

**К ВОПРОСУ О ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ**

**Д.В. Сенчук (Москва)**

Актуальной темой последних исследований технической направленности в международном научном сообществе является вопрос тактики эксплуатации перспективных образцов и программных моделей автономно действующих многокомпонентных беспилотных авиационных систем (БАС), состоящих из различных по своему функциональному назначению аппаратов. Проектируемые группировки беспилотных летательных аппаратов (БЛА) позволят успешно и оперативно решать широкий круг задач, в случаях ограниченного ресурса времени, сложных метеоусловиях или местах непригодных для жизни человека. По этой причине одними из первостепенных заказчиков разработки данного оборудования выступают представители силовых структур, министерства по чрезвычайным ситуациям, а также руководители предприятий с вредным производством.

В текущем исследовании рассмотрим конкретную прикладную задачу для подразделения Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России). Для обеспечения главного условия – оперативности выполняемых БАС мероприятий в интересах оперативной группы МЧС по решению задачи доставки медицинского груза необходимо сокращение временных затрат на развертывание, составление полетного задания и полета гетерогенной группы. В условиях данных требований сокращение времени на развёртывание аппаратов возможно достичь за счет тренировок штатных сотрудников министерства. Заблаговременное создание типового полетного задания в программном обеспечении БАС позволит исключить процесс его формирования на этапе выполнения спасательной операции. Наиболее сложным для оптимизации является процесс выполнения поставленной задачи в условиях недетерминированной среды в автоматическом режиме. Позволить оптимизировать выполнение данной задачи может алгоритм поведения аппаратов группировки в случае нештатных ситуаций, который сможет не только обеспечить оперативную и корректную обработку изменений ситуации в условиях ограниченной коммуникации внутри группы и возникающих пространственно-временных ограничений, но и на основе полученных данных скорректировать порядок выполнения задания группой в условиях действующих ограничений.

Структура изложения материала настоящей работы следующая: сначала (раздел II) анализируются возможные пространственно-временные ограничения, накладываемые на роботизированные беспилотные авиационные системы. Затем (раздел III) описываются подходы к созданию формализованных оптимальные (или субоптимальные) стратегии функционирования авиационной системы на основе выявленных ограничений. В четвертом разделе предложен алгоритм поведения беспилотных летательных аппаратов в случае возникновения нештатных ситуаций. Заключение содержит обсуждение перспективных направлений разработки алгоритмов автоматического принятия решения и корректировки стратегии своего поведения роботизированными системами.

Анализ возможных ограничений, накладываемых на роботизированные беспилотные авиационные системы

В общем случае, спасательные операции, проводимые оперативными группами МЧС, состоят в доставке медицинских грузов группой мобильных роботов заданного множества с варьируемой, в зависимости от обстановки, частотой на коротком отрезке времени в условиях резкоменяющихся метеоусловий (например, в горной местности) или в труднодоступных местах (например, при нахождении пострадавших внутри периметра лесного массива подверженного возгоранию). Задача маршрутизации аппаратов БАС при этом заключается в построении такого допустимого группового маршрута, который обеспечивал бы своевременную доставку груза при условии смены состава действующей группировки в случае потери или выхода из строя одного из

### **Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования**

---

аппаратов. В дальнейшем, будем называть задачу, исследуемую в рамках данной публикации, задачей доставки медицинского груза. Далее представлена формальная общая постановка задачи.

Обозначим через  $T$  длительность всего мероприятия по доставке груза. Пусть изначально мероприятие включает  $N=\{1,\dots,n\}$  пострадавших (целей доставки груза), расположенных в рамках обозначенной области. Каждому пострадавшему поставлен в соответствие требуемый для доставки груз  $e_n=\{1,2,\dots,l\}$ . Груз имеет свои весовые показатели, что в дальнейшем будет влиять на расход энергии. Кроме своего местоположения  $(x,y)$  и условий доставки  $b_i$  (посадочным способом, сбросом на цель), каждый пострадавший характеризуется критическим временем по доставке груза  $t_n$ .

Пусть группа автономных мобильных роботов, выполняющая миссию, изначально состоит из трех аппаратов. Аппараты в группе подразделяются на разведчики и грузовой, поэтому различаются между собой по своей крейсерской скорости движения  $v_k$ , емкости аккумуляторных батарей  $b_k$ , и набору предустановленного бортового оборудования  $\chi\{y,u\}$ , где  $y$  – полезная нагрузка робота-разведчика, а  $u$  – транспортного робота. В настоящей модели допускается, что все разведчики рассматриваемой БАС перемещаются к пострадавшему с увеличенной по сравнению с транспортным роботом крейсерской скоростью. Емкость аккумуляторов для наибольшей наглядности допускается измерять не в единицах энергии, а в средней длительности функционирования.

На рис. 1 схематически представлен процесс выполнения задачи доставки медицинского груза группой из трех беспилотных летательных аппаратов (квадрокоптерного типа). Связь организована не только между аппаратами и пультом управления, за которым находится оператор из числа оперативной группы МЧС, но и между аппаратами внутри группы. Данная организация связи повышает эффективность выполнения задачи в случае возникновения помех между БАС и пультом оператора. В изображенный момент времени действующая группировка следует на разных высотах и распределена по фронту таким образом, чтобы в случае потери связи с одним из аппаратов была изменена траектория полета.

В процессе полета в условиях чрезвычайных ситуаций данная группировка может столкнуться с рядом ограничений, которые могут послужить причиной выхода из строя ряда аппаратов. Задача исследователей на этапе разработки автоматического алгоритма действий БЛА проанализировать влияние данных факторов внешних воздействий и исключить возможность вывода из строя всей группировки. К таким ограничениям можно отнести: критическое повышение (понижение) температуры окружающей среды, в случае применения в условиях пожара или крайнего севера; повышение скорости порывов ветра, в случае применения при шквалистом ветре, бурях в пустыне, смерчах; повышение влажности в случае применения при возникновении обильных осадков (ливня, града). Стоит обратить внимание, что некоторые ограничения накладываются исходя из внутренних параметров БЛА, например: наличие или отсутствие тепловизионной ветви наблюдения для успешного поиска пострадавших в загазованных областях; параметры шумности аппарата, что может положительно сказываться для привлечения внимания пострадавших, о местонахождении которых неизвестно при проведении поисковых мероприятий; масса полезной нагрузки грузового аппарата; время работы в активном режиме и дальность полета; возможность возврата какой-либо полезной нагрузки к пульту оператора оперативной группы МЧС.

Формализованные оптимальные (или субоптимальные) стратегии функционирования авиационной системы

Управляющие последовательности взаимодействия рассматриваемой группы из трех БЛА, обеспечивающие максимум совокупности критериев качества данной системы (минимальное время выполнения задачи, минимальные затраты энергоресурсов и т.д.) представляют собой одну из стандартных задач проектирования системы - оптимального управления.

С учетом того, что в настоящем исследовании одним из критических рассматриваемых факторов является минимальное время выполнения спасательной операции для достижения

### Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования

---

положительного результата – спасения пострадавших, то для решения задачи оптимального управления предлагается применение принципа максимума Понтрягина (1).

$$H = \varphi V = \sum_{i=1}^n \varphi_i V_i = \max \quad (1)$$

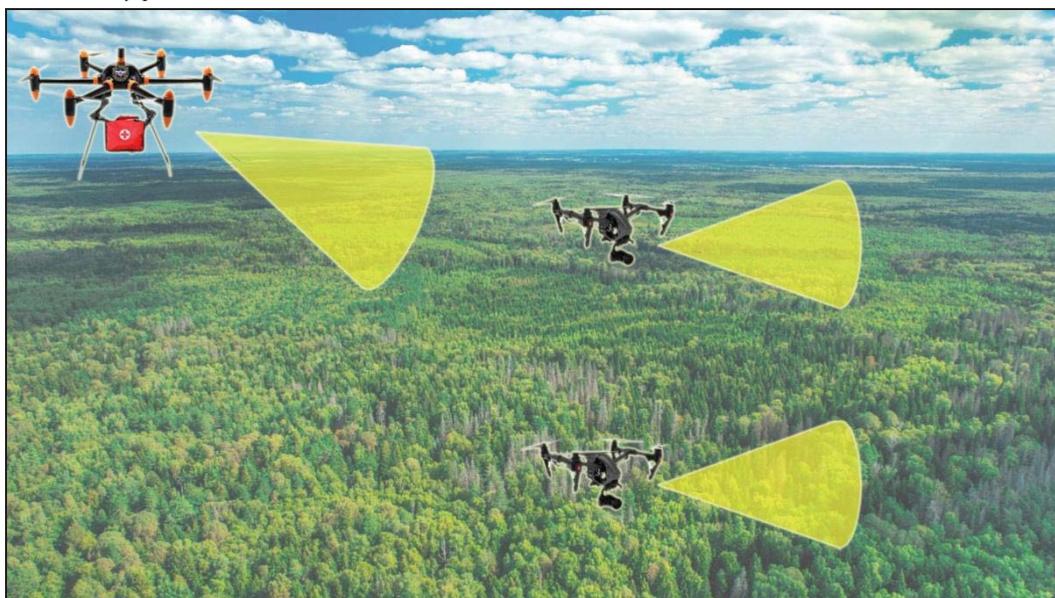


Рис. 1. Схематическое представление выполнения задачи доставки медицинского груза группой из трех БЛА

Так как изучаемый процесс доставки груза представляет собой сложный комплекс мероприятий разнородных беспилотных авиационных систем, то решение многокритериальной задачи оптимизации предлагается организовать с использованием критерия по лексикографическому порядку: каждое следующее действие БЛА выполняется после выполнения функции оптимизации по принципу максимума Понтрягина для предыдущего промежуточного действия. Это объясняется тем, что одни целевые функции важнее других.

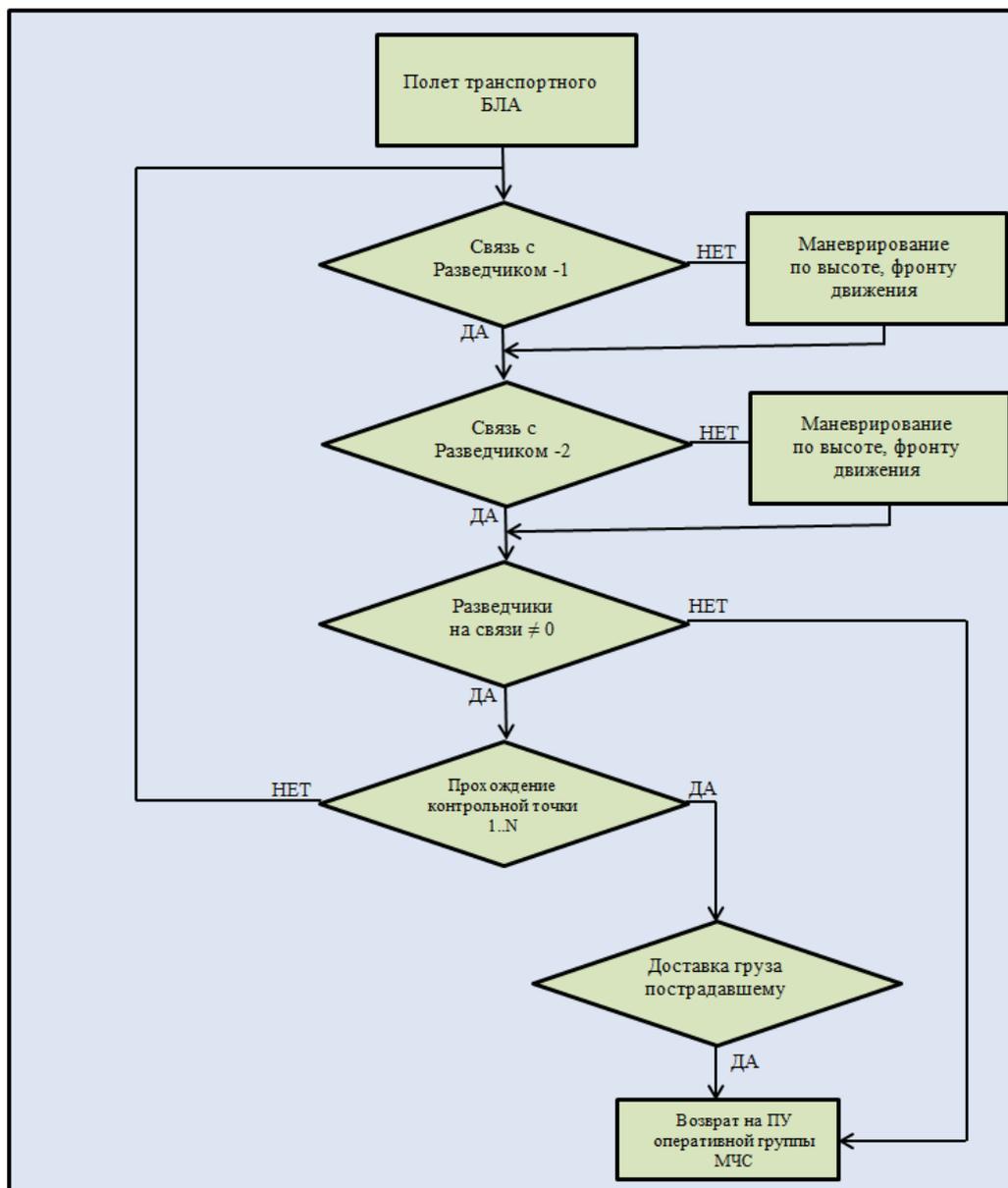


Рис. 2. Схема выполнения задачи доставки медицинского груза группой из трех БЛА

Алгоритм поведения беспилотных летательных аппаратов в случае возникновения нештатных ситуаций

По мнению авторов, представленный на рис. 2 алгоритм поведения беспилотных летательных аппаратов в случае возникновения нештатных ситуаций обеспечит оптимальное и эффективное выполнение поставленных задач.

В процессе выполнения задач по спасению пострадавших в чрезвычайных ситуациях вероятность функционирования рассматриваемой беспилотной авиационной системы в условиях недетерминированной среды (сложных метеоусловиях и т.д.) высока. С учетом данного фактора исследователями при дальнейшем проектировании алгоритмов поведения БЛА планируется изучение вопроса перераспределения функций в случае выхода одного из аппаратов из строя. Так, например, для описываемой в настоящем материале ситуации при потере одного из разведчиков его функциональное предназначение может быть возложено на транспортный квадрокоптер.

Заключение

В работе проведен анализ и представлен перечень возможных ограничений, накладываемых на роботизированные беспилотные авиационные системы. Описаны формализованные оптимальные (или субоптимальные) стратегии функционирования авиационной

### **Секция 3. Практическое применение моделирования и инструментальных средств автоматизации моделирования, принятие решений по результатам моделирования**

---

системы. Представлен алгоритм поведения беспилотных летательных аппаратов в случае возникновения нештатных ситуаций.

В дальнейшем предполагается развитие представленного алгоритма, в первую очередь при проведении полевых испытаний БАС, которые проводятся в настоящее время, а также по итогам изучения влияния внешних факторов при задействовании инструментов виртуального моделирования.

#### Литература

1. Барбасов В.К., Руднев П.Р., Орлов П.Ю., Гречищев А.В. Применение малых беспилотных летательных аппаратов для съемки местности и подготовки геоинформационного контента в чрезвычайных ситуациях // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2013. № 2. С. 158-163.
2. Калашников А.А. Применение беспилотных летательных аппаратов при тушении лесных пожаров (на примере Самарской области) // Academy. 2018. № 12. С. 23-25.
3. Каляев, И.А. Распределенные системы планирования действий коллективов роботов: моногр. / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян.–М.: Янус-К, 2002.–292 с.
4. 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 – С. 93-96.
5. Таранцев А.А., Чикитов Ю.И. Модель применения беспилотных летательных аппаратов в целях тушения крупных лесных пожаров в зоне применения наземных сил и средств // Вестник Санкт-Петербургского Университета ГПС МЧС России. 2016. № 2. С. 21-27.
6. Ченцов А.Г. Экстремальные задачи маршрутизации и распределения заданий: вопросы теории. Москва–Ижевск: РХД. 2008. 238 с.
7. Hadad, Meirav; Kraus, Sarit et al. Group planning with time constraints // Annals of mathematics and artificial intelligence, 2013, Т.69 Вып.3 Стр.243-291
8. Takács Á.; Rudas I.; Bösl D.; Haidegger T. Highly Automated Vehicles and Self-Driving Cars [Industry Tutorial] // IEEE Robotics & Automation magazine. 2018. Vol. 25. Is. 4. P. 106-112.
9. Thiels C.A, Aho J.M., Zietlow S.P., and Jenkins D.H. Use of unmanned aerial vehicles for medical product transport // Air medical journal. 2015. Vol. 34. No. 2. P. 104-108.
10. Tisdale J., Zuwhan K., Hendrick J.K. Autonomous UAV path planning and estimation // IEEE Robotics & Automation magazine. 2009. Vol. 16. Is. 2. P. 35-42.
11. Tomic T.; Schmid K.; Lutz P.; Domel A. Toward a Fully Autonomous UAV: Research Platform for Indoor and Outdoor Urban Search and Rescue // IEEE Robotics & Automation magazine. 2012. Vol. 19. Is. 3. P. 46-56.
12. Lin L., Roscheck M., Goodrich M., Morse B. Supporting wilderness search and rescue with integrated intelligence: autonomy and information at the right time and the right place // Proc. 24th AAAI Conf. Artificial Intelligence, Atlanta, GA, 2010, P. 1542–1547.