

УДК 623.746.4-519

Doi: 10.31772/2712-8970-2025-26-2-264-290

Для цитирования: Обзор беспилотных авиационных систем доставки грузов / Е. В. Соломин, А. С. Мартьянов, Х. Шахин и др. // Сибирский аэрокосмический журнал. 2025. Т. 26, № 2. С. 264–290. Doi: 10.31772/2712-8970-2025-26-2-264-290.

For citation: Solomin E. V., Martyanov A. S., Shahin H. et al. [Overview of unmanned aircraft cargo delivery systems]. *Siberian Aerospace Journal*. 2025, Vol. 26, No. 2, P. 264–290. Doi: 10.31772/2712-8970-2025-26-2-264-290.

Обзор беспилотных авиационных систем доставки грузов

Е. В. Соломин^{1*}, А. С. Мартьянов¹, Х. Шахин¹,
Н. А. Пшениснгов, С. К. Шерьязов²

¹Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)
Российская Федерация, 454080, г. Челябинск, просп. Ленина, 76

²Южно-Уральский государственный аграрный университет, Институт агроинженерии
Российская Федерация, 454080, г. Челябинск, просп. Ленина, 75

*E-mail: nii-uraimet@mail.ru

Статья относится к беспилотной авиации и посвящена обзору беспилотных авиационных систем (БАС согласно ГОСТ Р 59517–2021, или в ряде публикаций – беспилотных летательных аппаратов или дронов), способных доставлять различные грузы. Приведены и кратко проанализированы варианты их применения в различных сферах, включая сельское и лесное хозяйство, рыболовство, защиту дикой природы, мониторинг качества воздуха, горные разработки, оборонное и гражданское использование, поисковые и спасательные операции. Целью исследования являлась демонстрация выявленных возможностей БАС в части доставки грузов различного назначения, а также наличия инфраструктур при получении груза для дальнейшей транспортировки и выдачи его в месте доставки. Приведена история развития технологий беспилотных аппаратов. Представлены соответствующие стандарты Российской Федерации, классификация и категоризация БАС в РФ и за рубежом. Описаны преимущества и недостатки БАС, а также проблемы доставок почтовых отправок с помощью дронов. Сделаны выводы о стремлении разработчиков и тенденциях по созданию интеллектуальных, полностью автоматических роботизированных авиационных систем, однако отмечено, что полностью автоматических систем пока в мире не существует, следовательно, данное направление разработок является актуальным. Сделано заключение о необходимости проведения научно-технических разработок в части создания автоматической доставки почтовых и иных отправок, особенно актуальной для мегаполисов, в которых сосредоточена наиболее крупная часть населения развитых стран. При этом очевидно, что система доставки должна состоять, как минимум, из трех этапов – складской сортировки, непосредственно полета и навигации, отправки груза в соответствующий постамат. Каждый этап является инфраструктурной концепцией со сложной системой и логистикой, требующей наличия искусственного интеллекта, роботизированных устройств и других элементов и атрибутов сложных систем, подлежащих всестороннему изучению в техническом, законодательном, юридическом и логистическом плане.

Ключевые слова: беспилотные авиационные системы, беспилотник, дрон, доставка грузов, авиационная техника.

Overview of unmanned aircraft cargo delivery systems

E. V. Solomin^{1*}, A. S. Martyanov¹, H. Shahin¹,
N. A. Pshenisnov¹, S. K. Sheryazov²

¹South Ural State University (national research university)
76, Lenin Av., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation

²South Ural State Agrarian University, Institute of Agricultural Engineering
75, Lenin Av., Chelyabinsk, 454080, Russian Federation

*E-mail: nii-uramet@mail.ru

The article is devoted to an overview of unmanned aircraft systems (UAS according to GOST R 59517–2021, or in a number of publications – unmanned aerial vehicles or drones) capable of delivering various cargoes. The options for their application in various fields, including agriculture and forestry, fishing, wildlife protection, air quality monitoring, mining, defense and civilian use, search and rescue operations, are given and briefly analyzed. The purpose of the study was to demonstrate the identified capabilities of unmanned aircraft systems in terms of cargo delivery for various purposes, as well as the availability of infrastructures when receiving cargo for further transportation and its delivery at the place of delivery. The history of the development of unmanned vehicle technologies is given. The relevant standards of the Russian Federation, classification and categorization of UAS in the Russian Federation and abroad are presented. The advantages and disadvantages of UAS are described, as well as the problems of delivering mail using drones. Conclusions are drawn about the desire of developers and trends to create intelligent, fully automatic robotic aviation systems, however, it is noted that fully automatic systems do not yet exist in the world, therefore, this area of development is relevant. It is concluded that it is necessary to carry out scientific and technical developments in terms of creating automatic delivery of mail and other items, especially relevant for megacities in which the largest part of the population of developed countries is concentrated. At the same time, it is obvious that the delivery system should consist of at least three stages – warehouse sorting, direct flight and navigation, and cargo shipment to the appropriate post office. Each stage is an infrastructural concept with a complex system and logistics that requires artificial intelligence, robotic devices, and other elements and attributes of complex systems that are subject to comprehensive study in technical, legislative, legal, and logistical terms.

Keywords: unmanned aircraft aerial system vehicle, UAV, drone, cargo delivery, aviation equipment.

Введение

Беспилотные авиационные системы (БАС), или беспилотные воздушные судна (БВС), по ГОСТ Р 59517–2021 [1], используются в качестве воздушного транспорта для доставки почтовых отправок и других грузов относительно недавно, благодаря бурному развитию этого направления в 20-х гг. XXI в. БАС-системы (или в бытовом языке «дроны», «беспилотники») изначально использовались в основном в военном деле и в полиции для мониторинга и отслеживания объектов наблюдения. С 2016 г. беспилотные аппараты фирмы Зиплайн (Zipline) были приспособлены для доставки крови и плазмы в Руанде (Африка) [2], затем с 2019 г. в Гане, преодолев в общей сложности более 1,8 млн км. 18 декабря 2018 г. БАС впервые оперативно доставил вакцину-прививку для ребенка в отдаленном островном государстве Вануату в южной части Тихого океана [3]. В Танзании с 2019 г. также начали применять дроны для доставки медикаментов в труднодоступные места в период пандемии КОВИД-19 [4].

С 2019 г. во время пандемии КОВИД-19 БАС-системы начали использовать для ускоренной доставки тестов, вакцин и медицинских препаратов с минимизацией контактов между людьми. Одними из первых дронов для доставки медикаментов и средств индивидуальной защиты были также аппараты фирмы Зиплайн (Zipline), используемые в Медицинском центре «Novant Health» города Шарлотта, Северная Каролина, США. В 2019–2020 гг. эти БАС доставляли 1–2-килограммовые отправки на расстояние 30–40 км со скоростью 60 км/ч.

Дальнейшее развитие почтовой службы привело к использованию с 2020 г. американскими почтовыми фирмами UPS и CVS дронов типа Matternet M2 для доставки отправок и медикаментов до специальных распределителей. В этом же году фирма Alphabet's Wing в Вирджинии начала доставлять небольшие грузы, как правило, пищевые продукты, до двери получателя. После публикаций почтового использования дронов их применение значительно расширилось, проникнув в различные сферы – военно-разведывательную, транспортно-логистическую, коммунально-бытовую и т. д. С 2020 г. лидерство в области эксплуатации дронов начало постепенно переходить к Китаю. Активизировались особенно почтовые компании [5; 6].

В настоящее время в каждой стране мира выработаны особые правила для использования дронов, поскольку они могут представлять опасность для воздушных судов, городской инфраструктуры, а также людей и животных. Причем достаточно быстро система эксплуатации беспилотных аппаратов сложилась в крупную, в том числе бюрократическую сеть. Сегодня в службу доставки отправок дронами в каждой стране вовлечены следующие структуры (рис. 1):

- разработчики и производители дронов;
- создатели программного обеспечения и полетных заданий;
- национальное агентство воздушного транспорта (или другая ответственная государственная регулирующая организация);
- Федеральное агентство воздушного транспорта;
- регистрирующая и/или лицензирующая организация (идентификация аппаратов, управление воздушно-транспортными потоками, метрология, информирование о появлении новых препятствий, разрешения и запрещения на полеты в особых зонах и т. д.);
- инвестор(ы);
- владельцы дронов или провайдеры услуги доставки;
- пилоты дронов;
- наземная группа обслуживания, загрузки и разгрузки отправок.

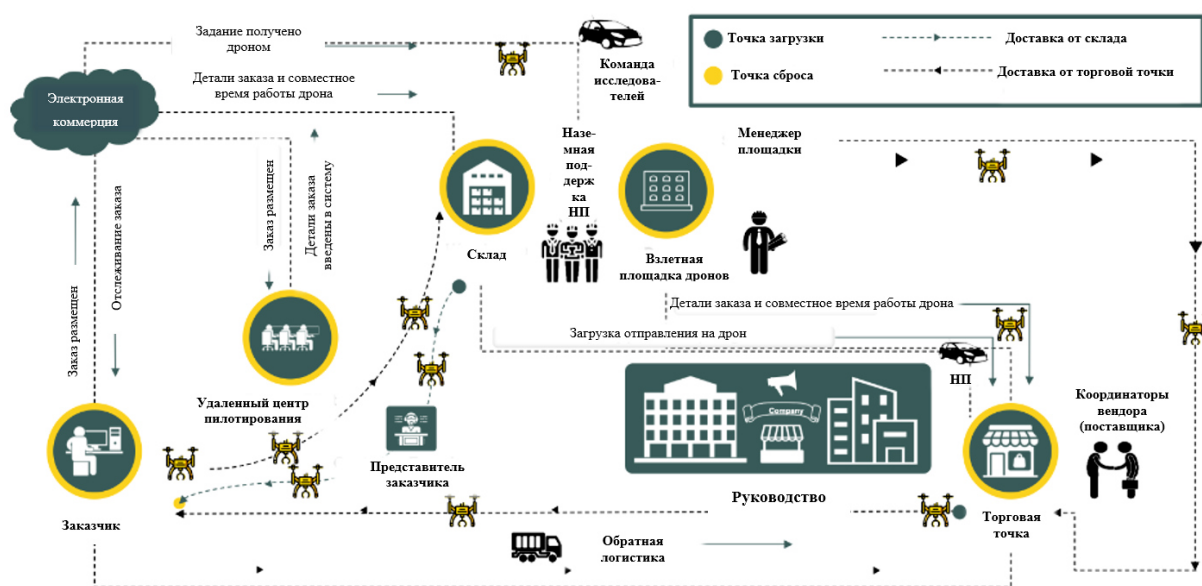


Рис. 1. Инфраструктура доставки отправок дронами

Fig. 1. Drone delivery infrastructure

К дронам применяется множество законодательных актов в части запрещения вторжения в воздушное пространство выше 100–300 м и близко к частным владениям в зависимости от страны эксплуатации, а также сроков эксплуатации (как времени суток, так и величины дрона),

массы беспилотного аппарата, разрешенных навигационных маршрутов и т. д. На полет дрона необходимо получить соответствующую лицензию. Пилот FPV-дрона должен пройти продолжительную подготовку и иметь соответствующий сертификат или удостоверение на управление беспилотной техникой (FPV – First Person View, вид от лица оператора дрона).

Для функционирования беспилотных, особенно автоматических, аппаратов-роботов требуются площадки для их тестирования, заряда батарей (или заправки топливом), системы навигации и маневрирования между зданиями и сооружениями, особенно в условиях городской застройки, где существует множество зон с запрещением полетов по ряду причин (рис. 2).

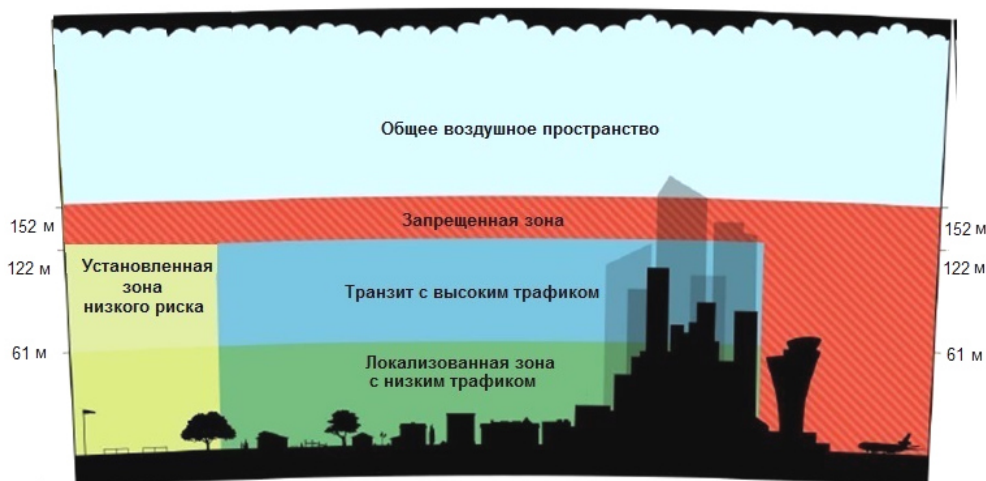


Рис. 2. Особенности воздушного пространства городской застройки

Fig. 2. Features of urban airspace

Погодные условия могут серьезно влиять на поведение дрона, поскольку снег, дождь, ветер могут внести значительные изменения в маршрут следования аппарата, вызвав такие нежелательные последствия, как нанесение вреда инфраструктуре или коммуникациям, вторжение в воздушное пространство запрещенных для полетов зон, причинение травм людям и животным и т. д.

При доставке почтовых отправок дронами возможны исчезновение и хищение отправок, случайное или намеренное повреждение элементов аппаратов и возникновение других обстоятельств, приводящих к дополнительным расходам.

Человеческое сообщество, как показывают многочисленные исследования, пока не готово к появлению дронов в окружающем пространстве в связи с наличием шума, появления опасности, а главное – вторжения в личное пространство человека. Этой теме посвящено множество публикаций [7], описывающих риски и угрозы использования беспилотных летательных аппаратов, с приведением соответствующих целевых функций [8].

Развитие БАС-технологий

Очевидно, что описанные проблемы способствуют значительному удорожанию стоимости почтовых отправок дронами. В связи с этим заинтересованные транспортно-логистические компании стремятся всячески снизить затраты, одновременно повышая качество беспилотных технологий в сотрудничестве с производителями дронов, программистами, картографическими и регулирующими организациями. Благодаря этим инициативам в данное время активизировались следующие пути развития данного направления (рис. 3) [9]:

- развитие технологий беспилотных летательных аппаратов (управление навигационными приборами и механизацией БАС, обнаружение и обход препятствий, интерактивные коммуникации с базовыми системами и воздушными судами на пути следования). Немаловажным

фактором развития денных технологий является внедрение цифровых двойников, локальных и глобальных нейросетей, искусственного интеллекта;

- расширение автоматического мониторинга как воздушного пространства, так и логистики движения дронов и доставки почтовых отправлений;

- развитие интерактивной интеркоммуникационной картографии с автоматическим нанесением вновь обнаруженных препятствий и исключением исчезнувших преград на картах, в том числе популярных браузеров. Переход к геопространственным 3D и 4D картам;

- привлечение пилотов дронов (дроноводов) различных типов и их комплексное обучение.

Обучение операторов наземной поддержки;

- обучение студентов по специальности «Разработчик дронов и сопутствующего оборудования»;

- проведение маркетинговых и опросных компаний с целью проведения анализа развития направления и накопления системной статистики и аналитики всех составляющих компонентов развития и преобразования в отрасль.



Рис. 3. Развитие направления и преобразование в отрасль

Fig. 3. Development of the direction and transformation into an industry

Преимуществами использования дронов при доставке почтовых отправлений являются:

- скорость доставки за счет спрямления маршрутов;
- отсутствие труднопроходимых мест, таких как бездорожье, заросли или джунгли, непроходимые реки и болота и т. д.;
- низкая эксплуатационная стоимость в сравнении с другими видами транспорта;
- низкий углеродный след в сравнении со всеми другими видами транспортной доставки;
- низкая аварийность в сравнении со всеми известными видами транспорта;
- высокая точность доставки груза, особенно у дронов с вертикальным взлетом и посадкой;
- широкие возможности машинного обучения, использования геопространственных карт, нейросетей, искусственного интеллекта;
- возможность бесконтактной передачи груза (во время пандемии).

Как показывает практика, использование дронов в будущем предрешиено и будет развиваться бурными темпами. Беспилотные технологии продолжают совершенствоваться, вбирая в себя многочисленные достижения IT-индустрии, телефонной промышленности, технологий развития искусственного интеллекта, авиации и т. д. Суммы инвестиций и патентная активность растут в геометрической прогрессии с каждым годом.

Применение дронов

Применение беспилотных летательных аппаратов или дронов все больше охватывает как гражданские, так и оборонные отрасли, привнося широкие возможности эксплуатации, порой являющиеся уникальными [10].

Как правило, дроны оснащены различными по назначению датчиками, камерами и другими сенсорными устройствами, позволяющими осуществлять такие задачи, как сбор информации, определение опасности (столкновения, невозвращения, чрезмерного удаления), ориентацию на местности и в пространстве и т. д. в условиях дня и ночи, тумана, снегопада, сильного ветра и других неблагоприятных погодных условий. При этом дроны уже себя зарекомендовали как весьма ценные инструменты в самых различных отраслях, включая доставку почтовых отправлений, сельское хозяйство, лесную промышленность, охрану окружающей среды, поисково-спасательные работы, военное дело, а также широкий спектр научных исследований. Более того, дроны в комбинации с живыми существами (например, птицами) могут представлять необычные применения, такие как управление роями пчел [11], стаями птиц [12] и т. д.

В соответствии с особенностями применения дроны оснащают различными датчиками [13], позволяющими проводить оценку опасности, исходящей от различных объектов и субстанций (биологических, ядерных, химических и др.).

Сельское хозяйство. Современное сельское хозяйство представляет собой сложный механизм распределения ресурсов, точечных и гибридных оптимизаций, временных и пространственных стратегий. Многочисленные сельскохозяйственные методологии и методики основаны на систематизированном сборе данных, оформлении пространственно-временных карт, анализе результатов, прогнозировании, выработке и принятии решений, информировании общественности и т. д. Удаленные технологии сбора и обработки данных широко используют авиационные системы, спутники и другие беспилотные технологии, примерами которых являются сенсорные системы OLI (тепловизор для обзора Земли (Operational Land Imager) на спутнике Landsat 8), MODIS (спектрорадиометр для получения изображений с умеренным разрешением (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) на спутнике Terra и усовершенствованный радиометр с очень высоким разрешением (Advanced very-high-resolution radiometer) на спутнике NOAA-15) для удаленного мониторинга геолокаций земной поверхности с помощью спутников [14–18].

Спутниковая сенсорика широко зарекомендовала себя с положительной стороны, однако в точном земледелии, представляющем собой комплексную высокотехнологичную систему менеджмента на основе технологий глобального позиционирования с использованием географических информационных систем, технологии оценки урожайности, переменного нормирования и т. д. использование спутниковых сенсоров часто затруднено в связи с наличием облаков. Решением этой проблемы явились авиационные беспилотные системы с аналогичными сенсорами [19].

Применение такого рода сенсоров расширяет возможности дистанционного зондирования с разрешением 30 м в 11 спектральных диапазонах 435–12510 нм.

Технологии удаленного мониторинга произвели революцию в точном земледелии за счет изучения понимания влияния климатических флуктуаций на рост урожая [20], на приход периодических наводнений [21].

На основе анализа данных мониторинга осуществляется прогнозирование объема урожая [22–24], управление водным балансом сельскохозяйственных культур и периодичностью полива полей [25; 26], мониторингом роста лесов [27].

Сегодня в основном дроны используются для получения высококачественных фотографий высокого разрешения. Примером может служить использование микродрона Microdrone MD4-200, имеющего CMOS камеру (Complementary Metal Oxide Semiconductor), изготовленную по специальной технологии, требующей очень малой мощности, с разрешением 1200×1024 пикселей. С помощью анализа таких фотографий удалось в ускоренном режиме и достаточно точно

оценить содержание азотных остатков в почве и объем биомассы посевов кукурузы, люцерны и сои [28; 29]. При этом дроны в ряде случаев устанавливают на вертолеты для ускоренного облета сельскохозяйственных угодий. Сами дроны оборудованы мультиспектральными и термальными камерами, позволяющими получать фотографии в термальном спектре с разрешением 40 нм и спектральным диапазоном 400–800 нм. Такой подход позволил за счет наличия мультиспектральных и термальных сенсоров демаркировать флуктуации водного распределения в пределах виноградных полей и снизить зависимость от дождевых осадков [30].

Лесное хозяйство, рыболовство, защита дикой природы. Дроны сегодня серьезно конкурируют со спутниками благодаря низкой стоимости, отсутствию необходимости запуска на околоземные орбиты, возможностью съемок при облачной погоде, управляемости и т. д. Используя высококачественные фотографии с большим разрешением, можно измерять высоту лесных насаждений, обновлять географические карты, мониторить поведение диких животных, вести и корректировать лесные мероприятия, детектировать и мониторить лесные пожары с автоматическим распознаванием и уведомлением пожарной службы и производить множество другой полезной работы [31]. Для этого используются дроны с дистанционным управлением, оборудованные термальными и гиперспектральными датчиками. В сочетании с данными спутников такой подход позволяет оперативно выявить случаи браконьерства, оценить критические условия для существования тех или иных животных (например, наводнение, засуха или крепкий снежный наст, опасный для копытных животных), а также проводить подсчет поголовья тех или иных популяций [32]. Данные технологии позволили значительно снизить убыль поголовья диких животных и повысить сохраняемость природы в первозданном виде.

Мониторинг качества воздуха. Это применение охватывает все большее число коммунальных служб в связи с ухудшением воздуха особенно в мегаполисах с достижением критических отметок из-за выбросов автомобилей, смога и других газов.

Горные разработки. В ходе разведки и предварительных геологических работ дроны используются как для исследований над землей, так и под землей, в пещерах и других искусственных и естественных резервуарах, в том числе с отсутствием кислорода и/или наличием пыли или взвеси, где человек не может присутствовать физически. Аэрофотосъемка может вестись при этом как в видимом спектре, так и в инфракрасном диапазоне.

Оборона и военное использование. Дроны изначально разрабатывались для военнопоборонительных целей, включая сбор данных, наблюдение, разведку, идентификацию целей (целенаведение) и т. д. Однако в короткие сроки эти аппараты получили востребованность в гражданском и логистическом сегменте [33]. Сегодня лидирующими странами в области разработки и внедрения беспилотных авиационных систем являются Россия, США, Великобритания, Израиль, Индия. Особенно быстрое развитие военные дроны получили с 2017 г. при выполнении точечных боевых действий малыми летательными аппаратами, включая роевые дроны, дроны с реактивным двигателем, микродроны в таких горячих точках, как Сомали, Йемен и Афганистан. С началом специальной военной операции России на Украине развитие дронов не только увеличилось кратно, но и вышло на принципиально новый уровень с созданием специальных родов войск в России, США и ряде других стран. Индия также вносит значительный вклад в развитие военных дронов, создавая продвинутые роботы-манипуляторы типа DRDO в категории средне-высотных (до 800 м) длительно-полетных аппаратов, позволяющих обозначать цели, выпускать и мониторить ракеты, бросать бомбы, осуществлять ударные миссии [34; 35].

Гражданское применение. Значительный интерес к беспилотным летательным аппаратам проявил бизнес в области транспорта и коммунальных услуг. Сегодня наблюдается растущий тренд среди электросетевых компаний к БАС или дронам в части инспекции высоковольтных линий электропередач. Эти аппараты в ряде стран уже более 10 лет полностью заменяют человеческие действия по ручному обследованию электрических опор, сбиванию льда, устранению перебоев электроэнергии и т. д. [36; 37]. Дроны успешно используются в железнодорожном транспорте для мониторинга и регистрации дефектов рельс, особенно в регионах с повышенной

сейсмической активностью. Подобная эксплуатация дронов неоценима особенно в труднодоступных местах и районах с периодическими климатическими бедствиями. Впервые для составления оперативных 3D (трехмерных) карт для мониторинга железнодорожных коридоров и автодорог национального уровня дроны были использованы государственными органами Индии. После этого дроны начал использовать интернет-оператор Амазон (Amazon) для доставки мелких отправок. Очевидно, однако, что пока нельзя сказать, что, во-первых, дроны «прижились» в службе доставки, а во-вторых, что отправки могут быть доставлены дронами в автоматическом режиме. Тем не менее, в службе спасения дроны используются сегодня практически во всех странах для поиска заблудившихся или попавших в катастрофу людей, доставки им воды, медикаментов, а также пищевых и спасательных продуктов и материалов. Кроме этого, высокоскоростные и высоко летающие дроны используются для открытия новых, неоткрытых пространств, оценки туристических маршрутов, выявления дефектов зданий, сооружений, лопастей ветроэнергетических установок и т. д.

Поисковые и спасательные операции. Дроны порой играют решающую роль в спасательных операциях (SAR – Search and Rescue), особенно когда присутствует временной фактор [38].

Они не требуют долгих приготовлений и согласований с авиационными инстанциями и в связи с этим используются как оперативные формы связи для доставки различных предметов – мобильных телефонов, медикаментов, воды, пищи и других продуктов первой необходимости [39].

Целый ряд разработчиков, исследователей и ученых заявил о готовности всемерно развивать данное направление с совершенствованием беспилотных летательных аппаратов, особенно в части спасательных операций [40–42].

Сегодня дроны успешно используются для защиты природных ресурсов, способствуют выживанию редких животных в различных географических широтах, помогая преодолевать последствия глобального потепления как в плане борьбы с наводнениями, так и засухами. Неоценимая помощь оказывается дронами практически каждый день при мониторинге пожаров в тайге, дождевых лесах, месторождениях полезных ископаемых, городах и мелких поселениях [43; 44].

Почта и доставка. Возможность осуществления доставки почтовых и других отправок является привлекательным предметом бизнеса множества компаний по всему миру. Достаточно известными примерами в этой области являются системы доставки, используемые компаниями Амазон (Amazon) и Гугл (Google) в США [45; 46] и ДиЭйчЭл (DHL) в Германии [47; 48], осуществляющими доставку срочных отправок – тестов, медикаментов и других срочно требуемых предметов клиентам. При этом вертикальный взлет БАС в виде коптеров является особым преимуществом этих машин в связи с возможностью точечной доставки отправок.

Космические дроны. Космические дроны не предназначены для транспортировки отправок на Земле, однако они являются перспективными, во-первых, для отправки различных предметов на космические станции, на другие планеты и спутники, а также для исследования космических тел и пространства. При этом космические дроны занимают среди другой робототехники достаточно выгодное положение в связи с их широкими возможностями, что делает эти аппараты незаменимыми в части обследования различных космических объектов – астероидов, комет и других небесных тел [49].

Более того, уже создано несколько образцов дронов для космических миссий и исследования других планет, в частности, Марса [50–52].

Важно отметить, что космические и инопланетные дроны должны проходить серьезную кастомизацию, т. е. настройку параметров, иметь адаптационные характеристики и быть защищенным от различного вида угроз – радиации, вредных и ядовитых агрессивных веществ, экстремальных перегрузок, различной степени гравитации и ускорения и т. д. Например, на Марсе снижение гравитации на 38,5 % увеличит подъемную силу и маневренность, что окажет в свою очередь воздействие на работу системы управления в части быстрого действия [53].

Морские дроны. Морские дроны также пока не рассматривались как транспортные, однако логично предположить, что впоследствии этот вид транспорта может оказаться весьма эффек-

тивным в плане оперативной доставки отправок к местам аварий и катастроф. Морские аппараты могут служить прекрасными и удобными устройствами для изучения морских организмов, обнаружения нефтяных и других выбросов, а также других целей [54–56].

В будущем, по мнению ряда экспертов, будет организовано взаимодействие морских и авиационных дронов, в том числе комбинированных, для доставки различных отправок морем и по суше. Очевидно, что морская доставка может быть значительно более эффективной, чем воздушная, а наличие летательного дрона с вертикальным взлетом на морском дроне расширяет возможности по доставке грузов. На сегодняшний день морские дроны в основном используются для подводных операций и доставки воздушных отправок авиационными дронами, базирующимися на подводных дронах [57–63]. К таким образцам относятся дроны ScanEagle, Volans, Cormorant.

Наземные (дорожные) дроны. Дорожные дроны в виде автомобилей-роботов прошли быстрый этап развития с 2019 г, когда это направление только начало зарождаться [64], и сегодня уже действуют в ряде стран на основе алгоритмов типа «роя пчел» или «колонии муравьев» [65].

Дроны широкого применения. Кроме традиционного использования, БАС или дроны используются достаточно необычно, однако с большой пользой для различных служб. Например, в Полиции департамента Токио разработано около тысячи вариантов защиты воздушного пространства города и полетных коридоров от несанкционированных дронов, которые продаются в целом бесконтрольно, особенно с малой массой. Для этого существуют противодействующие дроны, которые в случае неподчинения любых летательных аппаратов могут осуществить атаку для уничтожения подозрительного дрона-нарушителя [66].

Дроны также могут осуществлять нетрадиционные задачи – например, служить авиационными площадками для других дронов [67].

Дроны также используются для отпугивания или управления поведением птиц на взлетно-посадочных полосах аэропортов [68].

Они могут использоваться для мытья окон, водосточных труб, лопастей ветроэнергетических установок, солнечных модулей и многих других предметов [69].

И, конечно же, дроны могут использоваться как видео-, фотокамеры на досуговых мероприятиях, особенно в экстремальных местах [70].

Освоение арктики. Освоением Арктики занимается целый ряд стран в связи с наличием под арктическими льдами крупных месторождений полезных ископаемых. Берега арктических морей могут быть с успехом использованы для проживания и осуществления различных задач – рыболовства, охраны и оборонительных мероприятий, наблюдений за развитием природных процессов, археологических раскопок и т. д. Дроны рассматриваются исследователями как системы мониторинга и фиксирования различных событий.

Использование БАС в России. Отечественные российские технологии БАС за последние несколько лет шагнули вперед как качественно, так и количественно. Концепцией Технологического Развития на период до 2030 г. [91] был дан старт национальному проекту «Беспилотные авиационные системы» [92], определившему ключевые приоритеты развития беспилотных систем в РФ. Согласно данному проекту, явившемуся одним из наиболее критических для достижения технологического суверенитета и лидерства, доля отечественных БАС в общем объеме рынка (в том числе самолеты, вертолеты, мультироторы) должна составить к 2030 г. не менее 70,3 %. В количественном выражении (без образовательных БАС) это количество исчисляется как 46230 ед. Уровень технологической независимости отрасли при этом должен достичь 81,1 %. Российские компании в области беспилотного авиастроения серьезно занимаются вопросами логистики [1–3], доставки различных отправок [4] и продуктов [5], а также изучения экономики систем БАС [6]. Развитие БАС в соответствии с концепцией Национальной Технологической Инициативы [93] осуществляется по четырехуровневой модели архитектуры неба: космический (управление); стратосферный (устойчивость); логистический и хозяйственный.

Петербургский международный экономический форум 2024 г. выделил общие тренды и вызовы в отношении развития рынка БАС, становящегося отраслью экономики:

- упрощение процессов эксплуатации БАС;
- достижение минимально необходимого уровня безопасности эксплуатации БАС (не ниже уровня регулярных коммерческих перевозок);
- разработка цифровых правил полета;
- инфраструктурная унификация и внедрение принципов интероперабельности (в будущем крайне важно соблюсти принципы интероперабельности при интеграции в единую экосистему беспилотников различных сред);
- расширение функциональных сценариев применения БАС;
- функционирование в насыщенной различными объектами среде (в том числе, применение принципов X2X);
- кардинальное снижение стоимости услуг для конечного пользователя.

Особое отношение Форума было обозначено к интероперабельности в части реализации на аппаратном и программном уровнях, при исключении параллельного финансирования аналогичных проектов при различной стандартизации, с получением высокого синергетического эффекта.

В части достижения технологического лидерства в России с 2024 г. в Минобрнауки запущен федеральный проект «Перспективные технологии для БАС» по выполнению НИОКР, в рамках которого выделяется девять приоритетных направлений развития БАС [95]:

- технологии навигации, радионавигации;
- вычислители, фотонные интегральные информационные системы;
- новые технологии производства и новые материалы для БАС;
- технологии группового взаимодействия беспилотных воздушных судов (БВС), принятия решений и комплексных систем управления БВС;
- технологии и средства интеграции беспилотных воздушных судов в единое воздушное пространство;
- технологии технического зрения для БАС;
- технологии, компоновки и принципы движения БВС;
- технологии, методы и средства связи;
- энергетические и силовые установки.

Согласно задачам Проекта, за несколько лет необходимо заложить прочный фундамент для разработки и производства полностью автономных БАС с применением искусственного интеллекта, с формированием единой, бесшовной цифровой среды для взаимодействия беспилотных аппаратов различного типа и различных сред. Например, чтобы один аппарат, выполняющий мониторинг, при возникновении некой сигнальной ситуации на железнодорожных путях передал бы соответствующее уведомление наземному колесному аппарату для автономного устранения неполадок. Таким образом, Проект охватывает широкие междисциплинарные задачи.

Рынок БАС коммерческого сектора экономики B2B (бизнес-продажи) растет в среднем на 60 % в год [96]. В 2023 г. он составил 8 млрд руб., а к 2028 г. должен превысить 82 млрд руб. Согласно данным Ростелекома, увеличение инвестиций в зарождающуюся отрасль ожидается от сегментов логистики, сельского хозяйства, строительства, энергетики, как наиболее заинтересованных в развитии БАС-технологий. Основные преимущества БАС для бизнес-сегмента – это возможность оптимизации и упрощения процессов, сокращение трудозатрат, ускорение сбора данных, минимизация человеческого фактора. Тем не менее, на данный момент развитие БАС сдерживается сложностями юридического и логистического регулирования, неразвитость инфраструктуры, ограничением информирования об уже реализованных кейсах применения дронов для задач бизнеса. По данным ассоциации «Аэронекст» рынок беспилотных дронов за 2023 г. недоиспользовал 34 % аппаратов в связи с сохранившимися запретами на полеты БАС во многих регионах России с осени 2022 г.

Согласно различным прогнозам (Ростелеком, Аэронекст и др.) в России, как самой крупной по территории стране, в первую очередь будут востребованы почтовые дроны для доставки заказов Интернет-магазинов типа Yandex, Ozon, WB и многих других. ИТ-Холдингом Т1 уже



Рис. 4. Агродрон «Рубин А50»

Fig. 4. Agro-drone "Rubin A50"

осуществляется тестовая доставка медикаментов малыми дронами до 30 кг на территории Ямало-Ненецкого АО по маршруту Нарьян-Мар – Андег – Нарьян-Мар. После получения акта летной годности по упрощенной процедуре Холдинг планирует разрабатывать, производить и эксплуатировать дроны массой более 30 кг [97]. Сейчас производство гражданских БАС в основном сориентировано Холдингом на сельское хозяйство в части отдельного аппарата типа Рубин А50 (рис. 4) с сенсорными системами для обхода препятствий при следовании

по маршруту. Аппарат способствует автоматизации сельскохозяйственных процессов и эффективному внесению химических средств. Холдинг изготавливает 500–1500 единиц аппаратов со сложными системами навигации в месяц.

Примеры применения БАС в России:

- аэромониторинг 50+ объектов капитального строительства (ПАО «Газпром», с 2021 г.);
- аэромониторинг при реконструкции и модернизации Байкало-Амурской магистрали (ПАО РЖД, с 2022 г.);
- мониторинг городских строек, контроль сдачи объектов (Департамент строительства г. Москвы, с 2021 г.);
- мониторинг строительства Международного медицинского кластера с помощью онлайн-трансляций (Сколково, с 2023 г.);
- проведение аварийно-восстановительных работ на воздушных линиях электропередачи, обследование линий после штормовых погодных условий, исследование ЛЭП до 200 км/день (ПАО Россети, с 2021 г. Программа «Цифровая трансформация – 2030»);
- геологоразведка, проверки трубопроводов, поиск утечек газа (нефти), наблюдение за строительством объектов, проверка состояния морских и наземных платформ, проверка башни-факела, контроль пожарной безопасности (Нефтегаз (Татнефть, Сибур, Газпром), с 2019 г. С 2025 г. – развитие технологий осуществляется с применением искусственного интеллекта;
- тестовая доставка посылок (Почта России, Pony Express и др. Пилотный проект начался в 2023 г., заключительные испытания планируются в 2025–2026 гг.);
- временные сети связи во время массовых мероприятий, природных катастроф или других чрезвычайных ситуаций (ПАО «Ростелеком», с 2020 г.);
- военно-разведывательные задачи (концерн «Калашников». Аппараты типа СКАТ 350М, Куб (рис. 5)).

Перспективные технологии предлагаются целым рядом образовательных учреждений. СибГУ им. М. Ф. Решетнева (г. Красноярск) планирует разработать гибридную систему связи на основе стратосферных (25–30 км) беспилотных аппаратов. Такие технологии позволят значительно улучшить качество и снизить стоимость мобильной (спутниковой) связи [98].

Бурное развитие получили ударные БАС в ходе Спецоперации в Донбассе. Начиная с 2015 г. в условиях военной операции в Сирии беспилотные аппараты доказали свои преимущества, пройдя эволюцию от носителей оптики до средств доставки легких средств поражения. Причем распространение получили как малые разведывательные БВС, так и крупные ударные беспилотные аппараты. Легкие БАС типа «Иноходец» могут нести небольшие гранаты и мины сначала с использованием кустарной подвески, затем с промышленной системой крепления.

FPV-дроны, как правило, используются как легкие и маневренные барражирующие боеприпасы для поражения разных, в том числе скрытых, целей. Дроны-камикадзе типа «Ланцет-3» с противолазерной защитой фактически тоже относятся к барражирующим боеприпасам и используются для поражения мобильных и стационарных целей в радиусе до 40 км и более с точным поражением цели (рис. 6). Ударные тяжелые (до 200 кг) БАС большой дальности «Герань-2» могут наносить поражение объектам в радиусе до 2500 км.



Рис. 5. БАС СКАТ 350М концерна «Калашников» и Куб-Э (управляемый барражирующий боеприпас)

Fig. 5. Kalashnikov Concern SKAT 350M UAS and Kub-E (guided barrage ammunition)

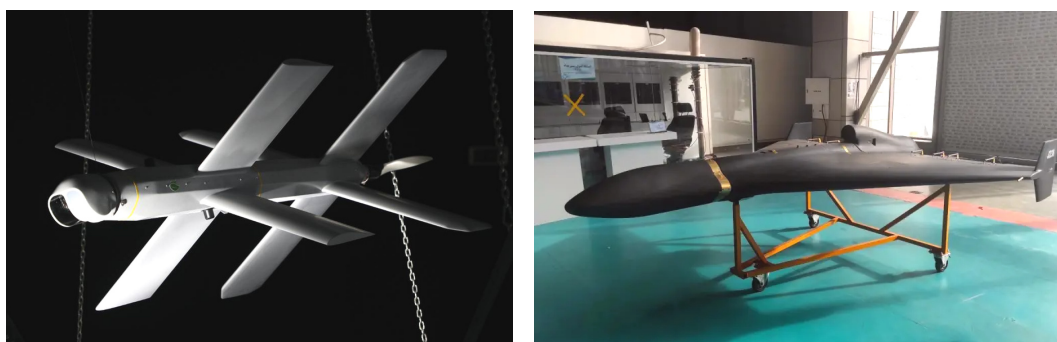


Рис. 6. БАС «Ланцет-3» и «Герань-2»

Fig. 6. UAV “Lancet-3” and “Geranium-2”

В последние годы в России проявлен особый интерес к БАС вертикального взлета (VTOL) грузоподъемностью 15–300 кг. К ним относятся дроны типа «Фаэтон» (нагрузка до 15 кг, полет 5 ч, 500 км), «Буря-20» с отсеками для FPV-дронов (нагрузка 15 кг, полет 5 ч, 500 км), конвертоплан «R-75» от «Эколибри» (нагрузка 25 кг, полет 7 ч, 750 км), С-76 (МБС) (нагрузка до 50 кг, полет 4 ч, 400 км), С-76 от ОКБ «Сухой» (нагрузка до 300 кг, полет 5–7 ч, 1500 км).

При анализе военных дронов становится очевидно, что технологии БАС получили мощное развитие в ходе Специальной военной операции в связи с возможностью разработки технологий без учета множества действующих полетных ограничений. Более того, становится также очевидным, что действующие ГОСТы серьезно устарели, регулирование воздушного пространства нуждается в серьезной доработке, а сами технологии беспилотных аппаратов могут быть адаптированы в гражданском секторе с колоссальной экономической выгодой.

Методы проектирования дронов

Процесс разработки дрона, вне зависимости от его массы, функционала, топологии, размеров и т. д., может быть формально разделен на три основных этапа – разработка концепции, предварительная конструкция и детализовка [77–80].

На каждом этапе требуется всесторонняя оценка размеров, аэродинамики, аэроупругости, прочности, стабильности, управления, надежности и производительности [81–82].

Процесс определения размера дрона, как правило, включает следующие этапы [83–87]:

- определение параметров миссии (удаленность, сложность, скрытность, скорость в различных точках маршрута, необходимость маневрирования);
- определение режима полета в зависимости от требований миссии;
- определение конфигурации и аэродинамического качества крыла с помощью моделирования нагрузки, предельных грузов, решения кинематических и динамических систем уравнений;
- преодоление конструктивных проблем и противоречий. Оптимизация аэродинамики компонентов и всего аппарата в целом;
- прогнозирование массы дрона на основе полученных при моделировании данных;
- определение мощности двигателей и емкости батарей;
- достижение точности выполнения миссии (точные места взлетов – посадок – сброса);
- оценка себестоимости НИОКР в сравнении с выполняемой миссией и в соответствии с культурой производства, технологическими возможностями производителя комплектующих, доступности оснастки, материалов и компонентов.

Классификация дронов

В России дроны (БАС) классифицируются и категоризируются ГОСТ 59517–2021. Беспилотные авиационные системы. Классификация и категоризация [1].

Согласно настоящему стандарту, БАС классифицируются следующим образом:

- по максимальной взлетной массе БВС в составе БАС: от 0,25 до 30 кг включительно, от 30 кг и выше;
- достигаемой БВС в полете кинетической энергии: 100 Дж и менее, более 100 Дж и выше;
- эксплуатационному назначению: в личных целях, для выполнения авиационных работ;
- условиям видимости: прямая радиовидимость, отсутствие прямой радиовидимости.

Категории БАС

Открытая категория (А). БАС может быть отнесена к категории А при условии соответствия следующим критериям: максимальная взлетная масса БВС в составе БАС не меньше 0,25 кг и не превышает 30 кг; максимальная кинетическая энергия, достигаемая БВС при выполнении полета, не превышает 100 Дж (а также БВС в составе БАС не имеет в своей конструкции вращающихся частей, которые могут нанести тяжкие телесные повреждения); использование БАС только в личных целях, при этом выполнение авиационных работ не допускается; полет БВС в составе БАС выполняется при следующих условиях: (ограничение высоты до 150 м; полеты в условиях BVLOS (Beyond Visual Line of Sight или ППП – Правила Приборного Полета); полеты выполняются в светлое время суток; полеты выполняются на удаленном расстоянии от строений и людей не менее 150 м или воздушном пространстве, специально выделенном для полетов беспилотных воздушных судов.

Специальная категория (В). БАС может быть отнесена к категории В при условии соответствия следующим критериям:

- характеристики и конструкция БАС превышают ограничения, указанные в предыдущем пункте;
- система автоматического управления, в случае потери связи, обеспечивает возвращение БВС в точку начала полета до восстановления работоспособности линии управления и контроля или немедленное завершение полета;
- БАС предполагается использовать для выполнения авиационных работ в одобренном для этого эксплуатационном объеме выделенного воздушного пространства в соответствии с [1], устанавливающими порядок использования воздушного пространства.

Исходя из Федеральных авиационных правил «Сертификация авиационной техники, организаций разработчиков и изготовителей», ч. 21, 2019, БАС категории В допускается к полетам при условии подтверждения соответствия требованиям к единичному экземпляру воздушного судна в составе БАС или утвержденному федеральным органом исполнительной власти в области гражданской авиации объему требований норм летной годности БАС с БВС соответствующего типа в форме сертификата типа или сертификата типа ограниченной категории.

Для доказательства соответствия БАС категории В ожидаемым условиям эксплуатации заявитель может использовать результаты оценки рисков особых ситуаций, возникновение которых возможно во время или в результате полета БВС в составе БАС категории В в соответствии с методами, утвержденными федеральным органом исполнительной власти в области гражданской авиации.

Сертифицируемая категория (С). БАС может быть отнесена к категории С в случае необходимости выполнения полетов БВС в составе БАС в заявленном классе несегрегированного воздушного пространства по правилам визуального полета и полетов по приборам.

БАС категории С допускается к полетам при условии подтверждения соответствия утвержденному объему федеральным органом исполнительной власти в области гражданской авиации требований норм летной годности БАС с БВС соответствующего типа в форме сертификата типа или сертификата типа ограниченной категории.

Эксплуатация БАС категории С должна выполняться в соответствии с Федеральными авиационными правилами, устанавливающими порядок использования воздушного пространства.

Классификация дронов за рубежом

Классификация дронов за рубежом (на Западе) приняла различные, достаточно расплывчатые нестрогие формы [88; 89]. В частности, для классифицируемых объектов используются, как правило, следующие параметры или характеристики:

- способы управления: дистанционно-пилотируемый с управлением в двух режимах – ручном и автоматизированном и автоматический с управлением автопилотом по заранее заданной траектории на заданной высоте с заданной скоростью и со стабилизацией углов ориентации;
- тип конструкции: беспилотные летательные аппараты фиксированного крыла с прямым толчком по фиксированному крылу для получения подъёмной силы и беспилотные летательные аппараты вращающегося крыла, которые разделены на два типа – одновинтовые и многовинтовые (мультикоптер);
- по размеру и массе: сверхтяжёлые (взлётная масса более 2 т – X-45, Darkstar, Predator B и Global Hawk), тяжёлые (масса от 200 до 2000 кг), средней массы (от 50 до 200 кг), лёгкие (от 5 до 50 кг) и микро (до 5 кг);
- по высоте полёта: низкая высота (до 1000 м – FPASS, Pointer, Dragon Eye), средняя высота (от 1000 до 10000 м – большинство БАС или UAV) и высокая высота (более 10000 м – X-45, Predator B, Darkstar, Global Hawk).

Согласно другим классификациям [90], дроны подразделяются на такие категории, как микро или нано (Миниатюрные, MAV, NAV Air Vehicles с низкой высотой полета до 330 м и кратким временем полета), вертикального взлета и низкой высоты полета (VTOL Vertical Take-Off & Landing не требуют взлетной полосы. Пример приведен на рис. 7 – Convair XFY-1 Pogo), малые БАС (LASE Low Altitude, Short-Endurance или sUAS – Small Unmanned Aircraft Systems с массой до 2–5 кг), средней высоты до 9000 м длительного полета (LALE Low Altitude, Long Endurance несколько сот километров полета), высокой высоты до 20000 м и выше длительного полета (HALE High Altitude, Long Endurance свыше 30 ч полета).

Последние разработки направлены на миниатюризацию компонентов, оснащение максимальным набором датчиков, улучшением навигационных характеристик, создание наземных баз для остановки и дозаправки БАС.

Заключение

Как показывает анализ обзора, несмотря на существование разрозненных попыток создать интеллектуальные комплексы доставки небольших и крупных грузов, полностью автоматических систем (согласно ГОСТ 34.003–90), сочетающих автоматическое взаимодействие подготавливающей к забору груза площадки, БАС с манипуляторами (ГОСТ Р 57258–2016) и распределителя отправлений пока не существует.



Рис. 7. БАС с вертикальным взлетом и горизонтальным полетом
Convair XFY-1 Pogo

Fig. 7. Convair XFY-1 Pogo vertical takeoff and horizontal flight UAS

Таким образом, несмотря на мнимую известность идеи доставки почтовых отправлений, а также широкий опыт использования БАС для транспортировки различных предметов, целостность и автоматизация процесса доставки грузов до сих пор отсутствует. Ни в одной стране мира нет автоматической сортировки перед забором груза, нет четкого автономного полетного задания, отсутствуют даже концепции приемников-распределителей грузов в многоэтажных (многоофисных) зданиях. Тем не менее, с ростом потребления легких мелкомасштабных грузов сроки поставки в постаматы и точки выдачи доставляющими компаниями неизменно растут. Данная проблема особенно характерна для мегаполисов, где наблюдается неудержимый рост числа постаматов и, соответственно, количества городского транспорта для доставки отправлений. Кроме этого, до сих пор не решены проблемы автоматического облета существующих и вновь возводимых препятствий, не указанных в актуальных картографических документах – деревьев, строительных лесов,

мачт, растяжек и т. п. Таким образом, логистика (в том числе с использованием больших данных) ни на одном из этапов доставки груза потребителю (заказчику) до сих пор не решена.

Тем не менее, становятся заметными тенденции перехода к полуавтоматическим и автоматическим системам сортировки, доставки и распределения грузов, расширения применения автономных БАС. Следовательно, возможности для проведения НИОКР в части почтовой доставки достаточно широкие.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-19-20060 от 20.04.2023, <https://rscf.ru/project/25-19-20060>.

Acknowledgment

The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 25-19-20060, <https://rscf.ru/en/project/25-19-20060/>.

Библиографические ссылки

1. ГОСТ Р 59517–2021. Беспилотные авиационные системы. Классификация и категоризация. М. : Стандартинформ, 2021. 7 с.
2. Портер Д. Беспилотники Zipline доставляют медикаменты и средства индивидуальной защиты СИЗ в Северную Каролину. The Verge. 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.theverge.com/2020/5/27/21270351/zipline-drones-novant-health-medical-center-hospital-supplies-ppc> (дата обращения: 17.03.2025).
3. Блум С. Вакцины, доставляемые беспилотниками открывают Новую эру медицинской помощи. Популярная механика [Электронный ресурс]. URL: <https://www.popularmechanics.com/flight/drones/a25618732/drone-vaccine-delivery-vanuatu/> (дата обращения: 17.03.2025).

4. Life-Saving Drones Fly Medicine to Tanzania's Remotest Spots. Bloomberg [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-08/life-savingdrones-deliver-medicine-to-tanzania-s-remotest-spots>. 2019 (дата обращения: 22.01.2025)
5. Sun Tongtong. The popularity of unmanned vehicles in Wuhan is contributing to the commercialization of unmanned vehicles // *Enterprise Observer*. 2020. No. 102 (3). P. 42–47.
6. Курбанов Т., Старченко Д., Заикин А. Дроны в логистике: Опыт ведущих зарубежных и отечественных компаний, перспективы и проблемы применения // *Логистика*. 2020. № 2(159). С. 26–29.
7. Иерархический анализ рисков моделей угроз беспилотных летательных аппаратов / Т. З. Аралбаев, Р. Р. Галимов, М. А. Гетьман, О. В. Клиндух // *Изв. Саратовского ун-та. Сер.: Математика. Механика. Информатика*. 2023. Т. 23, вып. 2. С. 241–252. Doi: 10.18500/1816-9791-2023-23-2-241-252.
8. Важавелил Т. Будущее доставки дронами. WiPro. 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.wipro.com/business-process/the-future-of-delivery-with-drones-contactless-accurate-and-high-speed/> (дата обращения: 22.01.2025).
9. Обзор мирового опыта коммерческой доставки грузов с помощью беспилотников. Imbasoft. HABR. 2024 [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/articles/402475/> (дата обращения: 22.01.2025).
10. Autonomous management of an UAV Airfield. In proceedings of the 3rd international conference on application and theory of automation in command and control systems / R. M. Rodríguez, F. Alarcón, D. S. Rubio, A. Ollero. Naples, 2013. P. 28–30. Doi: 10.1109/ICAS.2009.8.
11. Bachmann R. J. Biologically inspired mechanisms facilitating multimodal locomotion for areal micro-robot // *Proceedings of the 24th international unmanned air vehicles conference*. Bristol, 2009. Doi: 10.3390/app11115167/.
12. Microdrones unmanned aerial solutions are the ideal platform for serious professional work [Электронный ресурс]. URL: <https://www.microdrones.com/en/applications> (дата обращения: 22.01.2025).
13. Miller P. M. November. Mini, micro, and swarming unmanned aerial vehicles: A baseline study. Washington, DC: Federal Research Division, Library of Congress. 2006.
14. Alexandridis T. K., Zalidis G. C., Silleos N. G. Mapping irrigated area in Mediterranean basins using low cost satellite Earth Observation // *Computers and electronics in agriculture*. 2008. No. 64(2). P. 93–103. Doi: 10.1016/j.compag.2008.04.001.
15. Irrigated area mapping in heterogeneous landscapes with MODIS time series, ground truth and census data, Krishna Basin, India / T. W. Biggs, P. S. Thenkabail, M. K. Gumma et al. // *International Journal of Remote Sensing*. 2006. No. 27(19). P. 4245–4266. Doi: 10.1080/01431160600851801.
16. Irrigated areas of India derived using MODIS 500 m time series for the years 2001–2003 / V. Dheeravath, P. S. Thenkabail, G. Chandrantha et al. // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2010. No. 65(1). P. 42–59. Doi: 10.1016/j.isprsjprs.2009.08.004.
17. Toomanian N., Gieske A. S. M., Akbary M. Irrigated area determination by NOAA-Landsat upscaling techniques, Zayandeh river basin, Isfahan, Iran // *International journal of remote sensing*. 2004. No. 25(22). P. 4945–4960. Doi: 10.1080/01431160410001713007.
18. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images / X. Xiao, S. Boles, J. Liu et al. // *Remote sensing of environment*. 2005. No. 95(4). P. 480–492. Doi: 10.1016/j.rse.2004.12.009.
19. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status / E. R. Hunt, M. Cavigelli, C. S. Daughtry et al. // *Precision Agriculture*. 2005. No. 6. P. 359–378. Doi: 10.1007/s11119-005-2324-5.
20. Assessing the impact of climate variations on wheat yield in north-west India using GIS / P. K. Kingra, R. Setia, J. Kaur et al. // *Spatial Information Research*. 2018. No. 26. P. 281–294. Doi: 10.1007/s41324-018-0174-2.

21. Spectral matching techniques to determine historical land-use/land-cover (LULC) and irrigated areas using time-series 0.1-degree AVHRR pathfinder datasets / P. Thenkabail, P. Gangadhara Rao, T. Biggs et al. // *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2007. No. 73(10). P. 1029–1040.
22. Burke M., Lobell D. B., Satellite-based assessment of yield variation and its determinants in smallholder African systems // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017. No. 114(9). P. 2189–2194. Doi: 10.1073/pnas.1616919114.
23. Crop yield estimation by satellite remote sensing / C. Ferencz, P. Bognar, J. Lichtenberger et al. // *International Journal of Remote Sensing*. 2004. No. 25(20). P. 4113–4149. Doi: 10.1080/01431160410001698870.
24. Mapping smallholder wheat yields and sowing dates using micro-satellite data / M. Jain, A. K. Srivastava, R. K. Joon et al. // *Remote sensing*. 2016. No. 8(10). P. 860. Doi: 10.3390/rs8100860.
25. Jang J. D., Viau A. A., Anctil F. Thermal water stress index from satellite images // *International Journal of Remote Sensing*. 2006. No. 27(8). P. 1619–1639. Doi: 10.1080/01431160500509194.
26. A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields / S. Veysi, A. A. Naseri, S. Hamzeh, H. Bartholomeus // *Agricultural water management*. 2017. No. 189, P. 70–86. Doi: 10.1016/j.agwat.2017.04.016.
27. Forest cover classification by optimal segmentation of high resolution satellite imagery / S. R. Kim, W. K. Lee, D. A. Kwak et al. // *Sensors*. 2011. No. 11(2). P. 1943–1958. Doi: 10.3390/s110201943.
28. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status / E. R. Hunt, M. Cavigelli, C. S. Daughtry et al. // *Precision Agriculture*. 2005. No. 6. P. 359–378. Doi: 10.1007/s11119-005-2324-5.
29. Bauer M. E., Cipra J. E. Identification of agricultural crops by computer processing of ERTS MSS data. 1973.
30. Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV) / J. Baluja, M. P. Diago, P. Balda et al. // *Irrigation Science*. 2012. No. 30. P. 511–522. Doi: 10.1007/s00271-012-0382-9.
31. Rufino G., Moccia A. Integrated VIS-NIR hyperspectral/thermal-IR electro-optical payload system for a mini-UAV // *Infotech@ Aerospace*. 2005. 7009 p.
32. Autonomous UAVs wildlife detection using thermal imaging, predictive navigation and computer vision / S. Ward, J. Hensler, B. Alsalam, L. F. Gonzalez // *2016 IEEE aerospace conference*. 2016, March. Doi: 10.1109/AERO.2016.7500671.
33. Callam A. Drone wars: Armed unmanned aerial vehicles // *International Affairs Review*. 2010. No. 18(3) [Электронный ресурс]. URL: <https://press.armywarcollege.edu/parameters> (дата обращения: 16.01.2024).
34. Drone Warfare [Электронный ресурс]. URL: <https://www.thebureauinvestigates.com/projects/drone-war> (дата обращения: 16.01.2024).
35. Parmar T. Drones in India. Centre for the study of the drone. 2014.
36. Floreano D., Wood R. J. Science, technology and the future of small autonomous drones // *Nature*. 2015. No. 521(7553). P. 460–466. Doi: 10.1038/nature14542.
37. Unmanned aerial systems for civil applications. A review / H. González-Jorge, J. Martínez-Sánchez, M. Bueno, P. Arias // *Drones*. 2017. No. 1(1). P. 2.
38. Waharte S., Trigoni N. Supporting search and rescue operations with UAVs // *2010 international conference on emerging security technologies*. 2010. P. 142–147. Doi: 10.1109/EST.2010.31.
39. Micro-Drones reports [Электронный ресурс]. URL: <https://www.microdrones.com/en/applications/areas-of-application/searchand-rescue> (дата обращения: 13.01.2025).
40. Drones reports [Электронный ресурс]. URL: <https://www.xdynamics.com/> (дата обращения: 16.01.2024).
41. Rootwelt T. Ambulance Drones in Norway-A Stakeholder Analysis (Master's thesis NTNU). 2016.

42. The Sky's the Limit with Drone-assisted Mapping [Электронный ресурс]. URL: <http://www.simulyze.com/blog/drone-assisted-mapping-applications> (дата обращения: 17.01.2024).
43. Restas A. Drone applications for supporting disaster management // *World Journal of Engineering and Technology*. 2015. No. 3(03). P. 316. Doi: 10.4236/wjet.2015.33C047.
44. A review on unmanned aerial vehicle remote sensing and its application / W. Jin, H. L. Ge, H. Q. Du, X. J. Xu // *Remote sensing information*. 2009. No. 1. P. 88–92. Doi: 10.3390/drones7060398.
45. Amazon teases new details of planned Prime Air drone delivery service [Электронный ресурс]. URL: <http://appleinsider.com/articles/15/11/30/amazon-teases-new-details-ofplanned-prime-air-drone-delivery-service> (дата обращения 13.01.2024).
46. Two delivery drones built by Google will soon be tested in the US. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.techspot.com/news/62412-two-delivery-drones-built-google-soontested-us.html> (дата обращения: 17.01.2024).
47. Heutger M., Kückelhaus M. Unmanned aerial vehicles in logistics a DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry. DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf, Germany. 2014. Doi: 10.3390/su142114352.
48. DHL Express запустила первый регулярный маршрут автоматизированной доставки дронами в городских условиях // *DroneFlyers* [Электронный ресурс]. URL: <http://droneflyers.ru/2019/05/22/dhl-express-zapustila-pervyj-regulyarnyj-marshrut-avtomatizirovannoj-dostavkidronami-v-gorodskih-usloviyah/>. 2021.
49. De-zeen [Электронный ресурс]. URL: <http://www.dezeen.com/2015/01/28/nasa-helicopter-drones-explore-mars-jetpropulsion-laboratory/> (дата обращения: 17.01.2024).
50. Design of the ARES Mars Airplane and Mission Architecture [Электронный ресурс]. URL: <http://marsairplane.larc.nasa.gov/platform.html> (дата обращения: 17.01.2024).
51. ExoFly: a flapping winged aerobot for autonomous flight in Mars atmosphere / B. Peeters, J. A. Mulder, S. Kraft et al. // *College of Information Sciences and Technology: State College, PA, USA*. 2008.
52. Menges P. Artificial neural membrane flapping wing. NIAC Phase I study. Final Report, Ph. D. Principal Investigator Aerospace Research Systems, USA. 2006.
53. Mars gravity field based on a short arc technique / W. L. Sjogren, J. Lorell, L. Wong, W. Downs // *Journal of Geophysical Research*. 1975. No. 80(20). P. 2899–2908. Doi: 10.1029/JB080i020p02899.
54. Evaluation of an unmanned airborne system for monitoring marine mammals / W. R. Koski, T. Allen, D. Ireland et al. // *Aquatic Mammals*. 2009. No. 35(3). P. 347. Doi: 10.1578/AM.35.3.2009.347.
55. Koh L. P., Wich S. A. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation // *Tropical conservation science*. 2012. No. 5(2). P. 121–132. Doi: 10.1177/194008291200500202.
56. Fingas M., Brown C. Review of oil spill remote sensing // *Marine pollution bulletin*. 2014. No. 83(1). P. 9–23. Doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.03.059.
57. Insitu, ScanEagle® Unmanned Aircraft System, 118 East Columbia River Way Bingen, Washington 98605. www.insitu.com.
58. Development and testing of instrumentation for UAV-based flux measurements within terrestrial and marine atmospheric boundary layers / B. D. Reineman, L. Lenain, N. M. Statom, W. K. Melville // *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2013. No. 30(7). P. 1295–1319. Doi: 10.1175/JTECH-D-12-00176.1.
59. Allen J., Walsh B. Enhanced oil spill surveillance, detection and monitoring through the applied technology of unmanned air systems // *In International oil spill conference, American Petroleum Institute*. 2008. No. (1). P. 113–120.
60. Design of a hybrid detachable amphibious drone for monitoring marine environment / C. Dinelli, J. Fisher, B. Herkenhoff, M. Hassanalian // *AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum*. 2020. 3965 p. Doi: 10.2514/6.2020-3965

61. Gabler [Электронный ресурс]. URL: <http://gabler-luebeck.de/en/product/gabler-triple-m> (дата обращения: 15.01.2024).
62. 2009. Reconfigurable unmanned aerial vehicles / M. A. Erbil, S. D. Prior, M. Karamanoglu et al. // International Conference on Manufacturing and Engineering Systems. Proceedings, International Conference on Manufacturing and Engineering Systems. P. 392–396. [Электронный ресурс]. URL: <https://repository.mdx.ac.uk/item/82268> (дата обращения: 15.01.2024).
63. Dacus A. P. Impact of C4ISR/Digitization and Joint Force Ability to Conduct the Global War on Terror. Monograph, School of Advanced Military Studies, Fort Leavenworth: US ARMY CGSC. 2006.
64. Autonomous Unmanned Ground Vehicles for Urban Logistics: Optimization of Last Mile Delivery Operations / M. O. Sonneberg, M. Leyerer, A. Kleinschmidt et al. // International Conference on System Sciences. Hawaii, America, 2019. P. 1538–1547.
65. Матренин П., Секаев В. Адаптивный алгоритм муравьиной колонии при построении и оптимизации расписаний // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2012. № 11. С. 19–24.
66. Tokyo To Deploy 'Interceptor Drone' To Fish Out Rogue Drones In A Net [Электронный ресурс]. URL: <http://www.techtimes.com/articles/115497/20151212/tokyo-to-deployinterceptor-drone-to-fish-out-rogue-drones-in-a-net.htm> (дата обращения: 16.01.2024).
67. Watch A Drone Take Off From Another Drone [Электронный ресурс]. URL: <http://www.popsci.com/article/technology/watch-drone-take-another-drone> (дата обращения: 18.01.2024).
68. Gade S., Paranjape A. A., Chung S. J. Herding a flock of birds approaching an airport using an unmanned aerial vehicle // AIAA guidance, navigation, and control conference. 2015. 1540 p. Doi: 10.2514/6.2015-1540.
69. Robinson-Solutions Professional Window Cleaning [Электронный ресурс]. URL: <http://robinson-solutions.blogspot.com/2016/01/drones-cleaning-windows.html> (дата обращения: 18.01.2024).
70. The Inventors of the Wristwatch Drone Share Their Vision of the Future [Электронный ресурс]. URL: <http://www.wired.com/2014/10/wear-a-spy-drone-on-your-wrist/> (дата обращения: 18.01.2024).
71. Как в России рождается беспилотная аэрологистика. РБК. 2022 [Электронный ресурс]. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/cmrm/62036c429a7947ce2fc410cc?from=copy> (дата обращения: 18.01.2024).
72. Калмурзаева Д. К., Багинова В. В. Беспилотные летающие аппараты как инструмент микрологистики нового поколения // European Research. 2017. № 1 (24). С. 12–14.
73. Перспективы развития беспилотных средств доставки и оптимизация алгоритма / И. К. Романова, Цзяси Ли, Чжэн Ван, Лян Цзо // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2022. Vol. 5–2 (68). С. 37–41.
74. Костин А. С., Еленин Д. В. Методы доставки грузов при помощи беспилотных летательных аппаратов // Системный анализ и логистика. 2019. № 1(23). С. 55–64.
75. Доставка дронами: доставка еды и пиццы, легальность и будущее. Dostavista. 2019. [Электронный ресурс]. URL: <https://dostavista.ru/articles/drone> (дата обращения: 18.01.2024).
76. Коммерческая доставка грузов с помощью дронов: мировой опыт // Integral [Электронный ресурс]. URL: <http://integral-russia.ru/2017/03/24/kommercheskaya-dostavkagruzov-s-pomoshhyu-dronov-mirovoj-opyt/> (дата обращения: 18.01.2024).
77. Sadraey M. A Systems engineering approach to unmanned aerial vehicle design // 10th AIAA aviation technology, integration, and operations (ATIO) conference [Электронный ресурс]. URL: <https://doi.org/10.2514/6.2010-9302> (дата обращения: 18.01.2024).
78. Verstraete D., Coatanea, M., Hendrick P. Preliminary design of a joined wing HALE UAV // International Congress of the Aeronautical Sciences. Anchorage, Alaska, USA. 2008, September. P. 14–19.

79. Periaux, J., Gonzalez F., Lee D. S. C. Evolutionary optimization and game strategies for advanced multi-disciplinary design: applications to aeronautics and UAV design. 2015. Doi: 10.1007/978-94-017-9520-3.
80. A new systematic approach in UAV design analysis based on SDSM method / K. Amirreze, D. Marzieh, S. Foad, A. Fatemeh // Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering, 2013. Doi: 10.4172/2168-9792.S1-001.
81. Zajkowski T. Unmanned aerial vehicles: Remote sensing technology for the USDA Forest Service, Rem. Sens Applications Center, Salt Lake City. 2003. Doi: 10.3390/rs12061046.
82. A comparison between satellite based and drone based remote sensing technology to achieve sustainable development: a review / B. Bansod, R. Singh, R. Thakur, G. Singhal // Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID). 2017. No. 111. P. 383–407. Doi: 10.12895/jaeid.20172.690.
83. Hashim F., Dibs H., Jaber H. S. Adopting Gram-Schmidt and Brovey methods for estimating land use and land cover using remote sensing and satellite images // Nature Environment and Pollution Technology. 2022. Vol. 21, No. 2. P. 867–881. Doi: 10.46488/NEPT.2022.v21i02.050.
84. Cosyn P., Vierendeels J. Design of fixed wing micro air vehicles // The Aeronautical Journal. 2007. No. 111(1119). P. 315–326. Doi: 10.1017/S0001924000004565.
85. Gertler J., US Unmanned Aerial Systems, Library of Congress Washington DC Congressional Research Service. 2012 [Электронный ресурс]. URL: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/m2adc84013/> (дата обращения: 18.01.2024).
86. Why The USAF's Massive \$10 Billion Global Hawk UAV Is Worth The Money [Электронный ресурс]. URL: <http://foxtrotalpha.jalopnik.com/why-the-usafs-massive-10-billion-globalhawk-uav-was-w-1629932000/>, (дата обращения: 18.01.2024).
87. Broad William J. A web of sensors, taking earth's pulse // NY Times. 2005. No. 154. P. 53210. [Электронный ресурс]. URL: <http://query.nytimes.com/gst/fullpage.html?res=9803E7DA1230F933A25756C0A9639C8B63&pagewanted=all> (дата обращения: 18.01.2024).
88. Modeling and Control of Unmanned Aerial Vehicles. 2014.
89. Каршов Р. С. Классификация беспилотных летательных аппаратов // Проблемы науки. 2016. № 11 (53). С. 38–40.
90. Arpan Pandit. Unmanned Aircraft Systems: Classification and Applications. Cherrubics. Engineering, Research Summary. 2020.
91. Концепция технологического развития до 2030 г. Распоряжение Правительства РФ от 20 мая 2023 года № 1315-р. [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/docs/48570/> (дата обращения: 28.01.2024).
92. Национальный проект «Беспилотные авиационные системы». Минпромторг России. 2024 [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/927/about/> (дата обращения: 22.04.2025).
93. Национальная Технологическая Инициатива [Электронный ресурс]. URL: <https://nti2035.ru/>, (дата обращения: 22.04.2025).
94. Петербургский международный экономический форум ПМЭФ-2024. Экспертное заключение. [Электронный ресурс]. URL: <https://roscongress.org/materials/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy-rossii-tekhnologicheskoe-liderstvo-i-innovatsii-2024/> (дата обращения: 22.04.2025).
95. Федеральный проект «Перспективные технологии для беспилотных авиационных систем». Минобрнауки (утв. Минпромторгом России). [Электронный ресурс]. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_310251/f1714695a398b82bflc001c6d41f611cef97b7b8/ (дата обращения: 22.04.2025).
96. Рынок гражданских беспилотных аппаратов. Ростелеком. 13.06.2024. [Электронный ресурс]. URL: https://ai.gov.ru/knowledgebase/tekhnologii-i-produkty-ii/2024_rynok_graghdanskih_bespilotnyh_apparatorov_obyem_dinamika_i_scenarii_primeneniya_bespilotnikov_v_otraslyah_ekonomiki_rostelekom/ (дата обращения: 22.04.2025).

97. Т1 анонсировал запуск производства беспилотных авиационных систем в «Руднево». 15.06.2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://t1.ru/news/item/t1-anonsiroval-zapusk-proizvodstva-bespilotnykh-aviatsionnykh-sistem-v-rudnevo/> (дата обращения: 22.04.2025).
98. В России разработали систему связи с использованием стратосферных беспилотников // Газета.RU. 22.04.2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gazeta.ru/tech/news/2025/04/22/25611686.shtml?updated> (дата обращения: 22.04.2025).
99. «На фронте и на гражданке»: на что способны дроны концерна «Калашников». RT на русском. 22.04.2025 [Электронный ресурс]. URL: <https://russian.rt.com/russia/article/1467602-kalashnikov-bpla-skat-kub> (дата обращения: 22.04.2025).
100. Развитие отечественных БПЛА на фоне Спецоперации // Военное обозрение. 22.04.2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://topwar.ru/219796-razvitie-otechestvennyh-bpla-na-fone-specoperacii.html> (дата обращения: 22.04.2025).

References

1. GOST R 59517–2021. Unmanned aircraft systems. Classification and categorization]. Moscow, Standartinform Publ., 2021. 7 p. (In Russ.).
2. Porter J. Zipline drones deliver medicines and PPE personal protective equipment to North Carolina. The Verge. 2020. Available at: <https://www.theverge.com/2020/5/27/21270351/zipline-drones-novant-health-medical-center-hospital-supplies-ppe> (accessed: 17.03.2025).
3. Bloom, Sam. Vaccines delivered by drones are ushering in a new era of medical care. Popular mechanics. Available at: <https://www.popularmechanics.com/flight/drones/a25618732/drone-vaccine-delivery-vanuatu/> (accessed: 17.03.2025).
4. Life-Saving Drones Fly Medicine to Tanzania's Remotest Spots. Bloomberg. Available at: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-03-08/life-savingdrones-deliver-medicine-to-tanzania-s-remotest-spots>. 2019 (accessed: 22.01.2025)
5. Sun Tongtong. The popularity of unmanned vehicles in Wuhan is contributing to the commercialization of unmanned vehicles. *Enterprise Observer*. 2020, No. 102 (3), P. 42–47.
6. Kurbanov T., Starchenko D., Zaikin A. [Drones in logistics: The experience of leading foreign and domestic companies, prospects and problems of application]. *Logistika*. 2020, No. 2 (159), P. 26–29 (In Russ.).
7. Aralbaev T. Z. et al. Hierarchical risk analysis of threat models of unmanned aerial vehicles. *Izv. Saratovskogo un-ta. Ser.: Matematika. Mekhanika. Informatika*. 2023, Vol. 23, No. 2, P. 241–252. Doi: 10.18500/1816-9791-2023-23-2-241-252.
8. Vazhavelil T. The future of drone delivery. WiPro. 2021. Available at: <https://www.wipro.com/business-process/the-future-of-delivery-with-drones-contactless-accurate-and-high-speed/> (accessed: 22.01.2025)
9. *Obzor mirovogo opyta kommercheskoy dostavki gruzov s pomoshch'yu bespilotnikov. Imbasoft. HABR* [An overview of the global experience of commercial cargo delivery using drones. Imbasoft. HABR]. 2024. Available at: <https://habr.com/ru/articles/402475/> / (accessed: 22.01.2025).
10. Rodríguez R. M., Alarcón F., Rubio D. S., Ollero A. Autonomous management of an UAV Airfield. *In proceedings of the 3rd international conference on application and theory of automation in command and control systems*. Naples, Italy, 2013. Doi: 10.1109/ICAS.2009.8.
11. Bachmann R. J., Biologically inspired mechanisms facilitating multimodal locomotion for areal micro-robot. *In Proceedings of the 24th international unmanned air vehicles conference*. Bristol, 2009. Doi: 10.3390/app11115167/.
12. Microdrones unmanned aerial solutions are the ideal platform for serious professional work. Available at: <https://www.microdrones.com/en/applications> (accessed: 22.01.2025).
13. Miller P. M. November. Mini, micro, and swarming unmanned aerial vehicles: A baseline study. Washington, DC: Federal Research Division, Library of Congress. 2006.

14. Alexandridis T. K., Zalidis G. C., Silleos N. G. Mapping irrigated area in Mediterranean basins using low cost satellite Earth Observation. *Computers and electronics in agriculture*. 2008, No. 64(2), P. 93–103. Doi: 10.1016/j.compag.2008.04.001.
15. Biggs T. W., Thenkabail P. S., Gumma M. K. et al. Irrigated area mapping in heterogeneous landscapes with MODIS time series, ground truth and census data, Krishna Basin, India. *International Journal of Remote Sensing*. 2006, No. 27(19), P. 4245–4266. Doi: 10.1080/01431160600851801.
16. Dheeravath V., Thenkabail P.S., Chandrakantha G. et al. Irrigated areas of India derived using MODIS 500 m time series for the years 2001–2003. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2010, No. 65(1), P. 42–59. Doi: 10.1016/j.isprsjprs.2009.08.004.
17. Toomanian N., Gieske A. S. M., Akbary M. Irrigated area determination by NOAA-Landsat upscaling techniques, Zayandeh river basin, Isfahan, Iran. *International journal of remote sensing*. 2004, No. 25(22), P. 4945–4960. Doi: 10.1080/01431160410001713007.
18. Xiao X., Boles S., Liu J. et al. Mapping paddy rice agriculture in southern China using multi-temporal MODIS images. *Remote sensing of environment*. 2005, No. 95(4), P. 480–492. Doi: 10.1016/j.rse.2004.12.009.
19. Hunt E. R., Cavigelli M., Daughtry C. S. et al. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*. 2005, No. 6, P. 359–378. Doi: 10.1007/s11119-005-2324-5.
20. Kingra P. K., Setia R., Kaur J. et al. Assessing the impact of climate variations on wheat yield in north-west India using GIS. *Spatial Information Research*. 2018, No. 26, P. 281–294. Doi: 10.1007/s41324-018-0174-2.
21. Thenkabail P., Gangadhara Rao P., Biggs T. et al. Spectral matching techniques to determine historical land-use/land-cover (LULC) and irrigated areas using time-series 0.1-degree AVHRR pathfinder datasets. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2007, No. 73(10), P. 1029–1040.
22. Burke M., Lobell D. B., Satellite-based assessment of yield variation and its determinants in smallholder African systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2017. No. 114(9). P. 2189–2194. Doi: 10.1073/pnas.1616919114.
23. Ferencz C., Bogner P., Lichtenberger J. et al. Crop yield estimation by satellite remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*. 2004, No. 25(20), P. 4113–4149. Doi: 10.1080/01431160410001698870.
24. Jain M., Srivastava A. K., Joon R. K. et al. Mapping smallholder wheat yields and sowing dates using micro-satellite data. *Remote sensing*. 2016, No. 8(10), P. 860. Doi: 10.3390/rs8100860.
25. Jang J. D., Viau A. A., Anctil F. Thermal water stress index from satellite images. *International Journal of Remote Sensing*. 2006, No. 27(8), P. 1619–1639. Doi: 10.1080/01431160500509194.
26. Veysi S., Naseri A. A., Hamzeh S., Bartholomeus H. A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. *Agricultural water management*. 2017. No. 189, P. 70–86. Doi: 10.1016/j.agwat.2017.04.016.
27. Kim S. R., Lee W. K., Kwak D. A. et al. Forest cover classification by optimal segmentation of high resolution satellite imagery. *Sensors*. 2011, No. 11(2), P. 1943–1958. Doi: 10.3390/s110201943.
28. Hunt E. R., Cavigelli M., Daughtry C. S. et al. Evaluation of digital photography from model aircraft for remote sensing of crop biomass and nitrogen status. *Precision Agriculture*. 2005, No. 6, P. 359–378. Doi: 10.1007/s11119-005-2324-5.
29. Bauer M. E., Cipra J. E. Identification of agricultural crops by computer processing of ERTS MSS data. 1973.
30. Baluja J., Diago M. P., Balda P. et al. Assessment of vineyard water status variability by thermal and multispectral imagery using an unmanned aerial vehicle (UAV). *Irrigation Science*. 2012, No. 30, P. 511–522. Doi: 10.1007/s00271-012-0382-9.
31. Rufino G., Moccia A. Integrated VIS-NIR hyperspectral/thermal-IR electro-optical payload system for a mini-UAV. *Infotech@ Aerospace*. 2005. 7009 p.

32. Ward S., Hensler J., Alsalam B., Gonzalez L. F. Autonomous UAVs wildlife detection using thermal imaging, predictive navigation and computer vision. *2016 IEEE aerospace conference*. 2016, March. Doi: 10.1109/AERO.2016.7500671.
33. Callam A. Drone wars: Armed unmanned aerial vehicles. *International Affairs Review*. 2010. No. 18(3). Available at: <https://press.armywarcollege.edu/parameters> (accessed: 16.01.2024).
34. Drone Warfare. Available at: <https://www.thebureauinvestigates.com/projects/drone-war> (accessed: 16.01.2024).
35. Parmar T. Drones in India. Centre for the study of the drone. 2014.
36. Floreano D., Wood R. J. Science, technology and the future of small autonomous drones. *Nature*. 2015, No. 521(7553), P. 460–466. Doi: 10.1038/nature14542.
37. González-Jorge H., Martínez-Sánchez J., Bueno M., Arias P. Unmanned aerial systems for civil applications. A review. *Drones*. 2017, No. 1(1), P. 2.
38. Waharte S., Trigoni N. Supporting search and rescue operations with UAVs. *2010 international conference on emerging security technologies*. 2010, P. 142–147. Doi: 10.1109/EST.2010.31.
39. Micro-Drones reports. Available at: <https://www.microdrones.com/en/applications/areas-of-application/searchand-rescue> (accessed: 13.01.2025).
40. Drones reports. Available at: <https://www.xdynamics.com/> (accessed: 16.01.2024).
41. Rootwelt T. Ambulance Drones in Norway-A Stakeholder Analysis (Master's thesis NTNU). 2016.
42. The Sky's the Limit with Drone-assisted Mapping. Available at: <http://www.simulyze.com/blog/drone-assisted-mapping-applications> (accessed: 17.01.2024).
43. Restas A. Drone applications for supporting disaster management. *World Journal of Engineering and Technology*. 2015, No. 3(03), P. 316. Doi: 10.4236/wjet.2015.33C047.
44. Jin W., Ge H. L., Du H. Q., Xu X. J. A review on unmanned aerial vehicle remote sensing and its application. *Remote sensing information*. 2009, No. 1, P. 88–92. Doi: 10.3390/drones7060398.
45. Amazon teases new details of planned Prime Air drone delivery service. Available at: <http://appleinsider.com/articles/15/11/30/amazon-teases-new-details-ofplanned-prime-air-drone-delivery-service> (accessed: 13.01.2024).
46. Two delivery drones built by Google will soon be tested in the US. Available at: <http://www.techspot.com/news/62412-two-delivery-drones-built-google-soontested-us.html> (accessed: 17.01.2024).
47. Heutger M., Kückelhaus M. Unmanned aerial vehicles in logistics a DHL perspective on implications and use cases for the logistics industry. DHL Customer Solutions & Innovation, Troisdorf, Germany. 2014. Doi: 10.3390/su142114352.
48. DHL Express запустила первый регулярный маршрут автоматизированной доставки дронами в городских условиях. DroneFlyers. Available at: <http://droneflyers.ru/2019/05/22/dhl-express-zapustila-pervyj-regulyarnyj-marshrut-avtomatizirovannoj-dostavkidronami-v-gorodskih-usloviyah/>. 2021 (accessed: 17.01.2024).
49. De-zeen. Available at: <http://www.dezeen.com/2015/01/28/nasa-helicopter-drones-explore-mars-jetpropulsion-laboratory/> (accessed: 17.01.2024).
50. Design of the ARES Mars Airplane and Mission Architecture. Available at: <http://marsairplane.larc.nasa.gov/platform.html> (accessed: 17.01.2024).
51. Peeters B., Mulder J. A., Kraft S. et al. ExoFly: a flapping winged aerobot for autonomous flight in Mars atmosphere. *College of Information Sciences and Technology: State College, PA, USA*. 2008.
52. Menges P. Artificial neural membrane flapping wing. NIAC Phase I study. Final Report, Ph. D. Principal Investigator Aerospace Research Systems, USA. 2006.
53. Sjogren W. L., Lorell J., Wong L., Downs W. Mars gravity field based on a short arc technique. *Journal of Geophysical Research*. 1975, No. 80(20), P. 2899–2908. Doi: 10.1029/JB080i020p02899.

54. Koski W. R., Allen T., Ireland D. et al. Evaluation of an unmanned airborne system for monitoring marine mammals. *Aquatic Mammals*. 2009, No. 35(3), P. 347. Doi: 10.1578/AM.35.3.2009.347.
55. Koh L. P., Wich S. A. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical conservation science*. 2012, No. 5(2), P. 121–132. Doi: 10.1177/194008291200500202.
56. Fingas M., Brown C. Review of oil spill remote sensing. *Marine pollution bulletin*. 2014, No. 83(1), P. 9–23. Doi: 10.1016/j.marpolbul.2014.03.059.
57. Insitu, ScanEagle® Unmanned Aircraft System, 118 East Columbia River Way Bingen, Washington 98605. www.insitu.com.
58. Reineman B. D., Lenain L., Statom N. M., Melville W. K. Development and testing of instrumentation for UAV-based flux measurements within terrestrial and marine atmospheric boundary layers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2013, No. 30(7), P. 1295–1319. Doi: 10.1175/JTECH-D-12-00176.1.
59. Allen J., Walsh B. Enhanced oil spill surveillance, detection and monitoring through the applied technology of unmanned air systems. *International oil spill conference, American Petroleum Institute*. 2008. No. (1), P. 113–120.
60. Dinelli C., Fisher J., Herkenhoff B., Hassanalian M. Design of a hybrid detachable amphibious drone for monitoring marine environment. *AIAA Propulsion and Energy 2020 Forum*. 2020, 3965 p. Doi: 10.2514/6.2020-3965.
61. Gabler Available at: <http://gabler-luebeck.de/en/product/gabler-triple-m> (accessed: 15.01.2024).
62. 2009. Reconfigurable unmanned aerial vehicles / M. A. Erbil, S. D. Prior, M. Karamanoglu et al. *International Conference on Manufacturing and Engineering Systems. Proceedings, International Conference on Manufacturing and Engineering Systems*. P. 392–396. Available at: <https://repository.mdx.ac.uk/item/82268> (accessed: 15.01.2024).
63. Dacus A. P. Impact of C4ISR/Digitization and Joint Force Ability to Conduct the Global War on Terror. Monograph, School of Advanced Military Studies, Fort Leavenworth: US ARMY CGSC. 2006.
64. Sonneberg M. O., Leyerer M., Kleinschmidt A. et al. Autonomous Unmanned Ground Vehicles for Urban Logistics: Optimization of Last Mile Delivery Operations. *International Conference on System Sciences*. Hawaii, America, 2019, P. 1538–1547.
65. Matrenin P., Sekaev V. [Adaptive ant colony algorithm for building and optimizing schedules]. *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy*. 2012, No. 11, P. 19–24 (In Russ.).
66. Tokyo To Deploy 'Interceptor Drone' To Fish Out Rogue Drones In A Net. Available at: <http://www.techtimes.com/articles/115497/20151212/tokyo-to-deployinterceptor-drone-to-fish-out-rogue-drones-in-a-net.htm> (accessed: 16.01.2024).
67. Watch A Drone Take Off From Another Drone. Available at: <http://www.popsci.com/article/technology/watch-drone-take-another-drone> (accessed: 18.01.2024).
68. Gade S., Paranjape A. A., Chung S. J. Herding a flock of birds approaching an airport using an unmanned aerial vehicle. *AIAA guidance, navigation, and control conference*. 2015, 1540 p. Doi: 10.2514/6.2015-1540.
69. Robinson-Solutions Professional Window Cleaning. Available at: <http://robinson-solutions.blogspot.com/2016/01/drones-cleaning-windows.html> (accessed: 18.01.2024).
70. The Inventors of the Wristwatch Drone Share Their Vision of the Future. Available at: <http://www.wired.com/2014/10/wear-a-spy-drone-on-your-wrist/> (accessed: 18.01.2024).
71. *Kak v Rossii rozhdaetsya bespilotnaya aerologistika*. RBK [How unmanned aerologistics is born in Russia. RBK]. 2022. Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/cmrm/62036c429a7947ce2fc410cc?from=copy> (accessed: 18.01.2024).
72. Kalmurzayeva D. K., Baginova V. V. [Unmanned aerial vehicles as a new generation micrologistics tool]. *European Research*. 2017, No. 1 (24), P. 12–14 (In Russ.).

73. Romanova I. K., Li J., Wang Z., Zuo L. [Prospects for the development of unmanned delivery vehicles and algorithm optimization]. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2022, Vol. 5–2 (68), P. 37–41.
74. Kostin A. S., Elenin D. V. [Methods of cargo delivery using unmanned aerial vehicles]. *Sistemnyy analiz i logistika*. 2019, No. 1(23), P. 55–64 (In Russ.).
75. *Dostavka dronami: dostavka edy i pitstsy, legal'nost' i budushchee*. Dostavista [Drone delivery: food and pizza delivery, legality and the future. Dostavista]. 2019. Available at: <https://dostavista.ru/articles/drone> (accessed: 18.01.2024).
76. *Kommercheskaya dostavka грузов s pomoshch'yu dronov: mirovoy opyt* [Commercial cargo delivery using drones: world experience]. Integral. Available at: <http://integral-russia.ru/2017/03/24/kommercheskaya-dostavkagruzov-s-pomoshhyu-dronov-mirovoj-opyt/> (accessed: 18.01.2024).
77. Sadraey M. A Systems engineering approach to unmanned aerial vehicle design. *10th AIAA aviation technology, integration, and operations (ATIO) conference*. Available at: <https://doi.org/10.2514/6.2010-9302> (accessed: 18.01.2024).
78. Verstraete D., Coatanea, M., Hendrick P. Preliminary design of a joined wing HALE UAV. *In International Congress of the Aeronautical Sciences*. Anchorage, Alaska, USA. 2008. September. P. 14–19.
79. Periaux J., Gonzalez F., Lee D. S. C. Evolutionary optimization and game strategies for advanced multi-disciplinary design: applications to aeronautics and UAV design. 2015. Doi: 10.1007/978-94-017-9520-3.
80. Amirreze K., Marzieh D., Foad S., Fatemeh A. A new systematic approach in UAV design analysis based on SDSM method. *Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering*. 2013. Doi: 10.4172/2168-9792.S1-001.
81. Zajkowski T. Unmanned aerial vehicles: Remote sensing technology for the USDA Forest Service, Rem. Sens Applications Center, Salt Lake City. 2003. Doi: 10.3390/rs12061046.
82. Bansod B., Singh R., Thakur R., Singhal G. A comparison between satellite based and drone based remote sensing technology to achieve sustainable development: a review. *Journal of Agriculture and Environment for International Development (JAEID)*. 2017, No. 111, P. 383–407. Doi: 10.12895/jaeid.20172.690.
83. Hashim F., Dibs H., Jaber H. S. Adopting Gram-Schmidt and Brovey methods for estimating land use and land cover using remote sensing and satellite images. *Nature Environment and Pollution Technology*. 2022, Vol. 21, No. 2, P. 867–881. Doi: 10.46488/NEPT.2022.v21i02.050.
84. Cosyn P., Vierendeels J. Design of fixed wing micro air vehicles. *The Aeronautical Journal*. 2007, No. 111(1119), P. 315–326. Doi: 10.1017/S0001924000004565.
85. Gertler J., US Unmanned Aerial Systems, Library of Congress Washington DC Congressional Research Service. 2012. Available at: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc84013/> (accessed: 18.01.2024).
86. Why The USAF's Massive \$10 Billion Global Hawk UAV Is Worth The Money. Available at: <http://foxtrotalpha.jalopnik.com/why-the-usafs-massive-10-billion-globalhawk-uav-was-w-1629932000>, (accessed: 18.01.2024).
87. Broad William J. A web of sensors, taking earth's pulse // NY Times. 2005. No. 154. P. 53210. Available at: <http://query.nytimes.com/gst/fullpage.html? res=9803E7DA1230F933A25756C0A9639C8B63& pagewanted=all> (accessed: 18.01.2024).
88. Modeling and Control of Unmanned Aerial Vehicles. 2014.
89. Karshov R. S. [Classification of unmanned aerial vehicles]. *Problemy nauki*. 2016, No. 11 (53), P. 38–40 (In Russ.).
90. Arpan Pandit. Unmanned Aircraft Systems: Classification and Applications. Cherrubics. Engineering, Research Summary. 2020.
91. *Kontseptsiya tekhnologicheskogo razvitiya do 2030 g. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 20 maya 2023 goda № 1315-r*. [The Concept of Technological Development until 2030. Decree of the

Government of the Russian Federation dated May 20, 2023 No. 1315-R]. Available at: <http://government.ru/docs/48570/> (accessed: 28.01.2024).

92. *Natsional'nyy proekt "Bespilotnye aviatsionnye sistemy"*. Minpromtorg Rossii [National project "Unmanned Aircraft Systems". Ministry of Industry and Trade of Russia]. 2024. Available at: <http://government.ru/rugovclassifier/927/about/> (accessed: 22.04.2025).

93. *Natsional'naya Tekhnologicheskaya Initsiativa* [National Technology Initiative]. Available at: <https://nti2035.ru/> (accessed: 22.04.2025).

94. *Peterburgskiy mezhdunarodnyy ekonomicheskyy forum PMEФ-2024. Ekspertnoe zaklyuchenie* [St. Petersburg International Economic Forum SPIEF-2024. Expert opinion]. Available at: <https://roscongress.org/materials/bespilotnye-aviatsionnye-sistemy-rossii-tekhnologicheskoe-liderstvo-i-innovatsii-2024/> (accessed: 22.04.2025).

95. *Federal'nyy proekt "Perspektivnye tekhnologii dlya bespilotnykh aviatsionnykh sistem"*. Minobrnauki (utv. Minpromtorgom Rossii) [Federal project "Advanced technologies for unmanned aircraft systems". Ministry of Education and Science (approved by the Ministry of Industry and Trade of Russia)]. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_310251/f1714695a398b82bf1c001c6d41f611cef97b7b8/ (accessed: 22.04.2025).

96. *Rynok grazhdanskikh bespilotnykh apparatov. Rostelekom*. [The market of civilian unmanned vehicles. Rostelecom]. 13.06.2024. Available at: https://ai.gov.ru/knowledgebase/tekhnologii-i-produkty-ii/2024_rynok_grazhdanskikh_bespilotnykh_apparatov_obyem_dinamika_i_scenarii_primeneniya_bespilotnikov_v_otraslyah_ekonomiki_rostelekom/ (accessed: 22.04.2025).

97. *T1 anonsiroval zapusk proizvodstva bespilotnykh aviatsionnykh sistem v Rudnevo* [T1 announced the launch of production of unmanned aircraft systems in Rudnevo]. 15.06.2023. Available at: <https://t1.ru/news/item/t1-anonsiroval-zapusk-proizvodstva-bespilotnykh-aviatsionnykh-sistem-v-rudnevo/> (accessed: 22.04.2025).

98. [Russia has developed a communication system using stratospheric drones]. *Gazeta.RU*. 22.04.2025. Available at: <https://www.gazeta.ru/tech/news/2025/04/22/25611686.shtml?updated> (accessed: 22.04.2025).

99. *Na fronte i na grazhdanke»: na chto sposobny drony kontserna «Kalashnikov»*. *RT na russkom* [At the front and in civilian life: what Kalashnikov concern drones are capable of. RT in Russian]. 22.04.2025. Available at: <https://russian.rt.com/russia/article/1467602-kalashnikov-bpla-skat-kub> (accessed: 22.04.2025).

100. [The development of domestic UAVs against the background of a Special Operation]. *Voennoe obozrenie*. 22.04.2023. Available at: <https://topwar.ru/219796-razvitie-otchestvennykh-bpla-na-fone-specoperacii.html> (accessed: 22.04.2025).

© Соломин Е. В., Мартянов А. С., Шахин Х.,
Пшениснов Н. А., Шерязов С. К., 2025

Соломин Евгений Викторович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры электрических станций, сетей и систем электроснабжения; Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет). E-mail: nii-uralmet@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4694-0490>.

Мартянов Андрей Сергеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электрических станций, сетей и систем электроснабжения; Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет). E-mail: martyanov_andrey@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9997-9989>.

Шахин Ханна – аспирант кафедры электрических станций, сетей и систем электроснабжения; Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет). E-mail: hannashahin9902@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0004-5670-8144>.

Пшениснов Никита Анатольевич – кандидат технических наук, преподаватель кафедры промышленной теплоэнергетики; Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет). E-mail: pschenisnovna@icloud.com. <https://orcid.org/0009-0003-3734-9177>.

Шерязов Сакен Койшыбаевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергообеспечения и автоматизации технологических процессов; Южно-Уральский государственный аграрный университет. E-mail: sakenu@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-8795-5114>.

Solomin Evgeny Viktorovich – Dr. Sc., Professor, Professor of Department of Electric Power Generation Stations, Network and Supply Systems; South Ural State University (national research university). E-mail: nii-uralmet@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-4694-0490>.

Martyanov Andrey Sergeevich – Cand. Sc., Associated Professor, Associated Professor of Department of Electric Power Generation Stations, Network and Supply Systems; South Ural State University (national research university). E-mail: martyanov_andrey@mail.ru. <https://orcid.org/0000-0002-9997-9989>.

Shahin Hanna – Graduate student of Department of Electric Power Generation Stations, Network and Supply Systems; South Ural State University (national research university). E-mail: hannashahin9902@gmail.com. <https://orcid.org/0009-0004-5670-8144>.

Pshenishnov Nikita Anatolyevich – Cand. Sc., Associated Prof. of Department of Industrial Heat Power Engineering; South Ural State University (national research university). E-mail: pshenishnovna@icloud.com. <https://orcid.org/0009-0003-3734-9177>.

Sheryazov Saken Koishybaevich – Dr. Sc., Professor, Professor of Department of Electric drive, mechatronics and electromechanics; South Ural State Agrarian University, Institute of Agricultural Engineering E-mail: sake-nu@yandex.ru. <https://orcid.org/0000-0001-8795-5114>.

Статья поступила в редакцию 17.04.2025; принята к публикации 27.05.2025; опубликована 30.06.2025

The article was submitted 17.04.2025; accepted for publication 27.05.2025; published 30.06.2025

Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0
The article can be used under the Creative Commons Attribution 4.0 License