

УДК 614.8:004.942

DOI 10.48612/ntp/xmd7-ertb-f5gt

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДХОДОВ К ПРИМЕНЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ КООРДИНАЦИИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ, ЗАДЕЙСТВОВАННЫХ В ЛИКВИДАЦИИ ЧС**

**С. Ю. ЩУКАРЕВ, А. И. ЗАКИНЧАК**

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Российская Федерация, г. Иваново  
E-mail: shukarev@mail.ru, zakinchak@mail.ru,

Целью исследования является совершенствование подходов к применению беспилотных летательных аппаратов для координации деятельности подразделений, задействованных в ликвидации чрезвычайных ситуаций, а также разработка формализованной модели выбора оптимальных типов беспилотных летательных аппаратов для решения различных оперативных задач. В качестве методов исследования использованы системный анализ, структурно-функциональное моделирование, метод кластеризации механизмов координации, а также математическое моделирование в форме нормализованной взвешенной оценки эффективности и целочисленного линейного программирования для оптимального распределения беспилотных летательных аппаратов при ограниченных ресурсах. Анализ отечественных и зарубежных источников позволил оценить современные практики использования беспилотных летательных аппаратов и выделить ключевые функциональные направления их применения.

Основные результаты исследования включают разработанную классификацию механизмов координации действий спасательных подразделений с применением беспилотных летательных аппаратов, сопоставление их типов с задачами ликвидации ЧС, а также формирование математической модели выбора оптимального аппарата в зависимости от критериев миссии. В работе также предложена таблица типологизации беспилотных летательных аппаратов по ключевым параметрам и управленческим преимуществам, а также усовершенствованный алгоритм принятия решений, сопоставляющий потребности ликвидаторов ЧС с возможностями беспилотных летательных аппаратов. Научная значимость исследования заключается в формировании комплексного подхода к интеграции беспилотных летательных аппаратов в систему управления силами и средствами при ЧС, что позволяет повысить эффективность координации и сократить неопределённость в процессе принятия решений. Новизна работы состоит в объединении кластерного анализа функций координации, типологизации беспилотных летательных аппаратов и математической модели выбора в единый управленческий инструментарий, что ранее не применялось в отечественных исследованиях по тематике ликвидации ЧС.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, координация, чрезвычайные ситуации, спасательные подразделения, управление, технологии, алгоритм выбора.

## **IMPROVING APPROACHES TO THE USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLES TO COORDINATE THE ACTIVITIES OF UNITS INVOLVED IN EMERGENCY RESPONSE**

**S. Y. SHCHUKAREV, A. I. ZAKINCHAK**

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education  
«Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation  
for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters»,  
Russian Federation, Ivanovo  
E-mail: shukarev@mail.ru, zakinchak@mail.ru,

The aim of the study is to improve approaches to the use of unmanned aerial vehicles to coordinate the activities of units involved in emergency response, as well as to develop a formalized model for choosing the optimal types of unmanned aerial vehicles for solving various operational tasks. The research methods used are system analysis, structural and functional modeling, the clustering method of coordination mechanisms, as well as mathematical modeling in the form of a normalized weighted efficiency assessment and integer linear programming for optimal allocation of unmanned aerial vehicles with limited resources. The

analysis of domestic and foreign sources made it possible to evaluate modern practices of using unmanned aerial vehicles and identify key functional areas of their application. The main results of the study include the developed classification of mechanisms for coordinating the actions of rescue units using unmanned aerial vehicles, comparing their types with the tasks of emergency response, as well as the formation of a mathematical model for choosing the optimal device depending on the mission criteria. The paper also offers a table of typologization of unmanned aerial vehicles by key parameters and management advantages, as well as an improved decision-making algorithm that compares the needs of emergency responders with the capabilities of unmanned aerial vehicles. The scientific significance of the research lies in the formation of an integrated approach to the integration of unmanned aerial vehicles into the emergency management system, which makes it possible to increase coordination efficiency and reduce uncertainty in the decision-making process. The novelty of the work consists in combining cluster analysis of coordination functions, typologization of unmanned aerial vehicles and a mathematical model of choice into a single management toolkit, which has not previously been used in domestic research on emergency response.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, coordination, emergency situations, rescue units, management, technologies, selection algorithm.

### Введение

Современные чрезвычайные ситуации природного и техногенного характера характеризуются высокой динамичностью, пространственной распределённостью и значительным уровнем неопределённости, что существенно усложняет процесс управления силами и средствами. В этих условиях особую роль приобретают технические средства, обеспечивающие оперативное получение достоверной информации и поддержку принятия управленческих решений.

Беспилотные летательные аппараты в последние годы активно внедряются в практику ликвидации ЧС и используются для мониторинга обстановки, разведки, поиска пострадавших, обеспечения связи и доставки малых грузов. Однако, несмотря на расширение номенклатуры применяемых БПЛА и накопленный практический опыт, их использование в большинстве случаев носит фрагментарный характер и не опирается на формализованные модели выбора и распределения аппаратов в зависимости от задач, этапов и условий ликвидации ЧС.

Анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что существующие работы преимущественно сосредоточены на технических характеристиках БПЛА, отдельных сценариях их применения или описании частных кейсов. При этом недостаточно разработаны управленческие модели, интегрирующие БПЛА в систему координации действий подразделений с учётом ограниченности ресурсов, приоритетов задач и временных факторов.

В связи с этим возникает научная проблема разработки формализованного подхода к применению БПЛА как элемента системы управления ликвидацией ЧС, обеспечивающего повышение эффективности координации и

снижение неопределённости при принятии решений.

Одним из главных направлений является использование БПЛА для быстрого и точного мониторинга территорий, подвергшихся воздействию негативных факторов [1,2]. Например, в случае природных катастроф (наводнений, лесных пожаров, землетрясений) БПЛА могут выполнять роль воздушных разведчиков, которые позволяют в кратчайшие сроки оценить масштабы ущерба, выявить угрозы и составить план действий для спасателей. Кроме того, БПЛА активно применяются для поиска пострадавших в условиях, когда наземные силы и средства не могут быстро перемещаться по местности. Использование дополнительных технических средств, таких как инфракрасная камера, тепловизор, лидар позволяет обнаруживать людей в условиях плохой видимости (ночью или в задымленной зоне).

### Методы исследования

Исследование выполнено в рамках системного подхода и включает аналитический, классификационный и формализующий этапы. На первом этапе проведён анализ научных публикаций и практики применения БПЛА в условиях ЧС. На втором этапе выполнена кластеризация механизмов координации действий подразделений. На третьем этапе разработана математическая модель поддержки принятия управленческих решений.

Для выявления направлений и механизмов координации использованы методы системного и структурно-функционального анализа. Кластеризация механизмов координации выполнена по функциональному признаку (информационная, пространственно-временная, коммуникационная, тактическая и логистическая координация).

Для формализации процесса выбора БПЛА использована модель нормализованной взвешенной оценки. Пусть имеется набор типов БПЛА  $i = 1, \dots, n$ , для каждого из которых задан набор критериев  $j = 1, \dots, m$ .

Нормализация значений критериев осуществляется по формуле:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} \quad (1)$$

Итоговая оценка эффективности БПЛА определяется как:

$$E_i = \sum_{j=1}^m w_j \cdot r_{ij}, \quad (2)$$

где  $w_j$  – вес критерия, отражающий его приоритет в конкретной задаче.

Для задач формирования группы БПЛА при ресурсных ограничениях используется целочисленная линейная оптимизация:

$$\max \sum_{i=1}^n E_i \cdot x_i \text{ при } \sum_{i=1}^n c_i \cdot x_i \leq C, \quad (3)$$

где  $x_i$  – количество БПЛА типа  $i$ ,  $c_i$  – ресурсная стоимость,  $C$  – допустимый ресурс.

Исследование направлено на совершенствование подходов к применению беспилотных летательных аппаратов для координации действий подразделений, участвующих в ликвидации чрезвычайных ситуаций. Кроме того, предполагается разработка структурированной модели, состоящей из последовательных этапов, для выбора наиболее подходящих типов БПЛА в зависимости от конкретных оперативных задач. Высокая мобильность, независимость от состояния земной поверхности делает их незаменимым источником получения информации о месте и размерах ЧС, что активно используется управленческим звеном для координации действий подразделений, задействованных в ликвидации ЧС. Кроме того, БПЛА может выполнять функции ретранслятора для систем связи, и при необходимости, выполнять транспортные задачи – доставлять небольшие грузы (медикаменты, средства связи). При этом, присутствуют существенные ограничения, связанные с использованием БПЛА в спасательных операциях: продолжительность полета, влияние метеоусловий (ветер, высота нижней границы облаков, горизонтальная видимость), радиус действия (ограничен дальностью, прямой видимостью оператора БПЛА) [3]. В качестве дополнительных ограничений можно рассматривать необходимость обучения управлению БПЛА, а также

недостаточный уровень интеграции в спасательную инфраструктуру.

### Результаты

Чтобы БПЛА стали неотъемлемой частью работы спасательных подразделений, необходимо разработать единые стандарты и процедуры для их использования. Это поможет не только улучшить взаимодействие между различными подразделениями, но и снизить риски ошибок, связанных с недостаточной подготовленностью [4, 5]. Необходима разработка универсальных регламентов для координации использования БПЛА в условиях ЧС. Эти регламенты должны включать:

- единый регламент подготовки БПЛА для применения в различных ЧС, с учетом специфики ситуации (например, в лесных пожарах или в зоне наводнений);

- единые требования к подготовке операторов дронов: они должны быть обучены в соответствии с четкими стандартами безопасности и оперативного взаимодействия с другими службами;

- единые протоколы обмена информацией между операторами БПЛА и руководителями спасательных групп для обеспечения координации действий.

Кроме того, существует потребность в адаптации современных технологий, таких как использование алгоритмов искусственного интеллекта для анализа данных с БПЛА и автоматического принятия решений. Это может существенно повысить скорость реагирования и уменьшить нагрузку на оперативных сотрудников.

БПЛА могут быть оснащены системами искусственного интеллекта для:

- автоматической оценки масштабов разрушений: например, для определения степени повреждения инфраструктуры в результате землетрясений или ураганов;

- прогноза развития ситуации, влияющей на принятие решения или корректировку ранее принятого: например, для оценки угрозы расширения зоны лесного пожара или подтоплений.

Для успешной координации действий спасателей в условиях ЧС БПЛА могут быть использованы для создания единой ситуационной картины, которая будет включать данные о масштабах ЧС, оценке угроз, местоположении сил, наличии ресурсов и т.д. Это возможно реализовать только при создании комплексной программной платформы для сбора и обработки данных, поступающих от различных источников (БПЛА, спутники, наземные датчики и т.д.).

Платформа должна:

– обеспечивать визуализацию данных в реальном времени (близком к реальному), чтобы руководители различного уровня могли оперативно принимать решения на основе актуальной информации;

– интегрировать данные с других источников (например, метеорологические данные или данные о трафике) для получения более точной картины ситуации.

В условиях ЧС основными направлениями координации деятельности подразделений с помощью БПЛА являются следующие:

1. Пространственно-временная координация. В это направление можно включить такие задачи как проведение непрерывной аэровизуальной разведки, синхронизация перемещения подразделений, обновление оперативной обстановки в реальном времени, корректировка маршрутов групп и направления поисковых работ, а также контроль времени реакции подразделений.

2. Координация действий через ситуационную осведомленность. Это позволяет создать единое информационное пространство, провести интеграцию данных с разных сенсоров, детализировать зоны рисков и преград, очаги пожара, обеспечить точное позицио-

нирование спасателей на местности и фактическое расположение техники.

3. Коммуникационно-управленческая координация. Передача команд и указаний подразделениям в зонах, где связь нарушена, синхронизация межведомственных действий до формального начала совместной работы.

4. Координация данных в рамках анализа и прогнозирования. Автоматизация классификации зон приоритетов, моделирование развития обстановки, связанной с возможным распространением пожара, затоплением, обрушением (уточнение и проверка прогноза).

5. Тактическая координация на местности. Сопровождение подразделений спасателей по труднодоступной местности, определение безопасного маршрута, обеспечение видимости в трудных условиях.

6. Поддержка логистической координации. Обеспечение доставки малых грузов, сопровождение колонн с техникой, контроль работы инженерной техники.

Анализ направлений координации между различными подразделениями и функциями, обеспечиваемыми БПЛА позволил оценить использование БПЛА в зависимости от этапа и задач ликвидации ЧС (табл. 1).

**Таблица 1. Классификация механизмов координации действий подразделений спасателей с использованием БПЛА**

Механизм координации	Описание	Результат/Цель
Непрерывная аэровизуальная разведка	Обеспечивает бесперебойное обновление информации о происходящих событиях в реальном времени через видеокамеры, термальные сенсоры и лидары.	Позволяет спасателям адаптировать маршруты и действия в зависимости от изменения обстановки.
Обновление оперативной обстановки	БПЛА регулярно отправляют данные о текущем положении дел на командные пункты.	Быстрое реагирование на изменения ситуации и оперативные решения на всех уровнях.
Контроль времени реакции подразделений	Фиксация времени выхода, прибытия и выполнения задач подразделениями.	Уменьшение задержек в выполнении задач, повышение оперативности взаимодействия.
Создание единой карты бедствия	Генерация карты с отображением всех угроз (пожары, завалы, затопления), созданной на основе данных с БПЛА.	Обеспечение единого информационного поля для всех участников ликвидации ЧС.
Детализация зон риска	Использование БПЛА для точного анализа зон риска (пожары, загрязнения, разрушения).	Повышение точности принятия решений и планирования действий спасателей.
Обеспечение точного позиционирования спасателей	БПЛА в реальном времени отслеживают местоположение спасательных групп, техники и пострадавших.	Минимизация потерь времени на поисковые работы, повышение эффективности эвакуации.
Формирование воздушного ретранслятора связи	Использование БПЛА как мобильных ретрансляторов для обеспечения связи в зонах с поврежденной инфраструктурой.	Устранение прерываний в коммуникациях между подразделениями, эффективная передача команд.
Передача команд и указаний подразделениям	БПЛА доставляют команды и уточняющие данные оперативного характера непосредственно к подразделениям.	Обеспечение быстрого и точного исполнения приказов в реальном времени.
Координация межведомственных действий	Интеграция данных из различных служб для синхронизации действий: МЧС, МВД, пожарные, скорые.	Слаженная работа различных ведомств, повышение эффективности совместных операций.

Механизм координации	Описание	Результат/Цель
Автоматическая классификация зон приоритетов	Анализ данных с БПЛА для выделения зон, требующих срочной эвакуации или вмешательства.	Быстрое реагирование на наиболее критичные участки для спасения жизни и предотвращения дальнейших угроз.
Моделирование развития обстановки	Прогнозирование динамики ситуации с использованием данных с БПЛА (например, распространение пожара или затопления).	Ожидаемый прогноз позволяет заранее готовить соответствующие силы и средства для реагирования.
Поддержка принятия управленческих решений	Интеллектуальная обработка данных для предоставления управленцам рекомендаций по оптимальному выбору действий.	Повышение точности стратегических и тактических решений.
Наведение спасателей на цели	БПЛА помогает точно и безопасно направлять спасательные группы в труднодоступные или опасные места.	Уменьшение времени поиска и повышение безопасности спасателей.
Определение безопасных подходов	Обеспечение разведки для нахождения оптимальных и безопасных маршрутов для спасателей.	Уменьшение риска для спасателей, минимизация временных затрат на перемещения.
Обеспечение видимости в трудных условиях	Использование термальных и ночных сенсоров БПЛА для навигации в условиях низкой видимости (дым, темнота).	Успешное выполнение задач спасения в ночное время и при ограниченной видимости.
Поиск и идентификация пострадавших	Сканирование местности для выявления людей в зоне ЧС с последующей передачей их координат спасателям.	Повышение эффективности поисковых операций и ускорение спасения пострадавших.
Разработка маршрутов эвакуации	Выбор и планирование оптимальных маршрутов для эвакуации с учётом всех препятствий на пути.	Обеспечение безопасности эвакуации и минимизация времени перемещения людей.
Мониторинг колонн эвакуации	Постоянное отслеживание передвижения эвакуационных колонн для предотвращения пробок или задержек.	Координация движения, повышение скорости эвакуации и безопасность участников.
Обеспечение доставки малых грузов	Доставка медикаментов, инструментов и других необходимых ресурсов в труднодоступные районы с помощью БПЛА.	Ускорение поставок ресурсов в зону ЧС, улучшение логистики.
Оптимизация размещения ресурсов	Выбор мест для размещения спасательной техники и ресурсов на основе данных с БПЛА.	Обеспечение эффективного использования ограниченных ресурсов.
Контроль работы инженерной техники	Мониторинг работы техники, задействованной в расчистке завалов и восстановлении инфраструктуры.	Повышение эффективности работы техники и предотвращение сбоев в процессе ликвидации ЧС.
Оповещение о вторичных угрозах	С помощью БПЛА оперативно обнаруживаются новые угрозы (например, повторные обрушения или новые очаги пожара).	Уменьшение риска для спасателей, обеспечение своевременных мер безопасности.
Контроль состояния опасных объектов	Постоянное наблюдение за потенциально опасными объектами (например, резервуарами с химическими веществами, плотинами).	Предотвращение дальнейших разрушений или катастроф.
Создание безопасных коридоров движения	Выбор и обозначение безопасных маршрутов для спасательных подразделений, учитывая угрозы на местности.	Уменьшение времени, необходимого для безопасного перемещения спасателей и техники.
Планирование зон поиска	Разделение территорий на секторы для выполнения поисковых операций.	Повышение эффективности поиска пострадавших, сокращение времени реагирования.
Автоматизированное выявление следов жизнедеятельности	Использование алгоритмов искусственного интеллекта для автоматического обнаружения признаков жизни (например, движение, температура).	Повышение точности и скорости поиска живых людей в зоне ЧС.
Поддержка ночных и круглосуточных операций	Возможности ночного наблюдения и мониторинга с помощью БПЛА с термальными камерами.	Успешное выполнение поисково-спасательных операций в ночное время, при дыме или в условиях низкой видимости.

Структурирование и анализ процессов управления силами и средствами в чрезвычайных ситуациях с применением БПЛА позволяет оценить, какие аспекты процесса управления требуют внимания. Кроме того, можно оценить

какой потенциал несет применение оптимального вида беспилотного летательного аппарата. Разделение по блокам позволяет точнее выделить приоритетные зоны для улучшения координации. Например, если проблемы

возникают в обеспечении безопасности спасателей, это будет видно по блоку, связанному с контролем вторичных угроз и безопасных коридоров, и можно будет предложить решения с использованием БПЛА для этого сегмента.

Анализ публикаций [5, 6, 7, 8, 9], описывающих практику применения БПЛА в процессе

выполнения задач в условиях ЧС, позволил сопоставить отдельные задачи с типом БПЛА, целесообразным для применения, а также выявить управленческие преимущества этого выбора (табл. 2).

Таблица 2. Типологизация БПЛА в зависимости от выполняемых задач

Задача	Оптимальные типы БПЛА	Ключевые характеристики БПЛА	Управленческие преимущества применения
Первичная разведка и оценка обстановки	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Квадрокоптеры</li> <li>• VTOL (вертикальный взлёт/посадка)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Быстрая подготовка к вылету (1–3 мин)</li> <li>• Высокая манёвренность</li> <li>• Возможность зависания</li> <li>• Наличие тепловизоров и широкоугольных камер</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Молниеносное получение данных для решения о вводе сил и средств</li> <li>• Снижение неопределённости для руководителя ликвидации ЧС</li> </ul>
Детализированное картографирование зоны ЧС	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Крылатые (самолетного типа) БПЛА</li> <li>• Долгосрочные наблюдательные платформы</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Большая дальность (20–120 км)</li> <li>• Длительность полёта 2–8 ч</li> <li>• Высокоточное фотограмметрическое оборудование</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Получение точных карт для построения маршрутов спасателей</li> <li>• Возможность прогнозирования динамики опасных факторов</li> </ul>
Мониторинг развития ситуации (динамика огня, воды, газа)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Мультикоптеры среднего класса</li> <li>• Гибриды (VTOL + крыло)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Среднее время полёта (40–90 мин)</li> <li>• Тепловизионные и мультимодальные датчики</li> <li>• Возможность циклических облётов</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обеспечение непрерывной ситуационной осведомлённости штаба</li> <li>• Повышение точности прогноза поведения опасных факторов</li> </ul>
Координация групп на земле	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Квадрокоптеры с прямой передачей данных</li> <li>• Малогабаритные тактические БПЛА</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Низкая высота работы (10–50 м)</li> <li>• Высокая манёвренность</li> <li>• Передача видеопотока в режиме реального времени</li> <li>• Возможность сброса радиомаяков</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Возможность визуального ведения спасательных групп</li> <li>• Соединение разрозненных подразделений в единую информационную сеть</li> </ul>
Поиск людей	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Мультикоптеры с ИК-камерой</li> <li>• Нанодроны для обследования помещений</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Инфракрасная и ультрафиолетовая съёмка</li> <li>• Полёты в труднодоступных местах</li> <li>• Миниатюрные размеры (нанодронов)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ускорение поиска пострадавших</li> <li>• Снижение риска для спасателей при обследовании опасных конструкций</li> </ul>
Доставка оборудования и медикаментов	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Средние и тяжёлые мультикоптеры</li> <li>• Грузовые БПЛА</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Грузоподъёмность 3–50 кг</li> <li>• Автономная навигация</li> <li>• Стабильность при ветре</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Быстрая доставка средств первой необходимости</li> <li>• Компенсация недоступности маршрутов наземного транспорта</li> </ul>
Связь и ретрансляция	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высотные мультикоптеры</li> <li>• БПЛА-аэростаты</li> <li>• Длительного зависания</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Способность находиться в воздухе 3–10 ч</li> <li>• Радиоретрансляторы и mesh-модули</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Создание временной сети связи на месте ЧС</li> <li>• Обеспечение устойчивой связи между подразделениями</li> </ul>
Оценка вторичного ущерба и финальный контроль	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Квадрокоптеры</li> <li>• Крылатые БПЛА с HD-съёмкой</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокое разрешение камер</li> <li>• Повторяемость маршрутов (для сравнения снимков)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Документирование эффективности ликвидации ЧС</li> <li>• Аналитика для управленческих решений и отчётности</li> </ul>

Для эффективного выбора БПЛА для решения определенной задачи, зачастую необходимо принимать решения в условиях ограниченности времени и материальных ресурсов. Нами предлагается математический алгоритм, который может быть реализован в виде

программного модуля для поддержки принятия решений в любой среде программирования. Отдельные элементы выбора можно формализовать в виде уже известных характеристик БПЛА, которые имеются на вооружении в

подразделениях, задействованных в зоне ЧС, а другие вводятся специалистами самостоятельно.

Математический алгоритм выбора БПЛА, адаптирован под управленческую задачу оптимального принятия решений при распределении сил и средств в ЧС. Обозначения и критерии модели:

Пусть имеется набор типов/моделей БПЛА  $i \in I = \{1, \dots, n\}$ . Для каждого  $i$  задаются  $m$  критериев  $j \in J = \{1, \dots, m\}$ .

Нами предлагаются следующие критерии (список может быть расширен, при необходимости):

$c_{i1}$  – дальность / продолжительность полёта (выносливость);

$c_{i2}$  – полезная нагрузка (грузоподъёмность);

$c_{i3}$  – качество сенсоров (камера, лидар);

$c_{i4}$  – время развёртывания / готовности;

$$\tilde{c}_{ij} = \begin{cases} \frac{c_{ij} - \min_k c_{kj}}{\max_k c_{kj} - \min_k c_{kj}}, & \text{если } j - \text{«чем больше, тем лучше» (преимущества)} \\ \frac{\max_k c_{kj} - c_{ij}}{\max_k c_{kj} - \min_k c_{kj}}, & \text{если } j - \text{«чем меньше, тем лучше» (стоимость, затраты)} \end{cases} \quad (4)$$

Кроме того, в ситуации, когда  $\max = \min$ , положим  $\tilde{c}_{ij} = 1$  для всех  $i$ .

Итоговая оценка для одного типа БПЛА определяется как взвешенная сумма (количественный показатель):

$$S_i = \sum_{j=1}^m w_j \tilde{c}_{ij}, S_i \in [0,1]. \quad (5)$$

Интерпретация: чем больше  $S_i$ , тем лучше модель  $i$  удовлетворяет требованиям к задаче.

$$\begin{aligned} \max_{x_i} U &= \sum_{i \in I} S_i \cdot x_i \\ \sum_{i \in I} cost_i \cdot x_i &\leq B (\text{бюджет/ресурс}) \\ x_i &\in \mathbb{Z}_{\geq 0} \text{ (или } x_i \in \{0,1\}) \\ &\text{и дополнительные ограничения:} \\ \sum_{i \in I} x_i &\geq N_{\min} \text{ (минимально требуемое число БПЛА)} \\ x_i &\leq avail_i \text{ (ограничение наличия, при необходимости)} \end{aligned} \quad (6)$$

Фактически, решается задача целочисленного линейного программирования; на выходе будет сформирован состав группы БПЛА, максимизирующий суммарную эффективность.

Если существует отдельное требование к временным параметрам и развёртыванию

$c_{i5}$  – устойчивость к погоде;

$c_{i6}$  – стоимость единицы (запасные элементы, ремонт);

$c_{i7}$  – требуемая квалификация оператора / доступность.

Руководитель ликвидации ЧС задаёт веса приоритетов  $w_j \geq 0, \sum_{j=1}^m w_j = 1$ . Вес отражает приоритет одного параметра над другим (например, в ночном поиске приоритет показателей качества сенсоров и устойчивости к погоде выше).

Кроме того, при наработке большого объема статистических данных, можно воспользоваться сценарным подходом, когда для аналогичной задачи и условий, которые ранее встречались будет предложен аналогичный набор приоритетов.

Критерии нормализуются в интервал  $[0,1]$ . Для критерия  $j$  определяем:

Если задача выполнима для одной единицы БПЛА, тогда выбором будет БПЛА с максимальным значением.

Если необходимо собрать комплекс из нескольких БПЛА, тогда необходимо дополнить условия рядом параметров и ограничений. Пусть  $x_i \in \mathbb{Z}_{\geq 0}$  – число единиц типа  $i$  в задаче (или  $x_i \in \{0,1\}$  при выборе только одного),  $cost_i$  – полная стоимость единицы (или «операционный ресурс» – время, человеко-час и т.п.), и бюджета/ресурса  $B$ . Целевая задача – максимизировать суммарную «полезность» нескольких БПЛА при ресурсном ограничении:

БПЛА добавим параметр  $t_i$  – время развёртывания (в минутах). Тогда полезность можно скорректировать с учётом срочности – ввести фактор времени срочности  $\alpha \in [0,1]$  (чем ближе к 1 – тем более важна скорость):

$$S'_i = (1 - \alpha)S_i + \alpha \left(1 - \frac{t_i - \min_k t_k}{\max_k t_k - \min_k t_k}\right). \quad (7)$$

Альтернативно – вводится штраф в целевой функции:  $U = \sum_i (S_i - \beta \hat{t}_i) x_i$ , где  $\hat{t}_i$  – нормализованное время,  $\beta$  – коэффициент чувствительности.

Кроме того, с учетом особенностей и разнообразия БПЛА возможно учесть совместимость и интероперабельность. Задаём бинарную матрицу совместимости  $M_{ij} = 1$ , если тип  $i$  совместим с системой/платформой/ПЦ, иначе 0. Тогда вводим ограничения:

$$x_i \leq M_i^{\text{sys}} \cdot \text{avail}_i, \quad (8)$$

Таким образом, алгоритм выбора БПЛА будет состоять из следующих шагов:

1. Определить критерии  $j$ , релевантные задаче (высокая скорость/ночной поиск/доставка грузов и т.п.).

2. Задать веса  $w_j$  (с помощью экспертов штаба ликвидации ЧС, ситуационной модели или простым ранжированием).

3. Собрать параметры  $c_{ij}$  для доступных моделей  $i$  (время полёта, груз, стоимость, время готовности, и т.д.).

4. Нормализовать значения по формуле (1).

5. Вычислить  $S_i$  (или скорректированные  $S'_i$  с учётом времени/интероперабельности).

6. Задать ограничения (бюджет  $B$ , минимальное/максимальное число аппаратов  $N_{\min}, N_{\max}$ , доступность).

7. Найти максимальное значение  $\sum S_i x_i$  при требуемых ограничениях.

К основным преимуществам предлагаемой модели можно отнести прозрачность и адаптивность. Предполагается, что модель может быть адаптирована к существующим алгоритмам принятия решений, например стать дополнением системы определения потребности в БПЛА в рамках ликвидации крупномасштабных ландшафтных пожаров [10]. Модель предоставляет чёткие и количественно обоснованные решения для выбора БПЛА, что важно для принятия управленческих решений в условиях ЧС. Модель гибко адаптируется под разные задачи и сценарии ЧС, позволяя учитывать различные критерии и изменяющиеся условия.

### Обсуждение

Полученные в ходе исследования результаты развивают и дополняют существующие научные представления о применении беспилотных летательных аппаратов в процессе

ликвидации чрезвычайных ситуаций, смещая акцент с преимущественно технического и описательного анализа к формализованному управленческому подходу.

Использование предлагаемой модели в практической деятельности аварийно-спасательных подразделений целесообразно в виде программного продукта с доступом к базе данных о предыдущих операциях. Это позволит использовать опыт установки критериев значимости отдельных характеристик БПЛА для выполнения определенных задач. Кроме того, проведение работ по заранее известному алгоритму позволит спланировать применение разных типов БПЛА в разные моменты времени.

Отдельного внимания заслуживает вопрос терминологической неоднородности, связанной с использованием понятий «беспилотный летательный аппарат», «беспилотное воздушное судно» и «беспилотная авиационная система». В научных публикациях и нормативных документах данные термины нередко используются как синонимы, что приводит к методологической неопределённости при анализе и сопоставлении результатов исследований. Так, в ряде работ акцент делается преимущественно на техническом устройстве летательного аппарата (БПЛА), тогда как в других исследованиях рассматривается более широкий контур, включающий наземные станции управления, каналы связи, программное обеспечение и операторов, что соответствует понятию беспилотной авиационной системы (БАС) [1, 2].

С управленческой точки зрения подобное различие является принципиальным, поскольку эффективность координации действий подразделений при ликвидации ЧС определяется не только характеристиками самого летательного аппарата, но и возможностями всей системы в целом – устойчивостью каналов связи, интеграцией с информационными платформами, уровнем автоматизации обработки данных и подготовленностью персонала. В ряде исследований, посвящённых применению БПЛА в условиях ЧС, данные аспекты рассматриваются фрагментарно либо остаются за пределами анализа [3, 8], что ограничивает практическую применимость полученных выводов.

В рамках настоящего исследования термин «беспилотный летательный аппарат» используется для обозначения конкретного технического средства, выполняющего полёт без пилота на борту, тогда как понятие «беспилотная авиационная система» применяется при рассмотрении задач координации и управления, предполагающих взаимодействие БПЛА с операторами, средствами связи и системами поддержки принятия решений. Такое разграничение терминов позволяет повысить точность

научного анализа и более корректно интерпретировать результаты моделирования при решении управленческих задач ликвидации чрезвычайных ситуаций.

Применение подобного подхода позволит оптимизировать ресурсы, но при этом требует рассмотрения ключевых процессов, в которых применяются БПЛА, и технологий, которые обеспечивают их работу.

Текущие алгоритмы мониторинга с использованием БПЛА в ЧС обычно включают стандартные процедуры съемки в реальном времени и передачу данных в центр управления. На основе полученных изображений или видео проводится первичная оценка ситуации (например, повреждения инфраструктуры, зоны наводнений, распространение огня при лесных пожарах). В рамках этого процесса БПЛА выполняют предварительную разведку, передавая видеоизображения или фото в реальном времени. Оператор анализирует полученные данные, принимает решение о следующем шаге. В настоящее время применяется базовая обработка данных (например, фокусировка на горячих точках для пожаров с использованием термальных камер). Она сильно зависит от анализа, который проводит человек. При этом оператор должен вручную анализировать большие объемы данных, что занимает много времени. Кроме того, обычные БПЛА, как правило, имеют ограниченный радиус действия, что требует частых возвращений для подзарядки. В этой связи критические параметры математической модели будут связаны с длительностью полета и точностью сенсоров.

Новые алгоритмы и технологии могут существенно улучшить эффективность применения БПЛА в ЧС. Одним из наиболее перспективных направлений является внедрение алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта (ИИ) для автоматизации обработки данных, получаемых с БПЛА. Алгоритм автоматического анализа изображений и видео может автоматически выделять объекты интереса, такие как поврежденные здания, пострадавших людей или очаги возгорания. Системы на базе ИИ могут анализировать визуальные данные быстрее и точнее, чем человек. Вместо того чтобы полагаться только на термальные камеры, можно использовать ИИ для анализа движения объектов и формирования вероятностных моделей для более точного поиска людей в условиях ЧС. Это приведет к снижению нагрузки на оператора, так как алгоритмы ИИ могут автоматически фильтровать и анализировать данные, ускоряя процесс принятия решений. Помимо этого, ИИ будет более точным в различении объектов, таких как человек, животное или объект, что особенно важно в ситуации

с поиском людей. Это позволит сместить акцент в выборе приоритетных показателей работы БПЛА на другие характеристики.

### Заключение

Полученные в ходе исследования результаты развивают и дополняют существующие научные представления о применении беспилотных летательных аппаратов в процессе ликвидации чрезвычайных ситуаций, смещая акцент с преимущественно технического и описательного анализа к формализованному управленческому подходу.

Предложенный в настоящей работе подход ориентирован на системное использование БПЛА для обеспечения различных механизмов координации – пространственно-временной, информационной, коммуникационной, тактической и логистической. Разработанная классификация механизмов координации позволяет связать конкретные функции БПЛА с управленческими задачами и этапами ликвидации ЧС, что создаёт основу для более осознанного и обоснованного использования данных технических средств.

Особого внимания заслуживает предложенная математическая модель выбора БПЛА. В работах, посвящённых формированию групп беспилотных летательных аппаратов [4], основное внимание уделяется вопросам надёжности и технической совместимости, тогда как управленческий аспект выбора БПЛА в зависимости от задач и приоритетов практически не формализуется. В представленной модели данный недостаток частично устранён за счёт использования нормализованной взвешенной оценки и целочисленного линейного программирования, что позволяет учитывать как качественные, так и количественные критерии эффективности.

Следует отметить, что практическая применимость предложенной модели во многом зависит от корректности задания весовых коэффициентов критериев. Данный аспект предполагает участие экспертов штаба ликвидации ЧС либо использование накопленных статистических данных о предыдущих операциях. Аналогичные ограничения отмечаются и в исследованиях, посвящённых системам поддержки принятия решений в условиях ЧС [10], что указывает на общую методологическую проблему формализации управленческих решений в условиях неопределённости.

Перспективным направлением развития предложенного подхода является интеграция алгоритмов машинного обучения и искусственного интеллекта, что соответствует современным тенденциям развития систем дистанционного мониторинга и анализа данных [9]. Использование ИИ может позволить

автоматизировать формирование приоритетов критериев, повысить точность прогнозирования развития обстановки и снизить нагрузку на лиц, принимающих решения.

В целом, результаты исследования подтверждают целесообразность перехода от эпизодического применения БПЛА к их системной интеграции в контур управления ликвидацией

чрезвычайных ситуаций. Предложенный подход может рассматриваться как методологическая основа для разработки программных модулей поддержки принятия решений и формирования единых регламентов применения БПЛА в деятельности аварийно-спасательных подразделений.

### Список литературы

1. Соколов А. П., Ермолаев В. Е., Худайназаров Ю. К. Назначение, цели, задачи и область применения комплексов малоразмерных беспилотных летательных аппаратов, их классификация // Телекоммуникации и связь. 2025. № 1(4). С. 34–43. DOI 10.21681/3034-4050-2025-1-34-43.

2. Костин А. С. Классификация гражданских беспилотных летательных аппаратов и сферы их применения // Системный анализ и логистика. 2019. № 1(19). С. 70–80.

3. Гетманцев А. Ю. Классификация показателей эффективности контроля безопасности испытаний и эксплуатации беспилотных воздушных судов (беспилотных летательных аппаратов) // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 1 (65). С. 94–104.

4. Росс Г. В., Гатауллин Т. М., Гатауллин С. Т. Алгоритм повышения надежности при формировании групп беспилотных летательных аппаратов // Анализ, Моделирование, Управление, Развитие социально-экономических систем (АМУР-2025): сборник научных трудов XIX Международной школы-симпозиума АМУР-2025. Симферополь: Индивидуальный предприниматель Корниенко Андрей Анатольевич. С. 331–334.

5. Синюков М. Ф., Воронцов С. В. Исследование современных подходов к международному гуманитарному реагированию на чрезвычайные ситуации в сфере экстремального туризма // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2025. № 3 (38). С. 91–110. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.88.45.009.

6. Мальцева Е. И., Романова Е. Ф. Беспилотные летательные аппараты: преимущества и недостатки // Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития: сборник XIII Международной научно-практической конференции. Омск: Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина, 2025. С. 108–111.

7. Инновационные технологии для медицинского обеспечения пострадавших в нештатных и аварийных ситуациях в условиях Арктики / А. В. Поляков, Е. А. Ильин, В. М. Усов [и др.] // Авиакосмическая и экологическая

медицина. 2020. Т. 54, № 2. С. 5–21. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-2-5-21.

8. Место и роль беспилотной авиации при ликвидации чрезвычайных ситуаций: опыт зарубежных стран / С. П. Мосов, С. М. Салий, Т. Д. Чубина [и др.] // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. 2021. № 2 (117). С. 136–151. DOI: 10.52167/1609-1817-2021-117-2-136-151.

9. Технологии дистанционного мониторинга крупных пожаров с использованием беспилотных авиационных систем / А. В. Кузнецов, Н. Г. Топольский, М. О. Баканов [и др.]. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020. 124 с.

10. Model of cyclical monitoring and managing of large-scale fires and emergencies for evaluation of the required number of unmanned aircraft systems / D. V. Tarakanov, V. Prajova, M. O. Bakanov [et al.]. MM Science Journal, 2020, vol. 2020, No. October, pp. 4040–4044. DOI: 10.17973/MMSJ.2020\_10\_2020059.

### References

1. Sokolov A. P., Ermolaev V. E., Khudaynazarov Yu. K. Naznachenie, tseli, zadachi i oblast primeneniya kompleksov malorazmernykh bespilotnykh letatelnykh apparatov, ikh klassifikatsiya [Purpose, goals, objectives and scope of application of small-sized unmanned aerial vehicle complexes, their classification]. *Telekommunikatsii i svyaz'*, 2025, vol. 1 (4), pp. 34–43. DOI: 10.21681/3034-4050-2025-1-34-43

2. Kostin A. S. Klassifikatsiya grazhdanskikh bespilotnykh letatel'nykh apparatov i sfery ikh primeneniya [Classification of civil unmanned aerial vehicles and their areas of application]. *Sistemnyy analiz i logistika*, 2019, vol. 1 (19), pp. 70–80.

3. Getmantsev A. Yu. Klassifikatsiya pokazateley effektivnosti kontrolya bezopasnosti ispytaniy i ekspluatatsii bespilotnykh vozdushnykh sudov (bespilotnykh letatel'nykh apparatov) [Classification of indicators of effectiveness of safety control of tests and operation of unmanned aerial vehicles (unmanned aerial vehicles)]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2023, vol. 1 (65), pp. 94–104.

4. Ross G. V., Gataullin T. M., Gataullin S. T. Algoritm povysheniya nadezhnosti pri formirovaniy grupp bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Algorithm for increasing reliability when forming groups of unmanned aerial vehicles]. *Analiz, Modelirovaniye, Upravleniye, Razvitiye sotsial'no-ekonomicheskikh sistem (AMUR-2025)*. Simferopol': Individual'Individual'nyy predprinimatel' Kornienko Andrey Anatol'evich, 2025, pp. 331–334.

5. Sinyukov M. F., Vorontsov S. V. Issledovanie sovremennykh podkhodov k mezhdunarodnomu gumanitarnomu reagirovaniyu na chrezvychaynye situatsii v sfere ekstremalnogo turizma [A study of modern approaches to international humanitarian response to emergency situations in the field of extreme tourism]. *Sibirskiy pozharno-spatel'nyy vestnik*, 2025, vol. 3 (38), pp. 91–110. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2025.88.45.009

6. Maltseva E. I., Romanova E. F. Bespilotnye letatelnye apparaty: preimushchestva i nedostatki [Unmanned aerial vehicles: advantages and disadvantages]. Nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie APK, sostoyanie i perspektivy razvitiya. Omsk: Omskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. P. A. Stolypina, 2025, pp. 108–111.

7. Innovatsionnye tekhnologii dlya meditsinskogo obespecheniya postradavshikh v neshtatnykh i aviarynykh situatsiyakh v usloviyakh

Arktiki [Innovative technologies for medical care of victims in emergency and accident situations in the Arctic] / A. V. Polyakov, E. A. Ilin, V. M. Usov [et al.]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*, 2020, vol. 54, issue 2, pp. 5–21. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-2-5-21

8. Mesto i rol bespilotnoy aviatsii pri likvidatsii chrezvychaynykh situatsiy: opyt zarubezhnykh stran [The place and role of unmanned aviation in emergency response: experience of foreign countries] / S. P. Mosov, S. M. Saliy, T. D. Chubina, [et al.]. *Vestnik Kazakhskoy akademii transporta i kommunikatsiy im. M. Tynyshpaeva*, 2021, vol. 2 (117), pp. 136–151. DOI: 10.52167/1609-1817-2021-117-2-136-151

9. *Texnologii distancionnogo monitoringa krupnykh pozharov s ispolzovaniem bespilotnykh aviacionnykh sistem* [Technologies for remote monitoring of large fires using unmanned aircraft systems] A. V. Kuzneczov, N. G. Topolskiy, M. O. Bakanov [et al.]. Ivanovo: Ivanovskaya pozharno-spatel'naya akademiya GPS MChS Rossii, 2020, 124 p.

10. Model of cyclical monitoring and managing of large-scale fires and emergencies for evaluation of the required number of unmanned aircraft systems / D. V. Tarakanov, V. Prajova, M. O. Bakanov [et al.]. *MM Science Journal*, 2020, vol. 2020, No. October, pp. 4040–4044. DOI: 10.17973/MMSJ.2020\_10\_2020059.

*Щукарев Сергей Юрьевич*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, г. Иваново  
кандидат исторических наук, доцент, заведующий кафедрой основ экономики функционирования РСЧС  
E-mail: shukarev@mail.ru

*Shchukarev Sergey Yurievich*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters», Russian Federation, Ivanovo  
candidate of historical sciences, associate professor, head of the Department of Fundamentals of Economics of the Functioning of the Russian Emergencies Ministry  
E-mail: shukarev@mail.ru

*Закинчак Андрей Игоревич*

Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Российская Федерация, г. Иваново  
кандидат экономических наук, доцент кафедры основ экономики функционирования РСЧС  
E-mail: zakinchak@mail.ru

*Zakinchak Andrey Igorevich*

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters», Russian Federation, Ivanovo  
candidate of economics sciences, associate professor of the Department of Fundamentals of Economics of the Functioning of the Russian Emergencies Ministry  
E-mail: zakinchak@mail.ru