

Алгоритм поддержки принятия управленческих решений по применению БПЛА для поиска пострадавших при авиакатастрофах

*Ирина Олеговна Мамонтова*¹
*Игорь Леонидович Скрипник*²
*Дмитрий Вячеславович Савельев*³
*Татьяна Тимофеевна Каверзнева*⁴

¹ГУП «Петербургский метрополитен», Санкт-Петербург, Россия,

²Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия,
<https://orcid.org/0000-0001-6319-5413>

³Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия,
<https://orcid.org/0000-0001-7912-8864>

⁴Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия,
<https://orcid.org/0000-0002-7423-4892>

Автор ответственный за переписку: Ирина Олеговна Мамонтова, i.o.mamontova@gmail.com

Аннотация. Анализ существующих работ и публикаций в области применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) показал, что в большинстве своем они посвящены решению различных задач как в мирное время, так и в условиях специальной военной операции, однако существует возможность их успешного применения для проведения поисковых работ (ПР) при авиакатастрофах.

В работе исследованы особенности выработки управленческих решений (УР) в условиях неопределенности и риска; проведен анализ опыта зарубежных спасательных служб проведения ПР при авиакатастрофах; дана краткая сравнительная характеристика типов БПЛА и выбраны наиболее подходящие из них. Разработана математическая формула по определению оптимальной скорости БПЛА на основе основных положений теории поиска, в частности, с постоянной интенсивностью. Осуществлена разработка блок – схемы алгоритма поддержки принятия УР по применению БПЛА для поиска пострадавших при авиакатастрофах.

В рамках дальнейших исследований планируется разработка моделей и специального программного обеспечения для применения БПЛА при поиске пострадавших при авиакатастрофах.

Ключевые слова: алгоритм, поддержка принятия решений, управление, поиск пострадавших, БПЛА, авиакатастрофы.

Для цитирования: Мамонтова И. О., Скрипник И. Л., Савельев Д.В., Каверзнева Т.Т. Алгоритм поддержки принятия управленческих решений по применению БПЛА для поиска пострадавших при авиакатастрофах // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2024. № 1 (32). С. 68-79. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.13.53.008>

Original article

Algorithm for supporting management decision-making on the use of UAVs to search for victims of plane crashes

*Irina O. Mamontova*¹
*Igor L. Scripnik*²

Dmitry V. Saveliev³
Tatyana T. Kaverzneva⁴

¹State Unitary Enterprise "Petersburg Metro", Saint-Petersburg, Russia

²Saint - Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia,
<https://orcid.org/0000-0001-6319-5413>

³Saint - Petersburg University of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia,
<https://orcid.org/0000-0001-7912-8864>

⁴Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-7423-4892>

Corresponding author: Irina O. Mamontova, i.o.mamontova@gmail.com

Abstract. An analysis of existing works and publications in the field of the use of unmanned aerial vehicles (UAVs) showed that most of them are devoted to solving various problems both in peacetime and in conditions of a special military operation, however, there is the possibility of their successful use for conducting search operations (PR) in plane crashes.

The work examines the features of developing management decisions (MD) under conditions of uncertainty and risk; an analysis of the experience of foreign rescue services in carrying out emergency response in case of plane crashes was carried out; A brief comparative description of UAV types is given and the most suitable ones are selected. A mathematical formula has been developed to determine the optimal speed of a UAV based on the basic principles of search theory, in particular search with constant intensity. The development of a block diagram of an algorithm to support the adoption of SD for the use of UAVs to search for victims of plane crashes.

As part of further research, it is planned to develop models and special software for using UAVs when searching for victims of plane crashes.

Keywords: algorithm, decision support, control, search for victims, UAVs, plane crashes.

For citation: Mamontova I. O., Scripnik I.L., Saveliev D. V., Kaverzneva T.T. Algorithm for supporting management decision-making on the use of UAVs to search for victims of plane crashes // Siberian Fire and Rescue Bulletin.2023;4(31):P.68-79. <https://doi.org/10.34987/vestnik.sibpsa.2024.13.53.008>

Введение

Обеспечение безопасности жизнедеятельности является одной из основных задач Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), которая представляет собой сложную организационную систему, функционирующую на 5 уровнях.

С развитием научно-технического прогресса (НТП) увеличился объём пассажирского и грузового оборота, с применением авиатранспорта, что позволяет значительно экономить время. Однако увеличился и объём авиа происшествий, что недопустимо.

От своевременности обнаружения пострадавших напрямую зависит количество спасённых жизней, поэтому после авиакатастроф в первые сутки необходимо направить все силы и средства (СиС) на проведение спасательных работ и поиск пострадавших. На практике, чаще всего крушение воздушного транспорта происходит в труднодоступных районах, так как пилоты стараются посадить судно вдали от населённых пунктов, чтобы минимизировать количество нанесённого социального и материального ущерба. Поэтому необходимо разработать и реализовать комплекс мероприятий, направленных на повышение оперативности поиска пострадавших при авиакатастрофах, в связи, с чем тема статьи является актуальной.

Задача поиска пострадавших и воздушных судов при авиакатастрофах, как одна из составных частей обеспечения безопасности населения, является особенно актуальной в связи со сложившейся геополитической обстановкой в мире. Научная новизна этой задачи связана с появлением недорогих и эффективных средств обнаружения пострадавших при авиакатастрофах – БПЛА. Задача оптимального применения таких средств требует разработки новых моделей и алгоритмов.

Целью настоящей статьи является разработка алгоритма поддержки принятия УР по применению БПЛА для поиска пострадавших при авиакатастрофах. Для решения поставленной цели необходимо решить ряд задач, а именно:

- провести анализ существующих публикаций и статистических данных в данной предметной области;
- исследовать особенности управления СиС органов РСЧС при проведении ПР при авиакатастрофах;
- провести анализ опыта зарубежных спасательных служб проведения ПР при авиакатастрофах;
- выявить особенности применения БПЛА для проведения ПР;
- осуществить разработку алгоритма поддержки принятия УР по применению БПЛА для поиска пострадавших при авиакатастрофах.

Анализ существующих работ и публикаций, проводимых в данном направлении показал, что применение БПЛА актуально в различных сферах. В статье [1] рассмотрена задача принятия УР по определению количества необходимых БПЛА для мониторинга и обнаружения террористически опасных морских объектов. Работа [2] посвящена методу локализации пострадавших при помощи обнаружения их носимыми GSM-устройствами при проведении спасательных работ в очаге чрезвычайных ситуаций (ЧС). Так же в данной предметной области существуют перспективы применения искусственного интеллекта, причем как на этапе прогнозирования [3], так и реагирования на ЧС [4]. Отдельное внимание уделяется обучению моделей нейронных сетей для распознавания образов пострадавших [5, 6]. Разработаны и специальные программы, предназначенные для определения необходимого количества БПЛА при совершении мониторинга крупных пожаров и проведении поиска пострадавших в природной среде по заданным траекториям [7].

Практически во всех силовых министерствах и ведомствах Российской Федерации так же, как и в МЧС России происходит активное внедрение беспилотных систем, для решения различных задач [8, 9].

Зарубежные исследования направлены на применение БПЛА для проведения поисково – спасательных операций [10, 11], поиска пострадавших в труднодоступных районах [12, 13] и снижения техногенных рисков от ЧС [14]. В работе [15] с использованием имитационной модели изучается потенциальное использование БПЛА для поиска и определения местонахождения пострадавших в горных условиях. На текущий момент отсутствуют модели и алгоритмы поддержки принятия УР по применению БПЛА для поиска пострадавших при авиакатастрофах, поэтому материалы статьи являются исключительно актуальными.

Статистический анализ показал, что за 2022 год в России зарегистрировано 3 авиакатастрофы с гражданскими самолетами и 12 с военными (не боевые происшествия). 6 июля 2021 года в Камчатском крае авиалайнер Ан-26Б-100 Камчатского авиапредприятия выполнял плановый рейс РТК251 по маршруту Петропавловск-Камчатский—Палана, но при заходе на посадку в пункте назначения столкнулся с сопкой (Рис. 1) [16]. Поскольку воздушный транспорт является самым быстрым на текущий момент, поэтому снижение в пассажирообороте не прогнозируется.



Рис. 1. Место крушения авиалайнера Ан-26Б-100

Материалы и методы исследования

Управление СиС РСЧС осуществляет старший оперативный дежурный Центра управления в кризисных ситуациях (ЦУКС), который является лицом принимающим решения (ЛПР). На текущий момент, с развитием НТП многократно увеличился ассортимент БПЛА, причём различных типов. Применение которых, может значительно повысить эффективность принимаемых УР, поскольку у ЛПР увеличится объем информации и снизится степень неопределённости, при формировании УР. Качество принимаемых УР зависит от достаточности и достоверности имеющейся информации о происшествии. Поскольку проведённый анализ показал, что решение зачастую принимается в условиях риска и неопределённости, то для их снижения предлагается использовать БПЛА с целью оперативного обследования местности и получения необходимой информации [17]. Но для их использования необходимо определить скорость БПЛА, что является сложной задачей и требует учета множества факторов. Для этого предлагается алгоритм, разработка которого осуществлена на основных положениях теории поиска, в частности поиска с постоянной интенсивностью.

Пусть в районе площадью S равновероятно в любой его точке находится неподвижный объект. Спасатель, в процессе поиска объекта, движется по району хаотически, то есть он может обследовать районы, уже обследованные им ранее. Следовательно, если воздушное судно не обнаружит пострадавшего к моменту времени t , вероятность обнаружения его к моменту t_1 , более позднему чем t , не зависит от того, производился поиск до момента t , или нет.

Данное условие называется условием отсутствия последствия. Как будет показано ниже, отказ от учета последствия ведет к значительному снижению сложности моделей поиска. Поэтому, несмотря на то, что для реальных процессов поиска отсутствие последствия не является характерным, это условие достаточно часто встречается в практике моделирования.

Пусть приведенная дальность обнаружения пострадавших спасателем, двигающимся с поисковой скоростью V_r , равна D_r (Рис. 2) [18]. Тогда за время dt спасатель обследует район площадью dS , равной $2 \cdot D_r \cdot V_r \cdot dt$. Это означает, что за время dt будет обследована $\frac{2 \cdot D_r \cdot V_r \cdot dt}{S}$ часть района поиска. Следовательно, если в районе есть пострадавшие, то вероятность их обнаружения за время dt (элементарная вероятность) вычисляется по формуле:

$$\gamma(t) \cdot dt = \frac{2 \cdot D_r \cdot V_r \cdot dt}{S} \quad (1)$$

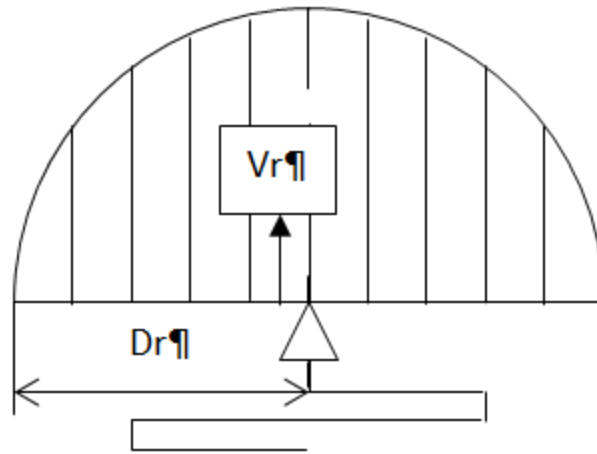


Рис. 2. Поиск с постоянной интенсивностью.

Иногда, вместо приведенной дальности, предпочтительнее, оказывается, использовать дальность обнаружения пострадавших с заданной вероятностью (P_k). В этом случае элементарная вероятность вычисляется по формуле:

$$\gamma(t) \cdot dt = \frac{2 \cdot D_r \cdot V_r \cdot P_k \cdot dt}{s}, \quad (2)$$

где D_r есть дальность обнаружения цели с заданной вероятностью.

Если район поиска не имеет точных границ, вместо площади района в данной формуле используют плотность равномерного распределения пострадавших в районе v . Тогда данную формулу записывают следующим образом:

$$\gamma(t) \cdot dt = 2 \cdot D_r \cdot V_r \cdot P_k \cdot v \cdot dt \quad (3)$$

Анализ трех последних формул показывает, что интенсивность обнаружения пострадавших в моделях поиска, использующих условие отсутствия последствия, является постоянной величиной. В связи с этим обозначим данную интенсивность γ .

Все, приведенные выше, формулы выведены в предположении, что поиском занимается один БПЛА. Если поиск осуществляет n БПЛА в строю фронта, то ширина полосы поиска оказывается равной не $2 \cdot D_r$, а $2 \cdot n \cdot D_r$.

Для поиска с постоянной интенсивностью формулы вероятности обнаружения цели (4) и математического ожидания времени поиска (5) имеют вид [1]:

$$P(t) = 1 - e^{-\gamma t} \quad (4)$$

$$T_{\text{обн}} = \int_0^{\infty} e^{-\gamma t} \cdot dt = \frac{1}{\gamma}. \quad (5)$$

Для поиска с постоянной интенсивностью интеграл всегда сходится. Это означает, что данный вид поиска заканчивается обнаружением пострадавших за конечное время. Объединив формулы 4 и 5 получим:

$$P(t) = 1 - e^{-\frac{t}{T_{\text{обн}}}}. \quad (6)$$

Выше был рассмотрен поиск с постоянной интенсивностью неподвижного объекта. Бывают случаи, что пострадавшие после крушения начинают движение со скоростью V_0 , то формулы для вычисления вероятности их обнаружения и математического ожидания длительности поиска будут теми же. Единственное отличие заключается в том, что в этих формулах вместо скорости спасателя V_r

необходимо использовать математическое ожидание величины относительной скорости пострадавших, вычисляемое по формуле:

$$V_p = \frac{2 \cdot (V_0 + V_r) \cdot E(k)}{\pi} \quad (7)$$

где: $E(k)$ – эллиптический интеграл второго рода, $k = 2 \cdot \frac{\sqrt{V_r \cdot V_0}}{V_r + V_0}$.

На практике для вычисления относительной скорости часто используют приближенную формулу:

$$V_p \approx \frac{V_r^2 + V_0^2}{V_r + V_0} + 0.3 \cdot \sqrt{V_r \cdot V_0} \quad (8)$$

Дополнительным преимуществом применения БПЛА является их доступность и относительная дешевизна, по сравнению с другими способами обследования местности (к примеру, с самолёта) [19, 20]. Кроме того, БПЛА можно дополнительно оснастить необходимым поисковым оборудованием, которое ускорит процесс поиска пострадавших. Пример обследования территории с использованием БПЛА изображен на Рис. 3 [21].

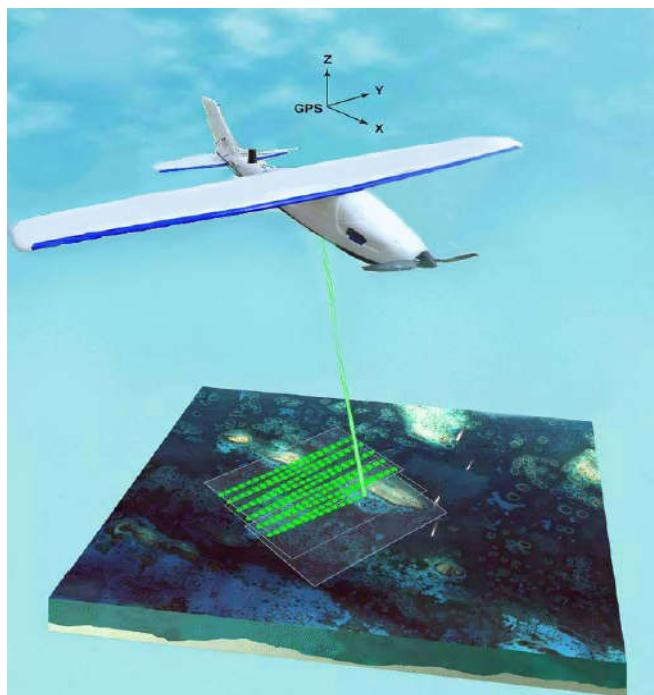


Рис. 3. Пример обследования территории с использованием БПЛА

На текущий момент Международная ассоциация по беспилотным системам выделяет 4 типа БПЛА, каждый из которых обладает определенными преимуществами и недостатками при поиске пострадавших. Сравнительная характеристика типов БПЛА отображена в Таблице.

Таблица. Сравнительная характеристика различных типов БПЛА

Тип БПЛА \ Параметр	Малые	Тактические	Стратегические	Специального назначения
Масса, кг.	< 5	5 – 500	≤ 1500	> 1500
Дальность полета, км.	≤ 25	≤ 100	≤ 500	≥ 500
Высота полета, км.	< 3	≤ 8	≤ 12	> 12
Продолжительность полета, ч.	≤ 1	1 – 24	24 – 48	> 48

Из таблицы следует, что наиболее подходящими для поиска пострадавших при авиакатастрофах являются малые и тактические БПЛА, поскольку они обладают удобными для транспортировки характеристиками и могут без труда быть транспортированы в труднодоступные районы поиска [22, 23]. Возможно так же применение стратегических БПЛА, однако для их применения должен сложиться ряд обстоятельств и это должно быть экономически целесообразно.

Результаты исследования и их обсуждение

Осуществим пошаговое описание алгоритма.

Шаг 1. Начало.

Шаг 2. Анализ сложившейся обстановки. От качества и всесторонности проведённого анализа предметной области, напрямую зависит эффективность последующих принимаемых решений.

Шаг 3. Привлечение и наращивание СиС. Данный этап является одним из ключевых, поскольку от правильности привлекаемых СиС, а также их достаточности зависит количество спасенных жизней. Следует отметить, что для привлечения и доставки некоторых образцов техники может понадобиться более суток, поэтому при выборе СиС следует учитывать время прибытия и целесообразность их привлечения.

Шаг 4. Сбор и анализ информации с места авиакрушения. После того, как к месту происшествия прибыли первые подразделения, появляется достоверная информация, непосредственно из эпицентра событий. Поэтому важно в кратчайшие сроки её передать в вышестоящий орган управления для анализа и корректировки принимаемых решений.

Шаг 5. Прогноз рисков. На данном этапе осуществляется прогнозирование возникновения рисков, но для этого необходимо иметь информацию о природе возникновения факторов, влияющих на величину риска. Следует отметить, что выполнение шагов 5 – 7 осуществляется одновременно с шагами 8 – 10.

Шаг 6. Оценка рисков. После выполнения шага 5, необходимо оценить возможное влияние рисков на жизнь и здоровье людей. Если величина риска превышает допустимое значение, то необходимо принимать активные меры по её снижению.

Шаг 7. Контроль рисков. После оценки рисков необходимо осуществлять наблюдение за их величиной, поскольку могут сложиться неблагоприятные условия для проведения ПР и величина риска из приемлемой увеличится до критической. Необходимо осуществлять постоянный мониторинг за величиной риска.

Шаг 8. Выбор типа БПЛА. Для получения дополнительной информации и оптимизации процесса проведения ПР предлагается использовать БПЛА различных типов. Однако выбор конкретного аппарата будет зависеть от сложившейся обстановки, в которых он будет применяться и условия его наличия в спасательных подразделениях, принимающих участие в проведении спасательной операции.

Шаг 9. Расчёт скорости и применение БПЛА. После выбора типа БПЛА рассчитывается его оптимальная скорость и осуществляется непосредственное проведение ПР (поиск пострадавших). Так же осуществляется сбор необходимой для дальнейшего принятия грамотных УР информации.

Шаг 10. Анализ информации, полученной с БПЛА. После того, как БПЛА осуществил полёт необходимо провести анализ полученной информации.

Шаг 11. Полученная информация информативна? В случае если полученной информации недостаточно или она не информативна, то необходимо вернуться к шагу 8 и выбрать иной тип БПЛА, обладающий другими тактико – техническими характеристиками и продолжить пошаговое выполнение алгоритма.

Шаг 12. Отсутствует угроза жизни и здоровью людей? В случае, если отсутствует угроза жизни и здоровью людей, значит, все пострадавшие найдены и отсутствует дальнейшая необходимость в проведении ПР. В случае, если существует угроза жизни и здоровью людей, то осуществляется переход к шагу 3.

Шаг 13. Ликвидация последствий авиакрушения. После того, как найдены все пострадавшие имеющиеся силы необходимо направить на ликвидацию последствий авиакрушения.

Шаг 14. Конец.

Графически Блок – схема алгоритма поддержки принятия УР по применению БПЛА для поиска пострадавших при авиакатастрофах представлена на Рис. 4.

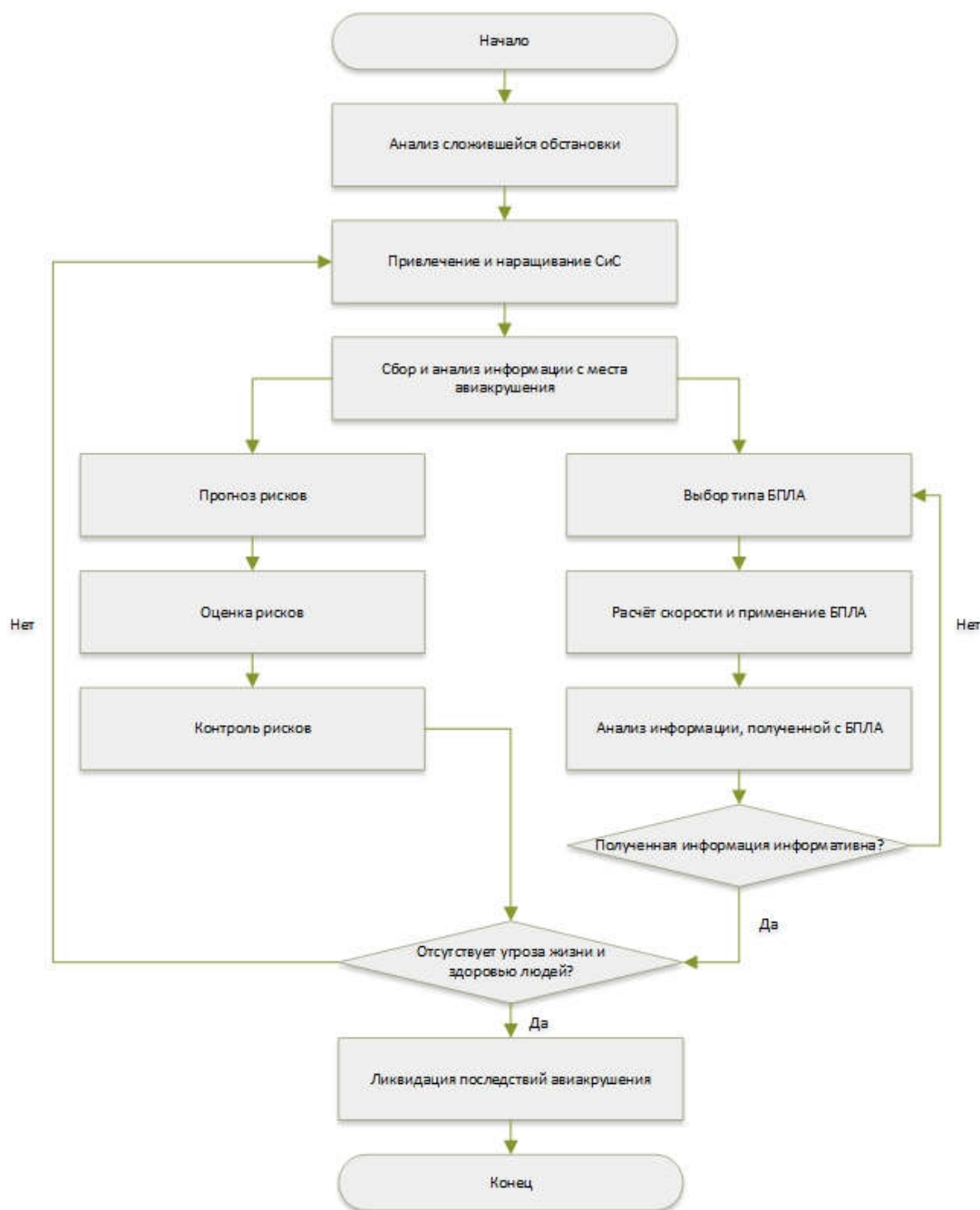


Рис. 4. Блок – схема алгоритма поддержки принятия УР по применению БПЛА для поиска пострадавших при авиакатастрофах

Таким образом, разработанный алгоритм позволяет проводить поддержку принятия УР по применению БПЛА для поиска пострадавших при авиакатастрофах.

Заключение

Описанный в статье алгоритм может быть использован специалистами ЦУКС, при решении задач, стоящих перед МЧС России. Реализация данного алгоритма в виде программного комплекса позволит автоматизировать процесс прогнозирования, оценки и контроля рисков, а также сократить временные и когнитивные затраты ДЛ на принятие УР. Описанная математическая формула определения скорости БПЛА, позволит применять их с высокой степенью эффективности и повысить

вероятность обнаружения пострадавших при авиакрушении, и, следовательно, спасти большее количество жизней.

В рамках дальнейших исследований планируется разработка моделей и специального программного обеспечения для применения БПЛА при поиске пострадавших при авиакатастрофах. Отдельным направлением является использование роя БПЛА для решения тех же задач, позволяющего быстрее получить необходимую информацию о происшествии и спасти большее количество жизней [24, 25].

Список источников

1. Куватов В. И., Кубенин Н. А., Таранцев А. А., Колеров Д. А. Модель поддержки принятия управленческих решений по обоснованию количества БПЛА для обнаружения террористически опасных морских объектов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2023. Т. 12, № 3(63). С. 66-71.
2. Думин Д. И., Динь Ч. З., Фам В. Д., Киричек Р. В. Применение установленных на БПЛА систем обнаружения GSM-устройств для поиска пострадавших в результате ЧС // Информационные технологии и телекоммуникации. 2018. Т. 6, № 2. С. 62-69.
3. Матвеев А. В., Колеров Д.А. Перспективы применения искусственного интеллекта при реагировании на ЧС // Сервис безопасности в России: опыт, проблемы, перспективы: Материалы международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург. 2021. С. 726-730.
4. Куватов В. И., Горбунов А. А., Колеров Д. А. Метод интеллектуальной поддержки управленческих решений с помощью ассоциативных связей при прогнозировании чрезвычайных ситуаций // Научно-аналитический журнал "Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России". 2022. № 2. С. 116-124.
5. Савкин А. В., Антонов К. А., Рябинкин М. С. Алгоритмы комплексной навигационной системы беспилотного летательного аппарата с применением системы технического зрения // Молодёжь и будущее авиации и космонавтики: Сборник аннотаций конкурсных работ XV Всероссийского межотраслевого молодёжного конкурса научно-технических работ и проектов в области авиационной и ракетно-космической техники и технологий. 2023. С. 78-79.
6. Шутов К. С. Искусственный интеллект и беспилотные системы: современный тренд и практическое применение // Актуальные тренды в науке и образовании. 2024. С. 33-36.
7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021619887 Российская Федерация. Программное обеспечение для информационно-аналитической системы управления беспилотными авиационными системами при мониторинге крупных пожаров и проведении поисково-спасательных работ: № 2021619127: заявл. 07.06.2021 : опубл. 18.06.2021 / А. В. Кузнецов, Н. Г. Топольский
8. Кубасов И. А., Сушков В. И. О концептуальном подходе к развитию и применению беспилотных авиационных систем специального назначения // Вестник Воронежского института ФСИН России. 2023. № 4. С. 86-95.
9. Кирюшин И. И. Актуальные вопросы практического применения беспилотных авиационных систем в МВД России // Вестник учебного отдела Барнаульского юридического института МВД России. 2023. № 39. С. 36-39.
10. Ashour R., Aldhaheri S., Abu-Kheil Y. Applications of UAVs in Search and Rescue // Unmanned Aerial Vehicles Applications: Challenges and Trends. Cham: Springer International Publishing. 2023. С. 169-200.
11. Lyu M. et al. Unmanned Aerial Vehicles for Search and Rescue: A Survey // Remote Sensing. 2023. Т. 15. №. 13. С. 3266.
12. Bravo R. Z. B., Leiras A., Cyrino Oliveira F. L. The use of UAV s in humanitarian relief: An application of POMDP based methodology for finding victims // Production and Operations Management. 2019. Т. 28. №. 2. С. 421-440.
13. Półka M., Ptak S., Kuziora Ł. The use of UAV's for search and rescue operations // Procedia engineering. 2017. Т. 192. С. 748-752.

14. Lawson C. T., Rajan K. S. Unmanned Aircraft Systems (UAS): Applications and Integration into Hazard Mitigation Planning // *Journal of Homeland Security and Emergency Management*. 2023. №. 0.
15. Karaca Y. et al. The potential use of unmanned aircraft systems (drones) in mountain search and rescue operations // *The American journal of emergency medicine*. 2018. Т. 36. №. 4. С. 583-588
16. Катастрофа Ан-26 в Палане (2021) // Википедия. [2023]. Дата обновления: 06.09.2023. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=8894763&oldid=132781472> (дата обращения: 28.02.2024)
17. Бардулин Е.Н., Скрипник И.Л., Воронин С.В. Вопросы принятия управленческих решений в случае неопределенности и риска // *Региональные аспекты управления, экономики и права Северо-Западного федерального округа России: межвузовский сборник научных трудов*. СПб. Выпуск 3 (44), 2018. С. 18-25.
18. Куватов В.И., Балобанов А.А., Колеров Д.А. Исследование операций: учебное пособие. СПб.: С.-Петербург. ун-т ГПС МЧС России, 2024. 236 с.
19. Федудин А. М., Дрягин Д. М. Перспективы применения крупноразмерных БПЛА при решении задач комплексного обследования территорий // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2021. № 1(218). С. 271-281. DOI 10.18522/2311-3103-2021-1-271-281.
20. Скрипник И.Л. Выявление аварий на магистральных газопроводах с помощью беспилотных летательных аппаратов на объектах нефтегазовой отрасли // *Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей одиннадцатой международной научной конференции*. 2020. С. 241-243.
21. Шарафутдинов А. А., Имамутдинов С. А., Мухаметьянова А. Н. Применение беспилотных летательных аппаратов для дистанционного мониторинга окружающей среды // *Электронный научный журнал Нефтегазовое дело*. 2018. № 2. С. 99-116.
22. Martynov V.L., Shcherbakova I.O., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T.. Automated System for Monitoring the Navigation Equipment State as a Means of Information Support. *Engineering-III-2021. AIP Conference Proceedings*. 2402, 050048-1–050048-6; <https://doi.org/10.1063/5.0074852>
23. Белькова, А. С. Обзор областей применения малых БПЛА самолетного типа / А. С. Белькова // *Научно-исследовательский центр "Technical Innovations"*. 2021. № 8. С. 317-320.
24. Кудрявченко В. И., Якубов К. С., Паламарчук Д. В. Особенности применения искусственного интеллекта для организации роя малоразмерных БПЛА // *Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций*. 2020. № 3. С. 173.
25. Ивашко Г. В., Дедус Ф. Ф. О применении беспилотных авиационных систем в ходе поисково-спасательных работ // *Наука, инновации и технологии: от идей к внедрению: Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых*. 2023. С. 131-133.

References

1. Kuvatov V. I., Kubenin N. A., Tarantsev A. A., Kolerov D. A. Model for supporting management decision-making to justify the number of UAVs for detecting terrorist-dangerous marine objects // *XXI century: results of the past and problems of the present plus*. 2023. Т. 12, issue 3(63). pp. 66-71.
2. Dumin D.I., Dinh C.Z., Pham V.D., Kirichek R.V. Application of GSM device detection systems installed on UAVs to search for victims of emergencies // *Information technologies and telecommunications*. 2018. Т. 6, issue 2. pp. 62-69.
3. Matveev A.V., Kolerov D.A. Prospects for the use of artificial intelligence in emergency response // *Security service in Russia: experience, problems, prospects: Proceedings of the international scientific and practical conference*, St. Petersburg, 2021. pp. 726-730.
4. Kuvatov V. I., Gorbunov A. A., Kolerov D. A. Method of intellectual support of management decisions using associative connections in forecasting emergency situations // *Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia"*. 2022. issue 2. pp. 116-124.
5. Savkin A.V., Antonov K.A., Ryabinkin M.S. Algorithms for a complex navigation system of an unmanned aerial vehicle using a technical vision system // *Youth and the future of aviation and astronautics:*

Collection of abstracts of competitive works of the XV All-Russian intersectoral youth scientific competition - technical work and projects in the field of aviation, rocket and space technology and technology. 2023. pp. 78-79.

6. Shutov K. S. Artificial intelligence and unmanned systems: modern trend and practical application // Current trends in science and education. 2024. pp. 33-36.

7. Certificate of state registration of a computer program No. 2021619887 Russian Federation. Software for an information and analytical control system for unmanned aerial systems when monitoring large fires and conducting search and rescue operations: No. 2021619127: application. 06/07/2021: publ. 06.18.2021 / A. V. Kuznetsov, N. G. Topolsky

8. Kubasov I. A., Sushkov V. I. On the conceptual approach to the development and application of unmanned aircraft systems for special purposes // Bulletin of the Voronezh Institute of the Federal Penitentiary Service of Russia. 2023. issue 4. pp. 86-95.

9. Kiryushin I. I. Current issues of practical application of unmanned aerial systems in the Ministry of Internal Affairs of Russia // Bulletin of the educational department of the Barnaul Law Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia. 2023. issue 39. pp. 36-39.

10. Ashour R., Aldhaheri S., Abu-Kheil Y. Applications of UAVs in Search and Rescue // Unmanned Aerial Vehicles Applications: Challenges and Trends. Cham: Springer International Publishing. 2023. C. 169-200.

11. Lyu M. et al. Unmanned Aerial Vehicles for Search and Rescue: A Survey // Remote Sensing. 2023. T. 15. №. 13. C. 3266.

12. Bravo R. Z. B., Leiras A., Cyrino Oliveira F. L. The use of UAV s in humanitarian relief: An application of POMDP based methodology for finding victims // Production and Operations Management. 2019. T. 28. issue 2. pp. 421-440.

13. Pólka M., Ptak S., Kuziora Ł. The use of UAV's for search and rescue operations // Procedia engineering. 2017. T. 192. pp. 748-752.

14. Lawson C. T., Rajan K. S. Unmanned Aircraft Systems (UAS): Applications and Integration into Hazard Mitigation Planning // Journal of Homeland Security and Emergency Management. 2023. №. 0.

15. Karaca Y. et al. The potential use of unmanned aircraft systems (drones) in mountain search and rescue operations // The American journal of emergency medicine. 2018. T. 36. №. 4. C. 583-588

16. An-26 crash in Palana (2021) // Wikipedia. [2023]. Update date: 09/06/2023. URL: <https://ru.wikipedia.org/?curid=8894763&oldid=132781472> (access date: 02/28/2024)

17. Bardulin E.N., Skripnik I.L., Voronin S.V. Issues of making management decisions in case of uncertainty and risk // Regional aspects of management, economics and law of the North-Western Federal District of Russia: interuniversity collection of scientific papers. St. Petersburg. issue 3 (44), 2018. pp. 18-25.

18. Kuvatov V.I., Balobanov A.A., Kolerov D.A. Operations Research: A Textbook. SPb.: St. Petersburg. State Fire Department EMERCOM of Russia. 2024. 236 p.

19. Fedulin A. M., Dryagin D. M. Prospects for the use of large-sized UAVs in solving problems of comprehensive survey of territories // Izvestia SFU. Technical science. 2021. issue. 1(218). pp. 271-281. DOI 10.18522/2311-3103-2021-1-271-281.

20. Skripnik I.L. Detection of accidents on main gas pipelines using unmanned aerial vehicles at oil and gas industry facilities // Priority directions of innovative activity in industry: collection of scientific articles of the eleventh international scientific conference. 2020. pp. 241-243.

21. Sharafutdinov A. A., Imamutdinov S. A., Mukhametyanova A. N. Application of unmanned aerial vehicles for remote monitoring of the environment // Electronic scientific journal Oil and Gas Business. 2018. issue 2. P. 99-116.

22. Martynov V.L., Shcherbakova I.O., Skripnik I.L., Ksenofontov Yu.G., Kaverzneva T.T. Automated System for Monitoring the Navigation Equipment State as a Means of Information Support. Engineering-III-2021. AIP Conference Proceedings. 2402, 050048-1–050048-6; <https://doi.org/10.1063/5.0074852>

23. Belkova, A. S. Review of areas of application of small aircraft-type UAVs / A. S. Belkova // Scientific Research Center "Technical Innovations". 2021. No. 8. P. 317-320.

24. Kudryavchenko V.I., Yakubov K.S., Palamarchuk D.V. Features of the use of artificial intelligence for organizing a swarm of small-sized UAVs // Modern problems of radio electronics and telecommunications. 2020. No. 3. P. 173.

25. Ivashko G.V., Dedus F.F. On the use of unmanned aerial systems during search and rescue operations // Science, innovation and technology: from ideas to implementation: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists. 2023. pp. 131-133.

Информация об авторах

И.Л. Скрипник - кандидат технических наук, доцент

Т.Т. Каверзнева - кандидат технических наук, доцент

Д.В. Савельев - кандидат военных наук, доцент

Information about the author

I.L. Scripnik - Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor

T.T. Kaverzneva - Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor

D.V. Saveliev - Ph.D. of Military Sciences, Associate Professor

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

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

Статья поступила в редакцию 04.02.2024; одобрена после рецензирования 15.02.2024; принята к публикации 20.03.2024.

The article was submitted 04.02.2024, approved after reviewing 15.02.2024, accepted for publication 20.03.2024.