

ПЕРСПЕКТИВЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОИЗВОДСТВА БПЛА В РОССИИ

PROSPECTS OF AUTOMATED UAV PRODUCTION IN RUSSIA

**D. Gaydukov
D. Piotrovsky**

Summary. The automation of processes related to the production of unmanned aerial vehicles (UAVs) in Russia represents a key vector of industrial progress. This is driven by the increasing significance of UAV systems in areas such as remote monitoring, facility protection, and logistics management. According to forecasts, the UAV market is expected to grow from 10 to 81 billion rubles by 2028, reflecting the rising demand for this technology. However, to enhance the competitiveness of Russian industry, adaptation to emerging technological challenges is essential. The study focuses on analyzing the state of automation in UAV production and identifying factors hindering the successful integration of innovative solutions.

The research methodology relied on an analytical approach involving the review of scientific publications available in the Scopus, Web of Science, and ELibrary databases. Of the 316 identified publications, 17 were selected as most relevant to the topic. The analysis emphasized aspects of implementing additive manufacturing, digital twin technologies, industrial IoT solutions, and artificial intelligence systems.

The findings indicate that the primary challenges in automation in Russia are linked to the insufficient adaptation of modern technologies to existing infrastructure, substantial costs of implementation, a shortage of qualified specialists, and an underdeveloped regulatory framework. The recommendations proposed in this study include establishing national research consortia, supporting small and medium-sized enterprises, launching educational programs to prepare specialists, and improving regulatory frameworks for automation.

Building a competitive UAV industry in Russia is achievable by addressing barriers to automation. Implementing a comprehensive approach will enable domestic producers to meet both internal demand and international requirements for high-tech products.

Keywords: unmanned aerial vehicles (UAVs), technologies, automation, artificial intelligence, equipment, innovations.

Гайдуков Даниил Владимирович

Аспирант,

МИРЭА — Российский Технологический университет

Gaydukovdeniel@yandex.ru

Пиотровский Дмитрий Леонидович

доктор технических наук, профессор,

МИРЭА — Российский Технологический университет

piotrovsky2005@yandex.ru

Аннотация. Автоматизация процессов, связанных с производством беспилотных летательных аппаратов в России, является ключевым вектором промышленного прогресса, что обусловлено применением беспилотных систем в таких областях, как мониторинг на удалении, обеспечение защиты объектов и управление логистическими потоками, стремительно набирает значимость. Рынок беспилотных летательных аппаратов, по прогнозам, увеличится с 10 до 81 миллиарда рублей к 2028 году, что отражает растущую потребность в данной технологии. Но для повышения конкурентных позиций российской промышленности требуется адаптация к новым технологическим вызовам. Основное внимание в работе уделено анализу состояния автоматизации в производстве беспилотных летательных аппаратов, а также выявлению факторов, которые препятствуют успешной интеграции инновационных решений.

В качестве методологической базы исследования применялся аналитический подход, предполагающий изучение научных публикаций, размещённых в базах Scopus, Web of Science и ELibrary. Из 316 найденных материалов были выбраны 17 наиболее соответствующих теме. Анализ фокусировался на аспектах внедрения аддитивных технологий, цифровых двойников, промышленных IoT-решений и систем искусственного интеллекта.

Результаты исследования указывают на то, что ключевые затруднения в автоматизации в России обусловлены недостаточной адаптацией современных технологий к существующей инфраструктуре, значительными затратами на их внедрение, дефицитом квалифицированных специалистов и слабой разработанностью нормативной базы. Предложенные в рамках работы рекомендации включают создание исследовательских консорциумов на национальном уровне, поддержку малых и средних предприятий, запуск образовательных программ для подготовки специалистов, а также совершенствование нормативного регулирования в сфере автоматизации. Формирование конкурентоспособной индустрии беспилотных летательных аппаратов в России возможно при условии устранения барьеров на пути автоматизации. Реализация комплексного подхода позволит отечественным производителям удовлетворить как внутренний спрос, так и международные требования к высокотехнологичной продукции.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), технологии, автоматизация, искусственный интеллект, оборудование, инновации.

Введение

Современная автоматизация производства беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) сталкивается с рядом проблем, главной из которых является недостаточная адаптация новых автоматизированных систем к существующим производственным структурам. Это противоречие между устоявшимися и инновационными подходами в производственных процессах затрудняет их совместное функционирование. При производстве БПЛА, где ключевую роль играют робототехнические комплексы и искусственный интеллект, требования к оборудованию становятся особенно высокими [1, с. 45].

Экономическая сторона автоматизации также представляет собой значительный вызов: высокая стоимость модернизации часто оказывается несоразмерной с ожидаемой отдачей, что снижает привлекательность подобных инвестиций. Инвесторы, сомневаясь в экономической эффективности, отказываются от проектов, где окупаемость вложений остается неопределенной. Автоматизация требует значительных финансовых ресурсов, включая затраты на обслуживание сложных систем и обучение специалистов. Необходимость регулярной поддержки аппаратного и программного обеспечения усугубляется для российских предприятий ограничениями в поставках и действующими санкционными мерами. Правовое регулирование в области автоматизации производства БПЛА находится на стадии формирования и пока не охватывает множество реальных сценариев, с которыми сталкиваются компании. Это порождает пробелы в законодательстве, особенно в вопросах распределения ответственности за ошибки автоматизированных систем, управляемых искусственным интеллектом (ИИ).

Ограниченные ресурсы, доступные для модернизации российских производственных мощностей, значительно замедляют развитие автоматизированного сектора производства БПЛА. На данный момент объем российского рынка коммерческих беспилотных систем оценивается в 10 миллиардов рублей, однако к 2028 году прогнозируется его увеличение до более чем 81 миллиарда рублей. Основными сферами применения беспилотных технологий являются удаленный мониторинг (42 % всех проектов), охрана и защита объектов (38 %), а также выполнение логистических операций (10 %). Прогнозируемый основной прирост рынка приходится на 2025–2026 годы, что обусловлено реализацией ранее отсроченного спроса, активизацией инвестиций в инфраструктурные проекты и наращиванием производственных мощностей [2].

Целью исследования является анализ текущего состояния автоматизации производства БПЛА в России, выявление ключевых технологических, и иных барьеров, ограничивающих развитие отрасли.

Методы исследования

В процессе исследования применялся аналитический подход, опирающийся на изучение научных публикаций. Для анализа использовались материалы из баз данных Scopus, Web of Science и ELibrary. Литературный поиск осуществлялся с использованием ключевых запросов: «автоматизация производства», «БПЛА», «аддитивные технологии», «цифровые двойники», «промышленные IoT», «искусственный интеллект», «автоматизация в России». В результате было обнаружено 316 публикаций, из которых отобраны 17 наиболее значимых на основании следующих критериев: наличие сведений о внедрении современных технологий автоматизации, освещение как российского, так и зарубежного опыта, а также анализ экономических и нормативно-правовых аспектов.

Современные технологии автоматизации производства БПЛА: достижения и ограничения

Современные аддитивные технологии, в сочетании с промышленными IoT-решениями и концепцией цифровых двойников, наряду с ИИ, не просто модернизируют производственные подходы, но и создают уникальные технические вызовы. Эти технологии ускоряют создание сложных деталей, позволяя отказаться от ограничений традиционного производства. Возможность проектировать сложные внутренние структуры и геометрии дает более легкие и прочные элементы, что особенно актуально для беспилотных систем, где снижение массы существенно повышает дальность полета и снижает энергопотребление. Ключевую роль в этом процессе играет интеграция с системами ИИ, которые совершенствуют параметры печати и сокращают расходы на использование редких и дорогостоящих материалов [3]. ИИ активно используется в предиктивных алгоритмах и адаптивных моделях, которые обеспечивают динамическую настройку параметров роботизированного оборудования. Данные для таких систем поступают от датчиков промышленного интернета вещей, фиксирующих широкий спектр характеристик — от температуры до вибраций и структурных изменений. Эти датчики становятся связующим звеном между физическим производством и цифровыми моделями, создавая цифровой двойник каждого элемента [4]. Такой подход позволяет не только выявлять потенциальные отклонения, но и оптимизировать производственные процессы в реальном времени, обеспечивая гармоничное взаимодействие виртуальных моделей и физической среды. Цифровые двойники, являясь виртуальными моделями физических объектов, позволяют проводить тесты на прочность и устойчивость к внешним факторам ещё до начала сборочных процессов. Благодаря этому вероятность возникновения дефектов существенно уменьшается: возможные отклонения выявляются на этапе моделирования, а оптимальные корректирующие меры разрабатываются за-

ранее. Использование таких симуляций исключает необходимость изготовления дополнительных прототипов, что сокращает ресурсные затраты, упрощает техническое обслуживание и делает управление сложными системами более предсказуемым. Внедрение технологий промышленного интернета вещей (IIoT) обеспечивает не только сбор данных, но и их непрерывный анализ в рамках производственного цикла БПЛА [5]. Это способствует оптимизации энерго- и материальных ресурсов, а также повышению эффективности каждой линии. При десятках параметров, контролируемых на каждом этапе производства, IIoT формирует интегрированную сеть мониторинга, подобную «нервной системе», где каждое действие и компонент находятся под постоянным наблюдением. Такие системы моментально реагируют на любые изменения — например, перегрев оборудования или нестабильность в подаче электроэнергии. Использование ИИ в сочетании с IIoT-данными обеспечивает динамическое управление производственными процессами, позволяя оперативно оптимизировать параметры работы [6, с. 270]. Это не только сокращает простои и минимизирует износ оборудования, но и поддерживает стабильность производственного цикла на высоком уровне.

Инновационные технологии создают платформу для саморегулируемого производства, где участие человека в сборке БПЛА сведено к минимуму. Все этапы процесса интегрированы и функционируют в полной синхронизации, достигая микросекундной точности. Такой подход, базирующийся на высокой предсказуемости и минимальных отклонениях, задает новый стандарт промышленного производства. Каждый элемент — от отдельных

компонентов и производственных линий до роботизированных комплексов — становится частью адаптивной умной инфраструктуры, которая не только реагирует на изменения, но и предугадывает их. На фоне стремительного роста автоматизации и роботизации каждая страна, активно занимающаяся разработкой БПЛА, формирует уникальный путь к модернизации. Уровень внедренной автоматизации, используемые технологические решения и примеры их реализации зависят от национальных стратегий, доступных ресурсов и потенциала ведущих производителей. Чтобы детально проанализировать текущее состояние и выявить ключевые тенденции, представлена таблица, отражающая особенности технологического оснащения, степень автоматизации и перспективы развития ключевых участников рынка (таблица 1).

В различных странах, включая США, Китай, Израиль, Россию и Турцию, уровень автоматизации в производстве беспилотных летательных аппаратов демонстрирует значительные различия. США и Китай занимают лидирующие позиции, внедряя передовые технологии, такие как роботизированные линии сборки, искусственный интеллект и цифровые двойники, что обеспечивает высокую производительность и эффективность процессов. Израиль и Турция ограничиваются частичной автоматизацией, сосредотачиваясь на прецизионных технологиях и инновационных подходах. В России, где по-прежнему преобладает ручная сборка, только намечаются инициативы по увеличению уровня автоматизации для укрепления позиций на мировом рынке [7, с. 349; 8; 9, с. 410; 10, с. 1064; 11, с. 5].

Таблица 1.

Сравнительный анализ состояния автоматизации производства БПЛА в ведущих странах

Страна	Уровень автоматизации производства	Применяемые технологии	Примеры автоматизации	Особенности производства и перспективы
США	Высокий	Роботизированные сборочные линии, аддитивные технологии, цифровые двойники	Использование роботизированных систем для сборки и тестирования компонентов БПЛА	Активное внедрение передовых технологий в производство
Китай	Высокий	Автоматизированные сборочные линии, искусственный интеллект, промышленный интернет вещей (IIoT)	Применение автоматизированных систем для массового производства коммерческих и военных БПЛА	Быстрое наращивание производственных мощностей
Израиль	Средний	Частичная автоматизация, использование роботизированных систем в ключевых этапах производства	Автоматизация сборки и тестирования отдельных компонентов БПЛА	Фокус на высокоточном производстве и инновациях
Россия	Низкий	Ограниченная автоматизация, преимущественно ручная сборка	Начальные этапы внедрения автоматизированных систем в производство	Планируется увеличение уровня автоматизации в ближайшие годы
Турция	Средний	Частичная автоматизация, использование современных производственных технологий	Автоматизация сборки и тестирования ключевых компонентов БПЛА	Быстрое развитие отрасли и увеличение производственных мощностей

Сопоставление затрат на производство БПЛА с применением ручного труда и автоматизированных технологий выявляет множество экономических противоречий. Ручной труд, несмотря на меньшие стартовые вложения, сопровождается высокими операционными расходами, напрямую связанными с человеческим фактором. К этим издержкам относятся затраты на оплату труда, обучение сотрудников, обеспечение стандартов безопасности и исправление ошибок, что особенно обременительно при наращивании объемов выпуска. Более того, ручное производство увеличивает риск вариативности качества продукции: необходимость последующей обработки из-за дефектов значительно повышает итоговые затраты. В то же время автоматизация обещает заметное снижение переменных расходов после преодоления существенного начального порога инвестиций. Однако стоимость установки автоматизированных линий, приобретения специализированного программного обеспечения, интеграции с производственными системами и обеспечения контроля представляет собой значительный барьер. Дополнительные затраты на обслуживание нового оборудования лишь усиливают финансовую нагрузку. Несмотря на очевидные преимущества автоматизированного производства, его окупаемость может быть отложена на длительный срок. Это связано с необходимостью компенсировать значительные капитальные вложения и покрывать амортизационные расходы [12]. Таким образом, переход к автоматизации требует не только финансовой устойчивости, но и продуманного подхода, чтобы обеспечить баланс между долгосрочной экономической эффективностью и значительными стартовыми затратами.

Рентабельность инвестиций в автоматизацию производства варьируется в зависимости от масштабов выпуска продукции, применяемых технологических решений и характеристик оборудования. Так, при малых объемах производства автоматизация нередко оказывается экономически нецелесообразной: издержки на закупку и обслуживание оборудования могут не покрываться за счет снижения переменных затрат. Исследования последних лет демонстрируют, что для предприятий с производственными объемами в пределах нескольких тысяч единиц более оптимальным решением является частичная автоматизация. Этот подход, сохраняющий элементы ручного труда на отдельных стадиях, обеспечивает снижение капитальных затрат, а также позволяет сохранить гибкость процессов. С другой стороны, при крупносерийном производстве, где особенно важны стабильность и неизменное качество продукции, полная автоматизация становится экономически оправданной. Она способствует снижению себестоимости единицы продукции до минимальных значений, особенно при использовании систем предиктивного обслуживания, которые предотвращают неожиданные простои оборудования. В таких условиях сроки окупаемости инвести-

ций зависят от рыночной стоимости продукции и уровня спроса. При благоприятной рыночной конъюнктуре точка безубыточности может быть достигнута уже через два года с момента ввода автоматизированных линий в эксплуатацию [13, с. 864].

Переход на использование автоматизированных линий в производстве БПЛА кардинально меняет организацию труда: задачи, ранее выполняемые вручную, уступают место управлению сложными высокотехнологичными процессами. Заводы, оснащенные современными роботизированными системами, значительно снижают потребность в физическом труде, но одновременно требуют привлечения высококвалифицированных специалистов для настройки и обслуживания оборудования. В результате функции работников смещаются от выполнения рутинных операций к обеспечению технической поддержки, анализа данных и управления сложными системами. Эти изменения диктуют необходимость не просто переквалификации, а создания специализированных образовательных программ. Технические специалисты должны не только разбираться в принципах работы автоматизированных комплексов, но и владеть инструментами аналитики, программного обеспечения и мониторинга, позволяющими поддерживать бесперебойность работы [14]. Знания в области IoT-технологий, основ программирования и использования сенсорных систем становятся обязательными, так как они позволяют оперативно выявлять и устранять сбои на всех этапах производственного цикла. Автоматизация одновременно сокращает потребность в неквалифицированном труде и усиливает спрос на кадры с высоким уровнем технической подготовки. Это требует системного подхода к переподготовке: от развития навыков управления интегрированными процессами до способности контролировать сложные алгоритмы. Задача специалиста больше не сводится к выполнению отдельных операций, а заключается в обеспечении стабильного функционирования всей автоматизированной инфраструктуры. Такой переход формирует новое понимание роли человека в производственном процессе, подчеркивая важность технической грамотности и системного подхода. В этом контексте развитие специализированных образовательных программ в университетах и колледжах становится стратегически важным. Такие программы должны быть ориентированы на подготовку кадров, способных работать с промышленной робототехникой и аналитическими платформами, что обеспечит устойчивость и эффективность производства при частичной или полной автоматизации. Интеграция этих подходов в систему образования позволит создать компетентную кадровую основу, необходимую для поддержки высокотехнологичных производственных процессов [15].

Нормативные и стандартные требования, регулирующие производство БПЛА, охватывают критически

важные области, включая безопасность, управляемость и взаимодействие с воздушным пространством. Для российских производителей приоритетным становится соответствие международным стандартам, таким как ISO и AS9100, которые адаптированы для специфики аэрокосмической индустрии. Эти стандарты акцентируют внимание на строгом обеспечении качества и надежности, что является ключевым условием в условиях жесткой международной конкуренции. Интеграция подобных стандартов позволяет гарантировать эксплуатационную устойчивость и соответствие техническим требованиям мирового уровня. Стандарты ISO 9001 и авиационно-ориентированный AS9100 предписывают внедрение комплексных систем управления качеством, охватывающих полный цикл производства — от проектирования и сборки до тестирования и поставки готовой продукции. Подобные системы минимизируют риск брака и непредвиденных отказов, одновременно обеспечивая механизм обратной связи для корректировки обнаруженных недостатков. Это особенно важно для беспилотников, предназначенных для эксплуатации в экстремальных или нестабильных условиях. Дополнительно для БПЛА, используемых в гражданских и логистических задачах, критической становится информационная защита, обеспечиваемая стандартом ISO/IEC 27001. Данный стандарт регламентирует безопасность автоматизированных систем управления и связи, что крайне важно в свете растущей уязвимости кибератак. Отдельно следует упомянуть стандарты ASTM и RTCA DO-178, регулирующие программное обеспечение и встроенные системы, используемые для БПЛА. Российские производители, ориентирующиеся на сертификацию своих аппаратов для международного использования, обязаны учитывать эти стандарты, так как программные компоненты оказываются особенно уязвимыми при нарушении алгоритмов, управляющих полетом [16]. Стандарты уровня DO-178C устанавливают уровни критичности программного обеспечения, нацеленного на полетные задачи, и требуют формализации всех этапов разработки и тестирования кода, что делает работу программного обеспечения предсказуемой и безопасной. Эти требования остаются обязательными для крупных производителей, стремящихся к выходу на международные рынки, где сертификация программного обеспечения становится необходимым шагом к легальному использованию аппаратов. Стандарт ISO 31000 по управлению рисками создает условия для системного подхода к минимизации рисков на всех стадиях работы, что становится необходимым для БПЛА с автоматическими функциями. Риски, связанные с функциональными и техническими отказами, влекут за собой не только экономические потери, но и вопросы безопасности, что требует оценки всех аспектов производственной цепочки. Стандарты в области экологической безопасности ISO 14001 становятся еще одной важной частью, особенно в контексте роста производственных мощно-

стей и адаптации технологий утилизации, применяемых к расходным материалам и батареям БПЛА. В последние годы компании начинают внедрять замкнутые циклы производства, позволяющие минимизировать воздействие на окружающую среду, где требования по утилизации и переработке батарей и полимерных материалов требуют пересмотра подходов к их производству. На фоне тенденции к устойчивому производству, стандарты, включающие критерии минимизации отходов и энергоэффективности, становятся важными факторами при выборе партнера для международных сделок. Стандарты ASTM и RTCA DO-178 играют решающую роль в регулировании программного обеспечения и встроенных систем, применяемых в авионике беспилотных летательных аппаратов. Для российских производителей, ориентированных на выход на международные рынки, соответствие этим требованиям является неотъемлемой частью процесса сертификации продукции. Программные компоненты, управляющие полетами, особенно подвержены рискам, связанным с алгоритмическими сбоями. В этой связи стандарты DO-178C устанавливают строгие уровни критичности для полетного ПО, а также детально регламентируют этапы его разработки и тестирования. Такая структура позволяет гарантировать предсказуемость функционирования систем и обеспечивает безопасность их эксплуатации. Сертификация ПО, следовательно, становится важнейшим этапом для легализации использования аппаратов за рубежом. В дополнение к этому стандарт ISO 31000 формирует основу для системного подхода к управлению рисками, что особенно актуально для беспилотников с автоматизированными функциями. Потенциальные технические или функциональные отказы могут привести не только к финансовым потерям, но и к угрозам безопасности, что делает внедрение этих принципов обязательным. Такой подход позволяет минимизировать риски на всех этапах производственного цикла, от проектирования до эксплуатации. С другой стороны, стандарты экологической безопасности ISO 14001 обретают особую значимость на фоне роста производственных мощностей и необходимости утилизации материалов. Переход к замкнутым циклам производства, предполагающий минимизацию воздействия на окружающую среду, становится основой для устойчивого развития отрасли. Важнейшими аспектами остаются переработка батарей и полимерных компонентов, что требует внедрения новых технологий утилизации. В условиях глобального перехода к экологически чистым методам производства соблюдение стандартов, направленных на энергоэффективность и снижение объема отходов, становится ключевым фактором в формировании партнерских отношений и укреплении конкурентных позиций на мировом рынке.

Заключение

Для успешного внедрения автоматизации в производстве БПЛА необходимо сосредоточиться на создании

условий, устраняющих технологические и финансовые ограничения. Одним из ключевых шагов может стать организация национальных исследовательских консорциумов, которые займутся разработкой специализированных робототехнических и программных решений с учетом специфики отрасли. Такие консорциумы объединят усилия научных институтов и предприятий, что упростит адаптацию инноваций и ускорит их внедрение в практическую плоскость. Параллельно необходимо поддерживать малый и средний бизнес, который активно участвует в создании компонентов и автоматизированных систем. Это позволит снизить их зависимость от крупных корпораций и повысить инновационный потенциал небольших предприятий, что важно для разно-стороннего роста всей индустрии.

Для обеспечения успешной интеграции технологий ИИ и машинного обучения в автоматизированное производство БПЛА необходимо системное стимулирование и устранение существующих барьеров. Одним из ключевых направлений может стать организация государственных фондов поддержки, ориентированных на субсидирование внедрения ИИ в малых и средних предприятиях. Эти компании, традиционно испытывающие трудности с техническим оснащением, могли бы использовать целевые гранты или льготное финансирование для развертывания систем анализа данных в реальном времени. Такие технологии значительно повышают точность и оперативность работы автоматизированных производственных линий, одновременно способствуя разработке диагностических решений с высокой степенью автоматизации. Правовое регулирование также требует существенной доработки. Текущие законодательные нормы не всегда позволяют эффективно интегрировать инновационные технологии, что создает излишнюю административную нагрузку, особенно для

предприятий малого бизнеса. Упрощение процедур сертификации и эксплуатационных стандартов для высокоавтоматизированного оборудования может ускорить переход к новым технологиям, снизив издержки, связанные с разрешительными процессами. Кроме того, вопросы защиты данных, поступающих с промышленных датчиков и других устройств, требуют особого внимания. Надежная система регулирования в области кибербезопасности необходима для предотвращения утечек информации и обеспечения конфиденциальности, что является ключевым элементом при работе с автоматизированными системам

Организация централизованных площадок, предназначенных для тестирования и отработки технологий в области автоматизации производства БПЛА, представляет собой важный шаг для развития отрасли. Такие испытательные полигоны позволят предприятиям избежать значительных расходов на создание собственных экспериментальных баз, что существенно снизит затраты на внедрение новых технологий. Дополнительно это обеспечит возможность предварительной оценки и доработки решений без необходимости разворачивания полномасштабных пилотных проектов. Поддержка автоматизации производства беспилотных летательных аппаратов должна стать интегральной частью национальной стратегии технологического прогресса. Она должна быть нацелена на формирование инновационного и конкурентоспособного промышленного сектора. Преодоление правовых и финансовых барьеров, продвижение передовых технологий и оказание поддержки малым и средним предприятиям позволят российским производителям не только успешно отвечать на текущие вызовы, но и занять лидирующие позиции на международном рынке высокотехнологичной продукции

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярошук А.Б., Рагулина Ю.В., Тебекин А.В. Управление развитием системы производства и использования БПЛА в интересах укрепления экономической и национальной безопасности России // Журнал исследований по управлению. — 2023. — Т. 9, № 4. — С. 42–61. — EDN LHMCIIV.
2. Беспилотные летательные аппараты [Электронный ресурс] / ОАО «Ростелеком». — URL: <https://rt-static.rt.ru/sites/default/files/b2b/docs/bpla.pdf> (дата обращения: 02.11.2024).
3. Visconti P., Rausa G., Del-Valle-Soto C., Velázquez R., Cafagna D., De Fazio R. Machine Learning, and IoT-Based Solutions in Industrial Applications for Smart Manufacturing: A Critical Review // Future Internet. — 2024. — Vol. 16, No. 11. — Article 394. — <https://doi.org/10.3390/fi16110394>.
4. Chigilipalli B.K., Karri T., Chetti S.N., Bhigade G., Kottala R.K., Cheepu M. A Review on Recent Trends and Applications of IoT in Additive Manufacturing. Appl. Syst. Innov. 2023, 6, 50. <https://doi.org/10.3390/asi6020050>.
5. Sun Y., Fesenko H., Kharchenko V., Zhong L., Kliushnikov I., Illiashenko O., Morozova O., Sachenko A. UAV, and IoT-Based Systems for the Monitoring of Industrial Facilities Using Digital Twins: Methodology, Reliability Models, and Application // Sensors (Basel). — 2022. — Vol. 22, No. 17. — Article 6444. — <https://doi.org/10.3390/s22176444>.
6. Rouf S., Malik A., Singh N., Raina A., Naveed N., Siddiqui Md. I. H., Haq M. I. U. Additive Manufacturing Technologies: Industrial and Medical Applications // Sustainable Operations and Computers. — 2022. — Vol. 3. — P. 258–274. — <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.001>.
7. Gupta A., Afrin T., Scully E., Yodo N. Advances of UAVs toward Future Transportation: The State-of-the-Art, Challenges, and Opportunities // Future Transportation. — 2021. — Vol. 1, No. 2. — P. 326–350. — <https://doi.org/10.3390/futuretransp1020019>.
8. Wang L., Huang X., Li W., Yan K., Han Y., Zhang Y., Pawlowski L., Lan Y. Progress in Agricultural Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Applied in China and Prospects for Poland // Agriculture. — 2022. — Vol. 12, No. 3. — Article 397. — <https://doi.org/10.3390/agriculture12030397>.

9. Borg S. Assembling Israeli Drone Warfare: Loitering Surveillance and Operational Sustainability // Security Dialogue. — 2021. — Vol. 52, No. 5. — P. 401–417. — <https://doi.org/10.1177/0967010620956796>.
10. Сундарева В.Ю. Анализ и перспективы развития рынка производства БПЛА // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов IX Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики. — Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2023. — С. 1063–1065. — EDN PHJVPW.
11. Yildirim A.S., Berker E., Kayakesen M.E. System Level Test Automation in UAV Development // 2018 IEEE AUTOTESTCON. — 2018. — P. 1–6. — <https://doi.org/10.1109/AUTEST.2018.8532551>.
12. Tsiamis N., Efthymiou L., Tsagarakis K.P. A Conceptual Framework for Economic Analysis of Different Law Enforcement Drones // Machines. — 2023. — Vol. 11, No. 11. — Article 983. — <https://doi.org/10.3390/machines11110983>.
13. Рагозин А.А., Сычева Е.М. Исследования инвестиционных возможностей проекта организации производства БПЛА // Актуальные проблемы авиации и космонавтики: Сборник материалов X Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию академика М.Ф. Решетнева и Дню космонавтики. — Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2024. — С. 863–865. — EDN YWUSTX.
14. Mohsan S.A.H., Khan M.A., Noor F., Ullah I., Alsharif M.H. Towards the Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A Comprehensive Review // Drones. — 2022. — Vol. 6, No. 6. — Article 147. — <https://doi.org/10.3390/drones6060147>.
15. Nwaogu J.M., Yang Y., Chan A.P.C., Wang X. Enhancing Drone Operator Competency within the Construction Industry: Assessing Training Needs and Roadmap for Skill Development // Buildings. — 2024. — Vol. 14, No. 4. — Article 1153. — <https://doi.org/10.3390/buildings14041153>.
16. Telli K., Kraa O., Himeur Y., Ouamane A., Boumehraz M., Atalla S., Mansoor W.A. Comprehensive Review of Recent Research Trends on Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) // Systems. — 2023. — Vol. 11, No. 8. — Article 400. — <https://doi.org/10.3390/systems11080400>.
17. Panagiotopoulos I., Sakellariou L., Hatziefremidis A. Design Construction, and Flight Performance of an Electrically Operated Fixed-Wing UAV // Drones. — 2024. — Vol. 8, No. 6. — Article 217. — <https://doi.org/10.3390/drones8060217>.

© Гайдуков Даниил Владимирович (Gaydukovdeniel@yandex.ru); Пиотровский Дмитрий Леонидович (piotrovsky2005@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»