

УДК 004.94:355.244

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОРЯДКА ЭВАКУАЦИИ ИЗ ЗОНЫ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

Горлов Виталий Викторович, Меньших Валерий Владимирович, Никитенко Виталий Алексеевич
Воронежский институт МВД России, г. Воронеж, Российская Федерация

Аннотация. В статье представлена математическая модель генетического алгоритма, предназначенного для решения задачи оптимизации порядка эвакуации объектов из зоны чрезвычайной ситуации. Разработанный алгоритм позволяет минимизировать общее время эвакуации, которое складывается из трех ключевых составляющих: времени движения объектов к пунктам специальной обработки, времени ожидания в очередях перед этими пунктами, а также времени проведения самой специальной обработки. Предложенная модель формализует рассматриваемую задачу как многостадийную проблему составления расписаний, что относит ее к классу NP-трудных задач, для которых не существует эффективного точного решения за полиномиальное время. Для решения поставленной задачи разработан генетический алгоритм, включающий модифицированные операторы скрещивания и мутации. Эти операторы гарантируют генерацию только допустимых решений, исключая дублирование объектов в хромосомах и обеспечивая соблюдение всех ограничений модели. В работе также приведено подробное описание основной структуры генетического алгоритма, включая принципы кодирования решений, функцию приспособленности, стратегии отбора и критерии остановки. Предложенный подход может быть использован при планировании эвакуационных мероприятий в условиях ограниченных ресурсов и неопределенности внешней среды.

Ключевые слова: чрезвычайная ситуация, задача оптимизации, пункт специальной обработки, эвакуация, генетический алгоритм

Для цитирования: Горлов В. В., Меньших В. В., Никитенко В. А. Модель и алгоритм принятия решений по определению порядка эвакуации из зоны чрезвычайной ситуации // Техносферная безопасность. 2026. № 2 (51). С. 149–159.

MODEL AND ALGORITHM FOR DECISION-MAKING IN DETERMINING THE EVACUATION ORDER FROM AN EMERGENCY ZONE

Vitaly V. Gorlov, Valery V. Menshikh, Vitaly A. Nikitenko
Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Voronezh, Russian Federation

Abstract. The article discusses the problem of preventing man-made emergencies at industrial facilities in conditions of limited resources and normatively specified requirements. A risk-

oriented concept of the system for preventing man-made emergencies is proposed, within the framework of which their prevention is interpreted as the task of managing an integral system, including technical, organizational, resource and regulatory components. A systematic presentation of the structure and functions of the emergency prevention system has been introduced, as well as the basic principles of the risk-based concept have been formulated, which determine approaches to its formation and management. As an integral criterion for the effectiveness of the system's functioning, man-made risk is used, taking into account the probability of accidents as sources of emergencies, response time and severity of consequences. A model of the system for preventing man-made emergencies has been developed, which formalizes the choice of agreed configurations of technical and organizational solutions under the given resource and regulatory constraints. The presented results are conceptual in nature and are intended to be used as a methodological basis for the further development and implementation of risk-oriented approaches to the management of man-made emergency prevention systems at industrial facilities.

Keywords: emergency situation, optimization problem, special decontamination station, evacuation, genetic algorithm

For citation: Gorlov V. V., Menshikh V. V., Nikitenko V. A. Model and algorithm for decision-making in determining the evacuation order from an emergency zone // *Technosphere safety*. 2026. No. 2 (51). P. 149–159.

Введение

Оперативная и эффективная эвакуация населения и материальных ценностей (далее — объекты эвакуации) из зоны чрезвычайной ситуации является критически важной задачей гражданской обороны и защиты населения [1, 2]. Один из ключевых элементов этого процесса — организация специальной обработки объектов эвакуации. В условиях дефицита времени и ресурсов оптимальная организация порядка эвакуации, в т. ч. маршрутов движения объектов эвакуации к пунктам специальной обработки (далее — ПуСО), минимизирующая общее время эвакуации, позволяет существенно уменьшить количество пострадавших и размер материального ущерба [3].

Задачу определения порядка эвакуации можно представить как задачу составления расписания движения объектов эвакуации.

Данная задача относится к классу сложных многостадийных задач оптимизации, требующих применения адекватных и эффективных математических методов.

Существует множество работ, связанных с эвакуацией из зоны ЧС [4–11], однако в данных работах не определяется порядок эвакуации тех или иных объектов. В связи с этим необходимо разработать модель и алгоритм, которые позволят определять порядок эвакуации объектов, в т. ч. распределение их по ПуСО.

Классические подходы теории расписаний, такие как точные методы (ветвей и границ, динамическое программирование и др.) [12–14], для задач подобного типа часто оказываются неприменимыми на практике из-за экспоненциального роста вычислительной сложности в связи с увеличением размерности задачи. Поэтому в последнее время активно развивается применение метаэвристических алгоритмов, демонстрирующих хорошее

соотношение качества решения и вычислительных затрат [15–21]. Среди них генетические алгоритмы заняли прочные позиции благодаря своей универсальности и способности находить близкие к оптимальным решения в сложных многоэкстремальных пространствах поиска. Эффективность генетических алгоритмов для решения задач теории расписаний и распределения ресурсов подтверждена в ряде работ [14, 19]. Однако прямое применение стандартных схем генетических алгоритмов для специфической задачи эвакуации в условиях ЧС, характеризующейся необходимостью учета времени движения, ожидания в очередях и проведения специальной обработки, требует разработки специализированной модели и модификации генетических операторов.

Таким образом, целью данной работы является разработка математической модели и эффективного численного метода на основе генетических алгоритмов для решения задачи составления порядка эвакуации из зоны ЧС, обеспечивающего минимизацию общего времени эвакуации при заданных ограничениях.

Новизна исследования заключается в разработке операторов скрещивания и мутации, которые учитывают специфику задачи и гарантируют формирование допустимых решений-потомков, исключая дублирование объектов в хромосоме.

Постановка задачи определения порядка эвакуации

При возникновении ЧС необходимо за отведенное время провести эвакуацию

материальных ценностей, людей из зоны ЧС и провести их специальную обработку. Для оптимального распределения объектов эвакуации по ПуСО можно использовать расписание, согласно которому они будут выдвигаться в установленные ПуСО.

Данная задача является задачей оптимизации функционирования многостадийных систем и может решаться с помощью известных методов теории расписаний [12]. Однако данный метод имеет экспоненциальную временную сложность.

Поэтому предлагается использовать генетический алгоритм, который для задач оптимизации имеет полиномиальную временную сложность.

Введем следующие обозначения:

$O = \{o_1, o_2, \dots, o_{|O|}\}$ — множество предметов эвакуации;

$M = \{m_1, m_2, \dots, m_{|M|}\}$ — множество ПуСО;

$\tau_{i,j}$ — время обработки o_i на m_j ПуСО;

$t_{i,j}$ — время движения o_i до m_j ПуСО;

$x_{i,j,k} = \begin{cases} 1, & \text{если } o_i \text{ назначен на } m_j \text{ ПуСО} \\ & \text{и находится на } k\text{-й позиции} \\ & \text{в очереди;} \\ 0, & \text{если иначе;} \end{cases}$

$X = \{x_{i,j,k}\}_{i=1,|O|, j=1,|M|, k=1,|O|}$ — распределение объектов по ПуСО и позициям в очереди;

$d_i(X)$ — время эвакуации объекта o_i при распределении X ;

$T_{total}(X)$ — минимальное время полной эвакуации всех объектов при распределении X .

В данных обозначениях задача оптимизации порядка эвакуации имеет вид:

$$T_{total} = \min_X T_{total}(X). \tag{1}$$

При этом должны быть выполнены следующие ограничения:

- каждый объект должен быть назначен ровно на один ПуСО и иметь одну позицию в очереди:

$$\forall i \sum_{k=1}^{|O|} x_{i,j,k} = 1; \tag{2}$$

– на каждой позиции k каждого ПуСО j может находиться не более одного объекта:

$$\forall j, k \sum_{i=1}^{|O|} x_{i,j,k} \leq 1. \tag{3}$$

Описание генетического алгоритма решения задачи

Все реализации генетических алгоритмов отличаются [17–19]:

- описанием генов, хромосом и особей;
- правилом формирования начальной популяции;
- заданием функции приспособленности особей;
- операцией селекции;
- описанием способа скрещивания особей (кроссовера);
- способом мутации особей;
- правилом остановки алгоритма.

Опишем данные особенного разработанного генетического алгоритма.

Ген — параметр $x_{i,j,k}$.

Хромосома представляет собой $\{x_{i_{\sigma}, j, k}\}$ для фиксированного объекта σ_{ij} .

Особь — вариант распределения X .

Начальная популяция X_1, \dots, X_N формируется случайным образом.

Функция приспособленности $F(X) = T_{total}(X)$, где $T_{total}(X)$ вычисляется следующим образом: для каждого распределения объектов эвакуации σ_i по m_j ПуСО и постановки на k -ю позиции в очереди находится минимальное время эвакуации σ_i объекта d_i (например, используя диаграммы Ганта [19]). Далее вычисляется

$$T_{total}(X) = \max_{i \in O} d_i(X).$$

Скрещивание происходит между всеми парами популяции по следующему закону

$$X_a \otimes X_b = (x_{i,j,k}^a \otimes x_{i,j,k}^b),$$

$$\text{где } x_{i,j,k}^a \otimes x_{i,j,k}^b = \begin{cases} x_{i,j,k}^a, & \text{если } x_{i,j,k}^a = x_{i,j,k}^b; \\ x_{i,j,k}^a \vee x_{i,j,k}^b, & \text{если } x_{i,j,k}^a \neq x_{i,j,k}^b \end{cases}$$

(операция \vee — равновероятный выбор $x_{i,j,k}^a$ или $x_{i,j,k}^b$).

Обозначим полученную популяцию $Y = \{X_1, \dots, X_N, X_1 \otimes X_2, \dots, X_{N-1} \otimes X_N\}$, $|Y| = N + C_N^2$, где C_N^1 — число сочетаний без повторений.

Мутация представляет собой случайное изменение генов в хромосоме.

Отбор N особей, имеющих минимальное значение $T_{total}(X)$, а также удовлетворяющих условиям (2)–(3).

Остановка алгоритма осуществляется, если лучшее решение в популяции остается

неизменным в течение заданного числа поколений.

Численный пример

При аварии на радиационно-опасном объекте необходимо разработать порядок экстренной эвакуации из предполагаемой зоны ЧС. В зоне ЧС находятся 20 объектов эвакуации. Для организации их специальной обработки может быть развернуто три ПуСО. Время движения объекта до ПуСО и время проведения специальной объекта на ПуСО приведены в таблице.

Таблица
Исходные данные задачи
Table
Problem data

Объекты o_i	ПуСО		
	1	2	3
	t_{ij}/τ_{ij}		
1	4,37/4,33	9,56/3,63	7,59/6,97
2	6,39/4,14	2,40/3,69	2,40/5,26
3	1,52/2,85	8,80/6,81	6,41/2,45
4	7,37/7,92	1,19/6,63	9,73/3,19
5	8,49/2,03	2,91/6,89	2,64/6,24
6	2,65/6,37	3,74/6,63	5,72/2,44
7	4,89/4,15	3,62/2,70	6,51/7,18
8	2,26/5,74	3,63/3,99	4,30/2,38
9	5,10/3,87	8,07/3,95	2,80/6,38
10	5,63/5,83	6,33/7,32	1,42/4,83
11	6,47/2,72	2,53/6,28	1,59/6,56
12	9,54/5,37	9,969/6,63	8,28/4,96
13	3,74/5,14	1,88/4,57	7,16/2,15
14	4,96/2,65	2,10/2,19	5,46/5,82
15	1,31/3,89	9,18/5,05	3,33/7,45
16	6,96/3,50	3,81/4,46	5,68/6,53
17	5,92/3,37	2,66/2,46	9,73/3,74
18	7,98/2,97	9,46/7,58	9,05/6,85
19	6,38/5,80	9,30/7,23	1,80/6,82
20	2,76/3,12	1,41/7,36	3,93/5,24

Результаты решения оптимизационной задачи (1)–(3) приведены на рис. 1–4.

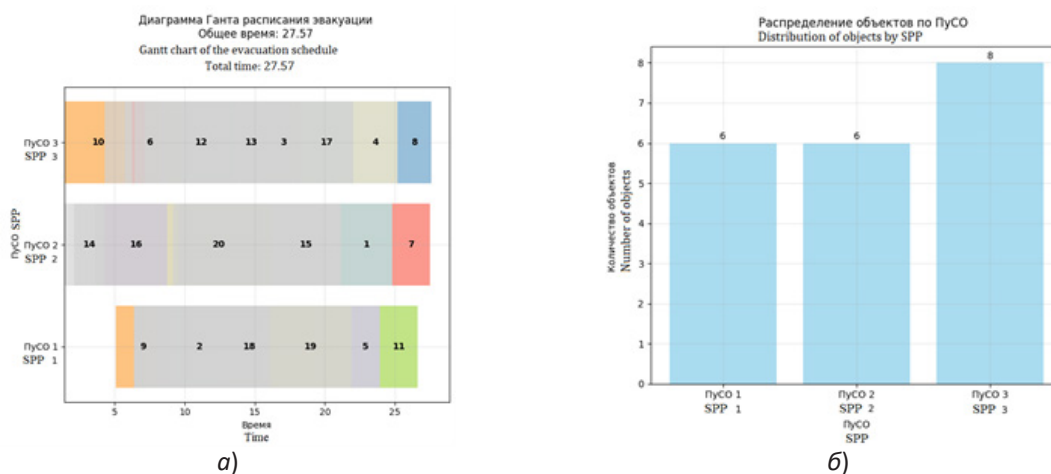


Рис. 1. Результаты решения оптимизационной задачи:

а — диаграмма Ганта расписания эвакуации; б — распределение объектов по ПуСО

Fig. 1. Results of solving the optimization problem:

a — Gantt chart of the evacuation schedule; b — distribution of objects by special processing points (SPP)

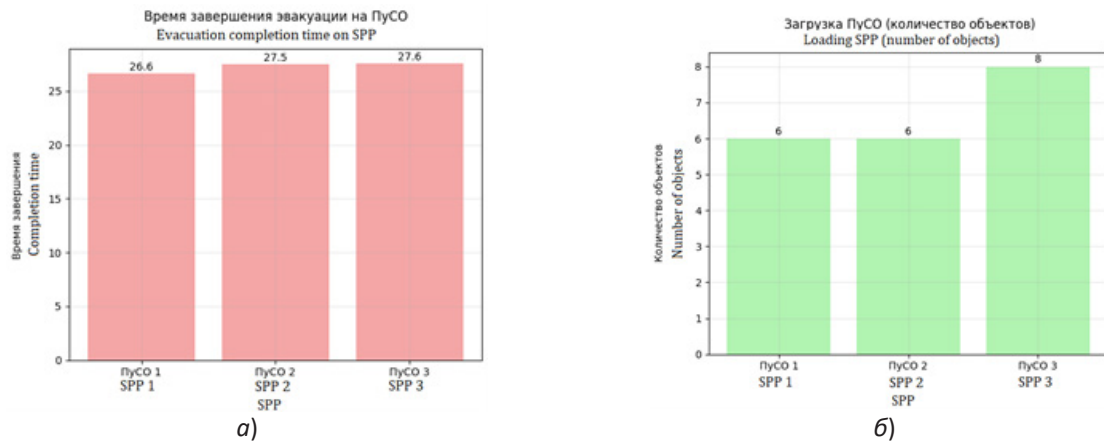


Рис. 2. Результаты решения оптимизационной задачи:
а — время завершения эвакуации; б — загрузка ПуСО

Fig. 2. Results of solving the optimization problem:
a — evacuation completion time; b — utilization of special processing points

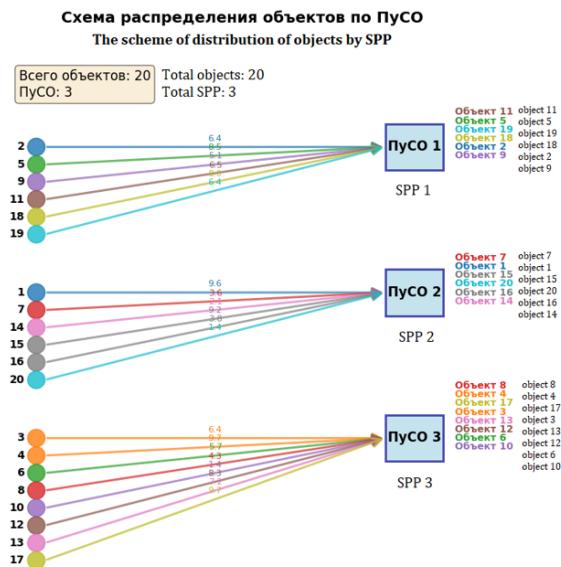


Рис. 3. Распределение объектов по ПуСО

Fig. 3. Distribution of objects by SPP

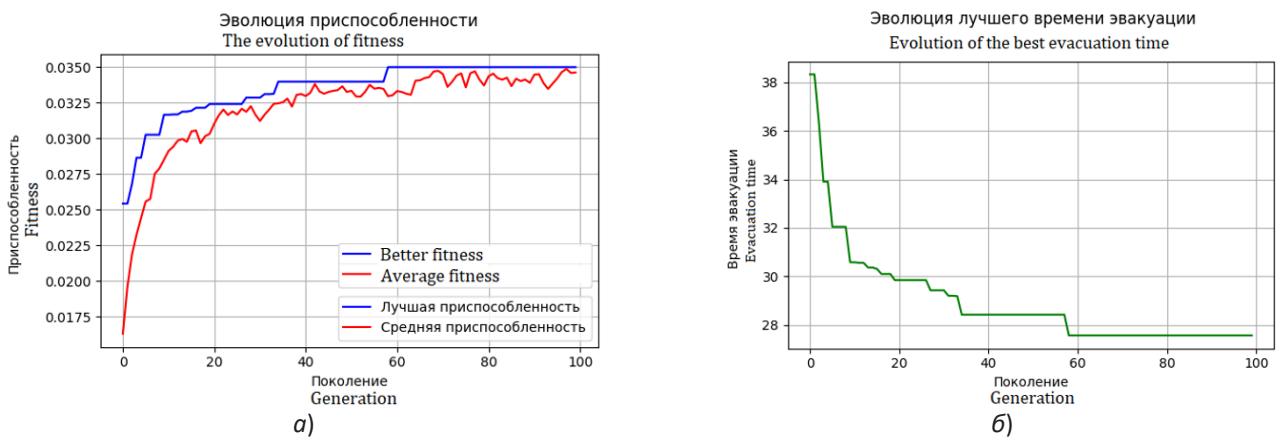


Рис. 4. Сходимость генетического алгоритма:
а — эволюция приспособленности; б — лучшее время эвакуации

Fig. 4. Convergence of the genetic algorithm:
a — evolution of adaptability; b — the best evacuation time

Анализ решения

Проведенный численный эксперимент для задачи с 20 объектами и 3 ПуСО показал высокую эффективность разработанного генетического алгоритма. Время эвакуации начального решения составило 38,32 у. е., а лучшее решение 27,57 у. е. (улучшение на 28 %).

Визуальный анализ диаграммы Ганта (рис. 1) позволяет сделать вывод о сбалансированном распределении объектов по ПуСО. Алгоритм распределил объекты не на случайные пункты, а сформировал очереди, которые минимизируют простои и общее время эвакуации.

График загрузки ПуСО (рис. 2) подтверждает этот вывод. Несмотря на разное количество объектов, назначенных на каждый пункт (рис. 3), общее время работы всех трех ПуСО оказалось сопоставимым.

На рис. 4 представлена динамика изменения функции приспособленности популяции и лучшего найденного значения в процессе эволюции. График демонстрирует характерное для генетического алгоритма поведение: быстрое улучшение решения на начальных этапах (примерно до 50-го поколения) с последующей стабилизацией и выходом на плато.

Таким образом, анализ результатов подтверждает, что предложенная модель и генетический алгоритм успешно справляются с поставленной оптимизационной задачей определения порядка эвакуации объектов за минимальное время с учетом всех установленных ограничений.

Выводы

В работе была разработана математическая модель и численный метод для решения задачи определения порядка эвакуации объектов из зоны ЧС. Модель формализует ключевые параметры процесса: время движения до ПуСО, время ожидания в очереди и время специальной обработки, с целевой функцией в виде минимизации общего времени эвакуации.

Для решения сформулированной NP-трудной оптимизационной задачи был предложен генетический алгоритм со специализированными операторами кроссовера и мутации, обеспечивающими генерацию допустимых решений.

Проведенный численный эксперимент с реалистичными данными показал, что разработанный алгоритм обладает высокой эффективностью и быстрой сходимостью.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Григорьян А. А., Рыбаков А. В. О результатах анализа проблемной ситуации в области защиты населения в чрезвычайных ситуациях на железнодорожном транспорте // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 146–153.

2. Зотов Е. И. Проблемы и возможные направления их решения в области защиты населения при чрезвычайных ситуациях, вызванных авариями на объектах электроэнергетики // Техносферная безопасность. 2024. № 4 (45). С. 106–114. EDN ИЕВУК.

3. Ямалов И. У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций. М., 2007. 288 с.
4. Асламова В. С., Темникова Е. А., Гозбенко В. Е. Автоматизация расчета кратчайшего пути эвакуации населения на транспортной сети с циклом // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. № 4 (56). С. 138–144. DOI: 10.26731/1813-9108.2017.4(56).138-144
5. Воропаев Н. П., Савчук О. Н., Коротеев Д. Р. Модель определения рациональных маршрутов эвакуации населения, материальных и культурных ценностей при возникновении чрезвычайных ситуаций // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России. 2020. № 1. С. 51–59.
6. Горлов В. В., Меньших В. В., Никитенко В. А. Модель и алгоритм оптимизации решений по эвакуации при чрезвычайных ситуациях // Техносферная безопасность. 2025. № 2 (47). С. 136–145.
7. Горлов В. В. Описательная модель оптимизации системы оповещения о чрезвычайных ситуациях в Российской Федерации на основе методов математического моделирования // Моделирование систем критического применения. 2025. № 1. С. 47–55.
8. Добрякова Е. И. Обоснование целесообразности применения навигационных систем при вынужденной эвакуации // Научный вестник НИИ «Респиратор». 2025. № 2 (62). С. 84–93.
9. Меньших В. В., Подольских А. В. Модель и алгоритм оптимизации процесса организации подготовки групп специалистов к действиям в кризисных ситуациях // Моделирование систем критического применения. 2025. № 1. С. 22–32.
10. Меньших В. В., Суворин Е. В., Никитенко В. А. Структурно-параметрическая модель мониторинга контролируемых объектов // Вестник Воронежского института МВД России. 2023. № 3. С. 88–95.
11. Петергерин К. С., Шейко Е. А. Алгоритм расчета путей эвакуации населения при ЧС // Пожарная и техносферная безопасность: проблемы и пути совершенствования. 2021. № 2 (9). С. 273–279.
12. Танаев В. С., Сотсков Ю. Н., Струсевич В. А. Теория расписаний. Многостадийные системы. М., 1989. 327 с.
13. Карпенко А. П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой : учебное пособие. М., 2017. 446 с.
14. Меньших В. В., Никулина Е. Ю. Оптимизация временных характеристик информационных систем : монография. Воронеж, 2011. 127 с.
15. Оценка практической эффективности обслуживания потока заявок в стандартных и экстренных ситуациях при помощи генетического алгоритма / Г. Н. Лебедев [и др.] // Научный вестник ГосНИИ ГА. 2021. № 36. С. 48–59.
16. Оптимизация распределения ограниченных водных ресурсов методами эволюционно-генетического программирования / Л. В. Кирейчева [и др.] // Международный сельскохозяйственный журнал. 2024. № 2 (398). С. 233–238.
17. Меньших В. В., Лихобабина А. В. Моделирование процессов оптимизации выбора программ подготовки и переподготовки специалистов с использованием генетического алгоритма // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2024. № 1 (23). С. 42–48.

18. Гладков Л. А., Курейчик В. В., Курейчик В. М. Генетические алгоритмы. М., 2010. 368 с.
19. Menshikh V. V., Podolskikh A. V. A Model and a Numerical Method for Optimizing the Choice of a Training Trajectory for Heterogeneous Groups of Specialists // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. 2024. Vol. 17, No. 4. P. 32–41.
20. Никитенко А. Н. Компьютерное моделирование «мягкого» управления в мультиагентных системах // Моделирование систем критического применения. 2025. № 2. С. 27–34.
21. Управление проектами : учебное пособие / И. И. Мазур [и др.]. М., 2010. 960 с.

REFERENCES

1. Grigoryan A. A., Rybakov A. V. On the results of analyzing the problem situation in the field of public protection in emergencies at railway transport // Technosphere Safety. 2025. No. 2 (47). P. 146–153.
2. Zotov E. I. Problems and possible solutions in the field of public protection during emergencies caused by accidents at electric power facilities // Technosphere Safety. 2024. No. 4 (45). P. 106–114. EDN IIEBUK.
3. Yamalov I. U. Modeling of management and decision-making processes in emergency situations. Moscow, 2007. 288 p.
4. Aslamova V. S., Temnikova E. A., Gozbenko V. E. Automation of calculating the shortest evacuation route for the population on a transport network with a cycle // Modern Technologies. System Analysis. Modeling. 2017. No. 4 (56). P. 138–144. DOI: 10.26731/1813-9108.2017.4(56).138-144
5. Voropaev N. P., Savchuk O. N., Koroteev D. R. A model for determining rational evacuation routes for the population, material and cultural assets in emergency situations // Bulletin of the Saint Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia. 2020. No. 1. P. 51–59.
6. Gorlov V. V., Menshikh V. V., Nikitenko V. A. A model and algorithm for optimizing evacuation decisions during emergency situations // Technosphere Safety. 2025. No. 2 (47). P. 136–145.
7. Gorlov V. V. A descriptive model for optimizing the emergency warning system in the Russian Federation based on mathematical modeling methods // Modeling of Critical Application Systems. 2025. No. 1. P. 47–55.
8. Dobryakova E. I. Justification of the feasibility of using navigation systems during forced evacuation // Scientific Bulletin of the Research Institute "Respirator". 2025. No. 2 (62). P. 84–93.
9. Menshikh V. V., Podolskikh A. V. A model and algorithm for optimizing the process of organizing the training of specialist groups for actions in crisis situations // Modeling of Critical Application Systems. 2025. No. 1. P. 22–32.
10. Menshikh V. V., Suvorin E. V., Nikitenko V. A. A structural-parametric model for monitoring controlled objects // Bulletin of the Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2023. No. 3. P. 88–95.
11. Petergerin K. S., Sheiko E. A. Algorithm for calculating population evacuation routes during emergencies // Fire and Technosphere Safety: Problems and Ways of Improvement. 2021. No. 2 (9). P. 273–279.

12. Tanaev V. S., Sotskov Yu. N., Strusevich V. A. Scheduling Theory. Multi-stage Systems. Moscow, 1989. 327 p.
13. Karpenko A. P. Modern Search Optimization Algorithms. Nature-Inspired Algorithms : A Textbook. Moscow, 2017. 446 p.
14. Menshikh V. V., Nikulina E. Yu. Optimization of Time Characteristics of Information Systems : A Monograph. Voronezh, 2011. 127 p.
15. Assessment of the practical efficiency of servicing a flow of requests in standard and emergency situations using a genetic algorithm / G. N. Lebedev et al. // Scientific Bulletin of the State Research Institute of Civil Aviation. 2021. No. 36. P. 48–59.
16. Optimization of the distribution of limited water resources using evolutionary genetic programming / L. V. Kireicheva et al. // International Agricultural Journal. 2024. No. 2 (398). P. 233–238.
17. Menshikh V. V., Likhobabina A. V. Modeling of optimization processes for selecting training and retraining programs for specialists using a genetic algorithm // Automation and Modeling in Design and Management. 2024. No. 1 (23). P. 42–48.
18. Gladkov L. A., Kureichik V. V., Kureichik V. M. Genetic Algorithms. Moscow, 2010. 368 p.
19. Menshikh V. V., Podolskikh A. V. A Model and a Numerical Method for Optimizing the Choice of a Training Trajectory for Heterogeneous Groups of Specialists // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematical Modelling, Programming and Computer Software. 2024. Vol. 17, No. 4. P. 32–41.
20. Nikitenko A. N. Computer modeling of "soft" control in multi-agent systems // Modeling of Critical Application Systems. 2025. No. 2. P. 27–34.
21. Project Management : A Textbook / I. I. Mazur et al. Moscow, 2010. 960 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Горлов Виталий Викторович, канд. техн. наук, заместитель начальника кафедры тактико-специальной подготовки Воронежского института МВД России (394065, Российская Федерация, г. Воронеж, просп. Патриотов, д. 53); РИНЦ ID: 554810; ORCID: 0009-0002-7926-1651; e-mail: gorlovvv@mail.ru

Меньших Валерий Владимирович, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор кафедры математики и моделирования систем Воронежского института МВД России (394065, Российская Федерация, г. Воронеж, просп. Патриотов, д. 53); РИНЦ ID: 382426; Scopus AuthorID: 6603470623; ResearcherID: AAZ-6806-2021; ORCID: 0000-0001-9235-4997; e-mail: menshikh@list.ru

Никитенко Виталий Алексеевич, канд. техн. наук, преподаватель кафедры математики и моделирования систем Воронежского института МВД России (394065, Российская Федерация, г. Воронеж, просп. Патриотов, д. 53); РИНЦ ID: 1129459; ORCID: 0009-0006-1948-3817; e-mail: vitalijnikitenko82043@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Vitaly V. Gorlov, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of the Department of Tactical and Special Training, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia (53 Patriotov Avenue,

Voronezh, 394065, Russian Federation); ID RSCI: 554810; ORCID: 0009-0002-7926-1651; e-mail: gorlovvv@mail.ru

Valery V. Menshikh, Dr. Sci. (Phys.& Math.), Professor, Professor of the Department of Mathematics and Systems Modeling, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia (53 Patriotov Avenue, Voronezh, 394065, Russian Federation); ID RSCI: 382426; Scopus AuthorID: 6603470623; ResearcherID: AAZ-6806-2021; ORCID: 0000-0001-9235-4997; e-mail: menshikh@list.ru

Vitaly A. Nikitenko, Cand. Sci. (Eng.), Assistant at the Department of Mathematics and Systems Modeling, Voronezh Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia (53 Patriotov Avenue, Voronezh, 394065, Russian Federation); ID RSCI: 1129459; ORCID: 0009-0006-1948-3817; e-mail: vitalijnikitenko82043@gmail.com