

Научная статья

УДК 519.816:614.841.42; DOI: 10.61260/2218-13X-2023-4-169-184

МЕТОДИКА ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ВЫБОРУ СПОСОБА МОНИТОРИНГА ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

✉ **Матиев Руслан Тимурович.**

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

✉ hamhi@mail.ru

Аннотация. Данное исследование посвящено решению задачи выбора предпочтительного метода мониторинга природных пожаров, возникающих в горной местности. В работе рассмотрены основные факторы, способствующие возникновению и быстрому распространению пожаров в горной местности, что обосновывает необходимость оперативного принятия решений по применению сил и средств пожаротушения. Адекватность принимаемых решений во многом определяется результатами мониторинга пожаров.

Для выбора наиболее предпочтительного способа мониторинга природных пожаров в горной местности в работе проводился анализ четырех альтернативных способов по 11 критериям с использованием метода анализа иерархий.

Результаты проведенного анализа показали, что на основе экспертной оценки использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга природных пожаров в горной местности является наиболее приоритетным. Беспилотные летательные аппараты позволяют получить оперативную и достоверную информацию о развитии пожара в реальном времени, что напрямую влияет на своевременное принятие необходимых мер по его ликвидации.

Ключевые слова: методы мониторинга, беспилотные летательные аппараты, мониторинг, сравнительный анализ, природные пожары, горная местность, управление, моделирование, взаимодействие

Для цитирования: Матиев Р.Т. Методика принятия управленческих решений по выбору способа мониторинга природных пожаров в горной местности // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 4. С. 169–184. DOI: 10.61260/2218-13X-2023-4-169-184.

Scientific article

THE METHODOLOGY FOR MAKING MANAGEMENT DECISIONS ON CHOOSING A METHOD FOR MONITORING WILDFIRES IN MOUNTAINOUS AREAS

✉ **Matiev Ruslan T.**

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ hamhi@mail.ru

Abstract. This study is devoted to solving the problem of choosing the preferred method of monitoring wildfires occurring in mountainous areas. The paper considers the main factors contributing to the occurrence and rapid spread of fires in mountainous areas, which justifies the need for prompt decision-making on the use of firefighting forces and means. The adequacy of the decisions taken is largely determined by the results of fire monitoring.

To select the most preferred method for monitoring wildfires in mountainous areas, the work analyzed four alternative methods according to eleven criteria using the hierarchy analysis method.

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

The results of the analysis showed that, based on expert assessment, the use of unmanned aerial vehicles for monitoring wildfires in mountainous areas is the highest priority. Unmanned aerial vehicles allow you to obtain prompt and reliable information about the development of a fire in real time, which directly affects the timely adoption of necessary measures to eliminate it.

Keywords: monitoring methods, unmanned aerial vehicles, monitoring, comparative analysis, wildfires, mountainous terrain, management, modeling, interaction.

For citation: Matiev R.T. The methodology for making management decisions on choosing a method for monitoring wildfires in mountainous areas // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 4. P. 169–184. DOI: 10.61260/2218-13X-2023-4-169-184.

Введение

Природные пожары, возникающие в горной местности, являются одними из наиболее опасных явлений, наносящих значительный ущерб окружающей среде и экономике [1]. Практика тушения показывает, что подобные пожары отличаются по своей общей специфике, скорости распространения, сложности их ликвидации и т.п. от пожаров, возникающих на равнине. Чем круче склон, тем выше скорость распространения пожара, а при достижении 25° и выше низовой пожар может переходить в верховой. При верховых пожарах создаются условия, способствующие его развитию со скоростью до 1 500 м/ч для устойчивых и скоростью 4 500 м/ч и более для беглых [2]. При таких обстоятельствах силы и средства, привлекаемые для локализации природного пожара, рискуют оказаться под его прямым воздействием в считанные минуты.

Основные факторы [3, 4], способствующие возникновению и быстрому распространению пожара, а также изменению его тактических элементов (частей) [5] горной местности, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные факторы, способствующие возникновению и быстрому распространению пожара в горной местности

Факторы	Описание
Природно-климатические	1. Высокая температура окружающей среды на протяжении длительного времени способствует воспламенению окружающей растительности и лесной подстилки. 2. Сильный и сухой ветер способствует распространению пожара, перенося горящие частицы на большую высоту и расстояние, что способствует увеличению площади горения. 3. Сухие грозы и как следствие молнии, которые в период засухи нередко вызывают загорания растительности. Особенно опасны грозы после длительного периода жары. В горах дожди часто бывают кратковременными и неравномерными. Это означает, что огонь может распространяться даже в условиях дождя
Рельеф (топографические условия)	1. Горные склоны могут усилить восходящие тепловые потоки, способствуя быстрому распространению пожара вверх, кроме того, огонь может распространяться по склонам под действием силы тяжести, а также за счет разлета искр и горящих частиц. 2. Ущелья могут создавать ветровые коридоры, ускоряя распространение огня. Горная местность часто характеризуется сложным рельефом и труднодоступностью, что затрудняет проведение мониторинга и тушение пожаров
Тип растительности	Обилие хвойных деревьев, кустарников и сухой травянистой растительности является хорошими горючими материалами
Антропогенные	Неконтролируемые палы, неосторожное обращение с огнем, поджоги, костры, сигареты и мусор могут усугубить складывающуюся обстановку с природными пожарами

В то же время необходимо отметить, что пространственная структура высотной поясности в различных горных системах Российской Федерации [6] значительно отличается друг от друга (рис. 1).

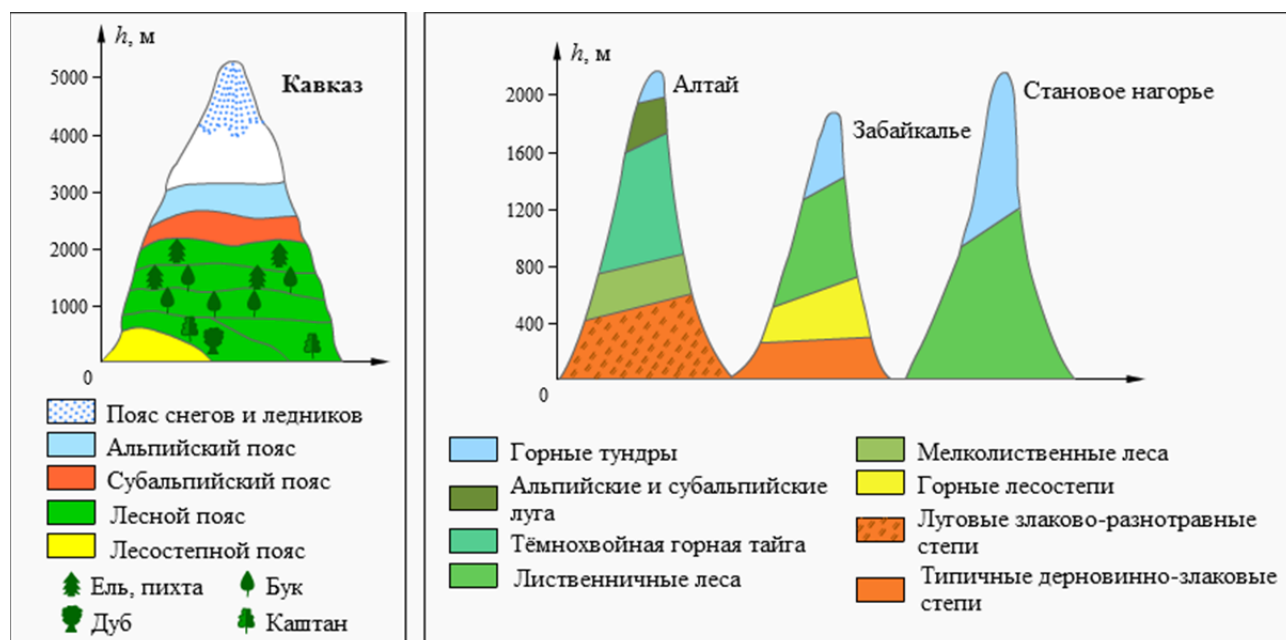


Рис. 1. Поясность некоторых горных систем Российской Федерации

Сложные условия тушения пожара, включающие в себя различные факторы, требуют от органов управления на месте пожара принятия эффективных решений, направленных на скорейшую ликвидацию пожара и сохранение жизни и здоровья участников тушения. Для этого необходимо использовать современные подходы к управлению всей организационной системой, включающей в себя силы и средства пожаротушения, а также системы мониторинга, обеспечивающие информационной поддержкой [7] органы управления в целях непрерывного адаптивного управления силами и средствами на месте пожара [8].

В работе [9] было проведено исследование положительных и отрицательных сторон применяемых методов мониторинга природных пожаров, однако следует отметить, что исследование проводилось в контексте их применения для действующих пожаров в горной местности.

В приказах Министерства природных ресурсов и экологии [10–13] для мониторинга, обнаружения природных пожаров, а также определения площадей горения этих пожаров регламентировано применение трех основных способов:

- способ, основанный на использовании наземных средств;
- способ, основанный на космическом мониторинге;
- способ, основанный на применении пилотируемой авиации.

В правилах тушения лесных пожаров [14] и методических рекомендациях [15] представлен общий порядок применения тех или иных видов мониторинга, в том числе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), однако не рассматриваются особенности, которые возникают и/или могут возникать в условиях горной местности.

Стоит так же отметить, что в нормативно-правовых актах Российской Федерации, ведомственных приказах, рекомендациях и прочих документах в настоящее время отсутствуют требования, предъявляемые к БПЛА при привлечении их для решения задач по определению площадей горения [16], мониторинга пожаров и взаимодействия данных средств с наземными силами [17].

Актуальной является задачей выбора лицом, принимающим решения, способа мониторинга пожаров в горной местности.

В данном исследовании предлагается решение задачи по выбору предпочтительного метода мониторинга природных пожаров, возникающих в горной местности, на основе метода анализа иерархий [18].

Методы исследования

В ходе исследования в работе применен комплекс теоретических и эмпирических методов, в том числе метод анализа иерархий (МАИ) и сравнительный анализ.

МАИ представляет собой систематический подход к сравнению и ранжированию альтернативных вариантов на основе нескольких критериев. Этот метод включает разделение сложной проблемы на более простые уровни, пошаговое сравнение иерархических элементов и в итоге получение единого решения на основе взвешенных приоритетов каждого критерия. Результаты оценки в такой структуре позволяют определить наиболее предпочтительное решение, которое соответствует стратегическим целям и требованиям экспертов [19, 20].

Принципиальная схема предлагаемой методики представлена на рис. 2.

Для отбора критериев оценки и определения важности каждого из них привлечено шесть экспертов, имеющих значительный практический опыт в ликвидации природных пожаров в горной местности (табл. 2).

Таблица 2

Эксперты, привлекаемые к опросу

Должностные лица, специализирующиеся на вопросах исследования, имеющие практический и теоретический опыт	Область интересов	Опыт работы
Заместитель директора по лесохозяйственной деятельности национального парка	Природные пожары, возникающие на особо охраняемых природных территориях. Пользователь «ИСДМ-Рослесхоз»	25 лет
Директор Государственного бюджетного учреждения «Лесная пожарная охрана»	Природные пожары, возникающие на территории лесного фонда субъекта. Пользователь «ИСДМ-Рослесхоз»	14 лет
Начальник отдела организации пожаротушения и проведения аварийно-спасательных работ Главного управления МЧС России по субъекту	Природные пожары, возникающие на всей территории субъекта. Пользователь «КАСКАД»	24 года
Начальник центра управления в кризисных ситуациях Главного управления МЧС России по субъекту	Мониторинг природных пожаров и взаимодействие с заинтересованными министерствами и ведомствами. Пользователь «КАСКАД»	21 год
Директор лесничества	Природные пожары, возникающие на территории лесного фонда субъекта (на территории ответственного лесничества). Пользователь «ИСДМ-Рослесхоз»	13 лет
Начальник отдела охраны, защиты лесов Министерства природных ресурсов и экологии по субъекту	Природные пожары, возникающие на территории лесного фонда субъекта. Пользователь «ИСДМ-Рослесхоз»	10 лет

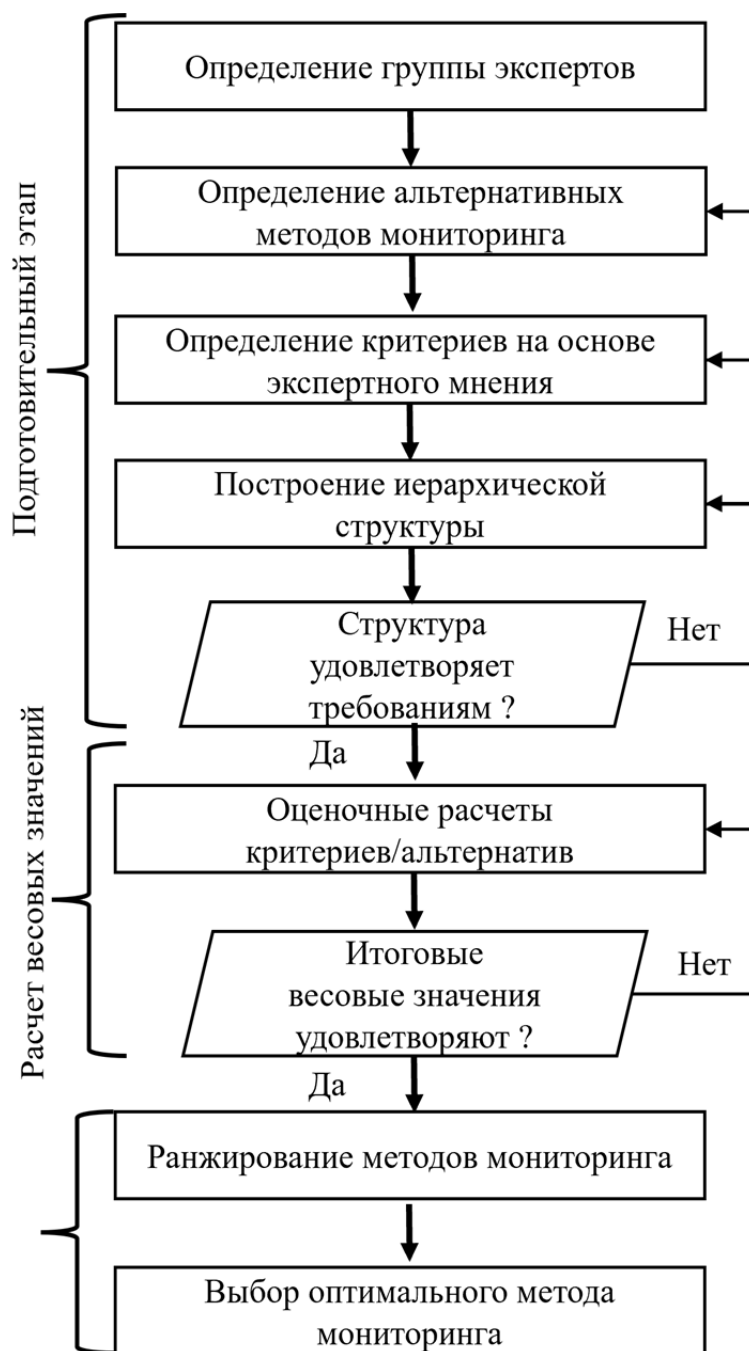


Рис. 2. Схема методики выбора способа мониторинга

Исследование основано на четырех альтернативах (A_1, \dots, A_4) и 11 критериях (K_1, K_2, \dots, K_{11}), предложенных ранее в работе [9], где:

- A_1 – космический мониторинг;
- A_2 – авиационный мониторинг (пилотируемый);
- A_3 – наземный мониторинг;
- A_4 – мониторинг с использованием БПЛА;
- K_1 – оперативность;
- K_2 – точность;
- K_3 – площадь покрытия;
- K_4 – экономическая эффективность;
- K_5 – безопасность;
- K_6 – доступность на момент времени;

К7 – автономность;

К8 – возможность интеграции с другими системами;

К9 – возможность эффективного применения при сложных погодных условиях погодных условиях;

К10 – экологичность;

К11 – трудоемкость процесса мониторинга.

Представленная на рис. 3 иерархическая структура предлагается для проведения дальнейшего экспертного оценивания.

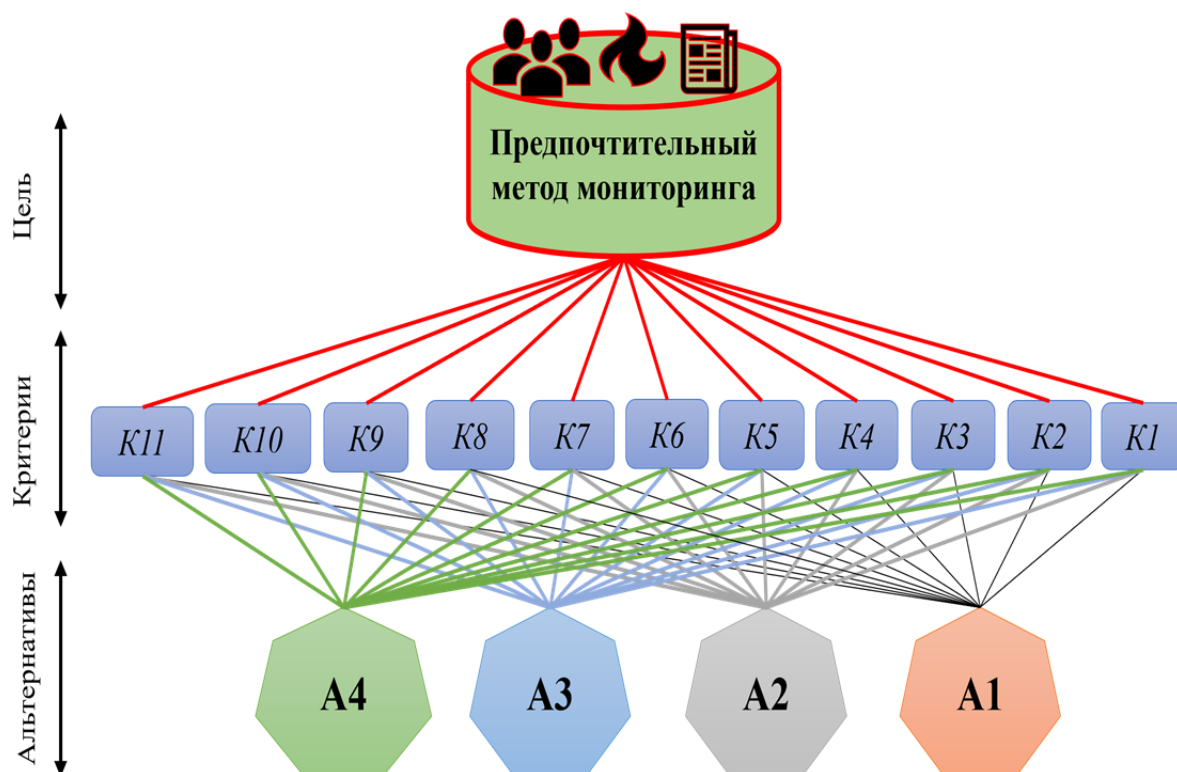


Рис. 3. Структура иерархической многокритериальной оценки

Результаты исследования и обсуждение результатов

В ходе исследования экспертами было проведено ранжирование оцениваемых параметров по важности. Для этого каждому параметру была присвоена оценка значимости от 1 до 9, где 1 соответствует равной важности, а 9 – очень сильному предпочтению одного параметра над другим. В случае если при сравнении двух параметров получено одно из вышеуказанных чисел, то при обратном сравнении получим обратную величину. На основе результатов ранжирования были сформированы обобщенные матрицы парных сравнений (табл. 3–13). Эти матрицы содержат информацию о важности каждого параметра по отношению к остальным. Для каждой матрицы были вычислены следующие показатели:

1. Собственный вектор (V) – вектор, состоящий из собственных значений матрицы.
2. Нормированный собственный вектор (W) – собственный вектор, нормированный по модулю.
3. Значение максимального собственного вектора (λ_{\max}) – наибольшее собственное значение матрицы.
4. Индекс согласованности экспертов (ИС) – показатель, характеризующий степень согласованности мнений экспертов.
5. Отношение согласованности экспертов (ОС) – показатель, характеризующий степень согласованности мнений экспертов по сравнению с идеальной согласованностью.

Матрица парных сравнений важности критериев второго уровня

Критерий	К1	К2	К3	К4	К5	К6	К7	К8	К9	К10	К11	Произведение	$\sqrt[11]{V}$	W
К1	1	2	3	7	4	4	2	8	6	9	5	2903040	3,868	0,249
К2	0,5	1	2	5	3	2	4	7	3	9	8	181440	3,007	0,194
К3	0,33	0,5	1	3	2	1	3	7	2	7	5	1470	1,941	0,125
К4	0,14	0,20	0,33	1	0,5	0,33	0,2	3	1	5	1	0,0048	0,615	0,040
К5	0,25	0,33	0,50	2	1	2	3	7	3	5	7	368	1,711	0,110
К6	0,25	0,50	1,00	3	0,50	1	0,50	9	1	4	3	10	1,234	0,079
К7	0,50	0,25	0,33	5	0,33	2,00	1	7	1	3	5	15	1,276	0,082
К8	0,13	0,14	0,14	0,3	0,14	0,11	0,14	1	0,2	2	0,33	0,00000026	0,252	0,016
К9	0,17	0,33	0,50	1	0,33	1,00	1,00	5	1	5	3	1	0,967	0,062
К10	0,11	0,11	0,14	0,2	0,20	0,25	0,33	0,5	0,2	1	3	0,00000176	0,300	0,019
К11	0,20	0,13	0,20	1	0,14	0,33	0,20	3	0,33	0,33	1	0,00002	0,366	0,024
Итого	3,58	5,50	9,15	28,53	12,15	14,03	15,38	57,50	18,73	50,33	41,33	1	15,537	1

$V=(3,868; 3,007; 1,941; 0,615; 1,711; 1,234; 1,276; 0,252; 0,967; 0,300; 0,366);$

$W=(0,249; 0,194; 0,125; 0,040; 0,110; 0,079; 0,082; 0,016; 0,062; 0,019; 0,024);$

$\lambda_{\max} = 11,99;$

$ИС=|\lambda_{\max} - n| / (n-1) = |11,99 - 11| / (11-1)=0,099;$

для $n=11$ случайная согласованность $(СС)=1,51.$

Определив ИС и СС, определим ОС как отношение ИС к СС.

$ОС= 0,099/1,51=0,065<0,1.$

ОС не превосходит 0,1, что означает, что оценки экспертов согласованы.

Расчеты локальных векторов приоритетов выявили наиболее важные критерии второго уровня, что соответствует представлению экспертов. Сравнительный анализ представлен на рис. 4.

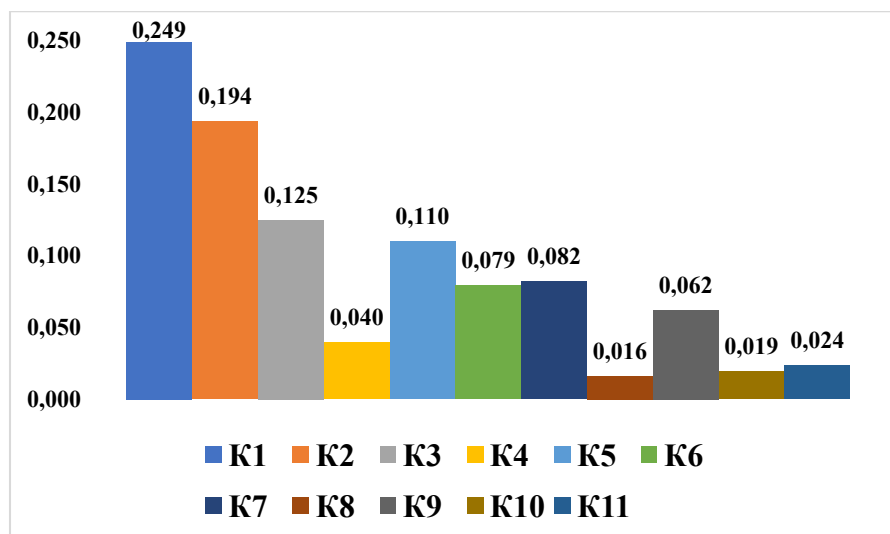


Рис. 4. Сравнительный анализ локальных векторов приоритетов критериев второго уровня

Таблица 4

Оперативность

	A1	A2	A3	A4	Π	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	5	3	0,33	5	1,495	0,263
A2	0,20	1	0,33	0,14	0,00952	0,312	0,055
A3	0,33	3	1	0,20	0,2	0,668	0,117
A4	3	7	5	1	105	3,201	0,563
	4,53	16	9,33	1,68	1	5,67757	1

$V=(1,495; 0,312; 0,668; 3,201);$

$W=(0,263; 0,055; 0,117; 0,563);$

$\lambda_{\max} = 4,11;$

$ИС=|\lambda_{\max} - n| / (n-1) = |4,11 - 4| / (4-1)=0,398;$

для $n=4$ случайная согласованность (СС)=0,9.

Определив ИС и СС, определим ОС как отношение ИС к СС.

$ОС=0,398/0,9=0,043<0,1.$

ОС не превосходит 0,1, что означает, что оценки экспертов согласованы.

Таблица 5

Точность

	A1	A2	A3	A4	Π	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	3	7	0,33	7	1,626	0,272
A2	0,33	1	3	0,2	0,2	0,668	0,111
A3	0,14	0,33	1	0,11	0,00529	0,269	0,045
A4	3	5	9	1	135	3,408	0,570
Итого	4,48	9,33	20	1,64	1	5,973	1

$\lambda_{\max}=4,1;$

$ИС=0,034;$

$ОС=0,038.$

Таблица 5

Площадь покрытия

	A1	A2	A3	A4	П	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	3	9	5	135	3,408	0,581
A2	0,33	1	5	3	5	1,495	0,254
A3	0,11	0,2	1	0,33	0,007	0,293	0,050
A4	0,2	0,33	3	1	0,2	0,668	0,114
Итого	1,64	4,53	18,00	9,33	1	5,866	1

 $\lambda_{\max}=4,07;$

ИС=0,025;

ОС=0,027.

Таблица 6

Экономическая эффективность

	A1	A2	A3	A4	П	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	9	5	3	135	3,408	0,565
A2	0,11	1	0,2	0,14	0,003	0,237	0,039
A3	0,2	5	1	0,33	0,333	0,759	0,125
A4	0,33	7	3	1	7	1,626	0,269
Итого	1,64	22,00	9,2	4,48	1	6,032	1

 $\lambda_{\max}=4,16;$

ИС=0,053;

ОС=0,059.

Таблица 7

Безопасность

	A1	A2	A3	A4	П	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	9	7	3	189	3,707	0,591
A2	0,11	1	0,2	0,14	0,00317	0,237	0,037
A3	0,14	5	1	0,33	0,2381	0,698	0,111
A4	0,33	7	3	1	7	1,626	0,259
Итого	1,59	22,00	11,2	4,48	1	6,270	1

 $\lambda_{\max}=4,18;$

ИС=0,060;

ОС=0,066.

Таблица 8

Доступность на момент времени

	A1	A2	A3	A4	П	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	3	0,33	0,33	0,333	0,759	0,138
A2	0,33	1	0,14	0,14	0,006	0,287	0,05
A3	3	7	1	0,33	7	1,626	0,296
A4	3	7	3	1	63	2,817	0,513
Итого	7,33	18,00	4,47	1,81	1	5,490	1

 $\lambda_{\max}=4,21;$

ИС=0,07;

ОС=0,078.

Таблица 9

Автономность

	A1	A2	A3	A4	П	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	5	0,33	0,14	0,238	0,698	0,111
A2	0,2	1	0,14	0,11	0,003	0,237	0,037
A3	3	7	1	0,33	7	1,626	0,259
A4	7	9	3	1	189	3,707	0,591
Итого	11,20	22,00	4,47	1,59	1	6,270	1

 $\lambda_{\max}=4,18;$

ИС=0,06;

ОС=0,066.

Таблица 10

Возможность интеграции с другими системами

	A1	A2	A3	A4	П	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	5	0,33	3	5	1,495	0,277
A2	0,2	1	0,14	0,33	0,009	0,312	0,058
A3	3	7	1	3	63	2,817	0,523
A4	0,33	3	0,33	1	0,333	0,759	0,141
Итого:	4,53	16,00	1,809	7,33	1	5,384	1

 $\lambda_{\max}=4,16;$

ИС=0,056;

ОС=0,062.

Таблица 11

Возможность эффективного применения при сложных погодных условиях

	A1	A2	A3	A4	П	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	7	5	0,33	11,6667	1,848	0,302
A2	0,14	1	0,333	0,11	0,00529	0,269	0,044
A3	0,2	3	1	0,2	0,12	0,588	0,096
A4	3	9	5	1	135	3,408	0,557
Итого	4,34	20,00	11,33	1,64	1	6,115	1

 $\lambda_{\max}=4,2;$

ИС=0,067;

ОС=0,074.

Таблица 12

Экологичность

	A1	A2	A3	A4	П	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	9	5	3	135	3,408	0,565
A2	0,11	1	0,2	0,14	0,00317	0,237	0,039
A3	0,2	5	1	0,33	0,33333	0,759	0,125
A4	0,33	7	3	1	7	1,626	0,269
Итого	1,64	22,00	9,2	4,48	1	6,032	1

 $\lambda_{\max}=4,16;$

ИС=0,053;

ОС=0,059.

Таблица 13

Трудоёмкость

	A1	A2	A3	A4	П	$\sqrt[4]{V}$	W
A1	1	9	7	3	189	3,707	0,582
A2	0,11	1	0,33	0,14	0,005	0,269	0,042
A3	0,14	3	1	0,2	0,085	0,541	0,084
A4	0,33	7	5	1	11,666	1,848	0,290
Итого	1,59	20,00	13,33	4,34	1	6,366	1

 $\lambda_{\max}=4,16;$

ИС=0,055;

ОС=0,061

На заключительном этапе локальные приоритеты альтернатив, полученные в результате парных сравнений, умножались на приоритеты соответствующих критериев уровня, которые были определены на основе мнений экспертов. Полученные произведения суммировались по каждому элементу в соответствии с критериями. В результате определяются глобальные приоритеты альтернатив, которые отражают значимость каждой альтернативы с учетом приоритетов критериев. Наиболее высокий рейтинг будет соответствовать альтернативе с наибольшим значением глобального приоритета. Расчеты глобальных приоритетов альтернатив приведены в табл. 14 и на рис. 5.

Таблица 14

Глобальные приоритеты альтернатив

Критерии	Приоритеты «K1, K2...Kn»	A1	A2	A3	A4
K1	0,249	0,263	0,055	0,118	0,564
K2	0,194	0,272	0,112	0,045	0,571
K3	0,125	0,581	0,255	0,05	0,114
K4	0,04	0,565	0,039	0,126	0,27
K5	0,11	0,591	0,038	0,111	0,259
K6	0,079	0,138	0,052	0,296	0,513
K7	0,082	0,111	0,038	0,259	0,591
K8	0,016	0,278	0,058	0,523	0,141
K9	0,062	0,302	0,044	0,096	0,557
K10	0,019	0,565	0,039	0,126	0,27
K11	0,024	0,582	0,042	0,085	0,29
Глобальный приоритет		0,346	0,086	0,125	0,443

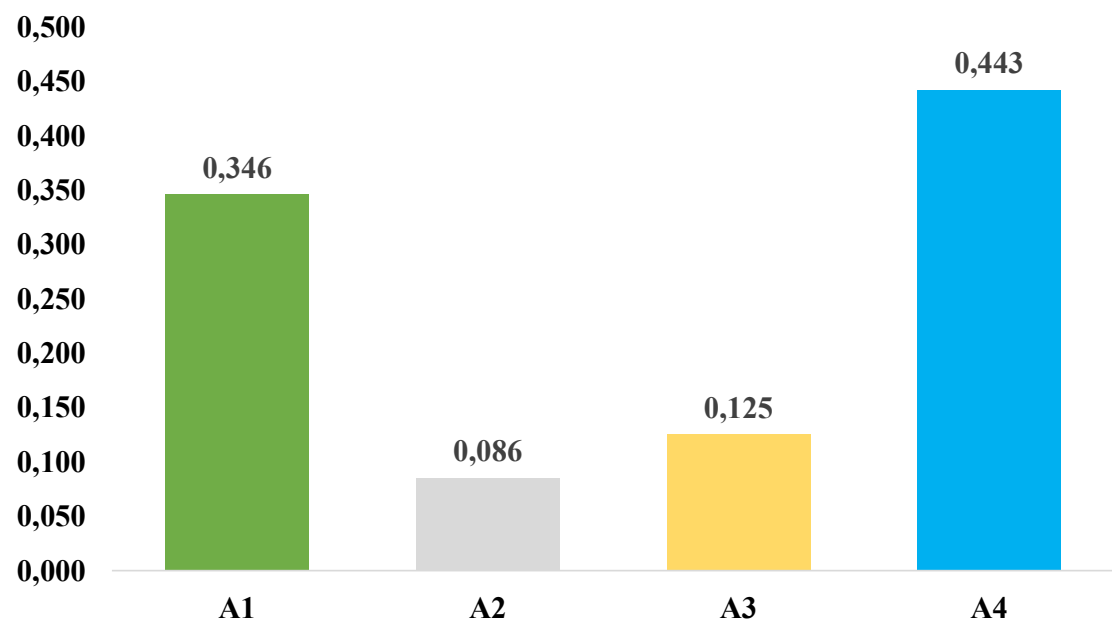


Рис. 5. Рейтинг альтернатив

Анализ согласованности показал, что индекс ОС каждого из элементов иерархии не превышает 0,1. Это свидетельствует о согласованности суждений экспертов при заполнении матриц.

Расчеты показали, что наибольший приоритет (0,443) имеет метод мониторинга с использованием БПЛА. Таким образом, по результатам оценки с использованием МАИ этот способ является наиболее предпочтительным для мониторинга действующих природных пожаров в горной местности.

Выводы

Традиционные методы мониторинга (космический, авиационный, наземный) имеют ограничения, связанные с периодичностью, точностью, безопасностью, стоимостью и другими факторами, особенно в горных условиях.

Исследование показало, что использование БПЛА для мониторинга природных пожаров в горной местности является более предпочтительным способом по сравнению с другими видами мониторинга. БПЛА способны повысить эффективность принятия решений по управлению силами и средствами, что может привести к снижению ущерба от природных пожаров.

Стоит так же отметить, что в нормативно-правовых актах Российской Федерации, ведомственных приказах, рекомендациях и прочих документах отсутствуют требования, предъявляемые к БПЛА при измерении площади, пройденной огнем при природных пожарах по аналогии с требованиями, которые предъявляются к пилотируемой авиации в приказе Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 5 мая 2016 г. № 277 «Об утверждении Методических указаний по измерению площади, пройденной огнем при лесном пожаре» [21].

На следующем этапе необходимо разработать специализированные алгоритмы обработки и анализа данных, полученных с БПЛА, создать автоматизированные системы мониторинга, основанные на использовании БПЛА в режиме реального времени, а также определить параметры эффективного пролета БПЛА при осуществлении мониторинга природных пожаров и определения площадей горения.

Использование современных технологий, таких как БПЛА, в сочетании с распределенными информационными системами является перспективным направлением повышения эффективности мониторинга и управления силами и средствами при тушении природных пожаров в сложных условиях горной местности.

Список источников

1. Кузьмин С.Б. Опасные природные процессы в Российской Федерации // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16. № 2. С. 10–35. DOI: 10.32686/1812-5220-2019-16-10-35. EDN NXKTHK.
2. Методика тушения ландшафтных пожаров (утв. МЧС России 14 сент. 2015 г. № 2-4-87-32-ЛБ).
3. Holsinger L., Parks S. A., Miller C. Weather, fuels, and topography impede wildland fire spread in western US landscapes // Forest ecology and management. 2016. Vol. 380. P. 59–69. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.08.035.
4. Матиев Р.Т. Особенности тушения лесных пожаров в труднодоступной скалистой местности при аномальных погодных условиях и отсутствии водоисточников // Социально-экономические аспекты принятия управленческих решений: материалы IV Межвуз. науч. семинара. М.: Акад. ГПС МЧС России, 2020. С. 156–161. EDN LZLCTY.
5. Сныткин Г.В. Особенности лесных пожаров в разных формациях, типах леса и методы их тушения в лесах крайнего северо-востока Сибири // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. 2001. № 5. С. 37–49. EDN HVSEEF.
6. Гасанов Ш.Ш. Структурный анализ высотной поясности геосистем Северокавказского региона // Юг России: экология, развитие. 2007. Т. 2. № 1. С. 62–69. EDN MBVWOJ.
7. Implementation of information technologies in the organization of forest fire suppression process / O. Smotr [et al.] // 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). IEEE, 2018. P. 157–161. DOI: 10.1109/DSMP.2018.8478416.
8. Матвеев А.В. Перспективы адаптивного управления в сфере обеспечения пожарной безопасности, защиты и реагирования на чрезвычайные ситуации // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 429–431. EDN YXLOOT.
9. Матвеев А.В., Матиев Р.Т. Принятие решений при пожарах в горной местности: Сравнительный анализ методов мониторинга // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2023. № 2 (42). С. 76–90. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-76-90. EDN QPRUWC.
10. Об утверждении Порядка осуществления мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожарах: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 23 июня 2014 г. № 276 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420206611> (дата обращения: 22.09.2023).
11. О внесении изменений в Порядок осуществления мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожарах, утвержденный приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 276: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 1 июня 2016 г. № 325 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru /document/420362366> (дата обращения: 22.09.2023).
12. Об утверждении Порядка осуществления мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожарах: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 23 июня 2014 г. № 276 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420206611> (дата обращения: 22.09.2023).
13. Об утверждении Порядка организации и выполнения авиационных работ по охране лесов от пожаров и Порядка организации и выполнения авиационных работ по защите лесов: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации

от 15 нояб. 2016 г. № 597 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420385097> (дата обращения: 25.09.2023).

14. Об утверждении Правил тушения лесных пожаров: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 1 апр. 2022 г. № 244 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350760949> (дата обращения: 25.09.2023).

15. Методические рекомендации по управлению силами и средствами тушения крупного лесного пожара / Н.А. Коршунов [и др.]. Пушкино: ВНИИЛМ, 2022. 50 с.

16. A novel search and survey technique for unmanned aerial systems in detecting and estimating the area for wildfires / M. Sarkar [et al.] // *Robotics and Autonomous Systems*. 2021. Vol. 145. P. 103848. DOI: 10.1016/j.robot.2021.103848.

17. A distributed control framework for a team of unmanned aerial vehicles for dynamic wildfire tracking / H.X. Pham [et al.] // 2017 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS). IEEE, 2017. P. 6648–6653. DOI: 10.1109/IROS.2017.8206579.

18. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 278 с.

19. Zahedi F. The analytic hierarchy process – a survey of the method and its applications // *Interfaces*. 1986. Vol. 16. № 4. P. 96–108. DOI: 10.1287/inte.16.4.96.

20. Илларионов М.Г. Применение метода анализа иерархий в принятии управленческих решений // *Актуальные проблемы экономики и права*. 2009. № 1. С. 37–42. EDN JWVCMD.

21. Об утверждении Методических указаний по измерению площади, пройденной огнем при лесном пожаре: приказ Министерства природных ресурсов и экологии Рос. Федерации от 5 мая 2016 г. № 277 // ЭЛЕКТРОННЫЙ ФОНД правовой и нормативно-технической документации. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420356601> (дата обращения: 25.09.2023).

References

1. Kuz'min S.B. Opasnye prirodnye processy v Rossijskoj Federacii // *Problemy analiza riska*. 2019. T. 16. № 2. S. 10–35. DOI: 10.32686/1812-5220-2019-16-10-35. EDN NXXTKH.

2. Metodika tusheniya landshaftnyh pozharov (utv. MCHS Rossii 14 sent. 2015 g. № 2-4-87-32-LB).

3. Holsinger L., Parks S. A., Miller C. Weather, fuels, and topography impede wildland fire spread in western US landscapes // *Forest ecology and management*. 2016. Vol. 380. P. 59–69. DOI: 10.1016/j.foreco.2016.08.035.

4. Matiev R.T. Osobennosti tusheniya lesnyh pozharov v trudnodostupnoj skalistoj mestnosti pri anomal'nyh pogodnyh usloviyah i otsutstvii vodoistochnikov // *Social'no-ekonomicheskie aspekty prinyatiya upravlencheskih reshenij: materialy IV Mezhvuz. nauch. seminaru*. M.: Akad. GPS MCHS Rossii, 2020. S. 156–161. EDN LZLCTY.

5. Snytkin G.V. Osobennosti lesnyh pozharov v raznyh formacijah, tipah lesa i metody ih tusheniya v lesah krajnego severo-vostoka Sibiri // *Vestnik MGUL – Lesnoj vestnik*. 2001. № 5. S. 37–49. EDN HVSEEF.

6. Gasanov Sh.Sh. Strukturnyj analiz vysotnoj poyasnosti geosistem Severokavkazskogo regiona // *Yug Rossii: ekologiya, razvitie*. 2007. T. 2. № 1. S. 62–69. EDN MBVWOJ.

7. Implementation of information technologies in the organization of forest fire suppression process / O. Smotr [et al.] // 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP). IEEE, 2018. P. 157–161. DOI: 10.1109/DSMP.2018.8478416.

8. Matveev A.V. Perspektivy adaptivnogo upravleniya v sfere obespecheniya pozharnoj bezopasnosti, zashchity i reagirovaniya na chrezvychajnye situacii // *Problemy obespecheniya bezopasnosti pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij*. 2018. T. 1. S. 429–431. EDN YXLOOT.

9. Matveev A.V., Matiev R.T. Prinyatie reshenij pri pozharah v gornoj mestnosti: Sravnitel'nyj analiz metodov monitoringa // Nacional'naya bezopasnost' i strategicheskoe planirovanie. 2023. № 2 (42). S. 76–90. DOI: 10.37468/2307-1400-2023-2-76-90. EDN QPRUWC.
10. Ob utverzhdenii Poryadka osushchestvleniya monitoringa pozharnoj opasnosti v lesah i lesnyh pozharah: prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Ros. Federacii ot 23 iyunya 2014 g. № 276 // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420206611> (data obrashcheniya: 22.09.2023).
11. O vnesenii izmenenij v Poryadok osushchestvleniya monitoringa pozharnoj opasnosti v lesah i lesnyh pozharah, utverzhdenyj prikazom Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Rossijskoj Federacii № 276: prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Ros. Federacii ot 1 iyunya 2016 g. № 325 // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420362366> (data obrashcheniya: 22.09.2023).
12. Ob utverzhdenii Poryadka osushchestvleniya monitoringa pozharnoj opasnosti v lesah i lesnyh pozharah: prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Ros. Federacii ot 23 iyunya 2014 g. № 276. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420206611> (data obrashcheniya: 22.09.2023).
13. Ob utverzhdenii Poryadka organizacii i vypolneniya aviacionnyh rabot po ohrane lesov ot pozharov i Poryadka organizacii i vypolneniya aviacionnyh rabot po zashchite lesov: prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Ros. Federacii ot 15 noyab. 2016 g. № 597 // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420385097> (data obrashcheniya: 25.09.2023).
14. Ob utverzhdenii Pravil tusheniya lesnyh pozharov: prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Ros. Federacii ot 1 apr. 2022 g. № 244 // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/350760949> (data obrashcheniya: 25.09.2023).
15. Metodicheskie rekomendacii po upravleniyu silami i sredstvami tusheniya krupnogo lesnogo pozhara / N.A. Korshunov [i dr.]. Pushkino: VNIILM, 2022. 50 s.
16. A novel search and survey technique for unmanned aerial systems in detecting and estimating the area for wildfires / M. Sarkar [et al.] // Robotics and Autonomous Systems. 2021. Vol. 145. P. 103848. DOI: 10.1016/j.robot.2021.103848.
17. A distributed control framework for a team of unmanned aerial vehicles for dynamic wildfire tracking / H.X. Pham [et al.] // 2017 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems (IROS). IEEE, 2017. P. 6648–6653. DOI: 10.1109/IROS.2017.8206579.
18. Saati T. Prinyatie reshenij. Metod analiza ierarhij. M.: Radio i svyaz', 1993. 278 s.
19. Zahedi F. The analytic hierarchy process – a survey of the method and its applications // Interfaces. 1986. Vol. 16. № 4. P. 96–108. DOI: 10.1287/inte.16.4.96.
20. Illarionov M.G. Primenenie metoda analiza ierarhij v prinyatii upravlencheskih reshenij // Aktual'nye problemy ekonomiki i prava. 2009. № 1. S. 37–42. EDN JWVCMD.
21. Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazanij po izmereniyu ploshchadi, proydennoj ognem pri lesnom pozhare: prikaz Ministerstva prirodnyh resursov i ekologii Ros. Federacii ot 5 maya 2016 g. № 277 // ELEKTRONNYJ FOND pravovoj i normativno-tehnicheskoy dokumentacii. URL: <https://docs.cntd.ru/document/420356601> (data obrashcheniya: 25.09.2023).

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 10.10.2023; одобрена после рецензирования: 10.12.2023;
принята к публикации: 12.12.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 10.10.2023; approved after review: 10.12.2023;
accepted for publication: 12.12.2023

Информация об авторах:

Матиев Руслан Тимурович, адъюнкт Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: hamhi@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9699-986X>, SPIN-код: 7293-7794

Information about the authors:

Matiev Ruslan T., associate professor Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: hamhi@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-9699-986X>, SPIN: 7293-7794