

Научная статья

УДК 623.746.4-519 + 519.812.3

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ МЧС РОССИИ

✉ **Войтенко Олег Викторович;**

Бесков Максим Сергеевич;

Елисеев Игорь Борисович.

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

✉ vogps@mail.ru

Аннотация. Беспилотные летательные аппараты прочно вошли в нашу жизнь. Они применяются в различных сферах, не исключением является сфера проведения поисково-спасательных работ. МЧС России закупает и применяет различные беспилотные летательные аппараты. В целях оперативного применения наиболее часто применяются аппараты вертолетного типа, к которым также относятся аппараты типа квадрокоптера, который использует четыре несущих винта, обеспечивающих подъемную силу. Разные квадрокоптеры имеют разные характеристики и параметры. При покупке квадрокоптеров в первую очередь ориентируются на характеристики, параметры и стоимость аппаратов. На текущий момент отсутствуют методики комплексной оценки параметров беспилотных летательных аппаратов. В рамках исследования предложена методика комплексной оценки на основе применения метода Парето, на основе которой выделены оптимальные беспилотные летательные аппараты. Полученные в исследовании результаты позволяют формировать требования при покупке беспилотных летательных аппаратов для подразделений МЧС России с учетом оптимальности характеристик и стоимости.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, квадрокоптер, метод анализа размерностей, оценка качества

Для цитирования: Войтенко О.В., Бесков М.С., Елисеев И.Б. Комплексная оценка качества беспилотных летательных аппаратов, применяемых в подразделениях МЧС России // Науч.-аналит. журн. «Вестник С.-Петерб. ун-та ГПС МЧС России». 2023. № 2. С. 112–124.

Scientific article

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE QUALITY OF UNMANNED AERIAL VEHICLES USED IN THE DIVISIONS OF EMERCOM OF RUSSIA

✉ **Voitenok Oleg V.;**

Beskov Maxim S.;

Eliseev Igor B.

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

✉ vogps@mail.ru

Abstract. Unmanned aerial vehicles have firmly entered our lives. They are used in various fields, not an exception is the scope of search and rescue operations. The EMERCOM of Russia purchases and uses various unmanned aerial vehicles. For operational use, helicopter-type vehicles are most often used, which also include quadcopter-type vehicles that use four main rotors that provide lift. Different quadcopters have different characteristics and parameters. When purchasing quadcopters, they primarily focus on the characteristics, parameters and cost of the devices. At the moment, there are no methods for a comprehensive assessment of the parameters of unmanned

© Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, 2023

aerial vehicles. Within the framework of the study, a method of integrated assessment based on the application of the Pareto method is proposed, on the basis of which optimal unmanned aerial vehicles are identified. The practical significance of the results lies in the possibility of forming requirements for the purchase of unmanned aerial vehicles for the units of EMERCOM of Russia, taking into account the optimality of characteristics and cost.

Keywords: unmanned aerial vehicle, quadcopter, dimensional analysis method, quality assessment

For citation: Voitenok O.V., Beskov M.S., Eliseev I.B. Comprehensive assessment of the quality of unmanned aerial vehicles used in the divisions of EMERCOM of Russia // Scientific and analytical journal «Vestnik Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia». 2023. № 2. P. 112–124.

Введение

Применение беспилотной авиации в последние годы становится все более всеобъемлющим. В деятельности пожарно-спасательных подразделений применение беспилотной авиации позволяет решать задачи, направленные на проведение разведки и поисково-спасательных работ, хорошо беспилотные летательные аппараты (БПЛА) показали себя при оценке развития ландшафтных пожаров [1–3]. В качестве перспективного направления применения БПЛА можно рассматривать доставку грузов и оборудования [4], осуществление мониторинга состояния пожарной безопасности территорий [5–7]. БПЛА можно использовать для оценки выполнения требований пожарной безопасности [8, 9]. БПЛА также может выступать в качестве одного из элементов технических комплексов по мониторингу и тушению пожаров, проведению обследования территорий [10]. В подразделениях МЧС России применяют как серийные аппараты, так и аппараты, производимые под определенные задачи. Производство аппаратов под решение конкретных задач с формированием заданных характеристик достаточно наукоемкое и трудозатратное дело. Современные беспилотные системы сочетают в себе инженерную составляющую и программное обеспечение. На рынке присутствует ряд производителей беспилотных систем, которые заняли на текущий момент лидирующие позиции. На текущий момент в МЧС России не применяются методы комплексной оценки качества БПЛА.

Основной целью исследования является совершенствование подходов в оценке качества БПЛА, применяемых в МЧС России, на основе метода анализа размерностей параметров качества.

Методы исследования

В рамках исследования применялись эмпирические и теоретические методы исследования, заключающиеся в анализе применяемых в МЧС России БПЛА, анализе их параметров и разработке методики комплексной оценки качества БПЛА.

Техническое оснащение авиационной аварийно-спасательной и противопожарной службы в МЧС России БПЛА является чрезвычайно значимой и актуальной задачей. Государственные расходы на оснащение БПЛА подразделений МЧС России будут компенсированы экономическим эффектом от использования данного оборудования в аварийно-спасательных службах с течением времени [5].

Маркиным В.С., Саленко С.Д. в своей работе применены математические методы приближенной оценки параметров БПЛА [11]. Авторами рассматриваются зависимости потребной тяги от удлинения крыла и скорости полета.

Анисимов А.Н., Панов В.В., Широков С.В. рассматривают подходы к формированию аэродинамической компоновки БПЛА одноразового применения, определяют его основные аэродинамические характеристики [12].

Воднев С.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. предлагают математическую модель оценки процесса технического обеспечения подразделений МЧС России, которая обеспечивает формализацию процессов обеспечения готовности аварийно-спасательных средств к решению задач по предназначению с учетом финансирования по программам технического обеспечения [13].

Метод анализа размерностей параметров качества рассматривался неоднократно [14, 15], однако для БПЛА данный вопрос не раскрывался и не применялся. Данный метод позволяет оценить и выбрать оптимальный аппарат. В соответствии с π -теоремой [16] при составлении уравнений связи параметров, независимых друг от друга, используются базовые доступные известные величины.

Идеальный подход к решению задач многокритериальной оптимизации состоит в том, чтобы найти равномерно распределенный набор Парето-оптимальных альтернатив, который способен представить возможный компромисс применения различных параметров [17].

При решении задач многокритериальной оптимизации может случиться так, что оптимальные по Парето (эффективные) решения не будут получены [18].

Полунин Г.А., Кагарманова Р.М. в своей работе приводят классификацию БПЛА по различным критериям [19] с учетом опыта применения Главным управлением МЧС России по Челябинской области.

В качестве единичных параметров качества БПЛА выделены следующие:

- максимальный взлетный вес;
- размер по диагонали;
- дальность полета;
- длительность полета;
- максимальная скорость;
- потребляемая мощность;
- высота полета.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве исходных данных рассматривались аппараты, которые уже используются и применяются подразделениями МЧС России.

Гранад ВА-1000 (рис. 1) производится компанией «ЮВС Авиа» [20]. Аппарат обеспечивает возможность вертикального взлета и движения в горизонтальном направлении со скоростью около 50 км/ч. Время нахождения в воздухе составляет до 1,5 ч. Аппарат способен нести полезную нагрузку до 2,5 кг, максимальный взлетный вес – 5,5 кг, предусмотрена возможность монтирования тепловизионного модуля и камеры.



Рис. 1. Гранад ВА-1000

DJI Inspire 1 (2) позволяет монтировать различное оборудование (рис. 2). Вес аппарата составляет почти 3 кг. Продолжительность полета у версии 1 – 18 мин, у версии 2 – 27 мин.



Рис. 2. DJI Inspire 1

DJI Phantom 3 advanced (рис. 3) представляет собой аппарат массой до 1,2 кг, время полета – до 23 мин. Аппарат обладает достаточно хорошей камерой, однако отсутствует возможность выбора и изменения навесного оборудования.



Рис. 3. DJI Phantom 3 advanced

DJI mavic 3 (рис. 4) отличает применение более компактной конструкции, позволяющей в сложенном виде упростить процесс транспортировки. Время полета составляет уже до 46 минут. Масса около 900 г. Аппарат в зависимости от комплектации может комплектоваться тепловизионной камерой [21].



Рис. 4. DJI mavic 3

Предлагается методика оценки БПЛА, базирующаяся на формировании комплексного показателя и выборе оптимального БПЛА с учетом распределения Парето. При выборе исходных параметров преимущество должно отдаваться эксплуатационным, а не конструктивным или описательным характеристикам [22].

В табл. 1 отражены только основные показатели, влияющие на техническую эффективность и работоспособность БПЛА.

Таблица 1

Основные параметры качества БПЛА

Единичные параметры качества	Единицы измерения (система Si)
Потребляемая мощность (N)	$\text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-3}$
Размер по диагонали (l)	м
Длительность полета (T)	с
Дальность полета (L)	м
Максимальная скорость (v)	$\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$
Максимальная высота полета (H)	м
Максимальная взлетная масса (M)	кг

В соответствии с π -теоремой [16, 23], в качестве базовых, независимых друг от друга величин, при составлении уравнений связи параметров были использованы: потребляемая мощность (N), размер по диагонали (l), длительность полета (T).

Полученные результаты, комплексно характеризующие эффективность БПЛА, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Безразмерные величины, комплексно характеризующие эффективность БПЛА

Уравнения связи параметров	Корни уравнений	Симплексы и комплексы
$\pi_1 = M \cdot N^{x_1} \cdot l^{y_1} \cdot T^{z_1}$	$X_1=-1; Y_1=2; Z_1=-3$	$\pi_1 = \frac{M \cdot l^2}{N \cdot T^3}$
$\pi_2 = L \cdot N^{x_2} \cdot l^{y_2} \cdot T^{z_2}$	$X_2=0; Y_2=-1; Z_2=0$	$\pi_2 = \frac{L}{l}$
$\pi_3 = v \cdot N^{x_3} \cdot l^{y_3} \cdot T^{z_3}$	$X_3=0; Y_3=-1; Z_3=1$	$\pi_3 = \frac{v \cdot T}{l}$
$\pi_4 = H \cdot N^{x_4} \cdot l^{y_4} \cdot T^{z_4}$	$X_4=0; Y_4=-1; Z_4=0$	$\pi_4 = \frac{H}{l}$

Физическая сущность сформированных симплексов и комплексов БПЛА представлена в табл. 3.

Таблица 3

Физическая сущность безразмерных комплексов БПЛА

Обобщенные комплексы и симплексы	Соотношения размерностей обобщенных комплексов и симплексов	Физическая сущность комплексов и симплексов
$\pi_1 = \frac{M \cdot l^2}{N \cdot T^3}$	$[\pi_1] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}^2 / \text{с}^3 \cdot \text{с}^3}$	Удельная взлетная масса (комплекс)
$\pi_2 = \frac{L}{l}$	$[\pi_2] = \frac{\text{м}}{\text{м}}$	Удельная дальность полета (симплекс)
$\pi_3 = \frac{v \cdot T}{l}$	$[\pi_3] = \frac{\text{м}/\text{с} \cdot \text{с}}{\text{м}}$	Удельная скорость БПЛА (комплекс)
$\pi_4 = \frac{H}{l}$	$[\pi_4] = \frac{\text{м}}{\text{м}}$	Удельная высота полета (симплекс)

Анализ физической сущности безразмерных комплексов БПЛА представлен в табл. 4.

Таблица 4

Анализ физической сущности безразмерных комплексов БПЛА

Физическая сущность комплексов и симплексов	Теоретическая тенденция изменения показателя при росте качества образца	Обоснование
Удельная взлетная масса (комплекс, π_1)	Увеличение параметра	Увеличение данного параметра позволит оснастить дрон дополнительным навесным оборудованием
Удельная дальность полета (симплекс, π_2)	Увеличение параметра	Увеличение данного параметра позволит перемещать дрон на большие расстояния без смены аккумулятора или дополнительной подзарядки
Удельная скорость БПЛА (комплекс, π_3)	Увеличение параметра	Повышение максимальной скорости дрона позволит быстрее обследовать местность и производить разведку
Удельная высота полета (симплекс, π_4)	Увеличение параметра	Увеличение максимальной высоты полета позволит производить разведку пожара на высотных зданиях, а так же охватывать большую зону покрытия при нахождении очагов лесных пожаров

Исходя из выбранных величин первой группы, путем физического анализа образован обобщенный комплекс – затрачивая мощность при применении БПЛА.

Обобщенный комплекс БПЛА вертолетного типа:

$$\pi_{\text{БПЛА}} = \pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_3 \cdot \pi_4 = \frac{H \cdot L \cdot v \cdot M \cdot l^{-1}}{N \cdot T^2}. \quad (1)$$

Преобразовав формулу (1), получим обобщенный показатель комплекса БПЛА, физическая сущность которого представлена в табл. 5.

Таблица 5

Физическая сущность обобщенного комплекса БПЛА

Обобщенный комплекс	Соотношения размерностей обобщенных комплексов	Физическая сущность комплексов
$\pi_{\text{БПЛА}} = \pi_1 \cdot \pi_2 \cdot \pi_3 \cdot \pi_4 = \frac{H \cdot L \cdot v \cdot M \cdot l^{-1} \cdot T^{-2}}{N}$	$[\pi_{\text{БПЛА}}] = \frac{\text{Вт}}{\text{Вт}}$	Удельная потребляемая мощность БПЛА

Используя формулу (1), возможно выбрать БПЛА вертолетного типа, имеющий лучшие технические характеристики.

Характеристики БПЛА вертолетного типа, применяемых в подразделениях МЧС России, взяты на официальных интернет-сайтах заводов производителей, они представлены в табл. 6.

Таблица 6

Характеристики БПЛА, применяемые подразделениями МЧС России

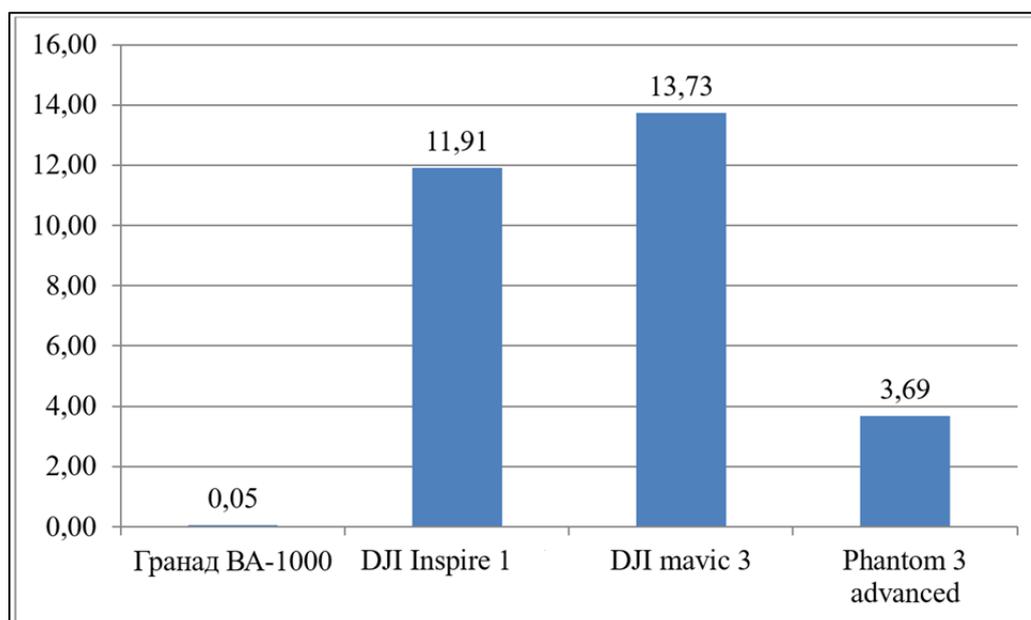
Наименование	Максимальный взлетный вес, кг	Размер по диагонали, м	Дальность полета, м	Длительность полета, с	Максимальная скорость, м/с	Потребляемая мощность, кгс · м/с	Высота полета, м
Гранд ВА-1000	5,5	1,03	15000	5400	14	1000	1200
DJI Inspire 1	2,935	0,581	5000	1080	22	180	4500
DJI mavic 3	0,895	0,38	30000	2760	19	77	6000
Phantom 3 advanced	1,28	0,35	2000	1380	16	100	6000

В табл. 7 и на рис. 5 представлены значения обобщенного комплексного показателя БПЛА.

Таблица 7

Значения обобщенного комплексного показателя БПЛА

Наименование	$\pi_{\text{БПЛА}}$
Гранд ВА-1000	0,05
DJI Inspire 1	11,91
DJI mavic 3	13,73
Phantom 3 advanced	3,69



**Рис. 5. Распределение БПЛА
в зависимости от обобщенного комплексного показателя**

В табл. 7 и на рис. 5 отображены сравнения БПЛА только по техническим параметрам. Для полного сравнения данных БПЛА необходимо учесть их стоимость.

Для комплексной и объективной оценки эффективности БПЛА необходимо наличие сведений об их экономической составляющей, что возможно наглядно продемонстрировать с помощью графика оптимальности по Парето [24, 25].

Результатом являются полученные посредством применения методики комплексной оценки расчетные данные об эффективности БПЛА вертолетного типа, применяемые подразделениями МЧС России (табл. 8).

Таблица 8

Расчетные данные об эффективности БПЛА

№ п/п	Наименование БПЛА	Стоимость БПЛА, руб.	Удельное значение безразмерного комплекса $\pi_i/\pi_{ср}$	Удельная стоимость $C_i/C_{ср}$
1	Гранад ВА-1000	1 750 000	0,006	3,521
2	DJI Inspire 1	89 000	1,622	0,179
3	DJI mavic 3	87 000	1,87	0,175
4	Phantom 3 advanced	62 000	0,502	0,125
Среднее значение АСА			1	1

Примечание: сведения о стоимости БПЛА взяты из открытых источников

На основе полученных расчетных данных выбирается оптимальный БПЛА.

Заключение

Из данных табл. 8 видно, что наиболее эффективным БПЛА является аппарат с порядковым номером 3.

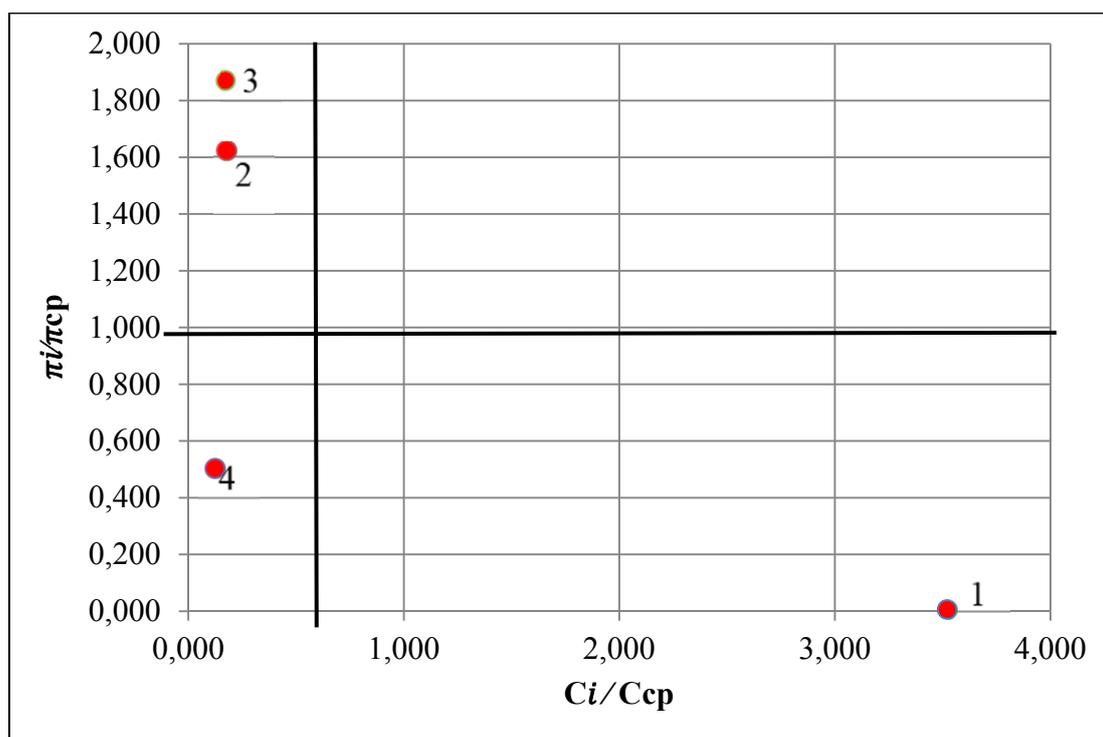


Рис. 6. Оценка эффективности БПЛА:
 π_i – обобщенный показатель i -й БПЛА;
 $\pi_{ср}$ – среднее значение обобщенного показателя БПЛА;
 C_i – цена i -й БПЛА; $C_{ср}$ – среднее значение цены БПЛА

Решение принимается на основе диаграмм Парето. В соответствии с методом Парето оптимальные БПЛА должны иметь наименьшую цену и наибольший эффект. Из рис. 6 следует, что БПЛА, находящиеся ближе всего к квадранту «А», обладают наибольшей эффективностью. Из них самым эффективным является образец № 3 – DJI mavic 3.

В рамках исследования разработана методика комплексной оценки БПЛА на основе применения метода Парето, который позволяет выбрать оптимальные БПЛА с учетом их характеристик и стоимости. Метод Парето ранее не использовался для обоснования выбора характеристик БПЛА. Практическая значимость результатов заключается в возможности формулирования требований при подготовке технических заданий при закупке БПЛА для подразделений МЧС России с учетом оптимальности характеристик и стоимости.

Список источников

1. Фазылова А.В., Елизарьев А.Н. Применение беспилотных летательных аппаратов при тушении лесных пожаров // Студенческий научный форум: материалы XI Междунар. студ. науч. конф. URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018013325> (дата обращения: 17.02.2023).

2. Дроны (квадрокоптеры): применение на пожарах. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/drony-kvadrokoptyery-primenenie-na-pozharah/> (дата обращения: 17.02.2023).

3. Кишалов А.Е., Галимзянова Р.Р. Применение БПЛА в задачах подразделений МЧС. 2015. № 1 (13). С. 74–79.

4. Скуднева О.В. Обеспечение безопасности полётов в экстремальных условиях чрезвычайных ситуаций с помощью использования транспортных беспилотных летательных аппаратов // Инновации в современной науке: материалы Междунар. (заоч.) науч.-практ. конф. Прага, Чехия: Науч.-изд. центр «Мир науки» (ИП Вострецов Александр Ильич), 2017. С. 114–123.

5. Жирнова Н.А., Шарафутдинова Э.Ф. Использование беспилотных летательных аппаратов в деятельности службы поискового и аварийно-спасательного обеспечения полетов и МЧС Российской Федерации // OPEN INNOVATION: сб. статей VII Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. Г.Ю. Гуляев. Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. С. 44–46.
6. Войтенко О.В. Возможности применения технических средств для мониторинга состояния пожарной безопасности на территориях садоводческих или огороднических некоммерческих товариществ // Наукосфера. 2021. № 6-2. С. 52–56.
7. Войтенко О.В. Практические аспекты удаленного мониторинга состояния пожарной безопасности населенных пунктов и прилегающих территорий // Наукосфера. 2021. № 9-1. С. 130–133.
8. Войтенко О.В. Применение современных технологий при контроле состояния пожарной безопасности населенных пунктов // Анализ проблем внедрения результатов инновационных исследований и пути их решения: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. / отв. ред. Сукиасян А.А. Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2020. Ч. 2. С. 59–63.
9. Войтенко О.В., Юнцова О.С. Инновационные методы при осуществлении оценки выполнения и контроля соблюдения требований пожарной безопасности в населённых пунктах // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2020. № 2. С. 8–13.
10. Войтенко А.В., Войтенко О.В. Применение модульных технических комплексов для разведки, тушения пожаров и обследования территорий населенных пунктов, граничащих с лесами // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2019. № 1. С. 14–21.
11. Маркин В.В., Саленко С.Д. Предварительное определение летных характеристик беспилотного летательного аппарата // Наука. Промышленность. Оборона: труды XIX Всерос. науч.-техн. конф. / под ред. С.Д. Саленко. Новосибирск: Новосибирский гос. техн. ун-т, 2018. Т. I. С. 117–120.
12. Анисимов А.Н., Панов В.В., Широков С.В. Подход к формированию компоновочного решения для беспилотного летательного аппарата одноразового применения // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. Т. 15. № 6. С. 29–39.
13. Воднев С.А., Максимов А.В., Матвеев А.В. Модель комплексной оценки процесса технического обеспечения аварийно-спасательных средств подразделений МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2018. № 2 (46). С. 73–80.
14. Кожевин Д.Ф. Методика комплексной оценки эффективности огнетушителей: дис. ... канд. тех. наук. СПб., 2011. 167 с.
15. Филановский А.М. Методика комплексной оценки эффективности гидравлического аварийно-спасательного инструмента, применяемого при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на транспорте: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 125 с.
16. Бриджмен П. Анализ размерностей. Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001.
17. Seeking the Pareto front for multiobjective spatial optimization problems / В. Huang [et al.]. 2008. Vol. 22. № 5. P. 507–526. DOI: 10.1080/13658810701492365.
18. Kaliszewski I., Miroforidis J. Cooperative multiobjective optimization with bounds on objective functions. 2020. DOI: 10.1007/s10898-020-00946-4.
19. Полуниин Г.А., Кагарманова Р.М. Основные критерии и характеристики, необходимые для выбора БПЛА, стоящих на вооружении подразделений субъекта Российской Федерации // Наука ЮУрГУ: материалы 70-й Науч. конф. Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2018. С. 355–359.
20. Гранад ВА-1000. URL: <https://drone-catalog.ru/product/гранад-ва-1000/> (дата обращения: 17.02.2023).

21. DJI Phantom 3. URL: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/tehnika/aviacionnaya-tehnika/dji-phantom-3> (дата обращения: 17.02.2023).
22. ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Единицы величин. Доступ из справ.-правового портала «Гарант».
23. Pareto navigator for interactive nonlinear multiobjective optimization / P. Eskelinen [et al.]. 2010. Vol. 32. № 1. P. 211–227.
24. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 256 с.
25. Александрова В.М., Соболенко Л.А. Некоторые методы нахождения эффективных точек многокритериальной задачи оптимизации // Системные исследования и информационные технологии. 2014. № 4. С. 100–110.

References

1. Fazylova A.V., Elizar'ev A.N. Primenenie bespilotnyh letatel'nyh apparatov pri tushenii lesnyh pozharov // Studencheskiy nauchnyj forum: materialy XI Mezhdunar. stud. nauch. konf. URL: <https://scienceforum.ru/2019/article/2018013325> (data obrashcheniya: 17.02.2023).
2. Drony (kvadrokoptery): primeneniye na pozharah. URL: <https://fireman.club/statyi-polzovateley/drony-kvadrokoptery-primeneniye-na-pozharah/> (data obrashcheniya: 17.02.2023).
3. Kishalov A.E., Galimzyanova R.R. Primeneniye BPLA v zadachah podrazdelenij MCHS. 2015. № 1 (13). S. 74–79.
4. Skudneva O.V. Obespecheniye bezopasnosti polyotov v ekstremal'nyh usloviyah chrezvychnykh situacij s pomoshch'yu ispol'zovaniya transportnyh bespilotnyh letatel'nyh apparatov // Innovacii v sovremennoj nauke: materialy Mezhdunar. (zaoch.) nauch.-prakt. konf. Praga, Chexhiya: Nauch.-izd. centr «Mir nauki» (IP Vostrecov Aleksandr Il'ich), 2017. S. 114–123.
5. Zhirnova N.A., Sharafutdinova E.F. Ispol'zovaniye bespilotnyh letatel'nyh apparatov v deyatel'nosti sluzhby poiskovogo i avarijno-spatatel'nogo obespecheniya poletov i MCHS Rossijskoj Federacii // OPEN INNOVATION: sb. statej VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / otv. red. G.Yu. Gulyaev. Penza: MCNS «Nauka i Prosveshcheniye», 2018. S. 44–46.
6. Vojtenok O.V. Vozmozhnosti primeneniya tekhnicheskikh sredstv dlya monitoringa sostoyaniya pozharnoj bezopasnosti na territoriyah sadovodcheskikh ili ogorodnicheskikh nekommercheskikh tovarishchestv // Naukosfera. 2021. № 6-2. S. 52–56.
7. Vojtenok O.V. Prakticheskie aspekty udalennogo monitoringa sostoyaniya pozharnoj bezopasnosti naseleennykh punktov i prilgayushchih territorij // Naukosfera. 2021. № 9-1. S. 130–133.
8. Vojtenok O.V. Primeneniye sovremennykh tekhnologij pri kontrole sostoyaniya pozharnoj bezopasnosti naseleennykh punktov // Analiz problem vnedreniya rezul'tatov innovacionnykh issledovaniy i puti ih resheniya: sb. statej Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. / otv. red. Sukiasyan A.A. Ufa: OOO «OMEGA SAJNS», 2020. Ch. 2. S. 59–63.
9. Vojtenok O.V., Yuncova O.S. Innovacionnye metody pri osushchestvlenii ocenki vypolneniya i kontrolya soblyudeniya trebovaniy pozharnoj bezopasnosti v naselyonnykh punktah // Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti. 2020. № 2. S. 8–13.
10. Vojtenok A.V., Vojtenok O.V. Primeneniye modul'nykh tekhnicheskikh kompleksov dlya razvedki, tusheniya pozharov i obsledovaniya territorij naseleennykh punktov, granichashchih s lesami // Nadzornaya deyatel'nost' i sudebnaya ekspertiza v sisteme bezopasnosti. 2019. № 1. S. 14–21.
11. Markin V.V., Salenko S.D. Predvaritel'noe opredeleniye letnykh harakteristik bespilotnogo letatel'nogo apparata // Nauka. Promyshlennost'. Oborona: trudy XIX Vseros.

nauch.-tekhn. konf. / pod red. S.D. Salenko. Novosibirsk: Novosibirskij gos. tekhn. un-t, 2018. T. I. S. 117–120.

12. Anisimov A.N., Panov V.V., Shirokov S.V. Podhod k formirovaniyu komponovochного resheniya dlya bespilotnogo letatel'nogo apparata odnorazovogo primeneniya // Informacionno-izmeritel'nye i upravlyayushchie sistemy. 2017. T. 15. № 6. S. 29–39.

13. Vodnev S.A., Maksimov A.V., Matveev A.V. Model' kompleksnoj ocenki processa tekhnicheskogo obespecheniya avarijno-spasatel'nyh sredstv podrazdelenij MCHS Rossii // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2018. № 2 (46). S. 73–80

14. Kozhevnikov D.F. Metodika kompleksnoj ocenki effektivnosti ognjetushitelej: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2011. 167 s.

15. Filanovskij A.M. Metodika kompleksnoj ocenki effektivnosti gidravlicheskogo avarijno-spasatel'nogo instrumenta, primenyaemogo pri likvidacii posledstvij chrezvychajnyh situacij na transporte: dis. ... kand. tekhn. nauk. SPb., 2013. 125 s.

16. Bridzhmen P. Analiz razmernostej. Izhevsk: NIC «Regulyarnaya i haoticheskaya dinamika», 2001.

17. Seeking the Pareto front for multiobjective spatial optimization problems / B. Huang [et al.]. 2008. Vol. 22. № 5. P. 507–526. DOI: 10.1080/13658810701492365.

18. Kaliszewski I., Miroforidis J. Cooperative multiobjective optimization with bounds on objective functions. 2020. DOI: 10.1007/s10898-020-00946-4.

19. Polunin G.A., Kagarmanova R.M. Osnovnye kriterii i harakteristiki, neobhodimye dlya vybora BPLA, stoyashchih na vooruzhenii podrazdelenij sub"ekta Rossijskoj Federacii // Nauka YuUrGU: materialy 70-j Nauch. konf. Chelyabinsk: Izd. centr YuUrGU, 2018. S. 355–359.

20. Granad VA-1000. URL: <https://drone-catalog.ru/product/granad-va-1000/> (data obrashcheniya: 17.02.2023).

21. DJI Phantom 3. URL: <https://mchs.gov.ru/ministerstvo/o-ministerstve/tehnika/aviacionnaya-tehnika/dji-phantom-3> (data obrashcheniya: 17.02.2023).

22. GOST 8.417–2002. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij (GSI). Edinicy velichin. Dostup iz sprav.-pravovogo portala «Garant».

23. Pareto navigator for interactive nonlinear multiobjective optimization / P. Eskelinen [et al.]. 2010. Vol. 32. № 1. P. 211–227.

24. Podinovskij V.V., Nogin V.D. Pareto-optimal'nye resheniya mnogokriterial'nyh zadach. M.: Nauka. Glavnaya redakciya fiziko-matematicheskoy literatury, 1982. 256 s.

25. Aleksandrova V.M., Sobolenko L.A. Nekotorye metody nahozhdeniya effektivnyh toчек mnogokriterial'noj zadachi optimizacii // Sistemnye issledovaniya i informacionnye tekhnologii. 2014. № 4. S. 100–110.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 12.04.2023; одобрена после рецензирования: 05.05.2023;
принята к публикации: 15.05.2023

Information about the article:

The article was submitted to the editorial office: 12.04.2023; approved after review: 05.05.2023;
accepted for publication: 15.05.2023

Сведения об авторах:

Войтенко Олег Викторович, доцент кафедры специальной подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, доцент, e-mail: vogps@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5501-6232>

Бесков Максим Сергеевич, старший преподаватель кафедры специальной подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), e-mail: bmsmchs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6199-5687>

Елисеев Игорь Борисович, старший преподаватель кафедры специальной подготовки Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), кандидат технических наук, e-mail: eliseeff.gosha2014@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6199-5687>

Information about authors:

Voitenok Oleg V., associate professor of the special training department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: vogps@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5501-6232>

Beskov Maxim S., senior lecturer of the special training department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), e-mail: bmsmchs@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6199-5687>

Eliseev Igor B., senior lecturer of the special training department of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), candidate of technical sciences, e-mail: eliseeff.gosha2014@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6199-5687>