

УДК 629.7

DOI: [10.26102/2310-6018/2020.31.4.024](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.31.4.024)

## Сценарий поиска, выявления и тушения пожара в лесном массиве

Р.В. Мещеряков, А.А. Саломатин, Д.В. Сенчук, А.С. Широков

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия*

**Резюме:** В данной статье исследуется и описывается процесс построения алгоритма действий – сценария поиска, выявления и тушения очага пожара в лесном массиве беспилотными летательными аппаратами, разрабатываемый на первоначальном этапе при проектировании эксплуатации гетерогенных беспилотных авиационных систем в автоматическом режиме в целях оптимизации решения актуальной задачи, направленной на сохранение флоры и фауны, силами и средствами Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий. Разработанный сценарий в случае реализации силами и средствами беспилотной авиации позволит достичь решения задачи силами гетерогенной беспилотной авиационной системы. На основе опыта подразделений, имеющих на вооружении и активно эксплуатирующих беспилотные летательные аппараты, разработаны и описаны ограничения для рассматриваемого упрощенного сценария. Также кратко рассматривается необходимая материально-техническая база, необходимая для обслуживания и эксплуатации беспилотной авиационной системы, выполняющей рассматриваемую задачу. Данный сценарий исследован с помощью математического аппарата, а именно построена многокритериальная задача оптимизации, позволяющая вычислить оптимальное число используемых беспилотных летательных аппаратов, общее время обследования и тушения пожара, стоимостные затраты, связанные с деревьями на участках возгораний, которые не были потушены.

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, беспилотные авиационные системы, ограничения эксплуатации, сценарии применения беспилотных летательных аппаратов, многокритериальная задача оптимизации.

**Для цитирования:** Мещеряков Р.В., Саломатин А.А., Сенчук Д.В., Широков А.С. Статистический алгоритм обнаружения угроз компьютерной безопасности. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2020;8(4). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=870> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.024

## Scenario for searching, detecting and extinguishing a fire in a forest area

R.V. Meshcheryakov, A.A. Salomatin, D.V. Senchuk, A.S. Shirokov

*V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russian Federation*

**Abstract:** This article examines and describes the process of constructing an algorithm of actions - a scenario for searching, detecting and extinguishing a fire in a forest with unmanned aerial vehicles, developed at the initial stage when designing the operation of heterogeneous unmanned aerial systems in an automatic mode in order to optimize the solution of an urgent problem aimed at preserving flora and fauna, by the forces and means of the Ministry of the Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of the Consequences of Natural Disasters. The developed scenario makes it possible to achieve the solution of this problem by the forces of a heterogeneous unmanned aircraft system. Based on the experience of units armed with and actively operating unmanned aerial vehicles, limitations for the considered simplified scenario have been developed and described. This scenario was investigated using a mathematical apparatus, namely, a multicriteria optimization problem was built,

which allows calculating the optimal number of unmanned aerial vehicles used, the total time for examining and extinguishing a fire, and the cost costs associated with trees in areas of fire that have not been extinguished.

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, unmanned aviation systems, operation restrictions, scenarios for the use of unmanned aerial vehicles, multi-criteria optimization problem.

**Для цитирования:** Meshcheryakov R.V., Salomatin A.A., Senchuk D.V., Shirokov A.S. Statistical algorithm for detecting computer security threats. *Modeling, optimization and information technology*. 2020;8(4). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=870> DOI: 10.26102/2310-6018/2020.31.4.024 (In Russ).

## Введение

Изменения мирового климата в последнее время все сильнее оказывают негативное влияние на экологический и ресурсный потенциал современных государств. Так, в Российской Федерации особенно актуальным является вопрос предупреждения и мониторинга за развитием и тушением пожаров на открытых пространствах. Статистические данные свидетельствуют о ежегодном приросте площади лесных пожаров в субъектах РФ. Огонь уничтожает флору и фауну целых районов. Кроме того, уничтожаются сельскохозяйственные посевы, запускаются процессы ведущие к эрозии почвы. Использование авиационных подразделений (на балансе которых вертолеты Ми-8, самолеты Бе-200, ИЛ-76) увеличивает стоимость тушения пожаров и требует постоянного содержания в готовности специалистов высокого класса. Следовательно, предотвращение пожаров и борьба с уже возникшими – задача, которая требует поиска инновационных, в том числе более дешевых, подходов для успешного и оперативного их решения.

В настоящее время благодаря высокому уровню развития производственных технологий стало возможным изготавливать или модифицировать имеющиеся беспилотные летательные аппараты, принимая во внимание перспективу узкой направленности дальнейшей эксплуатации. Однако, требует рассмотрения вопрос тактики эксплуатации образцов и программных моделей автономно действующих многокомпонентных беспилотных авиационных систем (БАС), состоящих из различных по своему функциональному назначению аппаратов. Использование группировок беспилотных летательных аппаратов (БЛА) позволит более успешно и оперативно решать широкий круг задач, в условиях ограниченного ресурса времени, сложных метеоусловиях или в ситуациях, связанных с риском для жизни пожарных. В текущем исследовании исследуем типовой сценарий прикладной задачи дежурной смены подразделения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России) в лесном массиве [1, 2, 3, 4].

## Материалы и методы

Для успешного решения комплексной задачи по поиску, выявлению и тушению пожара на открытом пространстве (в лесном массиве) целесообразно использование гетерогенной БАС [5]. В настоящей работе принимается ограничение, что ортофотоплан местности в оперативной группе МЧС уже имеется. Предполагается, что очаг возгорания появляется по ходу эксплуатации аппаратов БАС в случайных координатах, кроме того, по масштабам – локальный, развитие масштаба до “крупномасштабного” с течением времени не рассматривается.

Под локальными понимаются пожары класса А (загорание, менее 0,2 га, может быть потушен одним человеком), Б (малый пожар (от 0,2 до 2 га, может быть остановлен

звеном из 2-4 сотрудников), В (небольшой пожар, от 2,1 до 20 га, может быть остановлен оперативной группой численностью до 10 сотрудников) [6].

На первом этапе необходимо решение задачи воздушной разведки. Для поиска локальных возгораний предполагается оптимальным использовать среднегабаритный БЛА-наблюдатель (ДН) квадрокоптерного типа (Таблица 1) на высотах до 200 м [7, 8, 9].

Таблица 1 – ТТХ БЛА-наблюдателя

Table 1 – Performance characteristics of unmanned aerial vehicle observer

Взлетный вес	Максимальная высота полета над уровнем моря	Тип полезной нагрузки	Масса полезной нагрузки	Системы геопозиционирования	Макс. Продолжительность полета
до 1500 г	5000 м	Тепловизор, ИК	5 кг	GPS/GLONASS	до 30 мин
Макс. расстояние передачи сигнала	Диапазон рабочих температур	Макс. скорость набора высоты	Макс. скорость снижения	Макс. скорость	Устойчивость к макс. скорости ветра
до 5 км	от 0° до 40°C	6 м/сек	4 м/сек	до 60 км/ч	10 м/сек

В процессе разведки необходимо передавать полученные данные на пункт наземного контроля обстановки и управления (ПНКОУ), а при обнаружении пожара – дополнительно на аппараты, способные тушить выявленный очаг. Для обеспечения требования непрерывной связи по каналам внутри БАС целесообразно использование БЛА-ретрансляторов квадрокоптерного типа. Один БЛА-ретранслятор позволит обеспечить непрерывную связь одновременно с несколькими БЛА (конкретное число зависит от используемого оборудования) и ПНКОУ. Ретранслятор может быть изготовлен со схожими с ДН ТТХ (Таблица 1), однако с аккумуляторной батареей повышенной мощности. Кроме того, организация питания может быть осуществлена по кабелю.

Таблица 2 – ТТХ БЛА-пожарного

Table 2 – Performance characteristics of unmanned aerial vehicle firefighter

Взлетный вес	Максимальная высота полета над уровнем моря	Тип полезной нагрузки	Масса полезной нагрузки	Системы геопозиционирования	Макс. Продолжительность полета
до 10 кг	3000 м	средство пожаротушения	до 25 кг	GPS/GLONASS	до 20 мин
Макс. расстояние передачи сигнала	Диапазон рабочих температур		Макс. скорость снижения	Макс. скорость	Устойчивость к макс. скорости ветра
до 15 км	от 0° до 40°C		4 м/сек	до 80 км/ч	15 м/сек

Для нейтрализации обнаруженного очага возгорания целесообразно задействовать грузовой БЛА-пожарный (ДП) квадрокоптерного типа (Таблица 2). Задача непосредственного тушения пожара в данной работе не рассматривается. Тушение пожара моделируется нахождением БЛА в ограниченной (~10 м от очага) окрестности пожара в течении времени  $T_{\text{туш}}$ , необходимого для наведения на цель и использования средства тушения. Также принимается допущение, что за одно использование установленное на ДП средство тушения используется полностью и требует штатной замены.

Для обеспечения работы такой БАС необходима материально-техническая база, которая имеет территорию для размещения, запуска и посадки БЛА; средства запуска; возможность провести диагностику систем, вернуть в строй БЛА, использовавший расходуемые средства (заряд аккумуляторов, средства пожаротушения), заменить неисправные компоненты. Для обслуживания БЛА необходимо наличие обслуживающего персонала или автоматизированной системы. В качестве базы могут рассматриваться как стационарные площадки, так и мобильные разворачиваемые платформы (например, на базе КАМАЗа).

Программное обеспечение БЛА должно обеспечивать корректировку движений и положения под воздействием внешней среды (ветер и т.д.) и препятствовать возможности столкновения БЛА с объектами окружающей среды и между собой. Предполагается, что работа комплекса в рамках обнаружения и тушения пожара будет осуществляться

в автоматическом режиме. Однако, возможны ситуации, когда в работу комплекса необходимо внести корректировки с ПНКОУ, что требует наличия удобного инструментария по управлению для оператора [10, 11].

В случае наблюдения за крупными территориями может возникнуть необходимость совместного взаимодействия нескольких БАС. Поскольку разные системы могут комплектоваться различающимися моделями БЛА требуется обеспечить возможность совместной работы и взаимозаменяемости БЛА различных модельных линеек, как в сфере управления дронами, так и в сфере их обслуживания.

В том числе крепление внешних модулей у ДП должно обеспечивать быструю и не требующую специальных навыков замену средств пожаротушения после их использования. Для унификации крепления рабочих органов БЛА должны иметь одинаковую структуру, чтобы в полевых условиях, при необходимости, возможно было быстро изменить тип используемых средств пожаротушения.

### **Сценарий работы комплекса**

Общее количество аппаратов единичной БАС зависит от пропускной способности приемо-передающей аппаратуры УКВ-связи, взаимного удаления объектов возгорания и площади обследуемой области [12, 13, 14].

Сначала производится первоначальное обследование БЛА-наблюдателями. Оно осуществляется с целью уточнения текущей обстановки на исходной карте местности. Производятся снимки и измерения деревьев, кустарников, идентифицируется форма обследуемой территории и ее размеры. Первоначальное обследование является важным этапом поскольку позволяет разделить зоны повышенной и пониженной вероятности возгорания и тем самым уменьшить зону последующих обследований. После первоначального обследования осуществляется мониторинг территории.

В случае обнаружения БЛА-наблюдателем очага возгорания, аппарат приступает к выполнению маневра по вычислению масштабов и определения класса пожара. По полученным ДН о пожаре данным, в зависимости от выбранного режима эксплуатации

БАС - на борту ДН или на ПНКОУ, определяется необходимое число БЛА-пожарных, которые направляются для ликвидации очага. В настоящей работе предполагается автоматический расчет количества аппаратов, вычисляемый на борту ДН, исходя из площади возгорания.

Осуществление мониторинга пожара обеспечивается одним или несколькими БЛА-наблюдателями, в зависимости от размеров подлежащей контролю области, как во время тушения БЛА-пожарными, так и после, с целью выработки решения на задействование дополнительных сил и средств или доклад об успешной ликвидации возгорания. ДП выработавшие запасы средств пожаротушения возвращаются к район ПНКОУ для их пополнения.

После ликвидации возгорания ДН продолжают выполнение полетного задания. В процессе реализации полетного задания аппараты БАС при достижении порогового значения заряда аккумуляторных батарей выполняют возврат на ПНКОУ для их замены, а также передают сигнал управления для взлета дежурного/запасного БЛА, для обеспечения требования непрерывности выполняемого процесса.

### Критериальная задача тушения

Необходимо оценить локальное возгорание (определить площадь возгорания, классифицировать), определить состав БАС (число единиц БЛА каждого типа), общее время на решение задачи с помощью БАС, а также затраты, связанные с потерей деревьев, которые не были вовремя потушены [15].

Опишем постановку задачи с помощью математической модели. Пусть  $N$  – суммарное число дронов на складе,  $N_{оч} = 1$  – число очагов возгорания, и известно, что его центр расположен на расстоянии  $l = 10000$  м от ПНКОУ. Нужно определить:

- 1) Площадь возгорания  $S_{возг}$ , что позволит отнести пожар к классу;
- 2) Число БЛА каждого типа (наблюдатель, ретранслятор, пожарный), необходимое для решения задачи:  $N_n, N_p, N_{п}$ ;
- 3) Общее время для обследования и тушения пожара  $T_{общ}$ ;
- 4) Определить затраты, связанные с числом деревьев, которые не были вовремя потушены  $P$ .

Составляется и решается многокритериальная задача оптимизации с тремя критериями оптимальности при определенных для нее ограничениях:  $\min N$  – минимум числа БЛА,  $\min P$  – минимальная стоимость затрат на непотушенные деревья, то есть оптимально, если максимум потушенной территории (каждое дерево можно оценивать с точки зрения стоимостной характеристики  $P_{дер}$ , например, для деревьев в особо охраняемых природных территориях, таких как национальные парки,  $P_{дер} = 100000$  рублей),  $\min T_{туш}$  – минимум времени для тушения [16, 17]. Зависимости между переменными изначально неизвестно, но их можно задать в ходе решения задачи.

Вначале используется один БЛА наблюдатель, который во время планового исследования территории обнаружил очаг возгорания. Если он может контролировать всю площадь возгорания, наблюдаемую одновременно, и передавать эти данные на ПНКОУ, то  $N_n = 1$ . Если нет и площадь возгорания больше, чем может контролировать один БЛА-наблюдатель, то с ПНКОУ спустя время  $T^*$  (время, необходимое для полной оценки территории пожара БЛА-наблюдателем с помощью маневров) вызываются дополнительные БЛА-наблюдатели. Рассмотрим этот случай. Тогда определяются траектория полета БЛА и время, за которое они долетают до точки назначения.

БЛА-наблюдатели взлетают на заданную высоту по вертикали, затем летят в эшелоне горизонтально и достигают такого положения, что на этой высоте могут

наблюдать за развитием возгорания. Для более точного изучения возгорания они могут снижать высоту. Траектория полета этих БЛА представлена на Рисунке 1. Так как диагональное движение при подъеме может быть затруднено (например, обильной листвой деревьев), то в общем случае оно в данном решении не рассматривается.

Пунктом старта БЛА-наблюдателя типа является ПНКОУ, положение 0. Рассмотрим частный случай. Высота для облета БЛА-наблюдателя – 100 м. Представим, что деревья имеют примерно одинаковую высоту (различия в высоте малы). Пусть высота деревьев задана – 30 м. Для получения более точной оценки пожара БЛА снижает высоту со 100 м до 40 м.

Подсчитаем время, необходимое для перемещения БЛА из нулевого положения во второе по траектории. Путь из нулевой точки в первую занимает время, равное  $t_{01} = \frac{100\text{м}}{6\text{м/с}} \approx 17\text{с}$ . Путь из первой точки во вторую занимает время, равное  $t_{12} = \frac{10^4\text{м}}{60\text{км/ч}} = 600\text{с} = 10\text{ мин}$ . Значит путь из нулевой точки во вторую занимает время  $t_{02} = t_{01} + t_{12} \approx 10.3\text{ мин}$ . Итак, предположим, что через 10.3 минут БЛА из ПНКОУ добрался до положения 2 и обнаружил признаки возгорания. Дальше, он также должен снизить высоту до 40 метров, то есть переместиться из положения 2 в положение 3. Он производит это за время  $t_{23} = \frac{100\text{м}-40\text{м}}{4\text{м/с}} = 15\text{с}$ . Можно отметить, что время на взлет БЛА и его спуск мало по сравнению с путем из положения 1 в положение 2, то есть общее время  $T_1$ , за которое БЛА-наблюдатель добирается до места возгорания, в основном зависит от расстояния между ПНКОУ и очагом и равно 10 минутам.



Рисунок 1 – Траектория БЛА-наблюдателя  
 Picture 1 – Trajectory of unmanned aerial vehicle observer

Таким образом, через  $T^* + T_1$  минут вся область возгорания будет под наблюдением БЛА-наблюдателей и данные обо всех зонах возгорания смогут непрерывно передаваться в пункт наземного контроля и обеспечения управления, а

также на используемые БЛА-пожарные. Для передачи данных используются БЛА-ретрансляторы. Их число и расположение зависит от числа имеющихся БЛА, местоположения пожара и размеров области исследования. Более того, при небольшой области исследования и мощной передающей аппаратуре, возможно ограничиться одним БЛА-ретранслятором, расположенным на земле в ПНКОУ.

Также, спустя время  $T^*$  после обнаружения очага возгорания первым ДН к месту пожара отправляются БЛА-пожарные. Их число зависит от площади возгорания. Траектория ДП схожа с траекторией БЛА-наблюдателей, а их скорости равны, следовательно, путь до очага возгорания преодолевается БЛА-пожарным за время  $T_2 = T_1$ . Пусть  $\Delta T_3$  – суммарное время задержек (старт БЛА с базы по очереди группой наблюдателей и группой пожарных для упрощения перемещения, уточнение карты пожара группой БЛА-наблюдателей, корректировка маршрута и целей ДП, т.п.). Значит, через время  $T = T^* + T_1 + \Delta T_3$  можно будет приступить к тушению пожаров с помощью БЛА-пожарных. Число необходимых БЛА-пожарных для тушения определяется, исходя из, самой зоны возгорания и ограничено общим числом дронов на складе. Предположим, что каждый БЛА-пожарный отвечает за тушение своего участка в очаге возгорания, и всего имеется  $N_{уч}$  участков возгорания равной площади.

Если предположить, что пожар будет потушен за один заход группой ДП, то можно вычислить общее время на обследование и тушение возгорания. Все участки будут потушены группой БЛА-пожарных за  $T_{туш} + \Delta T_{туш}$  минут. Общее время, затраченное на обследование и тушение пожара, будет затем вычисляться по формуле:

$$T_{общ} = T + T_{туш} + \Delta T_{туш} = T^* + T_1 + T_{уч} + \Delta T_{туш} + \Delta T_3 \quad (1)$$

Вычислим, как влияет число задействованных беспилотников на стоимость непотушенной территории. Допустим, что на одном участке расположено  $N_{дер}$  деревьев. Значит, в данном случае затраты, связанные с нецелевыми участками, можно вычислить по формуле:

$$P = (N_{уч} - N_{п}) * N_{дер} * P_{дер} \quad (2)$$

Итак, задачу оптимизации можно представить следующим образом:

$$P^* = \min P(N_{п}) = \min((N_{уч} - N_{п}) * N_{дер} * P_{дер})$$

$$\min N_{п} \quad (3)$$

$$N_{п} \in Z, 1 \leq N_{п} \leq N - N_{н} - N_{р}$$

Как можно заметить, при заданных условиях критерии оптимальности противоречивы. С одной стороны, нужно задействовать наименьшее число БЛА, а с другой, чем меньше БЛА мы задействуем, тем больше деревьев сгорает, что ведет к затратам, связанным со стоимостной характеристикой  $P^*$ . Более того, для локального возгорания число используемых БЛА-пожарных также обратно пропорционально влияет и на время тушения.

Дальнейшее решение задачи связано с решением соответствующих задач оптимизации и нахождением численности всего состава БАС. Задачу оптимизации можно решить различными методами [7]. Среди них можно отметить такие методы как, например, поиск Парето-оптимального решения, критериальная свертка, выбор наиболее значимого критерия и метод уступок. Применение того или иного способа решения зависит от лица, принимающего решение.

## Заключение

Таким образом, проведенное исследование предлагает вариант решения актуальной проблемы низкого уровня эффективности борьбы с пожарами на открытых пространствах – в лесу. Представленная в настоящей работе БАС позволяет решать широкий спектр прикладных задач как по обнаружению на ранней стадии мелкомасштабных и активному противодействию развитию пожара на большой площади в лесу. Кроме того, описаны необходимые материально-технические средства, необходимые для успешного выполнения задач. В работе на примере, данной БАС приведен вариант изучения характера взаимодействия ее элементов. В связи с актуальностью рассматриваемого вопроса планируется продолжить текущее исследование в последующих теоретических и практических работах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Cai G., Chen B.M., Lee T.H. *Unmanned Rotorcraft Systems*. Springer, 2011 Available from: <https://www.springer.com/gp/book/9780857296344> [Accessed 10th October 2020].
2. Chueshev A.V., Melekhova O.N., Мещеряков Р.В. Cloud robotic platform on basis of fog computing approach. *Lecture Notes in Computer Science*. 2018. 11097 LNAI.
3. Hadad, Meirav; Kraus, Sarit et al. Group planning with time constraints *Annals of mathematics and artificial intelligence*, 2013;69(1):243-291.
4. Hu G., Tay W.P., Wen Y. Cloud robotics: architecture, challenges and applications *IEEE Netw. IEEE*, 2012;26(3):21–28.
5. Zhang, K., Niroui, F., Ficocelli, M., & Nejat, G. Robot Navigation of Environments with Unknown Rough Terrain Using deep Reinforcement Learning. *2018 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Robot-Navigation-of-Environments-with-Unknown-Rough-Zhang-Niroui/22a7179569d9a1cbc9ce5339002dc5ed451ab29c> [Accessed 8th October 2020].
6. Брушлинский Н.Н., Соколов С.В. Международная пожарная статистика международной ассоциации пожарно-спасательных служб. *Современные проблемы гражданской защиты*. 2016;1(18):71-103.
7. Васильев В.П., Мельник А.О. Решение многокритериальных задач принятия решения посредством смешанной свертки критериев. *Материалы XI международной научно-практической конференции “Современные инновационные технологии и проблемы устойчивого развития общества”*. 2018;1:163-168.
8. Галин Р.Р., Мещеряков Р.В. Human-Robot Interaction Efficiency and Human-Robot Collaboration. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020;272:55-63.
9. Мещеряков Р.В., Трефилов П.М., Чехов А.В., Диане С.А., Русаков К.Д., Лесив Е.А. An application of swarm of quadcopters for searching operations *IFAC-PapersOnLine. Sozopol, Bulgaria: Elsevier*. 2019;52(25):14-18.
10. Мойсеев В.С. *Групповое применение беспилотных летательных аппаратов: монография*. Казань. Редакционно-издательский центр «Школа». 2017.
11. Исхакова А.О., Исхаков А.Ю., Мещеряков Р.В., Жарко Е.Ф. Method of Verification of Robotic Group Agents in the Conditions of Communication Facility Suppression *IFAC-PapersOnLine. Amsterdam: Elsevier*. 2019;52(13):1397-1402.
12. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Самоорганизация в мультиагентных системах *Известия Южного федерального университета. Технические науки. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Южный федеральный университет”*. 2010;104(3).
13. Каримов А.Х. Цели и задачи, решаемые беспилотными авиационными комплексами нового поколения. *Электронный журнал «Труды МАИ»*. 47. Available from: <http://trudymai.ru/published.php?ID=26767> [Accessed 9th October 2020].

14. Кутахов В.П., Пляскота С.И. Информационное взаимодействие в крупномасштабных робототехнических авиационных системах *Материалы Десятой международной конференции: в 2-х томах Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова*. Российская академия наук. 2017;1:93-96.
15. Пантелей Е. Разработка программно-аппаратного комплекса управления группой беспилотных летательных аппаратов для решения задач предприятий растениеводства. *Проблемы управления и моделирования в сложных системах Труды XX Международной конференции (3-6 сентября 2018 г., Самара, Россия)*. 2018;1:548–553.
16. Соловьев В.В., Финаев В.И., Белоглазов Д.А. Навигация для обеспечения коммуникаций в группе подвижных объектов. *Телекоммуникации. Общество с ограниченной ответственностью "Наука и технологии"*. 2017;9:21–27.
17. Трефилов П.М., Мамченко М.В., Романова М.А., Ишук И.Н. Improving Methods of Objects Detection Using Infrared Sensors Onboard the UAV. *Proceedings of 15th International Conference on Electromechanics and Robotics "Zavalishin's Readings"*. Singapore: Springer, 2020;187:105-114. Available from: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-981-15-5580-0> [Accessed 10th October 2020].

## REFERENCES

1. Cai G., Chen B.M., Lee T.H. *Unmanned Rotorcraft Systems*. Springer, 2011 Available from: <https://www.springer.com/gp/book/9780857296344> [Accessed 10th October 2020].
2. Chueshev A.V., Melekhova O.N., Мещеряков Р.В. Cloud robotic platform on basis of fog computing approach. *Lecture Notes in Computer Science*. 2018. 11097 LNAI.
3. Hadad, Meirav; Kraus, Sarit et al. Group planning with time constraints *Annals of mathematics and artificial intelligence*, 2013;69(1):243-291.
4. Hu G., Tay W.P., Wen Y. Cloud robotics: architecture, challenges and applications *IEEE Netw. IEEE*, 2012;26(3):21–28.
5. Zhang, K., Niroui, F., Ficocelli, M., & Nejat, G. Robot Navigation of Environments with Unknown Rough Terrain Using deep Reinforcement Learning. *2018 IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)*. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Robot-Navigation-of-Environments-with-Unknown-Rough-Zhang-Niroui/22a7179569d9a1cbc9ce5339002dc5ed451ab29c> [Accessed 8th October 2020].
6. Brushlinskii N.N, Sokolov S.V. Mezhdunarodnaya pozharnaya statistika mezhdunarodnoi assotsiatsii pozharno-spatatel'nykh sluzhb. *Sovremennye problemy grazhdanskoi zashchity*. 2016;1(18):71-103.
7. Vasil'ev V.P., Mel'nik A.O. Reshenie mnogokriterial'nykh zadach prinyatiya resheniya posredstvom smeshannoi svertki kriteriev. *Materialy XI mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Sovremennye innovatsionnye tekhnologii i problemy ustoichivogo razvitiya obshchestva"*. Izdatel'skii dom "Kovcheg". 2018;1:163-168..
8. Galin R.R., Meshcheryakov R.V. Human-Robot Interaction Efficiency and Human-Robot Collaboration. *Studies in Systems, Decision and Control*. 2020;272:55-63.
9. Meshcheryakov R.V., Trefilov P.M., Chekhov A.V., Diane S.A., Rusakov K.D., Lesiv E.A. An application of swarm of quadcopters for searching operations *IFAC-PapersOnLine. Sozopol, Bulgaria: Elsevier*. 2019;52(25):14-18.
10. Moiseev V.S. *Grupповое primeneniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov: monografiya. – Kazan'*. Redaktsionno-izdatel'skii tsentr «Shkola». 2017.
11. Iskhakova A.O., Iskhakov A.Yu., Meshcheryakov R.V., Zharko E.F. Method of Verification of Robotic Group Agents in the Conditions of Communication Facility Suppression *IFAC-PapersOnLine. Amsterdam: Elsevier*. 2019;52(13):1397-1402.

12. Kalyaev I.A., Gaiduk A.R., Kapustyan S.G. Samoorganizatsiya v mul'tiagentnykh sistemakh: *Izvestiya Yuzhnogo federal'nogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Yuzhnyi federal'nyi universitet"*. 2010;104(3).
13. Karimov A.Kh. Tseli i zadachi, reshaemye bespilotnymi aviatsionnymi kompleksami novogo pokoleniya. *Elektronnyi zhurnal «Trudy MAI»*. 47. Available from: <http://trudymai.ru/published.php?ID=26767> [Accessed 9th October 2020].
14. Kutakhov V.P., Plyaskota S.I. Informatsionnoe vzaimodeistvie v krupnomasshtabnykh robototekhnicheskikh aviatsionnykh sistemakh *Materialy Desyatoi mezhdunarodnoi konferentsii: v 2-kh tomakh Institut problem upravleniya im. V.A.Trapeznikova. Rossiiskaya akademiya nauk*. 2017;1:93-96.
15. Pantelei E. Razrabotka programmno-apparatnogo kompleksa upravleniya gruppoi bespilotnykh letatel'nykh apparatov dlya resheniya zadach predpriyatii rasteniievodstva // Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh. *Trudy XX Mezhdunarodnoi konferentsii (3-6 sentyabrya 2018 g., Samara, Rossiya)*. 2018;1:548–553.
16. Solov'ev V.V., Finaev V.I., Beloglazov D.A. Navigatsiya dlya obespecheniya kommunikatsii v gruppe podvizhnykh ob"ektov Telekommunikatsii. *Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu "Nauka i tekhnologii"*. 2017;9:21–27.
17. Trefilov P.M., Mamchenko M.V., Romanova M.A., Ishchuk I.N. Improving Methods of Objects Detection Using Infrared Sensors Onboard the UAV. *Proceedings of 15th International Conference on Electromechanics and Robotics "Zavalishin's Readings"*. Singapore: Springer, 2020;187:105-114. Available from: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F978-981-15-5580-0> [Accessed 10th October 2020].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Мещеряков Роман Валерьевич**, доктор технических наук, профессор РАН, заведующий лабораторией киберфизических систем, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
*e-mail:* [meshcheryakov.roman@gmail.com](mailto:meshcheryakov.roman@gmail.com)

**Саломатин Александр Александрович**, аспирант лаборатории киберфизических систем, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
*e-mail:* [karateka30@mail.ru](mailto:karateka30@mail.ru)

**Сенчук Дмитрий Владимирович**, аспирант лаборатории киберфизических систем, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
Эл. почта: [tyxer2006@gmail.com](mailto:tyxer2006@gmail.com)

**Широков Александр Сергеевич**, инженер лаборатории киберфизических систем, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН  
*e-mail:* [as.schirok77@gmail.com](mailto:as.schirok77@gmail.com)

**Roman V. Meshcheryakov**, Doctor of Engineering Sciences, professor RAS, head of laboratory cyber-physical systems, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Alexander A. Salomatin**, PhD Student of laboratory cyber-physical systems, V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Dmitry V. Senchuk**, PhD Student of laboratory cyber-physical systems, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Aleksandr S. Shirokov**, Engineer of laboratory cyber-physical systems, V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation