

Много функциональные беспилотные летательные аппараты. Оптимизация и синтез с учетом воздействия шумов

Агаев Ф.Г.¹, Асадов Х.Г.², Асланова А.Б.,¹

*¹Институт космических исследований природных ресурсов Национального
аэрокосмического агентства,*

ул. С.С. Ахундова, 1, Баку, AZ1106, Азербайджан

²НИИ аэрокосмической информатики Национального аэрокосмического агентства,

ул. С.С. Ахундова, 1, Баку, AZ1115, Азербайджан

**e-mail: agayev.tekti@mail.ru*

***e-mail: asadzade@rambler.ru*

****e-mail: aslanova.a.b.@mail.ru*

Статья поступила 18.03.2021

Аннотация

Статья посвящена оптимизации и синтезу многофункциональных беспилотных летательных аппаратов с учетом воздействия шумов. Сформирована и решена задача оптимизации функционирования многофункционального БПЛА последовательно осуществляющего функции: а) доставки груза на заданную точку и б) проведения разведки в окрестностях этой точки в условиях применения локальной радионавигационной системы (псевдоспутников). Сформирован функционал цели в виде интеграла математического ожидания и извлекаемого количества информации в проводимой разведке. В результате оптимизации функционирования БПЛА на относительно малых расстояниях получена оптимальная функциональная зависимость вероятности вывода БПЛА на заданную точку от величины дистанции полета БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА, оптимизация, навигационная система, функционал цели, многофункциональность, количество информации.

1. Введение

Разработка и совершенствование беспилотных авиационных средств включает в себя комплекс технологических и организационных мероприятий, стимулирующих решение задач создания многофункциональных беспилотных летательных аппаратов, с учетом возможностей их оптимизации и дальнейшего синтеза новых, высокоэффективных и надежных технических решений. [1-5].

Как отмечается в [6], за последние 15 лет ведутся интенсивные работы по созданию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) большой высоты и продолжительности полета. Новое поколение БПЛА способны решать не только разведывательные функции, но и осуществляет ракетно - бомбовые удары по противнику [7]. При этом точность позиционирования таких систем находится на уровне 2.5см [8]. Вместе с тем, как отмечается в [9], особенно широкое распространение получили БПЛА средней и малой дальности, применяемые для решения как боевых, так и мирных задач.

Согласно [10], изготовление современных БПЛА требует наличия высокотехнологического производства, а мировой рынок таких БПЛА оценивается в несколько десятков миллиардов долларов в год. Следует отметить, что многофункциональность БПЛА может быть интерпретирована в разных пониманиях.

Так, например, в работе [11], многофункциональность обеспечивается способностью оперативного изменения конструкции дрона для наиболее эффективного решения поставленной задачи. В работе [12], изложен многоцелевой дрон предназначенный для решения разведывательных и метеорологических задач, способный также выполняет функцию контроля наличия возгораний на контролируемом участке.

В работе [13] сообщается о разработке многофункционального полицейского дрона, позволяющего осуществлять воздушную разведку, слежку за мишенью, осуществлять мониторинг дорожных происшествий, реагировать на чрезвычайные ситуации. В работе [14], изложен многоцелевой дрон предназначенный для поиско – спасательных работ в горной местности, способный перевозить маяки предупреждения снежных обвалов, осуществлять поиск людей под завалами снега, автоматически корректировать программу действий по внешней обстановке. Согласно [15], многофункциональность БПЛА при осуществлении групповых полетов предусматривает способность адаптироваться к комплексным ограничениям выполняемой миссии. При этом также важно правильное решение таких задач как планирование траекторий полета и графика решения задачи.

Важное место среди всего класса многофункциональных БПЛА занимают дроны, используемые для перевозки военных или мирных грузов и проведения разведки. В работе [16] изложены основы построения таких БПЛА с использованием недорогих ресурсов и комплектующих. Вместе с тем, вопросы оптимизации таких БПЛА, позволяющие достичь высокой эффективности их функционирования не раскрываются.

Настоящая статья посвящена оптимизации функционирования многофункциональных БПЛА, предназначенных для последовательного выполнения таких задач как доставка груза и проведение разведки местности методом дистанционного зондирования. Типичной необходимостью выполнения такой последовательности выполняемых операций в военном деле является доставка и сброс взрывчатки и оценка последствий взрыва. Очевидно, что успешное решение таких задач возможно только при должном учете радиопомех, как естественных, так и искусственных, создающихся преднамеренно с помощью специальных генераторов радиопомехи [17]. Как верно отмечено в работе [18], вопросам обеспечения безопасности радиоканалов управления и их устойчивости к воздействию различного рода помех, должно уделяться первостепенное внимание при проектировании роботизированных систем летательных аппаратов.

При этом должны быть разработаны методики, позволяющие осуществить учет возможностей противника поражения БПЛА огневыми средствами противника, а также вероятность подавления каналов управления методами создания радиопомех или формирования ложных сигналов управления [19-21]. В этой связи, как отмечено в [22], интегрирование спутниковых и наземных радионавигационных систем является одним из перспективных направлений развития систем радионавигации.

2.Метод оптимизации работы многофункциональных БПЛА в условиях локальной радионавигации

Для решения задачи навигационного обеспечения БПЛА могут быть использованы следующие средства и методы, позволяющие достичь высокой точности доставки БПЛА на заданную цель с точностью не ниже спутниковых радионавигационных систем [22]:

- Локальные радиотехнические навигационные системы (ЛРНС);
- Допплеровская обработка в бортовых навигационных приемниках.

Помехоустойчивость в ЛРНС может быть обеспечена путем реализации следующих мер [22]:

1. Увеличение мощности излучателей передатчиков псевдоспутников, используемых в ЛРНС;
2. Адаптивное изменение излучаемой мощности передатчика в зависимости от внешней помехи;
3. Изменение используемого кода во времени;
4. Случайные переходы с одной частоты на другую;
5. Путем коммутации антенн варьирование луча передатчика или применение механического сканирования направленных антенн и др.

Согласно [22], ЛРНС обеспечивают достаточно высокую вероятность вывода ЛА на заданную точку.

Вместе с тем, и ЛРНС подвержены воздействию активных шумовых и доплеровских помех. Для повышения их помехозащищенности в качестве

псевдоспутников может быть создана мобильная резервная ЛРНС, состоящая из трех опорных станций (ОС), использующая сложный помехозащищенный сигнал.

В работе [22] рассмотрена возможность комбинирования пространственно-частотной обработки навигационных сигналов в целях повышения точности вывода ЛА на цель. Там же предлагается алгоритмический метод повышения отношения сигнал/шум, где в качестве сигнала рассматриваются сложные фазоманипулированные сигналы, а в качестве шумов – искусственные помехи. Используется алгоритм обработки, ранее применяемый в импульсно – доплеровских радиолокационных станциях. Суть этого способа обработки заключается в использовании различий в спектрах сигналов от источников, движущихся с различной радиальной скоростью относительно летательного аппарата. Согласно [22], при использовании многоканальной Доплеровской обработки и случайной фазовой манипуляции навигационного сигнала от импульса к импульсу, вероятность вывода ЛА на заданную цель повышается на 15%.

На рис. 1. приведены вероятности доставки летательного аппарата в заданную цель при использовании доплеровской обработки в навигационном приемнике. Цифрами обозначены: 1 – при отсутствии подавления сигнала РНС; 2 – при использовании многоканальной доплеровской обработки и случайной фазовой манипуляции навигационного сигнала от импульса к импульсу в условиях радиоэлектронного противодействия.

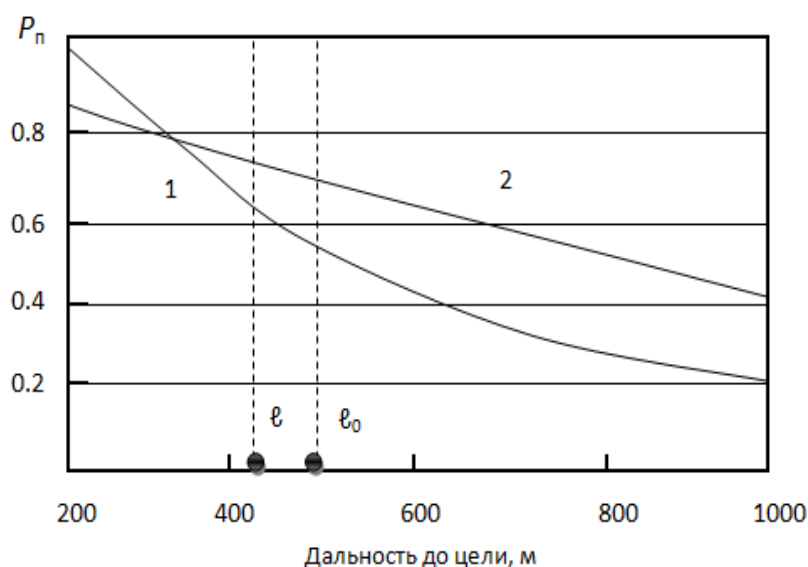


Рис. 1. Вероятность доставки летательного аппарата в заданную цель при доплеровской обработке в бортовом навигационном приемнике

С учетом вышеизложенных особенностей радионавигационного обеспечения многофункциональных БПЛА рассмотрим предлагаемый метод оптимизации их функционирования на относительно малых дистанциях.

Рассмотрим особенности формирования функционала цели проводимой оптимизации.

Согласно [22], полная вероятность вывода БПЛА на требуемую мишень P_n определится как

$$P_n = P_{пх} P_{пу} \quad (1)$$

где $P_{пх}$, $P_{пу}$ – вероятности доставки по координатам x и y соответственно.

Если допустить, что мишень не обладает линейчатой структурной и имеет двумерную конфигурацию, а технические возможности вывода БПЛА на мишень по координатам x и y одинаковы, то приняв $P_{пх}=P_{пу}=P_{по}$ получим

$$P_{по} = \sqrt{P_n(\ell)} \quad (2)$$

Далее, предположим, что действие БПЛА должно происходить на дистанции $(0 \div \ell_0)$ где показатель ℓ_0 определяется

$$\int_0^{\ell_0} P_{n1}(\ell) d\ell = \int_0^{\ell_0} P_{n2}(\ell) d\ell = C \quad \text{где } C = const \quad (3)$$

Полагаем, что пункт доставки груза БПЛА определяется точкой ℓ (см.рис), при этом конкретная точка ℓ может появиться везде на интервале $(0 \div \ell_0)$.

Следовательно, количество информации, добываемой БПЛА после сброса груза определится как

$$M = \frac{\ell_0 - \ell}{\Delta \ell} \log_2 m \quad (4)$$

где m – количество различных градаций сигнала.

Математическое ожидание MO показателя M определим, как

$$MO(M) = \sum_{i=1}^n P_{по_i} \cdot M_i; \quad i = \overline{1..n} \quad (5)$$

n – количество реализации

С учетом (2), (4), (5), переходя на непрерывную форму записи целевой функционал определим, как

$$F_1 = \int_0^{\ell_0} \sqrt{P_n(\ell)} \cdot \left(\frac{\ell_0 - \ell}{\Delta \ell} \right) \log_2 m d\ell \quad (6)$$

С учетом выражений (3) и (6) составим полный функционал безусловной вариационной оптимизации.

$$F_1 = \int_0^{\ell_0} \sqrt{P_n(\ell)} \cdot \left(\frac{\ell_0 - \ell}{\Delta \ell} \right) \log_2 m d\ell + \lambda \left[\int_0^{\ell_0} P_n(\ell) d\ell - C \right] \quad (7)$$

Решение оптимизационной задачи (7) может быть осуществлено с помощью условий уравнения Эйлера [23]. Приведем модельное решение задачи.

3. Модельное решение задачи оптимизации

Согласно [23], решение задач типа (7) должно удовлетворять условию

$$\frac{\partial \left\{ \sqrt{P_n(\ell)} \cdot \left(\frac{\ell_0 - \ell}{\Delta \ell} \right) \log_2 m + \lambda \cdot P_n(\ell) \right\}}{\partial P_n(\ell)} = 0 \quad (8)$$

Из выражения (8) находим:

$$\frac{(\ell_0 - \ell) \cdot \log_2 m}{2 \sqrt{P_n(\ell)} \cdot \Delta \ell} + \lambda = 0 \quad (9)$$

Из выражения (9) получим

$$(\ell_0 - \ell) \cdot \log_2 m = -\lambda \cdot 2 \sqrt{P_n(\ell)} \cdot \Delta \ell \quad (10)$$

или

$$P_n(\ell) = \frac{(\ell_0 - \ell)^2 (\log_2 m)^2}{\lambda^2 \cdot \Delta \ell^2} \quad (11)$$

С учетом выражений (3) и (11) получаем

$$\frac{1}{\lambda^2} \int_0^{\ell_0} \frac{(\ell_0 - \ell)^2 \cdot (\log_2 m)^2}{\Delta \ell} d\ell = C \quad (12)$$

Из (12) находим:

$$\lambda = \sqrt{\frac{\int_0^{\ell_0} \frac{(\ell_0 - \ell)^2 (\log_2 m)^2}{\Delta \ell^2} d\ell}{C}} \quad (13)$$

С учетом (11) и (13) получим

$$P_n(\ell) = \frac{(\ell_0 - \ell)^2 \cdot C}{\int_{\ell}^{\ell_0} (\ell_0 - \ell)^2 d\ell} = \frac{C \cdot (\ell_0 - \ell)^2}{\int_0^{\ell_0} (\ell_0 - \ell)^2 d\ell} \quad (14)$$

Таким образом, на основании (14) получаем

$$P_n(\ell) = C_1 (\ell_0 - \ell)^2 \quad (15)$$

где

$$C_1 = \frac{C}{\int_{\ell}^{\ell_0} (\ell_0 - \ell)^2 d\ell} \quad (16)$$

Можно показать, что при решении (15) функционал (7) достигает максимума.

Для этого достаточно вычислить вторую производную интегранта в (7) по $P_n(\ell)$ и убедиться, что результат всегда является отрицательной величиной.

4. Заключение

Таким образом, сформирована и решена задача оптимизации функционирования многофункционального БПЛА последовательно осуществляющего функции: а) доставки груза на заданную точку и б) проведения разведки в окрестностях этой точки.

При этом учитывается фактор наличия радиопомех, генерируемых противником и, учитывая низкую помехозащищенности спутниковых навигационных систем, предусматривается применения локальной радионавигационной системы (псевдоспутников). С учетом вышеизложенного сформирован функционал цели в виде интеграла математического ожидания и извлекаемого количества информации в проводимой разведке. В результате

проводимой оптимизации функционирования БПЛА на относительно малых расстояниях получена оптимальная функциональная зависимость вероятности вывода БПЛА на заданную точку от величины дистанции полета БПЛА.

Библиографический список

1. Морозов Д.В., Чермошенцев С.Ф. Методика повышения надежности функционирования системы управления беспилотного летательного аппарата в полете при возникновении отказа в бортовой контрольно-проверочной аппаратуре // Надежность. 2019. Т. 19. № 1. С. 30 – 35. URL: <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-1-30-35>
2. Тимошенко А.В., Балтычев М.Т., Маренков И.А., Пивкин И.Г. Способ построения «субоптимальных маршрутов» мониторинга разнотипных источников беспилотным летательным аппаратом // Труды МАИ. 2020. № 111. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=115145>. DOI: [10.34759/trd-2020-111-10](https://doi.org/10.34759/trd-2020-111-10)
3. Ронжин А.Л., Нгуен В.В., Соленая О.Я. Анализ проблем разработки беспилотных летательных манипуляторов и физического взаимодействия БЛА с наземными объектами // Труды МАИ. 2018. № 98. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=90439>
4. Гусейнов А.Б., Маховых А.В. Структурно-параметрический синтез рационального бортового распознающего устройства в составе беспилотного летательного аппарата // Труды МАИ. 2016. № 90. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=74833>

5. Сельвесюк Н.И., Веселов Ю.Г., Гайденков А.В., Островский А.С. Оценка характеристик обнаружения и распознавания объектов на изображении от специальных оптико-электронных систем наблюдения летного поля // Труды МАИ. 2018. № 103. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=100782>
6. Каримов А.Х. Возможности беспилотных авиационных систем следующего поколения // Труды МАИ. 2011. № 47. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=26768>
7. Ананьев А.В., Рыбалко А.Г., Иванников К.С., Клевцев Р.П. Динамическая модель процесса поражения временно неподвижных наземных целей группой ударных беспилотных летательных аппаратов малого класса // Труды МАИ. 2020. № 115. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=119975>. DOI: [10.34759/trd-2020-115-18](https://doi.org/10.34759/trd-2020-115-18)
8. Гецов П., Начев Ст., Бо В., Зафиров Д. Высокоточные беспилотные летательные аппараты – сегодня и завтра. Космические аппараты, системы и программы ИЗК // Исследование Земли из космоса. 2019. № 1. С. 84 - 91. DOI: [10.31857/S0205-96142019184-91](https://doi.org/10.31857/S0205-96142019184-91)
9. Ильин Е.М., Полубехин А.И., Черевко А.Г. Конформные антенные системы – перспективное направление развития бортовых РЛК для беспилотных летательных аппаратов // Вестник СибГУТИ. 2015. № 2 (30). С. 149 – 155.
10. Кузнецов Г.А., Кудрявцев И.В., Крылов Е.Д. Ретроспективный анализ, современное состояние и тенденции развития отечественных беспилотных летательных аппаратов // Инженерный журнал: наука и инновации. 2018. № 9 (81). С. 7. DOI: [10.18698/2308-6033-2018-9-1801](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2018-9-1801)

11. Brischetto S., Ciano A., Ferro C.G. A multipurpose modular drone with adjustable arms produced via the FDM additive manufacturing process // [Curved and Layered Structures](#), 2016, vol. 3 (1), pp. 202 - 213. DOI: [10.1515/cls-2016-0016](https://doi.org/10.1515/cls-2016-0016)
12. Srividhya S.C., Sukanya N., Amit P., Lakshmi R. T., Sowndeswari S. Multi – Purpose Drone Using IoT // *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, May 2019, vol. 08, no. 05. ISSN:2319-8354
13. Gokulakrishnana G., Nagendra Prasad R., Nijandan S. Multifunctional Uav to Assist Police // *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, February 2015, vol. 4, no. 2. C. 663 – 670.
14. Silvagni M., Tonoli A., Zenerio E., Chiaberge M. Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events // *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 18 - 33. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2016.1238852>
15. Luo R., Zheng H., Guo J. Solving the multi-functional heterogeneous UAV cooperative mission planning problem using multi-swarm fruit fly optimization algorithm // *Sensors*, 2020, vol. 20, pp. 5026. DOI: [10.3390/s20185026](https://doi.org/10.3390/s20185026)
16. Standridge Z.D. Design and development of low-cost multi-function UAV suitable for production and operation in low resource environments // *Master of Science in Aerospace Engineering*, 2018. DOI: [10.13140/RG.2.2.32029.82406](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32029.82406)
17. Sharma A., Vanjani P., Paliwal N., Chathuranga M. W. B., Jayakody D. N. K., Wang H-C., Muthuchidambaranathan P. Communication and networking technologies for UAVs: A survey. URL: <https://tpu.pure.elsevier.com/en/publications/communication-and-networking-technologies-for-uavs-a-survey>

18. Дворников С.В. Методика оценки имитостойчивости каналов управления роботизированных устройств // Радиопромышленность. 2016. № 2. С. 64 - 69.
19. Васильченко А.С. Методики повышения устойчивости маршрутного управления беспилотным летательным аппаратам в условиях применения средств огневого и радиоэлектронного поражения // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2020. № 13. С. 89 – 98.
20. Ефанов В.В., Закота А.А., Волкова А.С., Изосимов А.В. Способ управления вооружением летательного аппарата в условиях скрытного наблюдения за целью // Труды МАИ. 2020. № 112. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=116555>. DOI: [10.34759/trd-2020-112-15](https://doi.org/10.34759/trd-2020-112-15)
21. Дмитриев В.И., Звонарев В.В., Лисицын Ю.Е. Методика обоснования рациональных способов управления беспилотным летательным аппаратом // Труды МАИ. 2020. № 112. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=116566>. DOI: [10.34759/trd-2020-112-16](https://doi.org/10.34759/trd-2020-112-16)
22. Филиппов А.А., Бажин Д.А., Хлобыстов А.Н. Повышение эффективности управления беспилотного летательного аппарата в условиях помех // Информационно – управляющие системы. 2014. № 6 (73). С. 45 – 50.
23. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. - М.: Наука, 1974. - 424 с.

Multifunctional unmanned aerial vehicles. Optimization and synthesis with account for noise effect

Agayev F.G.^{1*}, Asadov H.H.^{2}, Aslanova A.B.^{1***}**

*¹Institute for Space Research of Natural Resources National Aerospace Agency,
1, S.S. Akhundov str., Baku, AZ1106, Azerbaijan*

*²Research Institute of Aerospace Information National Aerospace Agency,
1, S.S. Akhundov str., Baku, AZ1115, Azerbaijan*

**e-mail: agayev.tekti@mail.ru*

***e-mail: asadzade@rambler.ru*

****e-mail: aslanova.a.b.@mail.ru*

Abstract

The article deals with optimization and synthesis of multifunctional unmanned aerial vehicles (UAV) with account for the noises impact. The purpose of the work consists in of multifunctional UAV functioning optimization intended for sequential implementation the tasks of load delivery and making a terrain reconnaissance by remote probing technique. The necessity for this task fulfillment in military art is explosives delivery and release, as well as explosion aftermath assessing.

The authors employed the well-known results of the UAV navigation provision task using local radio-technical navigation system, allowing achieve high accuracy in the UAV delivery to the specified target no less than the satellite radio-navigation systems accuracy. The article considered the cases absence of radio-navigation signal suppressing, as well as multichannel Doppler signal processing and pulse-to-pulse phase manipulation of navigation signal under conditions of radio-electronic counteraction.

The task of the multifunctioning UAV functioning optimization, performing functions of the load delivery to the specified point (a) and (b) making reconnaissance in the vicinity of this point under conditions of local radio-navigation system (pseudo- satellites) application was formed and solved.

As the result of the UAV functioning optimization at the relatively small distances, the optimal functional dependence of the UAV positioning at the specified point probability on the flight distance was obtained.

The results obtained in the article can be implemented while developing and operating the multifunctional UAV of the similar purpose. The authors formulated and solved the problem of the multifunctional UAV functioning optimization, sequentially performing the functions of (a) load delivery to the specified point, and (b) making reconnaissance in the vicinity of this point

The results of the multifunctional UAV operating mode optimization at relatively small distances demonstrated the presence of the optimal functional dependence of the probability of the UAV positioning at the specified point onto the UAV flight distance value.

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), optimization, navigation system, target functional, multi-functionality, amount of information.

References

1. Morozov D.V., Chermoshentsev S.F. *Nadezhnost'*, 2019, vol. 19, no. 1, 30 – 35. URL: <https://doi.org/10.21683/1729-2646-2019-19-1-30-35>

2. Timoshenko A.V., Baltychev M.T., Marenkov I.A., Pivkin I.G. *Trudy MAI*, 2020, no. 111. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=115145>. DOI: [10.34759/trd-2020-111-10](https://doi.org/10.34759/trd-2020-111-10)
3. Ronzhin A.L., Nguen V.V., Solenaya O.Ya. *Trudy MAI*, 2018, no. 98. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=90439>
4. Guseinov A.B., Makhovykh A.V. *Trudy MAI*, 2016, no. 90. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=74833>
5. Sel'vesyuk N.I., Veselov Yu.G., Gaidenkov A.V., Ostrovskii A.S. *Trudy MAI*, 2018, no. 103. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=100782>
6. Karimov A.Kh. *Trudy MAI*, 2011, no. 47. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=26768>
7. Anan'ev A.V., Rybalko A.G., Ivannikov K.S., Klevtsev R.P. *Trudy MAI*, 2020, no. 115. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=119975>. DOI: [10.34759/trd-2020-115-18](https://doi.org/10.34759/trd-2020-115-18)
8. Getsov P., Nachev St., Bo V., Zafirov D. *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2019, no. 1, pp. 84 - 91. DOI: [10.31857/S0205-96142019184-91](https://doi.org/10.31857/S0205-96142019184-91)
9. Il'in E.M., Polubekhin A.I., Cherevko A.G. *Vestnik SibGUTI*, 2015, no. 2 (30), pp. 149 – 155.
10. Kuznetsov G.A., Kudryavtsev I.V., Krylov E.D. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i innovatsii*, 2018, no. 9 (81), pp. 7. DOI: [10.18698/2308-6033-2018-9-1801](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2018-9-1801)

11. Brischetto S., Ciano A., Ferro C.G. A multipurpose modular drone with adjustable arms produced via the FDM additive manufacturing process, *Curved and Layered Structures*, 2016, vol. 3 (1), pp. 202 - 213. DOI: [10.1515/cls-2016-0016](https://doi.org/10.1515/cls-2016-0016)
12. Srividhya S.C., Sukanya N., Amit P., Lakshmi R. T., Sowndeswari S. Multi – Purpose Drone Using IoT, *International Journal of Advance Research in Science and Engineering*, May 2019, vol. 08, no. 05. ISSN:2319-8354
13. Gokulakrishnana G., Nagendra Prasad R., Nijandan S. Multifunctional Uav to Assist Police, *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, February 2015, vol. 4, no. 2. pp. 663 – 670.
14. Silvagni M., Tonoli A., Zenerio E., Chiaberge M. Multipurpose UAV for search and rescue operations in mountain avalanche events, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2017, vol. 8, no. 1, pp. 18 - 33. URL: <http://dx.doi.org/10.1080/19475705.2016.1238852>
15. Luo R., Zheng H., Guo J. Solving the multi-functional heterogeneous UAV cooperative mission planning problem using multi-swarm fruit fly optimization algorithm, *Sensors*, 2020, vol. 20, pp. 5026. DOI: [10.3390/s20185026](https://doi.org/10.3390/s20185026)
16. Standridge Z.D. Design and development of low-cost multi-function UAV suitable for production and operation in low resource environments, *Master of Science in Aerospace Engineering*, 2018. DOI: [10.13140/RG.2.2.32029.82406](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32029.82406)
17. Sharma A., Vanjani P., Paliwal N., Chathuranga M. W. B., Jayakody D. N. K., Wang H-C., Muthuchidambaranathan P. *Communication and networking technologies for UAVs: A survey*. URL: <https://tpu.pure.elsevier.com/en/publications/communication-and-networking-technologies-for-uavs-a-survey>

18. Dvornikov S.V. *Radiopromyshlennost'*, 2016, no. 2, pp. 64 - 69.
19. Vasil'chenko A.S. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2020, no. 13, pp. 89 – 98.
20. Efanov V.V., Zakota A.A., Volkova A.S., Izosimov A.V. *Trudy MAI*, 2020, no. 112. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=116555>. DOI: [10.34759/trd-2020-112-15](https://doi.org/10.34759/trd-2020-112-15)
21. Dmitriev V.I., Zvonarev V.V., Lisitsyn Yu.E. *Trudy MAI*, 2020, no. 112. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=116566>. DOI: [10.34759/trd-2020-112-16](https://doi.org/10.34759/trd-2020-112-16)
22. Filippov A.A., Bazhin D.A., Khlobystov A.N. *Informatsionno – upravlyayushchie sistemy*, 2014, no. 6 (73), pp. 45 – 50.
23. Els'gol'ts L.E. *Differentsial'nye uravneniya i variatsionnoe ischislenie* (Differential equations and calculus of variations), Moscow, Nauka, 1974, 424 p.