



УПРАВЛЕНИЕ ГРУППОВЫМ ПОВЕДЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В.П. Кутахов, Р.В. Мещеряков

Аннотация. Рассмотрены элементы группы беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для формирования различных задач группы и в группе авиационных систем. Предлагается формирование различных фаз выполнения действий управления группой авиационных систем беспилотных летательных аппаратов, которые показаны на примере выбора различных целей для элементов группы (БЛА). Фазы являются элементами крупномасштабного поведения группы и в группе БЛА, которые могут включаться в цикл при использовании технологий искусственного интеллекта. Проведена формализация с точки зрения как монофункциональных БЛА для выбора множества конечных действий, так и многофункциональных БЛА для группового выполнения одной или нескольких функций воздействия. Представлена постановка задачи группового поведения для применения технологий искусственного интеллекта. Сформулированы основные элементы системы отношений и условий эффективности выполнения задач при управлении группой БЛА и действий в группе как крупномасштабной системой, отражающей постановку задачи для применения технологий искусственного интеллекта. Делается вывод о перспективности использования гомогенных и гетерогенных групп БЛА в интерпретации формального поведения робототехнических систем.

Ключевые слова: БЛА, робототехника, беспилотные авиационные системы, искусственный интеллект.

ВВЕДЕНИЕ

Перспективы развития беспилотной техники, в особенности беспилотных авиационных систем, связаны с групповым применением, с созданием больших групп разнородных беспилотных летательных аппаратов (БЛА), глубоко информационно связанных между собой и действующих совместно в интересах выполнения общей задачи. Авторы полагают, что в области создания таких беспилотных систем, представляющих собой крупномасштабные образования, значительное место должны занимать интенсивно развиваемые в настоящее время методы и технологии искусственного интеллекта (ИИ). В данной статье будут обсуждены подходы к управлению группами БЛА и направления использования технологий ИИ в задачах их коллективного применения. Как будет показано ниже, основной особенностью задачи управления груп-

пой в целом, в отличие от управления отдельным БЛА, является то, что она представляет собой последовательность задач принятия решений, и, в меньшей степени, динамических задач по реализации этих решений.

В настоящее время в беспилотной технике доминируют дистанционно пилотируемые средства, опирающиеся в своем применении на «естественный интеллект» оператора. Ненадежность или перегруженность линий связи, прогнозируемая массовость применения БЛА, вступающая в противоречие с допустимой численностью операторов, приводят к переходу к частичному или полному автономному управлению, к логичному выводу о необходимости интенсификации исследований в направлении автономизации действий БЛА и групп БЛА. [1]

Использование технологий искусственного интеллекта ориентировано в настоящее время прежде

всего на применение в системах управления БЛА и в полезной нагрузке БЛА. Сравнение двух одиночных БЛА, одного с элементами искусственного интеллекта, а второго без него, проводилось в работе [2]. Показано, что восприятие, принятие решений, поведение и обучение определяет эффективность обнаружения и оценивается на основе ошибок первого и второго рода. Более высокие оценки получили БЛА с использованием технологии искусственного интеллекта. Конечно же, распространены решения задач SLAM (*simultaneous localization and mapping*) для БЛА с применением технологий ИИ [3] и вряд ли стоит надеяться на прорывные результаты в ближайшее время.

В ряде работ рассматриваются частные задачи применения технологий ИИ в работе БЛА. Например, в работе [4] представлена бортовая система обнаружения, отслеживания и уклонения от целей для недорогих полетных контроллеров БЛА с использованием технологий искусственного интеллекта. Распространенным является применение методов обработки информации с систем технического зрения для использования в качестве навигационной системы [5], для использования в разведке с целью поиска и распознавания объектов интереса [6, 7], для использования в системе управления [8]. Активно развиваются фреймворки для встраивания технологий ИИ в БЛА [9]. Важным для любой системы управления является обеспечение ее кибербезопасности [10–14]. Оригинальными результатами в этой области являются методы контроля каналов управления и противодействия атакам на нее, в том числе при реализации идеи «умного города» (*Smart City*).

Авторы полагают, что наиболее перспективное и результативное применение ИИ следует рассматривать в области беспилотных систем различного назначения, а еще более перспективно – в создании крупномасштабных многофункциональных беспилотных систем [15]. Такие системы могут решать задачи сельского хозяйства [16, 17], лесо- и биохраны [18], обслуживания ЛЭП [19], контроля движения объектов, действий в условиях природных и техногенных катастроф [20, 21], таких как доставка, эвакуация, транспортные и другие задачи в связи с текущими запросами. Наверное, следует ожидать таких же решений в оборонной отрасли. [22, 23]. Использование современных технологий управления роем и технологий связи MANET (*Mobile Ad hoc NETWORK*) представляет интерес для сочетания эффективной организации в группе [13, 24], но не удовлетворяет условиям развития полноценной гетерогенной системы.

В ближайшей перспективе нужно рассматривать применение крупномасштабных информационно-исполнительных авиационных систем БЛА (введем аббревиатуру АС БЛА) [15], состоящих из информационно связанных разнородных БЛА. Представляется обоснованным, что эти системы должны состоять из совокупности однофункциональных БЛА различного информационного и исполнительного назначения.

В проблемах организации действий больших групп БЛА, управления группами БЛА, по мнению авторов, следует обратить внимание на новый ряд задач, связанных с групповым глубоким взаимодействием аппаратов, образующих разнородную группу при выполнении сложных, зачастую малоопределенных действий, на нахождение новых подходов и формирование новых путей решения задач управления группой.

В концепции автономного поведения БЛА и, особенно, АС БЛА ключевую роль занимают задачи интеллектуализации управления поведением отдельных аппаратов в группе для обеспечения согласованных действий для выполнения единого общего задания. Отдельное место в этих задачах управления занимают задачи принятия решений, связанных с реализацией способов, приемов действий, с распределением функций в рамках коллективных действий БЛА в рамках сложного целевого задания, поставленного АС БЛА. В простейших целевых заданиях можно обойтись традиционными методами создания соответствующих алгоритмов интеллектуального управления [23]. Но при усложнении этих заданий, при существенном увеличении численности группы проявляется целесообразность и необходимость применения технологий искусственного интеллекта (ИИ).

Необходимо формализовать задачи интеллектуализации деятельности АС БЛА, структурировать их, выделить отдельные подзадачи, определить адекватные методы их решения и адекватного использования технологий ИИ в них.

1. ФАЗЫ ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ АС БЛА

Для конкретизации постановок задач ИИ развернем действия АС БЛА после формулирования целевого задания по фазам. Каждой фазе может быть поставлена в соответствие научная задача по управлению действиями групп и принятию решений в отношении того или другого способа действий. Определим отдельные научные задачи управления АС БЛА, необходимые для реализации на этих фазах.



Фаза 1 – определение состава группы, исходя из целевого задания. Здесь задача состоит в том, чтобы сформировать рациональный состав группы разнородных однофункциональных БЛА исходя из планируемого пространственного размаха действий, априорных данных о целях и условиях действий и имеющихся ресурсов. Это задача принятия решения в условиях ограничений. Задача усложняется наличием неопределенности априорных данных и размытостью прогноза априорных данных на период полета группы. А также, что весьма важно для крупномасштабного применения БЛА, – размытостью, нечеткостью формулирования задания: например, провести комплекс мероприятий в зоне стихийного бедствия с максимальной эффективностью.

Фаза 2 – управление формированием группы в зоне действия. Это выстраивание пространственной конфигурации группы исходя из функциональных возможностей элементов группы. Это задача, решаемая нынче человеком высокой квалификации даже для малых групп исполнителей. Эту задачу также следует отнести к классу задач принятия решений.

Фаза 3 – мониторинг зоны ответственности различными информационными средствами различных пространственно разнесенных БЛА, обнаружение целевых объектов по результатам объединения информации от разнородных информационных систем и оценка обстановки в зоне действий. Оценка обстановки определим как задачу принятия решений.

Фаза 4 – целераспределение, т. е. распределение между БЛА группы конкретных действий над конкретными объектами. Рассмотрим задачу принятия решения при целераспределении ниже.

Фаза 5 – фаза целеуказания по результатам распределения с учетом пространственного расположения БЛА и объектов, влияния среды, различий и особенностей информационных признаков объектов.

Фаза 6 – оценка результативности действий, а также технического состояния элементов группы.

Фаза 7 – фаза реконфигурации АС БЛА, на которой производится обращение к фазе 3, но уже в новых текущих условиях.

Эта разбивка по фазам условна и иллюстративна. Эти фазы по времени могут быть совмещены, что, конечно же, существенно усложняет перечисленные задачи. Например, процесс реконфигурации может происходить на любой фазе в зависимости от изменяющихся условий в процессе выполнения задания.

Авторы могут добавить к вышеприведенному перечню задач еще и задачи управления информационным взаимодействием в группе, задачи выбора иерархической структуры управления группой на каждом этапе и некоторые другие, анализ и перечисление которых не входит в рамки данной статьи. Тем более что зачастую невозможно их выделить в отдельную фазу.

Вообще, в рамках выше определенных научных задач по управлению группой БЛА и их информационному взаимодействию можно выделить значительное множество задач и технологий их решения, многие из них частично пересекаются. Еще раз подчеркнем, что при достаточной малочисленности групп можно решать эти задачи традиционными путями и методами, но при увеличении масштаба группы, по нашему мнению, необходимо обратиться к методам и технологиям ИИ. И самая сложная задача, мегазадача для ИИ – это формирование управления на основе решения перечисленных задач, теперь уже подзадач.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ АС БЛА

Вернемся к вопросу формулирования научных задач по управлению группой БЛА, т. е., как было введено ранее, – АС БЛА. Уже декларировалось выше, что каждой их определенных фаз может быть поставлена в соответствие научная задача, которую необходимо решить с получением рационального решения. Формализуем постановку задачи, соответствующую одной из фаз – фазе целераспределения. Она иллюстрируется рисунком.

Имеем: группу из N БЛА, сформированную на предыдущих фазах. Каждый i -й БЛА имеет свою функцию. Совокупность БЛА представим векторами координат r_i и свойств q_i размерностью N . В состав группы входят БЛА, оснащенные информационными системами, позволяющими обнаруживать и распознавать объекты – оптикоэлектронными средствами (ОЭС), радиолокационными средствами (РЛС), средствами радиотехнической разведки (РТР). В состав группы входят также БЛА со средствами воздействия, транспортные БЛА и др. Для управления группой, решения задач организации взаимодействия в ее составе может быть БЛА – лидер группы. Вся группа объединена в единое информационное пространство.

Имеем также группу объектов, обнаруженных и идентифицированных на предыдущих фазах – группу j -х объектов, подлежащих воздействию, численностью M : $j=1, \dots, M$, также со своими свойствами и координатами q_j и r_j . Элементы групп N и

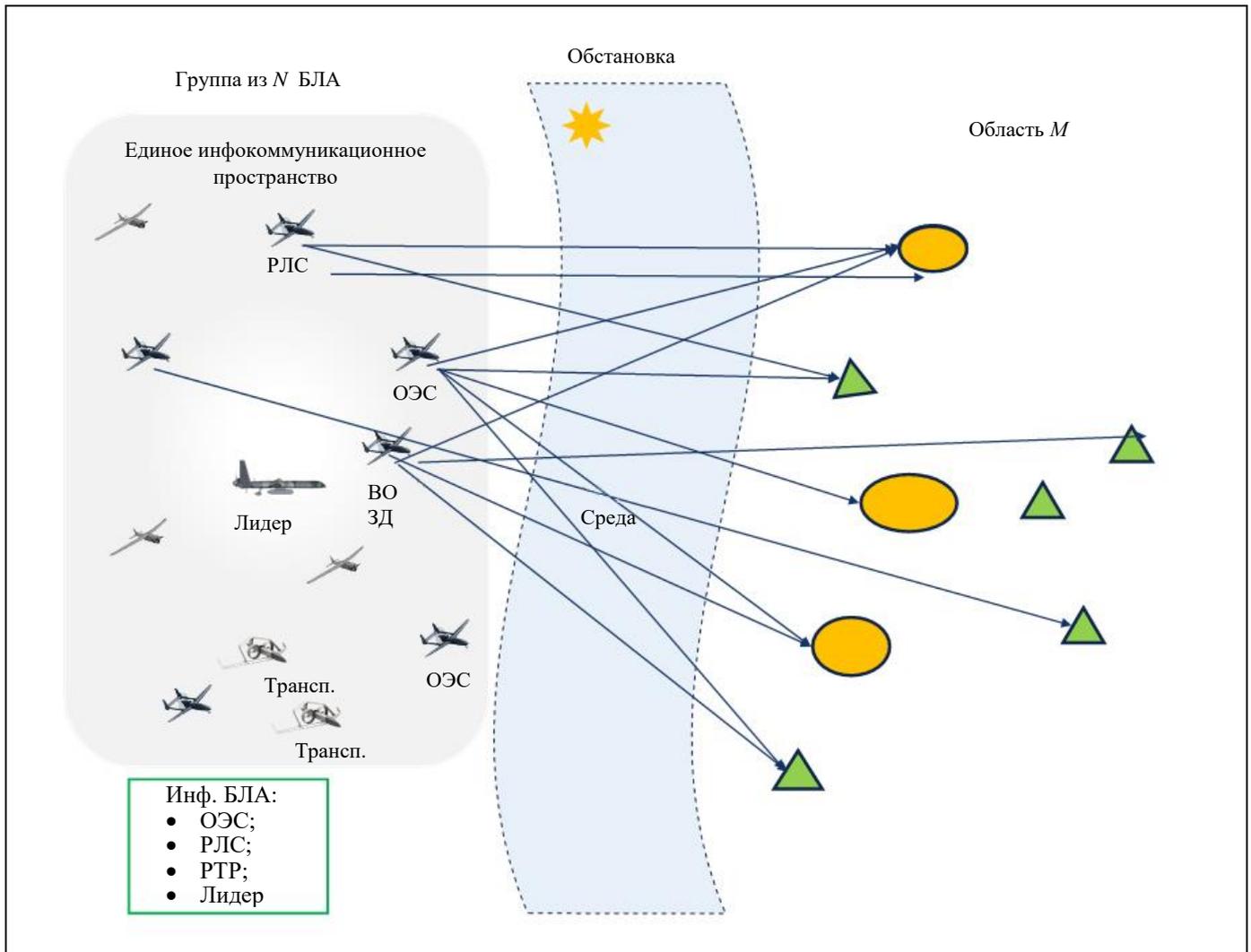


Схема системы взаимодействия группы БЛА с объектами в фазе целераспределения: инф. БЛА – информационные БЛА; лидер – БЛА, на борту которого принимается решение о выборе сценария применения группы

M распределены в пространстве и подвижны, и текущие координаты зависят от времени t . Все БЛА из группы N связаны с каждым объектом из группы M некоторыми соотношениями, обозначенными на рисунке стрелками. Чтобы не перегружать рисунок, обозначены лишь некоторые из них.

Представим для начала некоторую систему отношений – матрицу, описывающую систему геометрических расстояний между элементами i и j .

$$\rho(t) = \begin{pmatrix} \rho_{11}(t) & \cdots & \rho_{1M}(t) \\ \vdots & \rho_{ij}(t) & \vdots \\ \rho_{N1}(t) & \cdots & \rho_{NM}(t) \end{pmatrix}.$$

Эти расстояния в некоторой степени определяют потенциальные возможности элементов i по поиску и обнаружению элементов j , а также по достижимости для воздействия на них соответствующими средствами.

Группа N содержит информационные элементы – однофункциональные БЛА, оснащенные различными информационными средствами – радиолокацией, оптической локацией, средствами пассивного наблюдения, которые могут быть описаны упомянутыми свойствами q_i .

Группа M имеет в своем составе объекты с различными информационными признаками и различной достоверностью обнаружения и идентификации по отношению к информационным средствам со свойствами q_i . Исходя из этого, информационные возможности каждого БЛА по отношению к объектам могут быть представлены системой информационных отношений вида

$$S(t) = \begin{pmatrix} S_{11}(t) & \cdots & S_{1M}(t) \\ \vdots & S_{ij}(t) & \vdots \\ S_{N1}(t) & \cdots & S_{NM}(t) \end{pmatrix}.$$



Элементы S_{ij} , конечно, зависят от многих факторов, включая расстояния, свойства объектов, свойства среды, и др.

Элементы из группы M в различной степени могут быть подвержены действию различных средств исполнительных элементов из группы N . Это зависит и от средств воздействия, размещенных на БЛА, и от свойств объектов по отношению к средствам воздействия. Система отношений воздействия может быть записана в виде

$$B(t) = \begin{pmatrix} B_{11}(t) & \cdots & B_{1M}(t) \\ \vdots & B_{ij}(t) & \vdots \\ B_{N1}(t) & \cdots & B_{NM}(t) \end{pmatrix}.$$

Нужно, конечно, учесть, что эти матрицы (это только матричная запись, элементы их значительно сложнее) содержат нулевые элементы как для БЛА воздействия (для системы информационных отношений S), так и для БЛА средств информационного обеспечения – не оснащенных средством воздействия.

В пространстве между элементами i и j находится среда, определенным образом влияющая на элементы матрицы информационных отношений и отношений воздействия:

$$E(t) = \begin{pmatrix} E_{11}(t) & \cdots & E_{1M}(t) \\ \vdots & E_{ij}(t) & \vdots \\ E_{N1}(t) & \cdots & E_{NM}(t) \end{pmatrix}.$$

Все элементы этих описанных матриц в процессе действий зависят от времени t .

Далее для выполнения процедуры целераспределения необходимо определить критерий оптимизации решения поставленной задачи. На взгляд авторов, таким критерием может быть прогнозируемая эффективность воздействия совокупности элементов i на совокупность элементов j с учетом информационного обеспечения их действий, а соответствующая критериальная функция запишется в виде

$$\mathcal{E}_{\max} = Y(B(\rho, S, E, t)),$$

где \mathcal{E} – это некоторая функция (функционал), определяющая обобщенную результативность действий группы БЛА по совокупности объектов и зависящая от Q – распределения задач между БЛА. Исследования по формированию этой функции не входят в рамки данной статьи и будут рассмотрены отдельно. Очевидно, что в предельном случае необходимо перейти к задаче оптимизации и ее решению в реальном времени на борту БЛА.

Задача целераспределения состоит в отыскании матрицы Q , состоящей из элементов со значениями 0 или 1, определяющими назначение элементу i взаимодействовать с объектом j или нет:

$$Q(t)^* = \begin{pmatrix} \cdots & & \\ \vdots & Q_{ij} & \vdots \\ \cdots & & \end{pmatrix}.$$

Представляется, что при достаточно большой размерности матриц эти процедуры могут быть получены только с помощью методов и технологий ИИ. Анализ методов и технологий ИИ в применении к перечисленным задачам не является целью данной статьи. В статье рассматривается совокупность отдельных задач, главным образом задач принятия решений, составляющих в целом задачу управления интеллектуальной автономной группой объектов.

Выше была описана формальная процедура решения частной задачи целеуказания в задаче управления группой БЛА. Она в достаточной степени подходит для организации действий групп робототехнических устройств, а описанный подход и принцип ее решения весьма универсален и имеет широкое применение [15].

Аналогичным образом могут быть описаны и другие составляющие задачи управления группами БЛА, т. е. крупномасштабными АС БЛА, в том числе:

- организация структуры информационных взаимодействий между элементами группы, исходя из текущей и прогнозируемой конфигурации, формирование и реконфигурация локального информационного поля;
- реконфигурация группы в зависимости от изменения состояния целей, выявления новых объектов и динамики технического состояния элементов группы;
- объединение информации, получаемой от разнесенных в пространстве источников посредством сенсоров с различной структурой сигналов, и оценка на этой основе ситуации;
- формирование иерархии решения информационно-управляющих задач в группе;
- формирование структуры иерархии решения управляющих задач в группе.

Весьма значительная часть этих задач управления относится к задачам принятия решений или к дискретным задачам, требующим привлечения специфических принципов решения. Конечно, наряду с решением перечисленных задач, предстоит решать и задачи, связанные с созданием соб-

ственно специализированных БЛА, предназначенных для работы в группе, для группового, коллективного поведения при решении сложных многокомпонентных авиационных работ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в статье рассмотрен круг задач и путей их решения для создания средств и систем управления разнородными многокомпонентными группами беспилотных летательных аппаратов, предназначенными для проведения сложной деятельности в интересах различных, зачастую слабо определенных целевых действий. Конечно, каждая из задач может быть структурирована на несколько научных задач меньшего масштаба. Рассмотренные задачи потребуют наряду с применением традиционных подходов и использование технологий ИИ. Весьма подробно формализована постановка одной из таких задач – задача взаимного целераспределения в группе. При этом необходимо подчеркнуть, что ранее задачи рассматривались только ограниченно и не содержали обобщенной постановки задачи применения технологий искусственного интеллекта в группе БЛА, см. работы [2, 8, 13, 14].

При кажущейся временной отдаленности проблемы исследования по комплексу перечисленных задач требуют развертывания уже сейчас.

ЛИТЕРАТУРА

1. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/44731> (дата обращения 01.12.2021).
2. Li, C. Artificial Intelligence Technology in UAV Equipment // 2021 IEEE/ACIS 20th International Fall Conference on Computer and Information Science (ICIS Fall). – Xi'an, China, 2021. – P. 299–302. – DOI: 10.1109/ICISFall51598.2021.9627359.
3. Xia, C. and Yudi, A. Multi — UAV path planning based on improved neural network // 2018 Chinese Control and Decision Conference (CCDC). – Shenyang, China, 2018. – P. 354–359. – DOI: 10.1109/CCDC.2018.8407158.
4. Varatharasan, V., Rao, A. S. S., Toutounji, E., et al. Target Detection, Tracking and Avoidance System for Low-cost UAVs using AI-Based Approaches // 2019 Workshop on Research, Education and Development of Unmanned Aerial Systems (RED UAS). – Cranfield, UK, 2019. – P. 142–147. – DOI: 10.1109/REDUAS47371.2019.8999683.
5. Hu, A.-P. Camera calibration for UAV ground feature localization // 2011 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM). – Budapest, Hungary, 2011. – P. 176–179. – DOI: 10.1109/AIM.2011.6027132.
6. Zheng, L., Ai, P., and Wu, Y. Building Recognition of UAV Remote Sensing Images by Deep Learning // IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. – Waikoloa, HI, USA, 2020. – P. 1185–1188. – DOI: 10.1109/IGARSS39084.2020.9323322.
7. Zhang, Y., McCalmon, J., Peake, A., et al. A Symbolic-AI Approach for UAV Exploration Tasks // 2021 7th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA). – Prague, Czech Republic, 2021. – P. 101–105. – DOI: 10.1109/ICARA51699.2021.9376403.
8. Chen, B. Research on AI Application in the Field of Quadcopter UAVs // 2020 IEEE 2nd International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT). – Weihai, China, 2020. – P. 569–571. – DOI: 10.1109/ICCASIT50869.2020.9368551.
9. Togootogtokh, E., Huang, S., Leong, W.L., et al. An Efficient Artificial Intelligence Framework for UAV Systems // 2019 Twelfth International Conference on Ubi-Media Computing (Ubi-Media). – Bali, Indonesia, 2019. – P. 47–53. – DOI: 10.1109/Ubi-Media.2019.00018.
10. Kim, H., Ben-Othman, J., Mokdad, L., et al. Research Challenges and Security Threats to AI-Driven 5G Virtual Emotion Applications Using Autonomous Vehicles, Drones, and Smart Devices // IEEE Network. – 2020. – Vol. 34, no. 6. – P. 288–294. – DOI: 10.1109/MNET.011.2000245.
11. Жарко Е.Ф., Промыслов В.Г., Исхакова А.Ю. и др. Кибербезопасность беспилотных транспортных средств. Архитектура. Методы проектирования. – М.: Радиотехника, 2021. – 160 с. [Zharko, E.F., Promyslov, V.G., Iskhakova, A.Yu., i dr. Kiber-bezopasnost' bespilotnyh transportnyh sredstv. Arhitek-tura. Metody proektirovaniya. – М.: Radiotekhnika, 2021. – 160 s. (In Russian)]
12. Wang, Y., Su, Z., N. Zhang, N., and Benslimane, A. Learning in the Air: Secure Federated Learning for UAV-Assisted Crowdsensing, in IEEE Transactions on Network Science and Engineering, vol. 8, no. 2, pp. 1055-1069, 1 April-June 2021, doi: 10.1109/TNSE.2020.3014385.,
13. Kusyk, J., Uyar, M.U., Ma, K., et al. AI and Game Theory based Autonomous UAV Swarm for Cybersecurity // 2019 IEEE Military Communications Conference (MILCOM). – Norfolk, VA, USA, 2019. – P. 1–6. – doi: 10.1109/MILCOM47813.2019.9020811.
14. Molina-Pradrón, N., Cabrera-Almeida, F., Araña, V., et al. Monitoring in Near-Real Time for Amateur UAVs Using the AIS // IEEE Access. – 2020. – Vol. 8. – P. 33380–33390. – DOI: 10.1109/ACCESS.2020.2973503.
15. Кутахов В.П., Пляскота С.И. Информационное взаимодействие в крупномасштабных робототехнических авиационных системах // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD '2017. Материалы Десятой международной конференции: в 2-х томах. Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2017. – С. 93–96. [Kutahov, V.P., Plyaskota, S.I. Informacionnoe vzaimodej-stvie v krupnomasshtabnyh robototekhnieskih aviacionnyh sistemah // Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnyh si-stem MLSD '2017. Materialy Desyatoj mezhdunarodnoj kon-ferencii: v 2-h tomah. Pod obshchej redakciej S.N. Vasil'e-va, A.D. Cvir-kuna. – М.: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2017. – S. 93–96. (In Russian)]
16. Шевченко А.В., Мецераков Р.В., Мигачев А.Н. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяйства. Ч. 1. Беспилотная агротехника // Проблемы управления. – 2019. – № 5. – С. 3–18. [Shevchenko, A.V., Meshcheryakov, R.V., Migachev, R.V. Review of the world market of agriculture robotics. Part 1. Unmanned Vehicles for Agriculture // Control Sciences. – 2019. – No. 5. – P. 3–18. (In Russian)]
17. Шевченко А.В., Мецераков Р.В., Мигачев А.Н. Обзор состояния мирового рынка робототехники для сельского хозяй-



- ства. Ч. 2. Беспилотные летательные аппараты и роботизированные фермы // Проблемы управления. – 2019. – № 6. – С. 3–10. [Shevchenko, A.V., Meshcheryakov, R.V., Migachev, R.V. Review of the world market of agriculture robotics. Part 2. Unmanned aerial vehicles and robotic farms // Control Sciences. – 2019. – No. 6. – P. 3–10. (In Russian)]
18. Wang, X., Wang, X., Zhao, J., et al. Monitoring the thermal discharge of hongyanhe nuclear power plant with aerial remote sensing technology using a UAV platform // 2017 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). – Fort Worth, TX, USA, 2017. – P. 2958–2961. – DOI: 10.1109/IGARSS.2017.8127619.
19. Zhang, S., Wu, X., Zhang, G., et al. Analysis of intelligent inspection program for UAV grid based on AI // 2020 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Application (ICHVE). – Xi'an, China, 2020. – P. 1–4. – DOI: 10.1109/ICHVE49031.2020.9279634.
20. Moranduzzo, T., Melgani F. Monitoring structural damages in big industrial plants with UAV images // 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium. – Quebec City, QC, Canada, 2014. – DOI: 10.1109/IGARSS.2014.6947606.
21. Ким М.Л., Костеренко В.Н., Певзнер Л.Д. и др. Система автоматического управления траекторным движением шахтного беспилотного летательного аппарата // Горная промышленность. – 2019. – № 3 (145). – С. 60–64. [Kim, M.L., Kosterenko, V.N., Pevzner, L.D., et al. Automatic Trajectory Motion Control System for Mine Unmanned Aircrafts // Mining Industry Journal. – 2019. – Vol. 3 (145). – P. 60–64. (In Russian)]
22. Евтодьева М.Г., Целицкий С.В. Беспилотные летательные аппараты военного назначения: тенденции в сфере разработок и производства // Пути к миру и безопасности. – 2019. – № 2 (57). – С. 104–111. [Evtod'eva, M.G., Celickij, S.V. Bespilotnye letatel'nye apparaty voennogo naznacheniya: tendencii v sfere razrabo-tok i proizvodstva // Puti k miru i bezopasnosti. – 2019. – № 2 (57). – S. 104–111. (In Russian)]
23. Кутахов В.П., Мещеряков Р.В. Принципы формирования модели оптимизации системы роботизированных авиационных средств // Сборник трудов XIII Всероссийского совещания по проблемам управления ВСПУ-2019. – М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2019. – С. 1211–1214. [Kutahov, V.P., Meshcheryakov, R.V. Principy formirovaniya modeli optimizacii sistemy robotizirovannyh aviacionnyh sredstv // Sbornik trudov XIII Vserossijskogo soveshcha-niya po problemam upravleniya VSPU-2019. – M.: Institut problem upravleniya im. V.A. Trapeznikova RAN, 2019. – S. 1211–1214.
24. Kusyk, J., Uyar, M.U., Ma, K., et al. AI Based Flight Control for Autonomous UAV Swarms // 2018 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI). – Las Vegas, NV, USA, 2018. – P. 1155–1160. – DOI: 10.1109/CSCI46756.2018.00223.

Статья представлена к публикации членом редколлегии П.Ю. Чеботаревым.

*Поступила в редакцию 20.01.2021,
после доработки 07.01.2022.
Принята к публикации 17.01.2022.*

Кутахов Владимир Павлович – д-р техн. наук, Национальный исследовательский центр «Институт имени Н.Е. Жуковского», г. Москва, ✉ kutahovvp@nrczh.ru,

Мещеряков Роман Валерьевич – д-р техн. наук, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва, ✉ mrv@ieee.org.

GROUP CONTROL OF UNMANNED AERIAL VEHICLES: A GENERALIZED PROBLEM STATEMENT OF APPLYING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES

V.P. Kutakhov¹ and R.V. Mescheryakov²

¹National Research Center "Zhukovsky Institute," Moscow, Russia

²Trapeznikov Institute of Control Sciences, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

✉ kutahovvp@nrczh.ru, ✉ mrv@ieee.org

Abstract. This paper considers elements of a group of unmanned aerial vehicles (UAVs) to form various tasks of the group and within a group of aerial systems. Different phases to execute control actions for a group of aerial systems of UAVs are proposed. These phases are shown by an example of selecting different targets for group elements (UAVs). The phases are elements of the large-scale behavior of the group and in the group of UAVs and can be included in the cycle when using artificial intelligence technologies. The approach is formalized for single-function UAVs (choosing a set of end actions) and multifunction UAVs (performing one or more impact functions within the group). A group control problem for applying artificial intelligence technologies is stated. The main elements of the system of relations and conditions for effectively performing tasks by a group of UAVs and executing actions within the group as a large-scale system are formulated. This system reflects the problem statement for applying artificial intelligence technologies. As noted, using homogeneous and heterogeneous groups of UAVs is a promising approach to interpret the formal behavior of robotic systems.

Keywords: UAV, robotics, unmanned aerial systems, artificial intelligence.