

Научная статья
УДК 536.244
doi:10.34987/vestnik.sibpsa.2024.94.43.004

Обоснование последовательности этапов проведения исследования по выбору конструктивных параметров мобильного средства защиты

*Алексей Вениаминович Гутовский*¹
*Юрий Николаевич Тарабаев*¹
*Владимир Константинович Кравчук*¹
*Сергей Александрович Турсенев*²

¹Академия гражданской защиты МЧС России, Химки, Россия.

²Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Автор ответственный за переписку: Алексей Вениаминович Гутовский,
gutovskiy.alexey@mail.ru

Аннотация. Для обеспечения безопасности личного состава пожарных подразделений привлекаемых к ликвидации крупных лесных пожаров ведется работа по созданию мобильного средства защиты людей от теплового воздействия пожара. В процессе разработки данного средства защиты возникла необходимость научного обоснования последовательности этапов проведения исследований по выбору его конструктивных параметров, что было реализовано за счет применения метода анализа иерархий. Полученная последовательность этапов позволяет снизить финансовые затраты на приобретение и изготовление экспериментальных образцов и оборудования, а также сократить время, затрачиваемое на подготовку и выполнение исследований.

Ключевые слова: экспериментальное исследование, экспертная группа, метод, средство защиты, лесной пожар, иерархия

Для цитирования: Гутовский А.В., Тарабаев Ю.Н., Кравчук В.К., Турсенев С.А. Обоснование последовательности этапов проведения исследования по выбору конструктивных параметров мобильного средства защиты // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 2 (33). С. 202-210. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.94.43.004>.

Original article

Ustification of the sequence of stages of the study on the choice of design parameters of the mobile means of protection

*Alexey V. Gutovsk*¹
*Yuri N. Tarabaev*¹
*Vladimir K. Kravchuk*¹
*Sergey A. Tursenev*²

¹Civil Defence Academy EMERCOM of Russia, Khimki, Russia.

²St. Petersburg State Fire Service EMERCOM of Russia, St. Petersburg, Russia

Corresponding author: Alexey V. Gutovsky, gutovskiy.alexey@mail.ru

Abstract. To ensure the safety of personnel of fire departments involved in the elimination of large forest fires, work is underway to create a mobile means of protecting people from the thermal effects of fire. In the process of developing this means of protection, there was a need for scientific justification of the sequence of stages of research on the choice of its design parameters, which was realized through the use of the hierarchy analysis method. The resulting sequence of steps allows you to reduce the financial costs of purchasing and manufacturing experimental samples and equipment, as well as reduce the time spent on preparing and performing research.

Keywords: experimental research, expert group, method, means of protection, forest fire, hierarchy

For citation: Gutovsky A.V., Tarabaev Yu.N., Kravchuk V.K., Tursenev S.A. Justification of the sequence of stages of the study on the choice of design parameters of the mobile means of protection // Siberian Fire and Rescue Bulletin 2024. № 2 (33). С. 202-210. (In Russ.) <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.94.43.004>

Введение

Процессы, происходящие в климате нашей планеты, по нарастающей тенденции приводят к все более масштабным и непредсказуемым последствиям воздействия природной стихии на безопасность населения нашего государства.

Наряду с другими природными чрезвычайными ситуациями особое место занимают лесные пожары, для борьбы с которыми привлекают большое количество личного состава различных министерств и ведомств, в том числе и спасателей МЧС России.

Тушение лесных пожаров неразрывно связано с риском для жизни и здоровья личного состава подразделений выполняющих работы в непосредственной близости от горящей кромки [1]. Особую опасность представляют крупные лесные пожары, элементом которых являются верховые пожары, способные приводить к окружению огнем участников тушения с последующей их гибелью [2]. Как в Российской Федерации, так и за рубежом вследствие внезапного изменения направления и усиления ветра или неоднородности лесных горючих материалов пожарные оказываются в «огненном кармане» верхового лесного пожара оснащенные только штатными средствами защиты от тепловых воздействий, такими как боевая одежда пожарного (далее – БОП). Как показала практика, в подобных условиях БОП не в полной мере способна защитить экипированного человека, так как данное средство защиты при контакте открытого пламени с его поверхностью способно выполнять свои функции без разрушения материала лишь в течение 15 секунд [3], что не достаточно при попадании в окружение огнем лесного пожара. Согласно источнику [4] для обеспечения безопасности укрываемого личного состава в условиях верхового лесного пожара время защитного действия должно быть не менее 15 минут.

В настоящее время существуют мобильные средства защиты людей от повышенных тепловых нагрузок «Fire Shelter», применяемые подразделениями Лесной службой Соединенных Штатов Америки (далее – США), однако, как показала практика, данные спасательные устройства способны обеспечивать безопасность пожарным лишь в некоторых экстренных ситуациях, когда температура верхового лесного пожара не достигает максимальных значений [9]. Трагический случай, произошедший в 2013 году в штате Аризона США, когда погибло 19 пожарных, применивших в окружении пламенем лесного пожара средства защиты «Fire Shelter», позволил установить, что данное спасательное устройство не обладает необходимыми конструктивными параметрами, обеспечивающими достаточную безопасность участникам тушения пожар [10]. Внешний вид указанного средства защиты представлен на Рис.1[11].



Рис.1. Средство защиты людей от повышенных тепловых нагрузок «Fire Shelter» в условиях природных пожаров [11]

С целью предотвращения подобных трагических случаев, связанных с негативным воздействием высокой температуры на организм людей, оказавшихся в «огненной ловушке» лесного пожара, ведутся работы по созданию мобильного средства защиты (далее – МСЗ) [5], применение которого в экстренной ситуации позволит обеспечить достаточную безопасность укрываемому персоналу.

Разработка МСЗ предусматривает выбор из множества возможных вариантов тех конструктивных параметров, которыми должны обладать теплоизоляционные и теплоотражательные ткани, а также определение геометрических параметров этих материалов, внешней и внутренней формы средства защиты и др. В связи с чем, принято решение о выборе рациональных конструктивных параметров МСЗ на основе результатов экспериментальных исследований.

Современные термостойкие (теплоизоляционные и теплоотражательные) материалы, которые применяют для работы в условиях воздействия на них высоких температур, как правило, имеют высокую стоимость по причине сложного технологического процесса их производства.

Как показывает практика проведение экспериментов зачастую связано с большими финансовыми затратами, а также требует значительного времени для подготовки и выполнения операций. Научно обоснованная последовательность выполнения этапов исследования позволит оптимизировать вышеуказанные показатели, т.е. обеспечить достижение результатов исследования за меньшее время при минимальных финансовых издержках. Для решения этой задачи целесообразно использовать математический инструмент системного подхода на основе метода анализа иерархий.

Метод исследования

Так как решаемая задача является сложной и слабоструктурированной с наличием критериев с различной размерностью, то было принято решение о применении метода анализа иерархии (далее – МАИ), который позволяет определить рациональную последовательность выполнения этапов обоснования на основе процедуры их структурирования и упорядочивания в виде иерархии [6]. Данный метод позволяет не только сделать количественный вывод относительно эффективности, но и оценить достоверность этих выводов [7]. Сущность метода заключается в декомпозиции проблемы на более простые составные части и дальнейшей обработке последовательности суждений эксперта по парным сравнениям. Кроме того метод позволяет выразить относительную степень (интенсивность) взаимодействия элементов в иерархии, что необходимо при решении данной задачи.

Результаты исследования и их обсуждение

Для сформулированной задачи уровни иерархии были выстроены следующим образом:

- вершина иерархии определяет цель, которая заключается в разработке последовательности этапов проведения исследования по выбору рациональных конструктивных параметров МСЗ;
- на втором уровне иерархии размещаются частные критерии (время выполнения, время подготовки и стоимость этапа обоснования);
- на третьем уровне иерархии размещаются этапы обоснования конструктивных параметров МСЗ (выбор теплоотражательных материалов, выбор внешней формы средства защиты, выбор теплоизоляционных материалов, выбор внутренней формы средства защиты, разработка конструкции средства защиты, создание и выбор пакета материалов, определение параметров микроклимата, определение массо-габаритных параметров средства защиты).

В общем виде иерархия «цель – частные критерии – этапы обоснования конструктивных параметров», структурирующая алгоритм этапов обоснования конструктивных параметров МСЗ представлена на Рис.2.

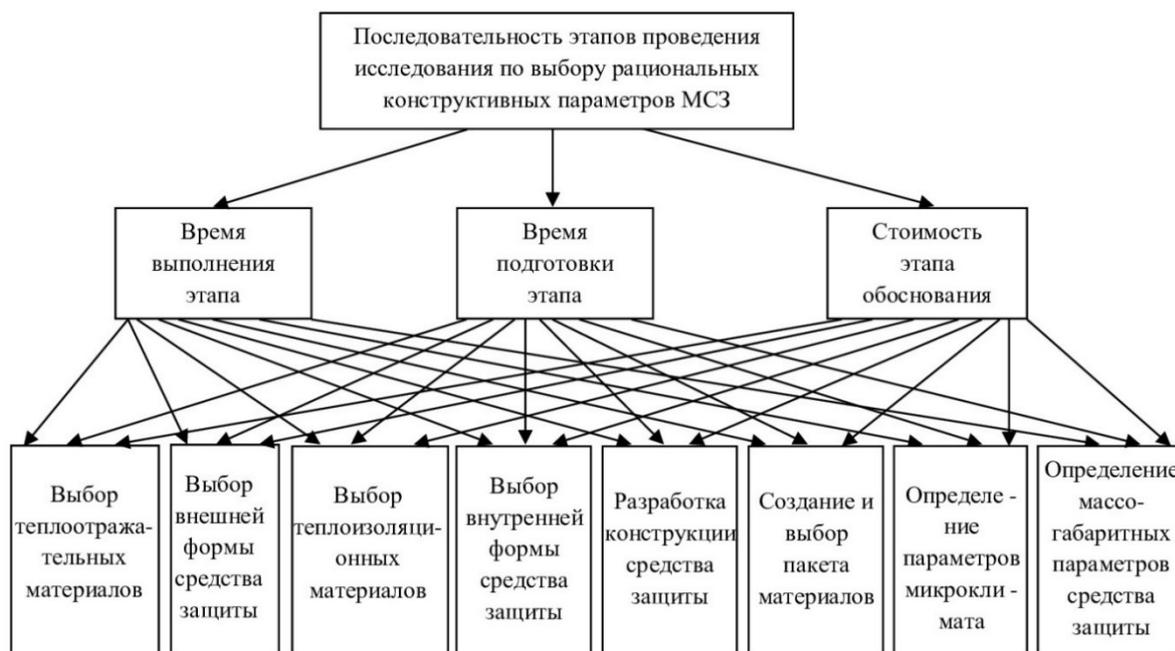


Рис.2. Общий вид иерархии «цель – частные критерии – этапы обоснования»

В состав экспертной группы были включены специалисты в области разработки и применения средств защиты людей от повышенных тепловых нагрузок, имеющие большой опыт в указанной сфере деятельности. В опросе принимали участие десять экспертов.

На основе заполненных экспертами матриц попарных сравнений соответствующей размерности, выполнены расчеты в программной системе поддержки принятия решений «MPRIORITY», базирующейся на известном и зарекомендовавшем себя на практике МАИ [8]. Результаты расчетов попарных сравнений относительно цели, времени выполнения, времени подготовки и относительно их стоимости представлены в Табл.1–4 соответственно.

Табл.6 Попарные сравнения частных критериев относительно цели

№ п/п	Частные критерии	Время выполнения	Время подготовки	Стоимость этапа обоснования	Приоритет
1	Время выполнения	1	3,1	0,3	0,25
2	Время подготовки	0,3	1	0,2	0,10
3	Стоимость этапа обоснования	3,1	5,2	1	0,64

В результате проведенных расчетов определено отношение согласованности, которое составило 0,04, что не превышает 0,2, следовательно, полученные значения нормализованных оценок вектора локальных приоритетов считаются достаточно хорошо согласованными.

Табл.7 Попарные сравнения этапов обоснования относительно времени выполнения

№ п/п	Этапы обоснования	1	2	3	4	5	6	7	8	Приоритет
1	Выбор теплоотражательных материалов	1	0,4	1,2	0,4	3,2	2,3	5,1	4,2	0,14
2	Выбор внешней формы средства защиты	2,3	1	3,2	2,3	5,1	4,2	7,3	6,3	0,30
3	Выбор теплоизоляционных материалов	0,8	0,3	1	0,3	3,2	2,3	5,1	4,2	0,12
4	Выбор внутренней формы средства защиты	2,3	0,4	3,2	1	5,1	4,2	7,3	6,3	0,24
5	Разработка конструкции средства защиты	0,3	0,2	0,3	0,2	1	0,4	3,2	2,3	0,05
6	Создание и выбор пакета материалов	0,4	0,2	0,4	0,2	2,3	1	4,2	3,2	0,08
7	Определение параметров микроклимата	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	1	0,4	0,02
8	Определение массо-габаритных параметров средства защиты	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4	0,3	2,3	1	0,03

Расчеты показали, что отношение согласованности составляет 0,04, что менее 0,2, исходя из этого, можно сделать вывод о том, что полученные значения нормализованных оценок вектора локальных приоритетов считаются достаточно хорошо согласованными.

Табл. 8 Попарные сравнения этапов обоснования относительно времени подготовки

№ п/п	Этапы обоснования	1	2	3	4	5	6	7	8	Приоритет
1	Выбор теплоотражательных материалов	1	0,2	3,3	0,2	5,2	4,3	7,1	6,1	0,14
2	Выбор внешней формы средства защиты	4,3	1	5,2	3,3	7,1	6,1	8,9	8,2	0,35
3	Выбор теплоизоляционных материалов	0,3	0,2	1	0,2	5,2	4,3	7,1	6,1	0,10
4	Выбор внутренней формы средства защиты	4,3	0,3	5,2	1	7,1	6,1	8,9	8,2	0,26
5	Разработка конструкции средства защиты	0,2	0,1	0,2	0,1	1	0,2	5,2	4,3	0,04
6	Создание и выбор пакета материалов	0,2	0,1	0,2	0,1	4,3	1	6,1	5,2	0,06
7	Определение параметров микроклимата	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	1	0,2	0,01
8	Определение массо-габаритных параметров средства защиты	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	4,3	1	0,02

Установлено, что отношение согласованности составляет 0,14, что не превышает 0,2, следовательно, полученные значения нормализованных оценок вектора локальных приоритетов считаются достаточно хорошо согласованными.

Табл.9 Попарные сравнения этапов обоснования относительно их стоимости

№ п/п	Этапы обоснования	1	2	3	4	5	6	7	8	Приоритет
1	Выбор теплоотражательных материалов	1	0,3	2,3	0,3	4,1	3,4	6,2	5,3	0,14
2	Выбор внешней формы средства защиты	3,4	1	4,1	2,3	6,2	5,3	8,3	7,2	0,32
3	Выбор теплоизоляционных материалов	0,4	0,2	1	0,2	4,1	3,4	6,2	5,3	0,11
4	Выбор внутренней формы средства защиты	3,4	0,4	4,1	1	6,2	5,3	8,3	7,2	0,26
5	Разработка конструкции средства защиты	0,2	0,2	0,2	0,2	1	0,3	4,1	3,4	0,04
6	Создание и выбор пакета материалов	0,3	0,2	0,3	0,2	3,4	1	5,3	4,1	0,07
7	Определение параметров микроклимата	0,2	0,1	0,2	0,1	0,2	0,2	1	0,3	0,02
8	Определение массо-габаритных параметров средства защиты	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	0,2	3,4	1	0,03

Отношение согласованности составило 0,08, что менее 0,2, следовательно, полученные значения нормализованных оценок вектора локальных приоритетов считаются достаточно хорошо согласованными.

На Рис.3 для удобства визуализации полученных значений представлен итоговый результат расчетов и его графический вид.

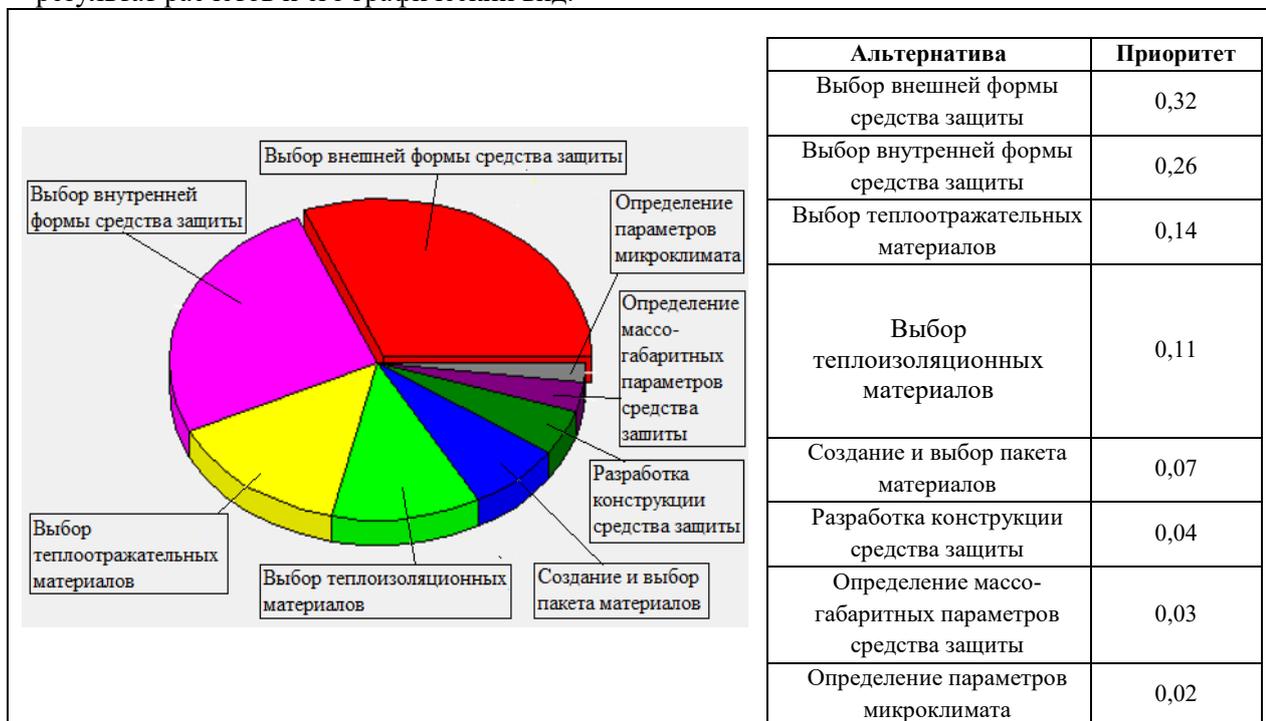


Рис.3. Итоговый результат расчетов

Заключение

На основе результатов экспертного опроса с применением метода анализа иерархий установлена следующая последовательность проведения этапов обоснования конструктивных параметров МСЗ согласно вектора-столбца глобальных приоритетов.

Выстроенная иерархия позволила определить следующий порядок:

- первым этапом целесообразно выполнять «Выбор внешней формы средства защиты» так как среди всех рассматриваемых альтернатив данный этап имеет наибольшее значение приоритета;
- после выполнения первого этапа необходимо осуществить «Выбор внутренней формы средства защиты», т.е. того пространства, в котором планируется размещение укрываемых людей от пожара;
- третьим этапом должен выполняться «Выбор теплоотражательных материалов», обеспечивающих отведение значительной части лучистой энергии в окружающую среду, а также обладающих устойчивостью к воздействию высокой температуры в условиях непосредственного контакта с открытым пламенем;
- далее – «Выбор теплоизоляционных материалов», обладающих низкой теплопроводностью и устойчивостью к воздействию высокой температуры;
- после чего, из выбранных теплоотражательных и теплоизоляционных материалов реализуется этап «Создание и выбор пакета материалов»;
- затем на основе полученных результатов исследований выполняется этап «Разработка конструкции средства защиты»;
- следующим этапом необходимо выполнить «Определение массогабаритных параметров средства защиты», которые должны учитывать ограничения по массе и объему МСЗ в транспортном и развернутом положении;
- в связи с тем, что среди всех рассматриваемых альтернатив этап «Определение параметров микроклимата» имеет наименьшее значение приоритета, то он должен быть завершающим.

Полученная последовательность выполнения этапов позволяет выбрать конструктивные параметры мобильного средства защиты при минимальных финансовых затратах за меньшее время.

Разработанную последовательность проведения этапов обоснования конструктивных параметров средств защиты можно в дальнейшем применять при проектировании аналогичных спасательных устройств, целью создания которых является обеспечение безопасности людей в условиях воздействия экстремальных температур.

Список источников

1. Главацкий Г.Д. Теоретические и практические основы совершенствования организации лесопожарных работ в многолесных районах Сибири: Дисс. докт. с.-х. наук, инв. № 21д/48. Красноярск: ВНИИПОМЛЕСХОЗ. 2002. 499 с.
2. Валендик Э.Н., Матвеев П.М., Софронов М.А. Крупные лесные пожары. М.: Наука. – Москва. 1979. 198с.
3. ГОСТ Р 53264-2009. Техника пожарная. Специальная защитная одежда пожарного. Общие технические требования. Методы испытания // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200072079/> (дата обращения: 26.12.2023).
4. Справочно-информационная система «Ландшафтные пожары». Средства борьбы. 3. Коллективные средства спасения. URL: http://sibpsa.ru/sis_pp/sr_br/sredstva/view.php?code=2. (дата обращения: 26.12.2023).
5. Гутовский А.В., Гомонай М.В. Мобильное средство защиты людей от лесного пожара // Патент России № 2683736. 2019. Бюл. № 10.

6. Саати Т.Л. Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. М: Радио и связь. 1993. 278 с.
7. Зайцева И.А., Острякова Ю.Е. Возможности использования и перспективы развития метода анализа иерархий в научных исследованиях // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. Том 1–2 (40). 2020. С 77–80.
8. Абакаров А.Ш., Сушков Ю.А. Программная система поддержки принятия рациональных решений «MPRIORITY 1.0» // Электронный научный журнал «Исследовано в России». 2008. 2600 с.
9. Лесли Андерсон. Противопожарное укрытие нового поколения // Национальная координационная группа по лесным пожарам: NWCG PMS 411. Бойсе, идентификационный номер: Национальная координационная группа по лесным пожарам, рабочая группа по пожарному оборудованию, Национальный межведомственный противопожарный центр. Март. 2003. 30 с.
10. Бен Голдхирш. Каждый год в результате лесных пожаров гибнут пожарные. Ученые хотят это изменить // Достойный доверия. Март 2017. URL-адрес. <http://www.upworthy.com> / пожарные-каждый-год-гибнут-от-лесных-пожаров-эти-ученые-хотят-изменить-это / (дата обращения: 10.01.2024).
11. Эдвард Ф., О'Брайен. После Последнего Исследования По Реконструкции Пожарных Укрытий В Дикой Местности Изменений Не Произошло // Новости Лесных пожаров В Монтане. 21 Мая 2019 Г. URL-адрес. <http://www.mtpr.org> / монтана-новости / 2019-05-21 / пожарные укрытия в дикой природе не претерпели изменений после последнего исследования по перепроектированию / (дата обращения: 26.12.2023).

References

1. Glavatsky G.D. Theoretical and practical foundations for improving the organization of forest fire works in multi-forest areas of Siberia: Diss. Doctor of Agricultural Sciences, inv. No. 21d/48. Krasnoyarsk: VNIIPOMLESKHOZ. 2002. 499 p.
2. Valendik E.N., Matveev P.M., Sofronov M.A. Large forest fires. M.: Nauka. 1979. 198 p. 44p.
3. GOST R 53264-2009. Fire fighting equipment. Special protective clothing for firefighters. General technical requirements. Test methods // Electronic fund of legal and regulatory and technical documentation. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200072079> / (date of accessed: 12/26/2023).
4. The reference information system «Landscape fires». Means of struggle. 3. Collective means of salvation. URL: http://sibpsa.ru/sis_pp/sr_br/sredstva/view.php?code=2. (date of accessed: 12/26/2023).
5. Gutovsky A.V., Gomonai M.V. Mobile means of protecting people from forest fire // Patent of Russia No. 2683736. 2019. Byul. No. 10.
6. Saati T.L. Decision-making. The method of hierarchy analysis. Translated from English. M: Radio and communications. 1993. 278 p.
7. Zaitseva I.A., Ostryakova Yu.E. Possibilities of using and prospects for the development of the hierarchy analysis method in scientific research // International Journal of Humanities and Natural Sciences. Volume 1–2 (40). 2020. P. 77–80.
8. Abakarov A.Sh., Sushkov Yu.A. Software system for supporting rational decision-making «MPRIORITY 1.0» // Electronic scientific journal «Researched in Russia». 2008. 2600 p.
9. Leslie Anderson. The New Generation Fire Shelter // National Wildfire Coordinating Group: NWCG PMS 411. Boise, ID: National Wildfire Coordinating Group, Fire Equipment Working Team, National Interagency Fire Center. March. 2003. 30 p.
10. Ben Goldhirsh. Firefighters are killed every year by wildfires. These scientists want to change that // Upworthy. March. 2017. URL. <http://www.upworthy.com/firefighters-are-killed-every-year-by-wildfires-these-scientists-want-to-change-that> / (date of accessed: 10/01/2024).
11. Edward F., O'Brien. No Changes To Wildland Fire Shelters After Latest Redesign Study // Montana Wildfire News. May 21, 2019. URL. <http://www.mtpr.org/montana-news/2019-05-21/no-changes-to-wildland-fire-shelters-after-latest-redesign-study> / (date of accessed: 10/01/2024).

Информация об авторах

А.В. Гутовский - кандидат технических наук
Ю.Н. Тарабаев - кандидат военных наук, доцент
С.А. Турсенев - кандидат технических наук, доцент

Information about the author

A.V. Gutovskiy - candidate of technical sciences
Y.N. Tarabaev - candidate of military sciences, associate professor
S.A. Tursenev - candidate of technical sciences, associate professor

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.05.2024; одобрена после рецензирования 05.06.2024; принята к публикации 17.06.2024.

The article was submitted 24.05.2024, approved after reviewing 05.06.2024, accepted for publication 17.06.2024.