

УДК 614.842

DOI 10.47367/0021-3497_2024_3_225

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ АНАЛИЗА РЕЖИМОВ
ВЫПОЛНЕНИЯ ПОВТОРНЫХ РАБОТ ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ
НА ОБЪЕКТАХ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**SOFTWARE COMPLEX FOR MODE ANALYSIS PERFORMANCE
OF REPEATED WORK WHEN FIGHTING FIRES AT TEXTILE INDUSTRY SITES**

Д.Н. ШАЛЯВИН¹, А.О. СЕМЕНОВ¹, Д.В. ТАРАКАНОВ², Е.А. ШМЕЛЕВА^{1,3}, Д.А. УЛЬЕВ¹
D.N. SHALYAVIN¹, A.O. SEMENOV¹, D.V. TARAKANOV², E.A. SHMELEVA^{1,3}, D.A. ULYEV¹

*(¹Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,
²Академия ГПС МЧС России,
³Ивановский государственный университет)*

*(¹Ivanovo Fire and Rescue Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
²Academy of State Fire Service of EMERCOM of Russia,
³Ivanovo State University)*

E-mail: sharap1897@rambler.ru, ao-semenov@mail.ru, den-pgs@yandex.ru,
noc_shmeleva@mail.ru, deezz@mail.ru

В работе рассмотрены вопросы планирования ресурсов газодымозащитников при повторных работах в процессе тушения крупных и затяжных пожаров на объектах текстильной промышленности. В исследовании использован метод имитационного моделирования.

В ходе исследования разработана динамическая модель режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления) газодымозащитников. Модель объединяет уровень работоспособности исполнителей работ и время выполнения работы в том или ином режиме. Предложена дискретно-событийная модель физических состояний при повторных циклических работах. В данной модели спрогнозированы варианты событий режима труда и отдыха при выполнении повторных работ газодымозащитниками. Разработан критерий оценки режимов выполнения повторных работ при тушении крупных и затяжных пожаров.

The article is devoted to the development of technologies for optimizing tactical resource planning during repeated (cyclic) work on large and protracted fires at textile industry facilities based on simulation modeling. The paper considers the issues of planning the resources of gas and smoke protectors during repeated work in the process of extinguishing large and protracted fires at textile industry facilities. The method of simulation modeling was used in the study.

In the course of the study, a dynamic model of the modes of operation (load) and rest (recovery) of gas and smoke protectors was developed. The model combines the level of performance of the performers of the work and the time of completion of the work in one mode or another. A discrete-event model of physical states in repeated cyclic work is proposed. This model predicts variants of work and rest regime events when gas and smoke protection workers perform repeated work.. A criterion for evaluating the modes of repeated work in extinguishing large and protracted fires has been developed.

Ключевые слова: текстильная промышленность, повторные работы, газодымозащитник, имитационное моделирование, критерий риска.

Keywords: textile industry, repeated work, gas and smoke protection, simulation modeling, risk criterion.

Введение

Аналитический обзор данных о крупных и затяжных пожарах на объектах текстильной промышленности показывает, что случаются они достаточно редко, но имеют, как правило, большой общественный резонанс. Большая часть работ по тушению таких пожаров проходит в непригодной для дыхания среде (НДС), где основной тактической единицей являются звенья газодымозащитной службы (ГДЗС), оснащенные дыхательными аппаратами со сжатым воздухом (ДА). Современные дыхательные аппараты имеют ограничение в параметрах безопасности. Под параметрами безопасности ДА принимаются ресурсы времени и воздуха (давление), которые ограничены его типом [1, 2].

К временным ресурсам при проведении повторных работ на крупных и затяжных пожарах относятся время выполнения за-

дач, временные интервалы и периоды труда и отдыха, которые являются важным аспектом для обеспечения непрерывности работы организационной системы и снижения негативного воздействия деструктивных событий на окружающую среду.

Для оптимизации процесса правильного выбора временных ресурсов режимов труда и отдыха при повторных работах предлагается применять имитационное моделирование [3, 4].

В задачах распределения ресурсов имитационное моделирование может быть использовано для определения оптимальных конфигураций ресурсов, таких как оборудование, человеческие возможности, материальные затраты и т. д., а также для анализа производительности и эффективности различных стратегий распределения ресурсов [5, 6, 7]. Это позволяет руководителям

принимать обоснованные решения в области распределения ресурсов, что в свою очередь, может привести к повышению эффективности работы.

Работа в НДС на крупных и затяжных пожарах предусматривает организацию большого количества звеньев ГДЗС (более трех) [8]. При формировании трех и более звеньев ГДЗС создается контрольно-пропускной пункт ГДЗС (КПП ГДЗС), который возглавляет начальник КПП ГДЗС, входящий в состав оперативного штаба на месте пожара. Начальник КПП ГДЗС выступает в качестве лица, принимающего решение при организации работы звеньев ГДЗС на пожаре, и отвечает за обеспечение их безопасности. Однако ввиду работы в непригодной для дыхания среде более трех звеньев ГДЗС увеличивается объем поступающей информации, которую необходимо своевременно обрабатывать, что не может не оказывать непосредственного влияния на процесс принятия тактических управленческих решений [2].

Целью исследования является разработка технологии оптимизации тактического планирования ресурсов при проведении повторных (циклических) работ на крупных и затяжных пожарах на основе имитационного моделирования.

Для достижения поставленной цели нужно решить ряд задач:

1. Разработать общую схему оптимизации тактического планирования ресурсов при повторных работах на пожаре.

2. Разработать динамическую модель режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления) газодымозащитников.

3. Разработать дискретно-событийную модель физических состояний газодымозащитников при выполнении повторных работ.

Методика и организация исследования

Методика оптимизации тактического планирования ресурсов газодымозащитников при повторных работах будет работать по алгоритму, представленному на рис. 1.

В блок ввода исходных данных заносятся предполагаемые временные ресурсы режимов труда и отдыха. На основании введенных исходных данных формируется несколько режимов труда и отдыха (базовый

(предполагаемый) и три альтернативных). С учетом уровня работоспособности газодымозащитников сформированные режимы обрабатываются с помощью динамической модели режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления) и визуализируется динамика физического состояния газодымозащитников при выполнении всех предполагаемых циклов работ.

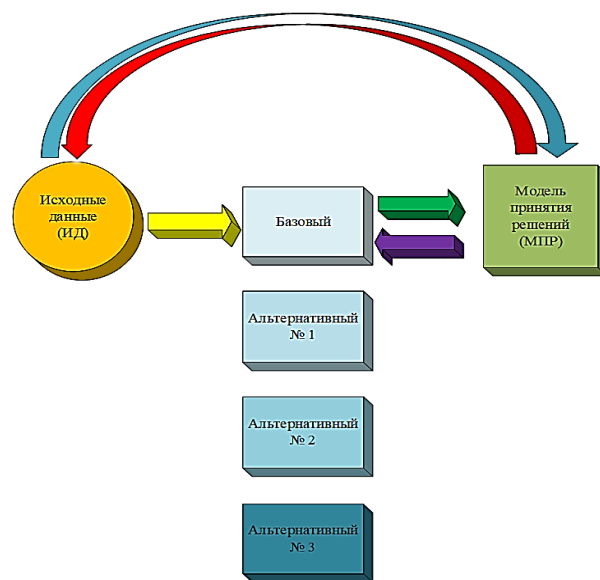


Рис 1

Для визуализации динамики используются разработанные модели «Динамическая модель режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления)» и «Дискретно-событийная модель физических состояний газодымозащитников при повторных циклических работах». Для индикации состояний при циклических работах в модели динамики применяется расчет векторных оценок этапов нагрузки и восстановления. С помощью расчета векторных оценок определяется физическое состояние на каждом этапе циклической (повторной) работы, и на основании полученных данных строится циклограмма. Для определения возможности и способности газодымозащитников выполнять поставленные задачи разработан критерий риска при повторных работах. Модель принятия решений основана на выборе из вариантов предполагаемых повторных работ наиболее предпочтительного. Все расчеты производятся в автоматическом режиме с помощью программ-

ного обеспечения тактического планирования повторной работы газодымозащитников.

Базовый вариант предусматривает равномерное распределение времени работы в повторных циклах, например, 3 цикла по 15 минут, общее время работы составит 45 минут. При альтернативном варианте № 1 время работы в повторных циклах будет увеличиваться от меньшего к большему, например, первый цикл составит 10 минут, второй 15 минут и третий 20 минут, общее время работы также составит 45 минут. Альтернативный вариант № 2, наоборот, предусматривает уменьшение времени работ в циклах от большего к меньшему, например, первый цикл 20 минут, второй 15

минут и третий 10 минут, общее время работы также составит 45 минут. Альтернативный вариант № 3 будет являться деструктивным, предназначен для анализа исходных данных. При введенных исходных данных альтернатива 3 не должна быть допустимой и не должна быть рекомендованной разработанной системой оценки.

Динамическая модель режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления)

Модель объединяет уровень работоспособности исполнителей работ и время выполнения работы в том или ином режиме.

Интенсивности переходов различных режимов работ рассчитываются по формуле:

$$P_{кр} = 1 - \exp(-\lambda_{1 \rightarrow 2} \tau_{1-2}), \quad (1)$$

$$P_{кр} = 1 - \frac{\lambda_{2 \rightarrow 3}}{\lambda_{2 \rightarrow 3} - \lambda_{1 \rightarrow 2}} \exp(-\lambda_{1 \rightarrow 2} \tau_{1-3}) + \frac{\lambda_{1 \rightarrow 2}}{\lambda_{2 \rightarrow 3} - \lambda_{1 \rightarrow 2}} \exp(-\lambda_{2 \rightarrow 3} \tau_{1-3}),$$

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

Данные параметры принимаются для первого цикла:

$$\begin{aligned} T_{1 \rightarrow 2} &= \tau_{1-2} - 0, \\ T_{2 \rightarrow 3} &= \tau_{1-3} - T_{1 \rightarrow 2}. \end{aligned} \quad (2)$$

$$P_{кр} = 1 - \exp(-\mu_{3 \rightarrow 2} \tau_{3-2}), \quad (3)$$

$$P_{кр} = 1 - \frac{\mu_{3 \rightarrow 2}}{\mu_{3 \rightarrow 2} - \mu_{2 \rightarrow 1}} \exp(-\mu_{2 \rightarrow 1} \tau_{3-1}) + \frac{\mu_{2 \rightarrow 1}}{\mu_{3 \rightarrow 2} - \mu_{2 \rightarrow 1}} \exp(-\mu_{3 \rightarrow 2} \tau_{3-1}).$$

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

Данные параметры принимаются для первого цикла:

$$\begin{aligned} T_{3 \rightarrow 2} &= \tau_{3-2} - 0, \\ T_{2 \rightarrow 1} &= \tau_{3-1} - T_{3 \rightarrow 2}. \end{aligned} \quad (4)$$

Второй и третий полученный параметр этапов отдыха (4) умножают на коэффициенты восстановления K_B : K_{B2} – для второго цикла и K_{B3} – для третьего цикла.

Второй и третий полученный параметр этапов работы (2) умножают на коэффициенты нагрузки K_H : K_{H2} – для второго цикла и K_{H3} – для третьего цикла.

Интенсивности перехода режимов отдыха рассчитываются по формуле:

Модель применяется следующим образом: при заданном уровне работоспособности выбирается значение $P_{кр}$, с помощью которого в случае оценки режима труда по формуле (1), а в случае режима отдыха по формуле (3) 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 повторных работах в НДС.

Таблица 1

Состояние	Исходные данные	Правила расчета векторных оценок состояний ($X_1; X_2; X_3$), ед. вр.
Работа после полного восстановления		
$S_{11}; S_{12}; S_{13}$	$T_p;$ $T_{P(1-2)};$ $T_{P(2-3)}$	Если $T_p \leq T_{P(1-2)}$, то $X_1=T_p; X_2=0; X_3=0$. Если $T_p > T_{P(1-2)}$ и $T_p \leq T_{P(1-2)} + T_{P(2-3)}$, то $X_1= T_{P(1-2)}; X_2=T_p- T_{P(1-2)}; X_3=0$. Если $T_p > T_{P(1-2)} + T_{P(2-3)}$, то $X_1= T_{P(1-2)}; X_2= T_{P(2-3)}; X_3=T_p-(T_{P(1-2)}+ T_{P(2-3)})$, где T_p – время работы; X_1, X_2, X_3 – режимы работы.
Работа после частичного восстановления		
$S_{21}; S_{22}$	$T_p;$ $T_{P(2-3)}=T_p^{**}$	Если $T_p \leq T_{P(2-3)}$, то $X_1=0; X_2=T_p; X_3=0$. Если $T_p > T_{P(2-3)}$, то $X_1=0; X_2= T_{P(2-3)}; X_3= T_p- T_{P(2-3)}$.
Работа без восстановления		
S_{31}	T_p	Во всех случаях $X_1=0; X_2=0; X_3=T_p$
Восстановление после тяжелой работы		
N_{11} N_{12} N_{13}	$T_B;$ $T_{B(3-2)};$ $T_{B(2-1)}$	Если $T_B \leq T_{B(3-2)}$, то $Y_3=T_B Y_2=0; Y_3=0$. Если $T_B > T_{B(3-2)}$ и $T_B < T_{B(3-2)} + T_{B(2-1)}$, то $Y_3= T_{B(3-2)}; Y_2=T_B- T_{B(3-2)}; Y_3=0$. Если $T_B > T_{B(3-2)} + T_{B(2-1)}$, то $Y_3= T_{B(3-2)}; Y_2= T_{B(2-1)}; Y_3=T_B-(T_{B(3-2)}+ T_{B(2-1)})$. где T_B – время восстановления; Y – этап восстановления
Восстановление после нормальной работы		
N_{21} N_1	$T_B;$ $T_{B(2-1)}=T_B^*$	Если $T_B \leq T_{B(2-1)}$, то $Y_3=0; Y_2=T_B; Y_1=0$. Если $T_B > T_B^*$, то $Y_3=0; Y_2=T_B^*; Y_1= T_B-T_B^*$
Восстановление после легкой работы		
N_{13}	T_B	$Y_3=0; Y_2=0; Y_1= T_B$

Идентификация состояний в системе планирования повторных циклических работ

Циклограмма отображает векторную оценку состояний организма газодымозащитника на разных этапах цикла работ (лег-

кая, средняя, тяжелая) и статуса восстановления (не восстановился, полное, частичное) с характеристикой функционального состояния при работе и восстановлении (дыхание, пульс, потоотделение, речь).

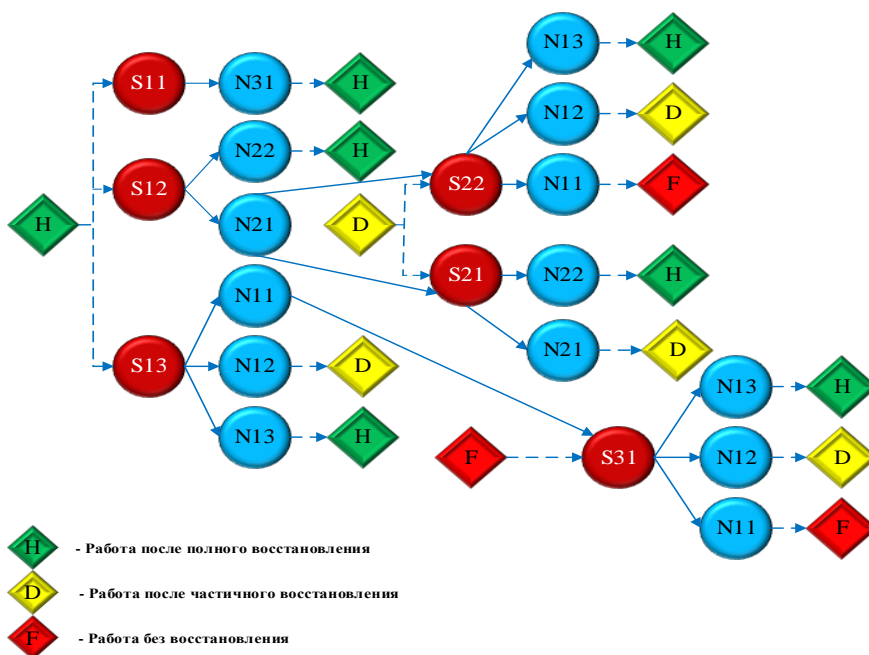


Рис. 2

На основании идентификации состояний и расчета векторных оценок разработана дискретно-событийная модель физических состояний при повторных циклических работах. Дискретно-событийная модель представляет собой блок-схему режима труда и отдыха при повторных циклах работ (рис. 2). В данной модели спрогнозированы варианты событий режима труда и отдыха при выполнении повторных работ.

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

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

Подход к выполнению повторных работ реализован в виде трех генераторов сообщений, учитывающих степень восстановления работоспособности. Сообщения моделируют поток управленческих решений, с какими временными интервалами отдыха начинать следующий этап выполнения повторных работ.

Динамическая модель режимов труда и отдыха при повторных циклических работах представлена активными событиями (временные интервалы отдыха и работы), что позволяет определять логику выполнения повторных этапов работ. Каждому режиму труда и отдыха в узле назначен отдельный объект (модель), учитывающий особенности (сложность) выполнения нагрузки после периодов восстановления.

Разные сложности работ могут выполняться при разном уровне восстановления.

Критерии оценки режимов выполнения повторных 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 управлении повторными работами 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 следующим формулам:

$$L = \frac{1}{1+R_{сп}}, \quad (5)$$

$$R_{сп} = \frac{A_H X_1 + B_H X_2 + C_H X_3}{A_B Y_1 + B_B Y_2 + C_B Y_3}, \quad (6)$$

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.

Нормированный («невосстанавливаемый») критерий «Возможность» рассчитывается также для каждого этапа в отдельности по следующим формулам:

$$K = \frac{1}{1+W}, \quad (7)$$

$$W = \frac{W_\phi}{W_0}, \quad (8)$$

где W_0 – имеющийся запас ресурса (объем воздуха в баллоне дыхательного аппарата), ед. ресурса; W_ϕ – прогнозируемый запас ресурса, который будет израсходован в процессе реализации выбранной схемы повторной работы, ед. ресурса.

Расчет фактического расхода дыхательных ресурсов при повторных работах производится по следующей формуле:

$$W_\phi = G_1 X_1 + G_2 X_2 + G_3 X_3, \quad (9)$$

где G_1, G_2, G_3 – расход дыхательных ресурсов при легкой, средней и тяжелой работе,

ед. ресурса·мин⁻¹; X_1, X_2, X_3 – векторные оценки этапа нагрузки, мин.

Оценка риска невыполнения повторной работы при тушении пожара построена на общеизвестном утверждении, что риск является двумерной величиной. Поэтому построены правила оценки риска неудачи при выполнении повторных работ:

$$R = B(L)B(R), \quad (10)$$

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

Вербальные оценки риска представлены в табл. 2.

Таблица 2

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

Правила назначения баллов при оценке

риска представлены в табл. 3.

Таблица 3

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.

Описание программного комплекса

Практическое применение разработанных методов планирования и оценки тактики тушения пожаров при выполнении повторных работ в непригодной для дыхания

среде реализуется с помощью программного комплекса управления профессиональными рисками при организации проведения повторных работ на пожаре (далее – программный комплекс). Интерфейс программного комплекса представлен на рис. 3.

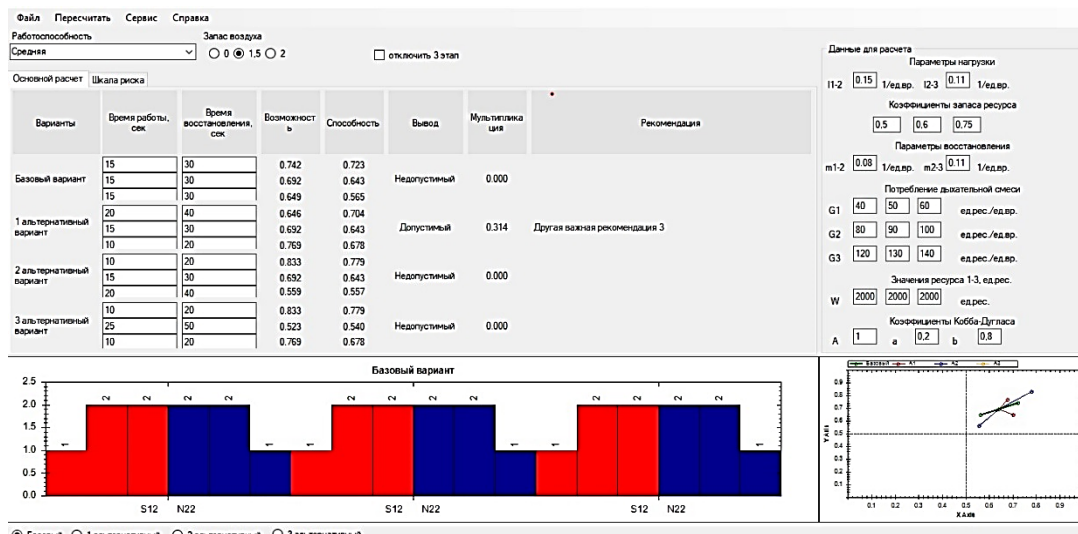


Рис. 3

Данный программный комплекс может применяться для системы планирования тактики тушения пожаров при выполнении повторных 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 определяет интенсивности переходов из одного режима работы в другой. Графически идентифицирует на циклограмме состояния режимов труда и отдыха при повторных работах в НДС. С помощью критерия планирования и по шкале риска оценивает варианты выполнения повторных работ и с помощью модели принятия решения выбирает наиболее предпочтительный вариант режима труда и отдыха при повторных работах.

Во вкладке «Исходные данные» (ИД) вносятся временные показатели вариантов

выполнения повторных работ, уровень физической работоспособности газодымозащитников, коэффициент запаса дыхательных ресурсов, предполагаемое потребление дыхательных ресурсов участниками тушения пожара и объем баллона применяемого дыхательного аппарата на каждый цикл выполняемых работ.

Потребление дыхательной смеси вносится в ручном режиме на основе детерминированного подхода [9, 10]. Объем баллона заносится также вручную и зависит от вида применяемого дыхательного аппарата со сжатым воздухом.

Для иллюстрации вариативности режимов труда и отдыха газодымозащитников при повторных работах в программном комплексе проводится построение циклограмм для всех рассматриваемых вариантов проведения работ. Пример построения циклограмм в программном комплексе представлен на рис. 4.

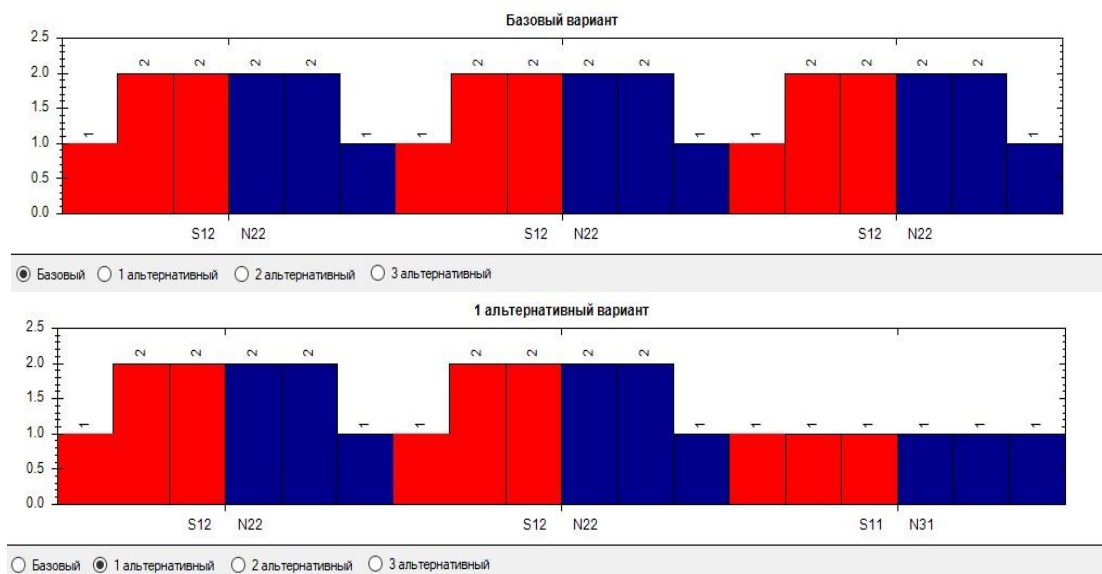


Рис. 4

По построенным в программе циклограммам можно судить о сложности повторных работ и о полноте восстановления, которое происходит по окончании очередного этапа рабочего процесса. При этом сложность работ (красный цвет) оценивается по шкале: «1» – легкая работа, «2» – средняя работа, «3» – тяжелая работа. Аналогичным образом представлены процедуры восстановления после циклов работ (синий цвет): «1» – полное восстановление,

«2» – частичное восстановление, «3» – без восстановления. В циклограмме также иллюстрируется буквенно-цифровое отображение цикла работ и восстановления.

Для оценки риска способности успешной реализации повторных работ при тушении пожаров в программном комплексе применяется разработанная шкала риска, которая находится в отдельной вкладке и представлена на рис. 5.

Работоспособность: Средняя

Запас воздуха: 0 1.5 2

отключить 3 этап

Основной расчет: Шкала риска

Базовый вариант	2	2	4	Незначительный
	2	2	4	Незначительный
	2	2	4	Незначительный
1 альтернативный вариант	2	2	4	Незначительный
	2	2	4	Незначительный
	3	3	9	Пренебрежим
2 альтернативный вариант	3	3	9	Пренебрежим
	2	2	4	Незначительный
	1	0	0	Незначительный
3 альтернативный вариант	0	0	0	Незначительный
	2	2	4	Незначительный
	3	3	9	Пренебрежим

Рис. 5

Результаты проведенных в программном комплексе расчетов сохраняются в файл отчета.

Информация, представленная в отчете, позволит сопоставлять прогнозируемые и фактические значения оценок реализации повторной работы на пожаре и в дальнейшем корректировать режимы труда и отдыха при выполнении повторных работ в непригодной для дыхания среде.

ВЫВОДЫ

Имитационное моделирование в динамических системах распределения ресурсов, реализованное в пожаротушении при повторных работах газодымозащитников, позволило оптимально распределять время при проведении повторных работ в непригодной для дыхания среде. Методика оптимизации тактического планирования ресурсов при повторных работах на пожаре предусматривает базовый и альтернативные варианты распределения времени. Разработанная модель динамики режимов работы (нагрузки) и отдыха (восстановления) газодымозащитников объединяет уровни работоспособности исполнителей работ и время выполнения работы в том или ином режиме. Дискретно-событийная модель состояний газодымозащитников при повторных работах разработана с учетом компонентов, отражающих принцип ее построения: тяжелая работа, средняя работа, легкая работа, полный отдых, частичный отдых,

без отдыха. В зависимости от типа восстановления и видов выполняемых работ формируются различные режимы труда и отдыха. Разработанная технология оптимизации тактического планирования ресурсов на основе имитационного моделирования может быть использована при проведении повторных (циклических) работ на крупных и затяжных пожарах.

Разработанный программный комплекс повысит качество планирования тактики тушения пожаров с применением повторных работ. Это будет достигнуто путем внедрения в процесс планирования тактики тушения пожаров при выполнении повторных работ в НДС автоматизированных средств расчета временных показателей оптимальных режимов труда и отдыха, а также автоматического многокритериального выбора предпочтительных вариантов работ. С помощью шкалы оценки риска способности успешной реализации повторных работ в НДС в программном комплексе визуально можно спрогнозировать степень опасности выполнения работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шалаевин Д.Н. Проблемно-ориентированная модель управления подготовкой газодымозащитников для выполнения длительных работ на затяжных пожарах // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 4 (49). С. 106...113. – EDN HMSVVE.
2. Шалаевин Д.Н., Тараканов Д.В., Гринченко Б.Б. Алгоритмы информационной поддержки управления безопасностью участников тушения пожара в непригодной для дыхания среде на объектах

энергетики // Современные проблемы гражданской защиты. 2020. № 3 (36). С. 53...61.

3. *Hostler D., Colburn D., Rittenberger J.C., Reis S.E.* Effect of two work-to-rest ratios on cardiovascular, thermal, and perceptual responses during fire suppression and recovery. *Prehospital Emergency Care*. 2016. 20(6): P. 681...687. – DOI: 10.3109/10903127.2016.1168890.

4. *Gendron Ph., Trudeau F., Laurencelle L., Goulet É.D.B., Houle Ju., Lajoie C.* Shortened Recovery Period between Firefighting Work Bouts Increases Cardiac Response Disproportionately with Metabolic Rate. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2019. 61 (5): E217 - E2251. – DOI 10.1097/JOM.0000000000001579

5. *Jing J.* Simulation Analysis of Fire-Fighting Path Planning Based On SLAM. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 2024. 85, P. 434...442. – <https://doi.org/10.54097/35ybya58>.

6. *Teixeira I.G., Verzola M.R., Filipini R.E. and Speretta G.F.* The effects of a firefighting simulation on the vascular and autonomic functions and cognitive performance: a randomized crossover study. *Front. Physiol*. 2023. 14:1215006. – doi: 10.3389/fphys.2023.1215006.

7. *Horn G.P., Blevins S., Fernhall B., & Smith D.L.* Core temperature and heart rate response to repeated bouts of firefighting activities. *Ergonomics*, 2013. 56(9), P. 1465...1473. – <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.818719>.

8. *Ищенко А.Д.* Об обеспечении непрерывного тушения пожаров критически важных объектов в условиях задымления // Технологии техносферной безопасности. 2017. Вып. 5 (75). С. 12...24. – EDN: YWYDCY

9. *Гринченко Б.Б.* Вероятностная оценка необходимого запаса воздуха в дыхательных аппаратах при работе на пожаре // Технологии техносферной безопасности. 2017. № 4(74). С. 155...162. – EDN YWYDMQ.

10. *Гринченко Б.Б., Шупилов Р.М., Баканов М.О. и др.* Прогнозирование параметров работы участников тушения пожара на примере предприятий текстильной промышленности // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2024. № 1(409). С. 164...173. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_164. – EDN MKSWYG.

REFERENCES

1. *Shalyavin D.N.* Problem-oriented model for managing the training of gas and smoke protectors to perform long-term work on protracted fires // *Modern problems of civil protection*. 2023. No. 4(49). P. 106...113. – EDN HMSVVE.

2. *Shalyavin D.N., Tarakanov D.V., Grinchenko B.B.* Algorithms for information support for managing the safety of participants in extinguishing a fire in an unbreathable environment at energy facilities // *Modern problems of civil protection*. 2020. No. 3(36). P. 53...61.

3. *Hostler D., Colburn D., Rittenberger J.C., Reis S.E.* Effect of two work-to-rest ratios on cardiovascular, thermal, and perceptual responses during fire suppression and recovery. *Prehospital Emergency Care*. 2016. 20(6): P. 681...687. – DOI: 10.3109/10903127.2016.1168890.

4. *Gendron Ph.;Trudeau F.; Laurencelle L.; Goulet É.D.B.; Houle Ju.; Lajoie C.* Shortened Recovery Period between Firefighting Work Bouts Increases Cardiac Response Disproportionately with Metabolic Rate. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*. 2019. 61 (5): E217 – E2251. – DOI 10.1097/JOM.0000000000001579

5. *Jing J.* Simulation Analysis of Fire-Fighting Path Planning Based On SLAM. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 2024, 85, P. 434...442. – <https://doi.org/10.54097/35ybya58>.

6. *Teixeira I.G., Verzola M.R., Filipini R.E. and Speretta G.F.* The effects of a firefighting simulation on the vascular and autonomic functions and cognitive performance: a randomized crossover study. *Front. Physiol*. 2023. 14:1215006. – doi: 10.3389/fphys.2023.1215006.

7. *Horn G.P., Blevins S., Fernhall B., & Smith D.L. ()*. Core temperature and heart rate response to repeated bouts of firefighting activities. *Ergonomics*, 2013, 56(9), P. 1465...1473. – <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.818719>

8. *Ishchenko A.D.* On ensuring continuous extinguishing of fires of critical facilities in smoke conditions // *Technosphere safety technologies*. 2017. Issue 5 (75). P. 12...24. – EDN: YWYDCY

9. *Grinchenko B. B.* Probabilistic assessment of the necessary air supply in breathing apparatus when working on fire // *Technosphere safety technologies*. 2017. № 4(74). pp. 155...162. – EDN YWYDMQ.

10. *Grinchenko B.B., Shipilov R.M., Bakkanov M.O. et al.* Prediction of work parameters of fire extinguishing participants on the example of enterprises of textile industry // *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii, Seriya Tekhnologiya Tekstil'noi Promyshlennosti*. 2024. No. 1(409). P. 164...173. – DOI 10.47367/0021-3497_2024_1_164. – EDN MKSWYG.

Рекомендована кафедрой математики, информатики и методики обучения Шуйского филиала Ивановского государственного университета. Поступила 23.05.24.