

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ
INFORMATION TECHNOLOGY AND TELECOMMUNICATIONS

УДК 007.52

DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-1-140-151

Оригинальная статья /Original Paper

**Алгоритм мониторинга динамической зоны распространения лесных пожаров
группой беспилотных летательных аппаратов**

Ф.Б. Тебугева, В.О. Антонов, М.Ю. Кабиняков, Н.Ю. Свистунов

Северо-Кавказский федеральный университет,
355017, г. Ставрополь, ул. Пушкина, 1, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка алгоритма мониторинга зон лесных пожаров, осуществляемого беспилотными летательными аппаратами (БПЛА). **Метод.** Исследование основано на методах алгоритмического обеспечения, методах анализа и синтеза систем автоматизированного управления технологическими объектами. **Результат.** Рассмотрены технологии и методы мониторинга лесных пожаров, что подтверждает актуальность применения БПЛА для выполнения данных задач. Приведен алгоритм применения роев БПЛА для мониторинга зон лесных пожаров. Алгоритм включает укрупненные этапы декомпозиции глобальной задачи, распределения задач, применения методов коллективного принятия решений и др. **Вывод.** Предлагаемый алгоритм может быть реализован при условии развития теории роевого управления.

Ключевые слова: мониторинг лесных пожаров, беспилотные летательные аппараты, БПЛА, алгоритм мониторинга

Для цитирования: Ф.Б.Тебугева, В.О. Антонов, М.Ю. Кабиняков, Н.Ю. Свистунов. Алгоритм мониторинга динамической зоны распространения лесных пожаров группой беспилотных летательных аппаратов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2023; 50(1):140-151. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-140-151

Algorithm for monitoring the dynamic zone of forest fires by a group of unmanned aircraft

F.B. Tebugeva, V.O. Antonov, M.Yu. Kabinyakov, N.Yu. Svistunov

North-Caucasus Federal University,
1 Pushkina Str., Stavropol 355017, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to develop an algorithm for monitoring forest fire zones, carried out by unmanned aerial vehicles (UAVs). **Method.** The study is based on methods of algorithmic support, methods of analysis and synthesis of automated control systems for technological objects. **Result.** The technologies and methods for monitoring forest fires are considered, which confirms the relevance of the use of UAVs to perform these tasks. An algorithm for the use of UAV swarms for monitoring forest fire zones is presented. The algorithm includes enlarged stages of decomposition of the global problem, distribution of tasks, application of methods of collective decision-making, etc. **Conclusion.** The proposed algorithm can be implemented subject to the development of swarm control theory.

Keywords: monitoring of forest fires, unmanned aerial vehicles (UAVs), a swarm of UAVs, monitoring algorithm

For citation: F.B. Tebugeva, V.O. Antonov, M.Yu. Kabinyakov, N.Yu. Svistunov. Algorithm for monitoring the dynamic zone of forest fires by a group of unmanned aircraft. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2023; 50(1):140-151. DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-1-140-151

Введение. Развитие современных систем мониторинга зон ЧС связано с негативной тенденцией изменения состояния окружающей среды, выражающейся в активизации

неблагоприятных, опасных природных явлений и процессов и, соответственно, в увеличении частоты и масштабов стихийных бедствий, перерастании природных катастроф в техногенные и, наоборот. Рост технологического прогресса в сфере робототехнических, спутниковых и беспилотных авиационных систем позволяет производить мониторинг развития ЧС для оценки состояния окружающей среды, техногенных объектов, анализа происходящих в них процессов и явлений для своевременного выявления тенденций их изменения с целью обеспечения предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Постановка задачи. В данном исследовании внимание уделяется разработке алгоритма мониторинга зон лесных пожаров, осуществляемого беспилотными летательными аппаратами. Текущие системы мониторинга лесных пожаров можно охарактеризовать как полуавтоматические, вследствие чего возникают сложности при проведении мониторинга и прогнозировании развития зоны ЧС для выявления факторов риска резкого роста масштабов в полностью автономном режиме.

При возникновении крупных лесных пожаров (от 250 Га) задача мониторинга зоны распространения реализуется различными средствами: наземными средствами (датчиками), классической и беспилотной авиацией, спутниковым мониторингом.

Рассмотрим некоторые проблемы мониторинга зон ЧС различными средствами. Классическая пилотируемая имеет ограниченную эффективность по причине высокой стоимости воздушных судов, расходов на обслуживающий персонал, пилотов и инфраструктуру. Наличие человеческого фактора также негативно сказывается на эффективности пилотируемой авиации. Несмотря на выгоды от применения эксплуатации пилотируемых самолетов при лесных пожарах обходится дорого, во многих случаях менеджеры пропускают воздушную разведку, однако это может потребоваться для эффективного вмешательства [1].

В качестве замены пилотируемой авиации стал использоваться спутниковый мониторинг земных поверхностей. Спутниковый мониторинг является входными данными для множества алгоритмов, из себя представляет источник информации, позволяющий оперативно реагировать на возникновение техногенных и природных чрезвычайных ситуаций, объективно оценивать их масштабы и степень нанесенного ущерба, эффективно бороться с последствиями аварий и катастроф. На примере компании «СКАНЭКС» [2] в РФ спутниковый мониторинг используется для мониторинга лесопожарной обстановки, других техногенных ЧС и их последствий. Несмотря на перспективность спутникового мониторинга, присутствуют некоторые недостатки. В виду низкой разрешающей способности спутников небольшие возгорания могут остаться незамеченными, а обновление информации несколько раз в сутки не обеспечивает высокую оперативность при ликвидации последствий ЧС [3]. Стоит заметить, что спутниковые данные невозможно использовать для, например, взятия проб атмосферы при единовременном мониторинге зоны ЧС, что может параллельно выполнять авиация.

Еще один способ мониторинга и выявления лесных пожаров на ранних стадиях заключается в использовании контактных вышек. Контактные вышки с камерами при мониторинге зон ЧС создают сложности передачи и обработки информации. Основным недостатком данного способа обнаружения является необходимость постоянного использования человеческого труда в каждой точке расположения вышки, в течение всего времени пожароопасного сезона (для обеспечения оперативности) и ограничение территории мониторинга количеством установленных вышек. Постройка, эксплуатация и обслуживание вышек является очень дорогостоящей процедурой. Использование контактных датчиков при мониторинге зон ЧС создает сложности передачи и обработки информации с киберфизических систем [4]. Недостаточная мобильность датчиков позволяет отслеживать динамику развития только при высокой плотности покрытия не только зоны предпосылки ЧС, но и возможной зоне распространения поражающих факторов. Однако для высокого разрешения измерений зоны ЧС только при ЧС регионального характера речь идет о тысячах датчиков.

В свете перечисленных обстоятельств наиболее успешным направлением для решения проблем мониторинга ЧС является применение БПЛА.

Методы исследования. В статье [4] приводится классификация беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Обоснован выбор типа БПЛА для территорий с различной лесистостью и плотностью населения. Даны рекомендации по выбору БПЛА для различных регионов. С помощью беспилотных летательных аппаратов решается широкий спектр задач по мониторингу в чрезвычайных ситуациях (ЧС), задачи мониторинга технического состояния и предупреждения возникновения ЧС (в т.ч. экспертизы состояния объектов), а также задачи, связанные с осмотром мест происшествий, имеющих значительные размеры [5]. Международный опыт применения беспилотников говорит о том, что на данный момент во многих странах идет разработка концепций реального применения БПЛА для гражданских целей, в том числе, и для спасения жизней. Многочисленные отечественные и зарубежные компании занимаются разработкой беспилотной авиации для мониторинга распространения зон ЧС: DJI (Китай) [6], «Беспилотные системы» (Россия) [7], Walkera Technology, (Гуанчжоу, Китай) [8], X Dynamics Limited (Гонконг, Китай) [9], Aeronex (Латвия, США) [10], Intel (США) [11], Cyberhawk (Шотландия, США) [12], Aerodyne (Малайзия) [13], TerraDrone (Япония) [14], Стилсфот (Россия) [15], Martek Aviation (Нидерланды) [16], Identified Technologies (США) [17], Azur Drones (Франция) [18], Australian UAV (Австралия) [19], The Sky Guys (Канада) [20], COBЗОНД (Россия) [21], Геоскан (Россия) [22] и др.

В структурах МЧС России согласно [23] на 2016-2019 г. на оснащении реагирующих подразделений находится 1820 беспилотных авиационных систем, в их числе беспилотный летательный аппарат Phantom 1 (рис. 1а), Inspire-1 (рис. 1б), беспилотные авиационные системы самолетного и вертолетного типа (рис. 1в).



Рис. 1. Беспилотные авиационные системы МЧС РФ

Fig. 1. Unmanned aviation systems of the Russian Federation

Согласно данным компании «Беспилотные системы» [24] в зависимости от технического оснащения, БПЛА могут выполнять следующие задачи:

- получение аэрографических снимков местности, 3D-визуализация;

- обеспечение непрерывного мониторинга и прогнозирования развития чрезвычайных ситуаций (фото/видео);
- координация между командами спасателей и штабом для более эффективного управления спасательной операцией и снижения потерь;
- автоматический мониторинг территории без участия оператора на предмет возникновения ЧС (возгорания/наводнения, неисправности на энергетических объектах – ЛЭП, газопровод);
- поиск людей и животных с помощью тепловизора;
- обеспечение проведения работ на объектах с повышенной опасностью для жизни и здоровья людей (высокие концентрации токсичных веществ, радиация, неустойчивые строительные конструкции);
- доставка спасательных средств, медикаментов и средств жизнеобеспечения (вода, еда) в районы ЧС;
- информирование населения о возникновении ЧС с помощью громкоговорителя;
- пеленгация сигналов мобильных телефонов пострадавших в ЧС и обеспечение с ними связи в условиях отсутствия покрытия сотовой сети;
- ретрансляция радио- и телесигналов при отсутствии прямой радиовидимости;
- проведение спектрального анализа земной поверхности для предупреждения экологических бедствий и катастроф;
- обеспечение контроля и безопасности движения спасательных транспортных средств.

Перечисленные задачи становятся осуществимыми за счет очевидных преимуществ БПЛА перед другими пилотируемыми воздушными силами, в частности, большой скорости и эффективности реагирования, маневренности, возможности полета на сверхмалых высотах и полной безопасности для пилота.

Рассмотрим текущее состояние науки и техники по данному вопросу. В Российской Федерации у исследователей вызывает большой интерес методы и способы мониторинга территориального распространения зоны ЧС. В единой государственной информационной системе учёта научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения по теме исследования приводится множество работ текущей тематики исследования. Большинство из них посвящены применению технологий космического мониторинга, систем датчиков и авиации.

Разработке комплексной системы дистанционного мониторинга [25] посвящено исследование, которое направленно на обеспечение органов государственного и муниципального управления всех уровней объективной, актуальной информацией, формируемой путем оперативной обработки и автоматизированного анализа данных дистанционного зондирования Земли в сравнении с геоданными, полученными на основании разрешительной документации. Создание системы направлено на решение задач упорядочивания контрольно-надзорной деятельности и эффективного использования, сохранения, приумножения природных ресурсов.

В исследовании [26] выполнена разработка математических моделей, позволяющих учесть показатели надежности беспилотных авиационных систем, а также всей системы мониторинга в целом. На основе, разработанных математических подходов к показателям надежности БПЛА, разработаны адаптивные методики оперативного мониторинга природных ЧС с их использованием в целях информационной поддержки оперативных штабов по тушению крупных лесных пожаров.

Проект [27] посвящён разработке физических моделей природных пожаров, такие модели играют важную роль в прогнозировании протекания ЧС и принятии решений о ликвидации ЧС. В работе определены природные факторы, определяющие закономерности процессов возникновения, развития и прекращения природных пожаров (виды, состояние, распределение по лесному массиву растительности, климатические и метеорологические условия) и являются, как правило, случайными величинами, а процессы природ-

ных пожаров представляют собой случайные функции. Это приводит к необходимости исследование процессов природных пожаров и анализ их характеристик проводить на основе методов математической статистики.

Из зарубежных проектов наибольший вклад в применение групп БПЛА в мониторинг ЧС, следует отнести проекты [28-32] Проект DARIUS [33] направлен на обеспечение беспилотных платформ необходимыми методами для поисково-спасательных операций (морской, городской, лесной сценарий), а также на повышение эффективности взаимодействия беспилотных систем на процедурном и техническом уровнях.

Интеграционный проект CRISMAC [34] сосредоточен на крупномасштабных кризисных сценариях с немедленными и расширенными человеческими, социальными, структурными и экономическими, часто необратимыми, последствиями. Как правило, эти кризисные сценарии не могут быть решены в одиночку с помощью регулярной помощи и ресурсов первых ответчиков, что требует сложного комплексного сотрудничества.

Проект AIRBEAM [35] посвящен разработке инструментария информирования о ситуации для управления критическими процессами, в том числе и ЧС, на широкой территории с использованием оптимизированного набора воздушных (не пилотируемых) платформ.

Основной целью проекта AIROBOTS [36] является проектирование платформы и разработка прототипов антенн, отвечающих основным инженерным принципам с точки зрения расширяемости и гибкости применения БПЛА.

В документе [37] представлены предварительные результаты летных испытаний для мониторинга предписанного пожара с использованием БПЛА KНawк с неподвижным крылом, включая обнаружение и анализ эволюции линии возгорания.

Несмотря на хорошие результаты многие исследования указывают на возрастающую сложность принятия решения [38] при использовании БПЛА при ЧС. В статье рассматривается эргатическая система управления беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) в условиях парирования нештатных ситуаций. Предлагается подход к классификации нештатных ситуаций на основе формализма мультимножеств.

В статье [39] предлагается оптимальное планирование траектории БПЛА для спасения лесных пожаров на основе алгоритма поиска вихрей (VS), при этом рельеф местности описан с помощью кубической интерполяции. В исследовании [40] изучается проблема аварийной маршрутизации для лесного пожара с целью свести к минимуму общее расстояние перемещения всех спасательных команд, чтобы можно было эффективно распознать лесной пожар.

Метод направлен на разработку оптимальных маршрутов пожаротушения для множества очагов возгорания с приоритетными уровнями.

Текущий литературный обзор можно охарактеризовать как описание технологий, для применения БПЛА в мониторинге зон ЧС. Однако данный вопрос должен затрагивать еще и вопросы масштабированной системы.

Недостаток применения БПЛА заключается в текущем этапе развития систем управления. Для управления БПЛА в зоне ЧС требуется оператор, а использование систем мониторинга зон ЧС группами БПЛА количеством от 10 элементов в полностью автономном режиме не является возможным в связи с ограничениями и текущим состоянием развития технологии, не говоря об автоматической обработке данных от всех элементов группы и прогнозировании ЧС.

Развитие систем мониторинга территориального распространения зоны ЧС на основе использования группы БПЛА соответствует стратегии научно-технологического развития Российской Федерации в части перехода к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создания систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта согласно Указа Президента Российской

Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [41].

Использование групп БПЛА для получения точной управленческой информации о состоянии территорий (мониторинг экологической обстановки; обнаружение пожаров и других чрезвычайных ситуаций, мониторинг пострадавших зон отражено в Национальной технологической инициативе по распределенным системам беспилотных летательных аппаратов АЭРОНЕТ. План мероприятий («дорожная карта») «Аэронет» Национальной технологической инициативы [42].

Мониторинг территориального распространения зоны ЧС группой БПЛА заключается в сборе и поддержании в актуальном состоянии тематических карт, характеризующих состояние окружающей среды на границе области ЧС.

Таким образом, основные требования, предъявляемые к процессу мониторинга, заключаются в следующем:

- необходимо обеспечить полное перекрытие границы зоны ЧС тематическими картами, специфичными для данного вида ЧС;

- время с последнего обновления любого фрагмента каждой из карт $M_1, M_2, \dots, M_{n_M}$ не должно превышать заданных пороговых значений $t_{1max}, t_{2max}, \dots, t_{n_Mmax}$ соответственно.

Обсуждение результатов. Для применения групп БПЛА для мониторинга зон лесных пожаров предлагается использовать следующий алгоритм (рис. 2). Данный алгоритм рассматривает вопросы и возможности применения групп БПЛА для мониторинга зон лесных пожаров, и отражает области, исследования в которых необходимо сосредоточить для применения предлагаемой системы.

1. На основе данных спутниковых и наземных систем обнаружения ЧС выполняется первичная оценка границы области ЧС. Входные данные о возникновении зоны ЧС могут регистрироваться различными способами, среди которых можно выделить: для пожаров – спутниковое наблюдение, данные с контактных вышек или данные визуального наблюдения. В большинстве случаев используются аппаратно-программные комплексы мониторинга природных и техногенных угроз [42]. Выполняется построение модели распространения зоны ЧС. На вход поступают тематические карты, вычисляется периметр P_0 зоны ЧС.
2. Определяется начальный размер группы БПЛА $n_{БПЛА}$:

$$n_{БПЛА} = \left\lceil \frac{k_n P_0}{2r_{БПЛА}} \right\rceil,$$

где $r_{БПЛА}$ – радиус обзора БПЛА;

k_n – коэффициент избыточности, значение которого выбрано исходя из результатов экспериментальных исследований.

Формируется перекрытие периметра области ЧС, на основе которого составляется полетное задание для группы БПЛА, направленное на первичный сбор тематических карт прилегающей к зоне ЧС территории и самой области ЧС (при наличии возможности безопасного перемещения БПЛА над областью ЧС).

Для мониторинга зоны ЧС группой БПЛА необходим расчет и кратковременный прогноз развития зоны ЧС для определения координат и площади мониторинга зоны ЧС. Формируется динамический контур зоны ЧС, который в дальнейшем уточняется при проведении мониторинга группой БПЛА. Отмечаются критически важные объекты инфраструктуры в зоне ЧС или в ближайшей окрестности, для постановки задач анализа этих объектов. Отмечается зона поиска пропавших людей и зоны для получения дополнительных данных о зоне ЧС.

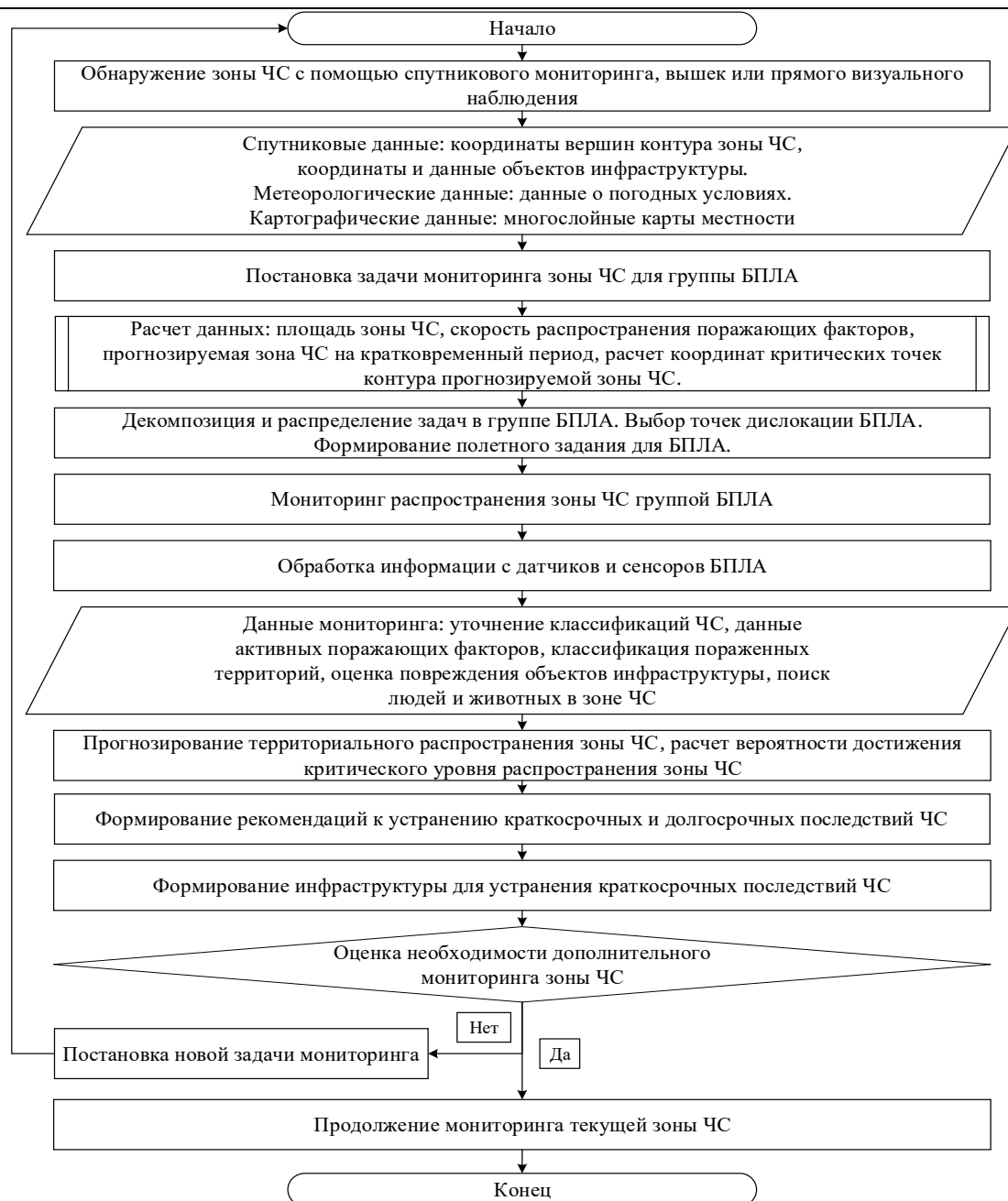


Рис. 2. Алгоритм мониторинга зоны ЧС элементами группы БПЛА

Fig.2. Algorithm for monitoring the emergency zone by elements of the UAV group

Исходя из этих данных, производится расчёт необходимого числа БПЛА для выполнения задачи мониторинга зоны ЧС:

1. Производится декомпозиция задач мониторинга на 3-х уровнях управления: управляющий пункт (централизованное постановка задач мониторинга), группа БПЛА (децентрализованное распределение задач внутри группы БПЛА, формирование полетного задания для мониторинга отобранных координат элементом группы БПЛА).
2. После декомпозиции задач мониторинга выполняется первичное полетное задание группой БПЛА, после чего производится более точная оценка периметра области ЧС P_t в текущий момент времени t .
3. При выполнении первичного полетного задания выполняется группа побочных задач мониторинга $T_D = \{T_1, T_2, \dots, T_{n_T}\}$, поиск пострадавших, наведение наземных групп ликвидации последствий ЧС, оценка объектов инфраструктуры, взятие проб и анализ окружающей среды, поиск критических точек ЧС и др.

4. Выполняется прогнозирование распространения зоны ЧС.
5. Определяется средняя скорость $v_{j,t}$ перемещения соответствующей точки границы области ЧС в момент времени t .
6. Определяется максимальная скорость $v_{max} = \max\{v_{j,t}\}$ распространения области ЧС. Вычисляется первичное значение периода сбора данных

$$i. T = \frac{k_t v_{БПЛА} r_{БПЛА}}{v_{max} P},$$

где $v_{БПЛА}$ – средняя скорость перемещения БПЛА (м/с); $k_t = (с)$ – масштабный коэффициент, значение которого получено в результате экспериментальных исследований.

7. До поступления команды окончания мониторинга выполняются следующие действия:
 - Производится прогнозирование периметра области ЧС в момент $t + T$.
 - На основе результатов прогнозирования формируется перекрытие предполагаемого периметра в момент $t + T$, в соответствии с которым составляется новое полетное задание с целью обновления существующих и формирования новых тематических карт.
 - Выполняется сравнение результатов прогнозирования с реальным периметром области ЧС в момент $t + T$. Производится корректировка (дообучение) подсистемы прогнозирования.
 - Производится перерасчет значения $n_{БПЛА}$. При необходимости даются команды вылета новых БПЛА.
 - Производится перерасчет значения T . В течение данного времени новых полетных заданий не выдается.
8. После окончания мониторинга командный центр отправляет БПЛА команды возвращения на пункты базирования.

После обработки данных с датчиков и сенсоров БПЛА производится прогнозирование территориального распространения зоны ЧС. Изучается вероятность достижения критического распространения зоны ЧС. Информационно-аналитическая система передает информацию в систему поддержки принятия решений для составления дальнейших рекомендаций по проведению мероприятий для ликвидации краткосрочных и долгосрочных последствий ЧС. Также принимается решение о необходимости продолжения мониторинга и использовании БПЛА в качестве элементов формирования инфраструктуры для устранения последствий ЧС.

По выполнению поставленных задач элементы группы БПЛА возвращаются на стартовые площадки, где проводится подготовка для применения в следующих оперативных мероприятиях.

Предлагаемый алгоритм может быть реализован при условии развития теории роевого управления. Для применения группы БПЛА для мониторинга зоны ЧС необходимо решить ряд классических задач, относящихся к проблемам роевого управления:

- реализация систем декомпозиции и распределения задач при выполнении операций роем БПЛА;
- реализация методов коллективного принятия решений для организации децентрализованного управления и распределения задач в группе БПЛА;
- реализации методов обработки информации с групп БПЛА для прогнозирования развития ЧС;
- реализация алгоритмов оценки эффективности управления роем БПЛА при выполнении задач мониторинга зон ЧС.

Вывод. В работе приведен алгоритм мониторинга динамической зоны распространения лесных пожаров группой беспилотных летательных аппаратов. В работе рассмотрены вопросы применения БПЛА для мониторинга лесных пожаров. Проведено сравнение методов мониторинга лесных пожаров, по результатам которых можно сделать вывод об

актуальности применения БПЛА для выполнения данных задач. Приведен алгоритм применения роев БПЛА для мониторинга зон лесных пожаров.

В обсуждении приведены актуальные вопросы развития теории роевого управления для реализации системы мониторинга лесных пожаров группами БПЛА, среди которых можно выделить реализацию систем декомпозиции и распределения задач при выполнении операций роем БПЛА; методов коллективного принятия решений для организации децентрализованного управления и распределения задач в группе БПЛА; реализации методов обработки информации с групп БПЛА для прогнозирования развития ЧС; реализация алгоритмов оценки эффективности управления роем БПЛА при выполнении задач мониторинга зон ЧС.

Библиографический список:

1. Laszlo B., Agoston R., Xu Q. Conceptual Approach of Measuring the Professional and Economic Effectiveness of Drone Applications Supporting Forest fire Management // *Procedia Eng.* Elsevier Ltd, 2018. Vol. 211. P. 8–17.
2. Карта пожаров – СКАНЭКС [Электронный ресурс]. URL: <http://www.scanex.ru/cloud/karta-pozharov/> (дата обращения: 14.08.2020).
3. Мониторинг зоны ЧС – Беспилотные системы [Электронный ресурс]. URL: <https://unmannedsystems.ru/examples/monitoring-zony-chs/> (дата обращения: 14.08.2020).
4. В.В. Татарин, А.Н. Калайдов, Э. Муйкич. Применение беспилотных летательных аппаратов для получения информации о природных пожарах // Интернет-журнал “Технологии техносферной безопасности” Выпуск № 1 (71), 2017 г.
5. МСЧ РФ / Главная / Главное управление / Силы и средства / Федеральные силы и средства / Беспилотная авиация [Электронный ресурс]. URL: <https://29.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/federalnye-sily-i-sredstva/bespilotnaya-aviaciya> (дата обращения: 14.08.2020).
6. DJI - The World Leader in Camera Drones/Quadcopters for Aerial Photography [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dji.com/> (дата обращения: 14.08.2020).
7. Беспилотные системы – «Компания ООО «Беспилотные системы» была создана как специализированное подразделение Группы Компаний “Традиция”, занимающееся проектированием и производством беспилотных авиационных комплексов, технических средств полезной нагрузки БЛА и систем мониторинга и управления безопасностью. [Электронный ресурс]. URL: <https://unmannedsystems.ru/> (дата обращения: 14.08.2020).
8. Walkera official website - Walkera-Intelligence makes it possible [Электронный ресурс]. URL: <https://www.walkera.com/> (дата обращения: 14.08.2020).
9. XDynamics - Drone & UAV Maker in Hong Kong [Электронный ресурс]. URL: <https://www.xdynamics.com/> (дата обращения: 14.08.2020).
10. Aeronos - Home [Электронный ресурс]. URL: <https://www.aeronos.com/> (дата обращения: 14.08.2020).
11. Intel | Data Center Solutions, IoT, and PC Innovation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/homepage.html> (дата обращения: 14.08.2020).
12. Cyberhawk [Электронный ресурс]. URL: <https://thecyberhawk.com/> (дата обращения: 14.08.2020).
13. Aerodyne [Электронный ресурс]. URL: <https://aerodyne.group/en/> (дата обращения: 14.08.2020).
14. TOP - Terra Drone | Global UAV company [Электронный ресурс]. URL: <https://www.terra-drone.net/global/> (дата обращения: 14.08.2020).
15. СТИЛСОФТ [Электронный ресурс]. URL: <https://stilsoft.ru/> (дата обращения: 14.08.2020).
16. Home - Martek Aviation [Электронный ресурс]. URL: <https://www.martekuas.com/> (дата обращения: 14.08.2020).
17. Commercial Drone 3D Mapping Software & Analytics | Identified Technologies [Электронный ресурс]. URL: <https://www.identifiedtech.com/> (дата обращения: 14.08.2020).
18. Autonomous drone european leader - Home - Azur Drones [Электронный ресурс]. URL: <https://www.azurdrones.com/> (дата обращения: 14.08.2020).
19. Australian UAV | Drone Aerial Mapping, Survey and Inspection [Электронный ресурс]. URL: <https://www.auav.com.au/> (дата обращения: 14.08.2020).
20. Drone Companies – Canada – UAV Services | The Sky Guys [Электронный ресурс]. URL: <https://theskyguys.ca/> (дата обращения: 14.08.2020).
21. ГИС технологии: интеграция геоинформационных систем - Совзонд [Электронный ресурс]. URL: <https://sovzond.ru/> (дата обращения: 14.08.2020).
22. ГК Геоскан Беспилотные технологии для профессионалов Geoscan производитель беспилотников в России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.geoscan.aero/ru> (дата обращения: 14.08.2020).
23. Беспилотники - Авиация - МЧС России [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/uchrezhdeniya-mchs-rossii/spasatelnye->

- podrazdeleniya/aviaciya/bespilotniki (дата обращения: 14.08.2020).
24. Мониторинг зоны ЧС – Беспилотные системы [Электронный ресурс]. URL: <https://unmannedsystems.ru/examples/monitoring-zony-chs/> (дата обращения: 14.08.2020).
 25. Разработка комплексной системы дистанционного мониторинга [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosrid.ru/nioctr/Zl7mekgxbc5ehgl6zlxddjbt> (дата обращения: 14.08.2020).
 26. Разработка методики оперативного мониторинга природных ЧС с использованием беспилотных авиационных систем в целях информационной поддержки оперативных штабов по тушению крупных лесных пожаров [Электронный ресурс]. URL: <https://www.rosrid.ru/nioctr/rwrjdva9jcs5hw8ljnimswwd> (дата обращения: 14.08.2020).
 27. Физико-математическое моделирование возникновения природных пожаров. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2014. – 276 с.
 28. Chrobocinski P. et al. DARIUS project: Deployable SAR integrated chain with unmanned systems // 2012 International Conference on Telecommunications and Multimedia, TEMU 2012. 2012. P. 220–226.
 29. Modelling crisis management for improved action and preparedness [Электронный ресурс]. URL: <https://pdfslide.net/documents/modelling-crisis-management-for-improved-action-and-preparedness.html> (дата обращения: 14.08.2020).
 30. AIRBEAM - AIRborne information for Emergency Awareness and Monitoring | Indra [Электронный ресурс]. URL: <https://www.indracompany.com/en/indra/airbeam-airborne-information-emergency-situation-awareness-monitoring> (дата обращения: 14.08.2020).
 31. Alamouri A. et al. The joint research project ankommen-exploration using automated uav and ugv // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2019. Vol. 42, № 2/W13. P. 165–172.
 32. WAAS – глобальная система дифференциальных поправок. Система EGNOS в России. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gps-profi.ru/waas-gpsportal.php> (дата обращения: 14.08.2020).
 33. Chrobocinski P. et al. DARIUS project: Deployable SAR integrated chain with unmanned systems // 2012 International Conference on Telecommunications and Multimedia, TEMU 2012. 2012. P. 220–226.
 34. Modelling crisis management for improved action and preparedness [Электронный ресурс]. URL: <https://pdfslide.net/documents/modelling-crisis-management-for-improved-action-and-preparedness.html> (дата обращения: 14.08.2020).
 35. AIRBEAM - AIRborne information for Emergency Awareness and Monitoring | Indra [Электронный ресурс]. URL: <https://www.indracompany.com/en/indra/airbeam-airborne-information-emergency-situation-awareness-monitoring> (дата обращения: 14.08.2020).
 36. Alamouri A. et al. The joint research project ankommen-exploration using automated uav and ugv // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2019. Vol. 42, № 2/W13. P. 165–172.
 37. Gowravaram S. et al. Prescribed fire monitoring using KHawk unmanned aircraft systems: Initial flight test results // AIAA Information Systems-AIAA Infotech at Aerospace, 2018. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, AIAA, 2018. № 209989.
 38. Бурый А.С., Шевкунов М.А. Подход к построению систем поддержки принятия решений при управлении беспилотными летательными аппаратами // ТДР. 2015. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhod-k-postroeniyu-sistem-podderzhki-prinyatiya-resheniy-pri-upravlenii-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami> (дата обращения: 16.03.2021).
 39. Wang C. et al. The Adaptive Vortex Search Algorithm of Optimal Path Planning for Forest Fire Rescue UAV // Proceedings of 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEAC 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. P. 400–403.
 40. Fang Y., Deng Y., Zhou Z. Formulation and solution of an emergency routing problem for forest fire with priority areas // Proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, IESM 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019.
 41. Указ Президента РФ от 01.12.2016 N 642 “О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации” / КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967/ (дата обращения: 14.08.2020).
 42. Нормативные дорожные карты [Электронный ресурс]. URL: https://nti2035.ru/documents/Normative_road_maps/ (дата обращения: 14.08.2020).

References:

1. Laszlo B., Agoston R., Xu Q. Conceptual Approach of Measuring the Professional and Economic Effectiveness of Drone Applications Supporting Forest fire Management // Procedia Eng. Elsevier Ltd, 2018. Vol. 211. P. 8-17.
2. Map of fires - ScanEx [Electronic resource]. URL: <http://www.scanex.ru/cloud/karta-pozharov/> (date of ac-

- cess: 14.08.2020).
3. Monitoring of the emergency zone - Unmanned systems [Electronic resource]. URL: <https://unmannedsystems.ru/examples/monitoring-zony-chs/> (date accessed: 14.08.2020).
 4. V.V. Tatarinov, A.N. Kalaydov, E. Muikich. The use of unmanned aerial vehicles for obtaining information about wildfires. *Internet journal "Technosphere Safety Technologies"* 2017; 1 (71) [In Russ]
 5. Medical unit of the Russian Federation / Main / Main administration / Forces and means / Federal forces and means. *Unmanned aviation* [Electronic resource]. URL: <https://29.mchs.gov.ru/glavnoe-upravlenie/sily-i-sredstva/federalnye-sily-i-sredstva/bespilotnaya-aviaciya> (date accessed: 14.08.2020). [In Russ]
 6. DJI - The World Leader in Camera Drones / Quadcopters for Aerial Photography [Electronic resource]. URL: <https://www.dji.com/> (date of access: 14.08.2020).
 7. Unmanned systems - "Unmanned Systems LLC" was established as a specialized subdivision of the Tradition Group of Companies engaged in the design and manufacture of unmanned aerial systems, UAV payload hardware and safety monitoring and control systems. [Electronic resource]. URL: <https://unmannedsystems.ru/> (date of access: 14.08.2020). [In Russ]
 8. Walkera official website - Walkera – Intelligence makes it possible [Electronic resource]. URL: <https://www.walkera.com/> (date accessed: 14.08.2020).
 9. XDynamics - Drone & UAV Maker in Hong Kong [Electronic resource]. URL: <https://www.xdynamics.com/> (date accessed: 14.08.2020).
 10. Aeronos - Home [Electronic resource]. URL: <https://www.aeronos.com/> (date accessed: 14.08.2020).
 11. Intel Data Center Solutions, IoT, and PC Innovation [Electronic resource]. URL: <https://www.intel.com/content/www/us/en/homepage.html> (date accessed: 14.08.2020).
 12. Cyberhawk [Electronic resource]. URL: <https://thecyberhawk.com/> (date accessed: 14.08.2020).
 13. Aerodyne [Electronic resource]. URL: <https://aerodyne.group/en/> (date of access: 14.08.2020).
 14. TOP - Terra Drone Global UAV company [Electronic resource]. URL: <https://www.terra-drone.net/global/> (date accessed: 14.08.2020).
 15. STILSOFT [Electronic resource]. URL: <https://stilsoft.ru/> (date of access: 14.08.2020). [In Russ]
 16. Home - Martek Aviation [Electronic resource]. URL: <https://www.martekuas.com/> (date accessed: 14.08.2020).
 17. Commercial Drone 3D Mapping Software & Analytics Identified Technologies [Electronic resource]. URL: <https://www.identifiedtech.com/> (date accessed: 14.08.2020).
 18. Autonomous drone european leader - Home - Azur Drones [Electronic resource]. URL: <https://www.azurdrones.com/> (date accessed: 14.08.2020).
 19. Australian UAV Drone Aerial Mapping, Survey and Inspection [Electronic resource]. URL: <https://www.auav.com.au/> (date accessed: 14.08.2020).
 20. Drone Companies - Canada - UAV Services The Sky Guys [Electronic resource]. URL: <https://theskyguys.ca/> (date accessed: 14.08.2020).
 21. GIS technologies: integration of geographic information systems - Sovzond [Electronic resource]. URL: <https://sovzond.ru/> (date of access: 14.08.2020). [In Russ]
 22. GC Geoscan Unmanned technologies for professionals Geoscan is a manufacturer of unmanned aerial vehicles in Russia [Electronic resource]. URL: <https://www.geoscan.aero/ru> (date accessed: 14.08.2020). [In Russ]
 23. Unmanned aerial vehicles - Aviation - EMERCOM of Russia [Electronic resource]. URL: <https://www.mchs.gov.ru/ministerstvo/uchrezhdeniya-mchs-rossii/spasatelnye-podrazdeleniya/aviaciya/bespilotniki> (date accessed: 14.08.2020). [In Russ]
 24. Monitoring the emergency zone - Unmanned systems [Electronic resource]. URL: <https://unmannedsystems.ru/examples/monitoring-zony-chs/> (date accessed: 14.08.2020). [In Russ]
 25. Development of an integrated remote monitoring system [Electronic resource]. URL: <https://www.rosrid.ru/nioctr/Zl7mekgxbc5ehgl6zlxddjbt> (date accessed: 14.08.2020). [In Russ]
 26. Development of a methodology for operational monitoring of natural emergencies using unmanned aircraft systems for information support of operational headquarters to extinguish large forest fires [Electronic resource]. URL: <https://www.rosrid.ru/nioctr/rwrjdva9jcs5hw8ljnimswdd> (date accessed: 14.08.2020). [In Russ]
 27. Physical and mathematical modeling of the occurrence of natural fires. - Tomsk: Publishing House of Tomsk State University, 2014; 276. [In Russ]
 28. Chrobocinski P. et al. DARIUS project: Deployable SAR integrated chain with unmanned systems. 2012 International Conference on Telecommunications and Multimedia, TEMU 2012. 2012; 220–226.
 29. Modeling crisis management for improved action and preparedness [Electronic resource]. URL: <https://pdfslide.net/documents/modelling-crisis-management-for-improved-action-and-preparedness.html> (date accessed: 14.08.2020).
 30. AIRBEAM - AIRborne information for Emergency Awareness and Monitoring | Indra [Electronic resource]. URL: <https://www.indracompany.com/en/indra/airbeam-airborne-information-emergency-situation-awareness-monitoring> (date accessed: 14.08.2020).

31. Alamouri A. et al. The joint research project ankommen-exploration using automated uav and ugv. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019; 42 (2)13: 165-172.
32. WAAS - the global system of differential corrections. EGNOS system in Russia. [Electronic resource]. URL: <http://www.gps-profi.ru/waas-gpsportal.php> (date accessed: 14.08.2020). [In Russ]
33. Chrobocinski P. et al. DARIUS project: Deployable SAR integrated chain with unmanned systems. 2012 International Conference on Telecommunications and Multimedia, TEMU 2012. 2012; 220–226.
34. Modeling crisis management for improved action and preparedness [Electronic resource]. URL: <https://pdfslide.net/documents/modelling-crisis-management-for-improved-action-and-preparedness.html> (date accessed: 14.08.2020).
35. AIRBEAM - AIRborne information for Emergency Awareness and Monitoring | Indra [Electronic resource]. URL: <https://www.indracompany.com/en/indra/airbeam-airborne-information-emergency-situation-awareness-monitoring> (date accessed: 14.08.2020).
36. Alamouri A. et al. The joint research project ankommen-exploration using automated uav and ugv. International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 2019;42(2) / W13: 165-172.
37. Gowravaram S. et al. Prescribed fire monitoring using KHawk unmanned aircraft systems: Initial flight test results. AIAA Information Systems-AIAA Infotech at Aerospace, 2018. American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc, AIAA, 2018; 209989.
38. Brown A.S., Shevkunov M.A. Approach to the construction of decision support systems for the control of unmanned aerial vehicles. TDR. 2015. No. 6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podhod-k-postroeniyu-sistem-podderzhki-prinyatiya-resheniy-pri-upravlenii-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami> (date of access: 16.03.2021).
39. Wang C. et al. The Adaptive Vortex Search Algorithm of Optimal Path Planning for Forest Fire Rescue UAV. Proceedings of 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEAC 2018. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2018;400–403 .
40. Fang Y., Deng Y., Zhou Z. Formulation and solution of an emergency routing problem for forest fire with priority areas. Proceedings of the 2019 International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, *IESM 2019. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.*, 2019.
41. Decree of the President of the Russian Federation of 01.12.2016 N 642 "On the Strategy of Scientific and Technological Development of the Russian Federation" .ConsultantPlus [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_207967/ (date accessed: 14.08.2020).
42. Regulatory road maps [Electronic resource]. URL: https://nti2035.ru/documents/Normative_road_maps/ (date accessed: 14.08.2020). [In Russ]

Сведения об авторах:

Тебеева Фариза Биляловна, доктор физико-математических наук, доцент, заведующая кафедрой компьютерной безопасности; ftbueva@ncfu.ru; ORCID 0000-0002-7373-4692

Владимир Олегович Антонов, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерной безопасности Института цифрового развития; ant.vl.02@gmail.com; ORCID 0000-0001-8264-9409

Михаил Юрьевич Кабиняков, соискатель; micsys@gmail.com; ORCID 0000-0003-1131-6687

Николай Юрьевич Свистунов, ассистент кафедры компьютерной безопасности Института цифрового развития; svistunovn4@gmail.com; ORCID 0000-0002-3277-1120

Information about the authors:

Fariza B. Tebueva, Dr. Sci.(Physics and Mathematics), Assoc. Prof., Head of the Department of Computer Security; ftbueva@ncfu.ru; ORCID 0000-0002-7373-4692

Vladimir O. Antonov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Department of Computer Security; ant.vl.02@gmail.com. ; ORCID 0000-0001-8264-9409

Mikhail Yu. Kabinyakov, Applicant; micsys@gmail.com; ORCID 0000-0003-1131-6687

Nikolay Yu. Svistunov, Assistant of the Department of Computer Security of the Institute of Digital Development; svistunovn4@gmail.com; ORCID 0000-0002-3277-1120

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 06.12.2022.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 10.01.2023.

Принята в печать/ Accepted for publication 10.01.2023.