалявин Д. Н.** Перспективные задачи поддержки принятия решений в управлении безопасностью участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде / Б. Б. Гринченко, Д. В. Тараканов, Д. Н. Шалявин [и др.] // Актуальные проблемы пожарной безопасности: материалы XXXII Международной научно-практической конференции. Балашиха: ВНИИПО МЧС России, 2020. С. 213–217.
13. **Шалявин Д. Н.** Применение пульсовых зон в тренировочных занятиях по подготовке газодымозащитников / Д. Н. Шалявин, Д. В. Тараканов, Б. Б. Гринченко // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XV Международной научно-практической конференции, посвященной 30-й годовщине МЧС России. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. С. 301–304.
14. **Шалявин Д. Н.** Разработка информационно-аналитической модели для мониторинга безопасности газодымозащитника / Д. Н. Шалявин, Д. В. Тараканов, Б. Б. Гринченко // Школа молодых учёных и специалистов МЧС России: материалы юбилейного X форума. С.-Пб., 2020. С. 38–40.
15. **Шалявин Д. Н.** Условия применения систем мониторинга параметров безопасности участников тушения пожара при работе в непригодной для дыхания среде / Б. Б. Гринченко, Д. Н. Шалявин, Д. В. Тараканов // Системы безопасности: материалы двадцать девятой международной научно-технической конференции. М.: Академия ГПС МЧС России, 2020. С. 30–32.
16. **Шалявин Д. Н.** Имитационная модель потребления ресурсов газодымозащитниками для планирования работ в непригодной для дыхания среде / Д. Н. Шалявин, Д. В. Тараканов // Системы безопасности: материалы 32-й международной научно-технической конференции. М.: Академия ГПС МЧС России, 2023. С. 76–81. EDN ОНМУТУ.
*Свидетельство на программу для электронных вычислительных машин,
патент на полезную модель, база данных*
17. Информационные ресурсы систем мониторинга безопасных режимов работы газодымозащитников: Свидетельство о регистрации базы данных 2022620719. Заявка № 2022620475 от 16.03.2022 / **Шалявин Д. Н.**, Тараканов Д. В., Ульев Д. А., Гринченко Б. Б.
18. Устройство мониторинга безопасности газодымозащитника: Патент на полезную модель 199779 U1. Заявка № 2020117869 от 20.05.2020 / **Шалявин Д. Н.**, Тараканов Д. В., Гринченко Б. Б.
19. Программное комплекс управления профессиональными рисками при организации проведения циклических работ на пожаре: Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ 20224618280. Заявка № 202617299 от 27.03.2024 / **Шалявин Д. Н.**, Тараканов Д. В., Ульев Д. А., Шмелева Е. А. [и др.].