© Воденников Д.А., Жилкина Ю.В.

(cc) BY

УДК 338.45: 623.746

СРАВНИТЕЛЬНО-ОЦЕНОЧНЫЙ АНАЛИЗ ЗАРЯДНО-ЗАЩИТНЫХ СТАНЦИЙ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Воденников Д.А. [1], Жилкина Ю.В. [2]

[1]ПАО «Россети Урал», г. Екатеринбург, Россия
[2]ПАО «Федеральная сетевая компания - Россети», г. Москва, Россия,
zhilkina.yulia@gmail.com

Резюме: *ЦЕЛЬ исследования заключается в разработке мер по идентификации, анализу, классификации, оценке и повышению эффективности автономной работы для беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Целесообразно совершенствовать зарядку и техническое обслуживание, уменьшая необходимость вмешательства человека в эти процессы. МЕТОДЫ. В процессе выполнения исследований применялись: методы математической статистики и теории вероятности; методы теории надежности и информации. РЕЗУЛЬТАТЫ. БПЛА, оснащенные высокотехнологичными датчиками и камерами, позволяют значительно повысить эффективность мониторинга и обслуживания воздушных линий. Они способны проводить инспекции на удаленных и труднодоступных участках, минимизируя риски для специалистов и сокращая время ремонтных работ. Данная тенденция не концепции технической политики развития электроэнергетики России до 2030 года: «Повышение наблюдаемости и автоматизации объектов ЕЭС, внедрение и развитие современных систем диагностики и мониторинга технологического оборудования электростанций, тепловых и электрических сетей». Это обуславливает необходимость создания и внедрения автоматизированной системы мониторинга и диагностики ВЛЭП на базе БПЛА. ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Основным направлением при техническом перевооружении и эксплуатации ВЛ является «применение беспилотных летательных аппаратов и роботизированных комплексов для оценки технического состояния элементов ВЛ 110 кВ и выше и трассы в пределах охранных зон». В этой связи целесообразно использование зарядно-защитной станции в целях расширения диапазона полета беспилотного летательного аппарата, предназначенного для высокотехнологичной автоматизированной системы мониторинга и диагностики воздушных линий электропередачи напряжением 110-1150 кВ. Такая модель БПЛА, оснащенная современными сенсорами и аналитическими инструментами, станет надежным спутником в области охраны и обслуживания электросетей, позволяя оперативно выявлять проблемы и повышать эффективность их функционирования. Каждая мера, предпринимаемая в этом направлении, не только улучшает наше настоящее, но и влияет на безопасность и надежность электросетевого комплекса.*

Ключевые слова: *зарядно-защитные станции, беспилотные летательные аппараты, автоматизированная система, ВЛ*

Для цитирования: Воденников Д.А., Жилкина Ю.В. Сравнительно-оценочный анализ зарядно-защитных станций для беспилотных летательных аппаратов // Вестник Казанского государственного энергетического университета. 2025. Т. 17. № 1 (65). С. 51-70.

COMPARATIVE AND EVALUATIVE ANALYSIS OF CHARGING AND PROTECTIVE STATIONS FOR UNMANNED AERIAL VEHICLES

Vodennikov D.A. [1], Zhilkina Yu.V. [2]

[1]Rosseti Ural PJSC, Ekaterunburg, Russia
[2]Federal Grid Company – Rosseti PJSC, Moscow, Russia
zhilkina.yulia@gmail.com

Abstract: *THE PURPOSE. Achieving the welfare of society by the state, large volumes of*

production capacity in all industries, as well as increasing the efficiency of newly emerging energy complexes, are inextricably linked to the reliable and safe functioning of existing electric power grids (ES) of the Russian Federation and the Unified Energy System (UES) as a whole. Now, according to the Federal Grid Company, the wear of electric power facilities is 50%, including substation equipment − 60%, power lines − 40%. The failure of electrical installations causes an unpredictable operating mode for the remaining electric power facilities providing backup power supply. To date, the issue of the need for technical re-equipment and reconstruction of ES facilities has been working out taking into account various criteria, but the final decision has made. Grid companies provide for regular condition assessment activities using engineering and technical personnel, which is difficult when diagnosing extended overhead power lines. ***METHODS.*** *Analysis and comparison of existing analogues of charging and protective stations designed for unmanned aerial vehicles and an automated system for monitoring and diagnostics of overhead power transmission lines.* ***RESULTS.*** *In this context, UAVs serve as pivotal tools in enhancing the efficiency and reliability of overhead line operations. Their ability to conduct aerial inspections and real-time monitoring significantly reduces the need for manual intervention, mitigating safety risks and operational downtime. By integrating advanced imaging systems and data analysis techniques, UAVs provide unparalleled insights into the condition of power infrastructure, facilitating proactive maintenance strategies. Moreover, the deployment of such technologies aligns seamlessly with the overarching goals encapsulated in the technical policy framework, which emphasizes modernization and innovation within the electric power sector. The incorporation of automated diagnostic systems not only streamlines workflows but also enhances the accuracy of asset assessments, ultimately contributing to the resilience of the Unified Electric Power System (UES). As the Russian electric power industry progresses towards its 2030 vision, the role of UAVs in optimizing overhead line operations will undoubtedly become more pronouncing, fostering an era of heightened observability, efficiency, and sustainability in energy management.* ***CONCLUSION.*** *The main direction in the technical re-equipment and operation of overhead lines is "the use of unmanned aerial vehicles and robotic complexes to assess the technical condition of overhead line elements 110 kV and higher and routes within protected areas". In this regard, it is advisable to use a charging and protective station in order to increase the flight range of an unmanned aerial vehicle designed for an automated system for monitoring and diagnosing overhead power lines.*

Keywords: *charging and protective stations, unmanned aerial vehicles, automated system, overhead line*

For citation: Vodennikov D.A., Zhilkina Yu.V. Comparative and evaluative analysis of charging and protective stations for unmanned aerial vehicles. *KAZAN STATE POWER ENGINEERING UNIVERSITY BULLETIN*. 2025. Vol. 17. No. 1 (65). P. 51-70.

Введение (*Introduction)*

Образование Единой энергетической системы России в 1992 году совпало с бурным периодом кризиса, охватившим страну не только в экономическом, но и в технологическом аспектах. Объемы технического перевооружения и ввода новых мощностей электростанций и электрических сетей значительно сократились, программы ремонтов претерпели столь же глубокие изменения. Эти обстоятельства обусловили стремительное старение и физический износ основных фондов в энергетическом секторе, который в среднем по отрасли достиг угрожающих 60%. В результате, страна оказалась на том этапе, когда необходимость обновления и модернизации энергетической инфраструктуры стала неотъемлемой частью вызовов, стоящих перед ней. Ситуация потребовала осмысленного подхода к восстановлению энергетической стабильности и внедрению новейших технологий, что открывало новые горизонты для развития, но также требовало значительных усилий и инвестиций. Поэтому с учетом значительного увеличения объемов промышленного производства объекты ЭС с каждым годом все меньше соответствуют современным требованиям обеспечения надежности электроснабжения. Под объектом ЭС подразумевается совокупность электроустановок для передачи и распределения электрической энергии, состоящая из подстанций, распределительных устройств, воздушных и кабельных линий электропередачи. На данный момент износ объектов ЭС по данным Федеральной сетевой компании в целом

составляет 50%, в том числе подстанционного оборудования − 60%, линий электропередач − 40%. Выход из строя электроустановок становится причиной возникновения непредсказуемого режима работы для оставшихся в эксплуатации объектов ЭС, обеспечивающих резервное электроснабжение.

Цель исследования заключается в выявлении ключевых факторов, влияющих на эффективность работы таких систем. В условиях быстрого развития технологий и увеличения применения БПЛА в различных сферах, включая сельское хозяйство, строительство и спасательные операции, необходимость в надежной и эффективной зарядной инфраструктуре становится очевидной. Основные аспекты анализа включают оценку производительности зарядных станций, их совместимость с разными моделями БПЛА и уровень защищенности от внешних воздействий. Важно также уделить внимание экономическому аспекту, включая стоимость оборудования и возможности его масштабирования в зависимости от потребностей пользователей.

На сегодняшний день вопрос о необходимости технического перевооружения и реконструкции объектов ЭС проработан с учетом различных критериев, однако принятие окончательного решения по замене и ремонту в большей степени базируется на данных о фактическом состоянии электроустановок. Сетевыми компаниями предусмотрены регулярные мероприятия по оценке состояния с использованием инженерно-технического персонала, что затруднительно при диагностике протяженных воздушных линий электропередачи (далее ВЛЭП), так как на данный момент суммарная длина воздушных линий (далее ВЛ) напряжением класса 110-1150 кВ (в одноцепном исчислении) составляет более 500 тыс.км.

Необходима разработка системы мероприятий по совершенствованию, автоматизации и ускорению процесса диагностики ВЛ с исключением человеческого фактора. На данный момент одним из самых перспективных направлений в оптимизации работ на ВЛ, является использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), что соответствует концепции технической политики развития электроэнергетики России до 2030 года: «Повышение наблюдаемости и автоматизации объектов ЕЭС, внедрение и развитие современных систем диагностики и мониторинга технологического оборудования электростанций, тепловых и электрических сетей...» [1].

Также согласно положению ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» основным направлением при техническом перевооружении и эксплуатации ВЛ является «применение беспилотных летательных аппаратов и роботизированных комплексов для оценки технического состояния элементов ВЛ 110 кВ и выше и трассы в пределах охранных зон» [2]. Это обуславливает необходимость создания и внедрения автоматизированной системы мониторинга и диагностики ВЛЭП на базе БПЛА.

Научная значимость состоит в его способности обеспечить устойчивое развитие технологий и повысить эффективность их эксплуатации. Современные БПЛА становятся все более важными в различных отраслях, включая сельское хозяйство, наблюдение за окружающей средой и логистику. В этой связи оптимизация зарядно-защитных станций, которые поддерживают работу этих аппаратов, является ключевой задачей. Оценочный анализ позволяет оценить экономическую целесообразность инвестиций в такие станции, а также выявить наиболее эффективные модели их функционирования. Это включает в себя сравнительный анализ различных технологий зарядки, защиты батарей и их интеграции в общую инфраструктуру.

Практическая значимость исследования заключается в повышении эффективности эксплуатации беспилотников. В условиях современного рынка, где ресурсы и время играют ключевую роль, оптимизация зарядных систем позволяет гарантировать бесперебойную работу дронов, что критически важно для бесчисленных применений — от электроэнергетики до доставки товаров. Кроме того, обеспечивая правильное функционирование зарядно-защитных станций, можно снизить риск аварий и поломок беспилотных аппаратов. Это, в свою очередь, позволяет снизить затраты на обслуживание и ремонт, что значительно увеличивает экономическую целесообразность таких технологий для бизнеса.

Литературный обзор (*Literature Review)*

В статье [53] рассматривается проблема воздействия электромагнитных помех, создаваемых высковольтными линиями электропередачи (ЛЭП), на электронные системы БПЛА. Авторы предлагают моделирование функционирования элементов электронных систем БПЛА в условиях таких помех. Это исследование важно для обеспечения устойчивости и надежности БПЛА при эксплуатации вблизи энергетических объектов.

Статья [54] посвящена разработке оптико-электронных высотомеров-скоростемеров, использующих полупроводниковые лазеры. Такие устройства предназначены для измерения высоты и скорости БПЛА, что является критически важным для их навигации и управления. Авторы предлагают новые методы повышения точности и надежности измерений.

В данной работе [55] рассматривается структура и динамическая модель электропривода с импульсным управлением, предназначенного для БПЛА, используемых в мониторинге энергетических объектов. Автор предлагает подходы к оптимизации работы электропривода, что позволяет повысить эффективность и точность управления БПЛА.

В этой статье [56] авторы предлагают новые методы повышения энергии зондирующего излучения импульсных дальномеров-высотомеров, основанных на полупроводниковых лазерах. Это позволяет увеличить дальность и точность измерений, что особенно важно для БПЛА, работающих в сложных условиях.

Представленные статьи охватывают ключевые аспекты разработки и эксплуатации БПЛА, включая защиту от электромагнитных помех, разработку оптико-электронных систем для измерения высоты и скорости, оптимизацию электроприводов и повышение эффективности лазерных дальномеров. Эти исследования вносят значительный вклад в развитие технологий БПЛА, особенно в контексте их применения для мониторинга энергетических объектов и работы в условиях электромагнитных помех.

Использование зарядно-защитных станций, предназначенных для беспилотных летательных аппаратов рассматривали авторы [3], систематизированы все известные технические решения, касающиеся зарядных станций такого типа, при этом выделено несколько критериев их классификации [4]. В продолжение исследуемой темы рассмотрена структурно-функциональная модель системы и алгоритм работы зарядно-защитной станции [5].

Кроме того, работы авторов [6] подчеркивают важность дальнейших исследований к интеграции зарядных станций в экосистему беспилотных технологий [12] в целях автоматизации процессов реализации новаторских решений. Развитие технологий зарядки БПЛА [29] будет продолжаться в направлениях повышения автономности и удобства [30], а также в разработке более быстрых и эффективных методов зарядки, особенно в текущих реалиях [31].

Несмотря на серьезные технологические достижения в области повышения энергоемкости литийионных аккумуляторов, их зарядки хватает обычно на 30-40 мин. полета для аппаратов вертолетного типа или 3-4 часа для аппаратов самолетного типа и для выполнения многих задач этого недостаточно [13]. Поэтому регенерация источников питания БПЛА (замена или зарядка) является довольно острой проблемой [17], особенно для БПЛА вертолетного типа, которые более энергозатратны [32].

Материалы и методы *(Materials and methods)*

Объектом исследования оценочного анализа зарядно-защитных станций для беспилотных летательных аппаратов выступает эффективность и надежность использования этих систем в различных условиях эксплуатации. В условиях нарастающего спроса на беспилотную авиацию важно обеспечить высокое качество зарядки и защиты аккумуляторных батарей, которые являются критическим компонентом БПЛА. Поэтому на этапе анализа необходимо уделить внимание выбору оптимальных технологий и материалов, которые позволят улучшить процесс зарядки, минимизировать риск перегрева и повреждений.

Исследование включает оценку различных моделей зарядно-защитных станций, их функциональных возможностей, включая скорость зарядки, совместимость с различными типами аккумуляторов и уровень автоматизации процесса. Важной составляющей анализа является и безопасность эксплуатации, что требует использования современных технологий диагностики и автоматического контроля.

Кроме того, следует рассмотреть потенциальные направления для дальнейшего совершенствования зарядно-защитных систем, ориентируясь на потребности рынка и возможности интеграции новых решений, таких как системы удаленного мониторинга и зарядки в полевых условиях. Результаты анализа могут быть использованы для разработки рекомендаций по выбору и внедрению оптимальных зарядно-защитных комплексов, способствующих росту конкурентоспособности БПЛА на рынке.

Эффективное распределение финансовых и трудовых ресурсов является ключевым аспектом в управлении современными электросетевыми комплексами, особенно в условиях цифровизации. Для ПАО «Россети» это внедрение инновационных

методик, позволяющие снижение затрат и увеличение оперативной эффективности. Важным шагом является комплексная оценка деятельности ДЗО, позволяющая выявить узкие места и определить приоритетные направления для инвестиций.

Кроме того, необходимо создать системы мониторинга и анализа, которые будут способствовать быстрому реагированию на изменения в операционной среде. Это включает в себя как применение новых технологий, так и адаптацию существующих процессов к изменениям, происходящим в отрасли. Установление дифференцированных среднесрочных и долгосрочных целей позволит более четко определить стратегические ориентиры и активно управлять рисками.

Выявление и тиражирование оптимальных решений также станет основой для создания устойчивой системы управления, способной справляться с вызовами современности. Таким образом, подход к реконструкции и модернизации объектов электросетевого комплекса должен быть всесторонним и комплексным, охватывающим как технические, так и управленческие аспекты.

За последние несколько лет индустриальные воздушные судна обретают все большую популярность. Согласно статистическим данным, прослеживается рост доли рынка БПЛА, а, следовательно, уменьшение стоимости одного часа полета (рис. 1) [3]. Спектр оказываемых услуг с каждым годом продолжает увеличиваться, и на данный момент можно выделить следующие направления работы беспилотников: картография, кадастр, мониторинг нефтепроводов и воздушных линий, сельское хозяйство, охранный мониторинг, мониторинг строительства, доставка грузов, аэрореклама, поиск и спасение людей.

Максимальный рост объемов рынка прогнозируется через 3-5 лет вместе с введением в эксплуатацию автономных систем, состоящих из беспилотного летательного аппарата и зарядной станции. Использование таких комплексов позволит исключить постоянный контроль со стороны человека. На данный момент разработкой автономных систем занимаются не только лидеры рынка БПЛА, такие как АэроЛаборатория и Коптер Экспресс, но и небольшие компании.

Обзор существующих технических решений

Одной из ключевых особенностей Phantom 4 Pro V2.0 является повышение качества изображения, которое достигается за счет 1-дюймовой матрицы с разрешением 20 Мп. Эта матрица обеспечивает великолепные детали и динамический диапазон, что делает ее идеальной для профессиональной съемки. Видео записывается в формате 4K с частотой 60 кадров в секунду, что позволяет создавать плавные и четкие видеоматериалы, а серийная съемка с частотой 14 кадров в секунду позволяет захватывать динамичные моменты.

Еще одной уникальностью является возможность использования дроном новыми двойными оптическими сенсорами, обеспечивающих пользователю уникальный опыт погружения в процесс полета и съемки. Прямой поток с камеры БПЛА предоставляет захватывающий вид с высоты, создавая ощущение присутствия, что особенно ценно при создании художественных кадров.

Рис. 1. Рост спроса на использование воздушных судов

Fig. 1. Growing demand for aircraft use

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Кроме того, усовершенствованная система *FlightAutonomy* повышает не только безопасность, но и удобство управления. Расширенные возможности обнаружения препятствий позволяют оператору сосредоточиться на творческом процессе, не отвлекаясь на возможные критические ситуации. Таким образом, Phantom 4 Pro V2.0 (рис. 2) становится незаменимым инструментом для профессионалов в области видеосъемки и фотосъемки.

Рис. 2. Внешний вид Phantom 4 Pro V2.0 *Fig. 2. Phantom 4 Pro V2.0 Appearance*
**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

В начале августа 2024 года группа компаний «Беспилотные системы» разработала беспилотный летательный аппарат Supercam S350M для разведки и защиты государственных границ. Модель может комплектоваться полезными нагрузками разного типа.

Supercam S350M относится к самолетному типу. Среди особенностей разработчик выделяет оперативность сборки, модульные композитные элементы, взаимозаменяемые и комбинированные полезные нагрузки с унифицированными гиростабилизированными платформами, систему отцепа консолей крыла при посадке для предотвращения возможных повреждений, устойчивость во время полета и хорошую управляемость. Помимо охраны госграниц, дрон может применяться для мониторинга различных объектов и решения других задач военного, гражданского и двойного назначения.

Применение беспилотных летательных аппаратов также способствовало повышению производительности труда на 84%. Разработанный комплект оборудования включает беспилотные воздушные суда типа конвертоплан и мультироторного типа, оснащенные фотокамерой высокого разрешения, видеокамерой, тепловизором и лазерным сканером. В состав комплекса также входит мобильная лаборатория и специальное программное обеспечение для автоматической обработки результатов. Новое оборудование позволяет проводить детальную аэрофотосъемку объектов, выполнять тепловизионную диагностику, создавать цифровые модели местности и рельефа. Система автоматизирует процесс обследования инфраструктуры и минимизирует влияние человеческого фактора. (рис. 3) [6-7].

Рис. 3. Внешний вид Supercam S350M *Fig. 3. Supercam S350M appearance*
**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Работа станции контролируется не только командами оператора, но и основывается напогодных условий полета (влажность воздуха, температура окружающей среды, скорость ветра), определяемыми входящей в систему метеостанцией. Беспилотный летательный аппарат в совокупности с автоматической взлетно-посадочной и зарядной станцией осуществляет полностью автоматический полет по заданной оператором программе.

При обследовании больших территорий, компания-изготовитель предлагает установку нескольких зарядных станций. В таком случае основным недостатком можно выделить отсутствие независимого источника питания в конструкции. Это вносит ограничения на расположение взлетно-посадочных и зарядных станции, и тем самым на протяженность контролируемой дроном территории, так как такой вариант требует подключения к источнику электрической энергии напряжением 220 В [8].

Зарядная станция состоит из короба, в котором находится и заряжается БПЛА, а рядом с ней располагается стойка с телекоммуникационным оборудованием (рис. 4). На стойке устанавливается метеостанция, которая подает сигнал для согласования вылета при различных метеоусловиях. Также имеется GPS-модуль поправок для более точного позиционирования дрона и камера видеонаблюдения, которая транслирует фактическое состояние станции на пульт оператора. Телекоммуникация осуществляется при помощи Wi-Fi-сети, дальнобойного Wi-Fi и 4G.

Коптер экспресс (ООО «Коптер Экспресс Технологии») «Стационарный беспилотный комплекс COEX Пеликан Автоматика» представляет из себя автономный беспилотный летательный аппарат и базовую станцию управления дроном (рис. 5).

Рис. 4. Стойка с телекоммуникационным оборудованием

Fig. 4. Rack with telecommunications equipment

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Рис. 5. Внешний вид зарядной станции COEX

Fig. 5. External view of the COEX charging station

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Взлет осуществляется согласно следующему алгоритму. Беспилотный летательный аппарат подает на зарядную станцию команду открытия защитного купола цилиндрической формы (рис. 6). Взлет происходит только после полного завершения открытия. Далее подается команда «на взлет» и дрон вертикально набирает высоту полета. Управление БПЛА и зарядной станции осуществляется через компьютер оператора в программе наземного управления полетом. Процесс посадки осуществляется с использованием инфракрасной метки и специального детектора, располагаемого в центре платформы зарядной станции, по системе RTK (Real Time Kinematic).

После посадки дрона на платформу происходит сдвижение механизмов позиционирования, которые выводят БПЛА в центр станции и подводят зарядные электроды [3].

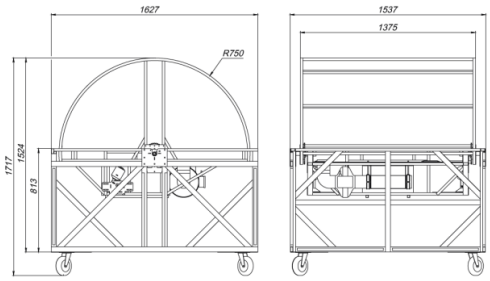

Рис. 6. Габаритный чертеж зарядной станции

Fig. 6. Dimensional drawing of the charging station

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Система питания станции подразумевает подключение к сети напряжением 110-220 В, поэтому расположение зарядной станции недопустимо вдалеке от неэлектрифицированных объектов. На данный момент производитель не предлагает других источников энергии. В связи с этим мониторинг отдаленных территорий невозможен.

Патентообладателем является автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис». Изобретение относится к конструкции автоматической станции зарядки и обслуживания многовинтовых беспилотных летательных аппаратов (рис. 7), работающих совместно с ней, и может быть использовано для создания сети обслуживания БПЛА, что позволит выполнять различные задачи с использованием БПЛА, дальность полета которых ограничена емкостью аккумулятора [9].

Станция состоит из корпуса 1, откидной двери 2, посадочной платформы 3, установленной на опоры 4, блок управления 5 и блок питания 6, механизм подъема 11 держателя 10 (рис. 7). Дверь установлена на горизонтальные петли 7 и соединена с механизмом открывания 8.

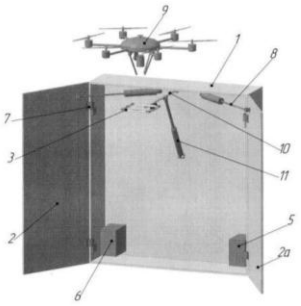

Рис. 7. Автоматическая станция зарядки и обслуживания многовинтовых беспилотных летательных аппаратов с посадочной платформой, установленной на держателе, в положении приема и отправления аппарата

Fig. 7. Automatic charging and servicing station for multi-rotor unmanned aerial vehicles with a landing platform mounted on a holder in the position of receiving and sending the device

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Конструкция предусматривает посадочную платформу, с функцией зарядки беспилотного летательного аппарата, которая выполнена в виде полого многогранника, внутренняя поверхность которого повторяет наружную поверхность, с количеством вершин, равным количеству шасси многовинтового беспилотного летательного аппарата.

Автоматическая станция зарядки и обслуживания многовинтовых беспилотных летательных аппаратов имеет контакты для подачи напряжения, которые установлены на вершинах и гранях многогранника, предназначенного для устранения неточностей посадки, путем взаимодействия поверхности посадочной площадки и посадочных стержней БПЛА за счет пассивного гравитационного центрирования, которые могут быть вызваны неточностью работы системы посадки или порывами ветра.

Адаптивное устройство пассивного центрирования выполнено подвижными элементами, имеющие положение «на земле», при котором шасси установлены вертикально вниз, «полетное» положение, при котором шасси разнесены максимально в стороны, согласно предложенному решению шасси дополнительно имеют положение «взлета/посадки», при котором шасси сведены вниз к центру с образованием обращенной вниз усеченной пирамиды, а также положение «нахождения на посадочной платформе», при которой шасси раздвинуты до касания нижней поверхности посадочной платформы и поджатия ими электрических контактов, находящихся на посадочной платформе и на БПЛА. Такая конструкция рассчитана на взаимодействие не только со своей станцией, а имеет возможность приземления на другие устройства или горизонтальную поверхность.

Из недостатков выделяется форма посадочной платформы в виде полого многогранника, при откидывании/открывании требует наличия свободного пространства сверху и сбоку равного габаритам посадочной платформы. Также посадочная платформа имеет функцию автоматической подзарядки БПЛА, однако не предусматривает функцию передачи данных. Имеется адаптивное устройство пассивного центрирования, которое содержит большое количество подвижных частей, что уменьшает надежность и увеличивает вес конструкции.

Известна «Станция для беспилотного летательного аппарата» (рис. 8). Патентообладателем является Общество с ограниченной ответственностью «Мкод».

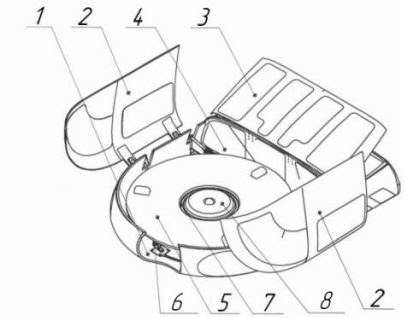

Рис. 8. Аксонометрическая проекция станции

Fig. 8. Axonometric projection of the station

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Станция состоит из корпуса 1, створки отсека 2, крышки отсека для вспомогательного оборудования 3, перегородки 4, платформы 5, опоры платформы 6,

установочный элемент для БПЛА 7, беспроводное зарядное устройство 8 (рис. 8).

Корпус, в котором сделан отсек для беспилотного летательного аппарата, закрыт сверху створками, оснащенными механизмами их открывания-закрывания. В отсеке на опорах размещена платформа, оснащенная элементами позиционирования беспилотного летательного аппарата при его посадке, а также блок управления и аккумуляторные батареи, обеспечивающие электропитание станции. Блок управления осуществляет связь со всеми установленными на платформе элементами. Станция снабжена трехосевым акселерометром и гироскопом и установлена на опорах, каждая из которых оснащена механизмом регулирования ее положения по высоте, включающим управляемый сервопривод [10].

Посадка БПЛА осуществляется по принципу пространственно-временной модуляции. При приземлении дрон оказывается в поле действия лазерных сканирующих элементов, расположенных в вершинах равностороннего треугольника, вписанного в посадочную платформу, и синхромаяка в центре. Маяки формируют поле импульсов, которые интерпретируется как углы возвышения. Приемно-вычислительное оборудование, находящееся на борту БПЛА, с помощью математического алгоритма преобразует импульсы в координаты. Дрон использует пять разнесенных в своем корпусе фотоприемников, и с помощью векторного преобразования пяти координат вычисляет азимут до осевой линии центра посадочной платформы.

Недостатком рассмотренной выше зарядной станции является отсутствие возможности передачи данных. Большое количество технически-сложных подвижных элементов затрудняет эксплуатацию, требуя участие инженерно-технического персонала, усложняет ремонт и уменьшает надежность.

Другая версия станции «Базовая станция беспилотного летательного аппарата» (рис. 9), патентообладателем которой является ООО «ИТ» СОКОЛ» относится к области техники, связанной с устройствами для автоматической замены аккумуляторных батарей (АКБ) беспилотных летательных аппаратов. Система предназначена для базирования БПЛА, обеспечения его автоматического взлета и посадки, получения и отправки груза, хранения и выдачи его получателю, а также замены и зарядки АКБ.

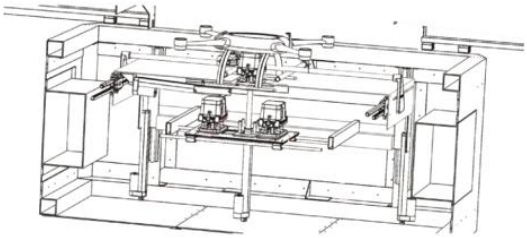

Рис. 9. Момент снятия отработанного аккумулятора с БПЛА

Fig. 9. The moment of removing the spent battery from the UAV

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Базовая станция беспилотного летательного аппарата содержит посадочную платформу для установки БПЛА (рис. 9). Она имеет возможность независимого подъема и спуска при взлете и посадке дрона. Под посадочной поверхностью расположена подвижная матрица аккумуляторных батарей с множеством аккумуляторных отсеков для приема аккумуляторов. Один из аккумуляторных отсеков постоянно свободен и предназначен для приема разряженного аккумулятора БПЛА (рис. 10).

Рис. 10. Общий вид станции в разрезе

Fig. 10. General view of the station in section

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Такая система удобна при постоянной циркуляции по базовым станциям более одного БПЛА, которые несут на борту какой-либо полезную нагрузку что позволяет свести время, которое БПЛА проводит на базовой станции к минимуму. Это актуально при использовании такой системы, например, в воздушном сортировочном центре [8].

Недостатки и отличия: в патенте не описаны устройства обеспечивающие автоматический взлет и посадку на посадочную поверхность, а также системы контролирующие точность посадки. Упор сделан на систему автоматической замены

аккумуляторной батареи БПЛА, на заведомо заряженную из набора АКБ, которые хранятся и заряжаются на базовой станции.

Изобретение не предполагает канал связи для передачи каких-либо данных с БПЛА, а предполагается изымать носитель, на котором содержится вся собранная информация и хранить на базовой станции или транспортировать в центр обработки информации механическими (не дистанционными методами) то есть процесс автоматизации передачи данных не подразумевается.

Известен также другой существующий аналог разрабатываемой станции «Взлетно-посадочная платформа для беспилотных летательных аппаратов» (рис. 11), патентообладателем которой является ООО «БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ». Полезная модель относится к взлетно-посадочным платформам для беспилотных летательных аппаратов и может быть использована для создания платформ, устанавливаемых, преимущественно, на рамах пикапов.

Требуемый технический результат заключается в расширении функциональных возможностей с целью обеспечения прецизионной посадки на устройство для хранения и автоматического запуска БПЛА с одновременной возможностью перемещения на мобильных средствах и обеспечения расширения арсенала технических средств, которые могут быть использованы для хранения и многократного запуска и посадки БПЛА [11-13].

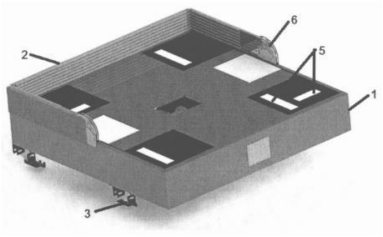

Рис. 11. Общий вид взлетно-посадочной платформы

Fig. 11. General view of the landing platform

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Взлетно-посадочная платформа содержит коробчатый прямоугольный корпус 1, защитное укрытие 2 с функцией открытия и закрытия, а также средства 3 крепления корпуса к несущей раме, закрепленной на мобильном средстве 4, позиционные маркеры ArUco 5 и направляющие каркаса 6 (рис. 11).

Взлетно-посадочная платформа содержит 4 специальных маркера для точного позиционирования БПЛА, использование маркеров в количестве более одного актуально, так как предполагается размещение платформы в кузове движущегося транспортного средства, в таком случае необходимо увеличение точности посадки.

Из недостатков можно выделить, что изобретение не предусматривает наличия на взлетно-посадочной платформе каких-либо компонентов для зарядки аккумуляторных батарей БПЛА и передачи собранных в процессе эксплуатации данных. Такие решения не рассматриваются, так как концепция полезной модели изначально подразумевает прямой доступ к взлетно-посадочной платформе и дальнейшим операциям с БПЛА и его носителями информации. Упор делается на высокую точность посадки при приземлении на движущиеся объекты. Защитную функцию выполняет развертываемое тентовое защитное укрытие с функцией открытия и закрытия, такое решение обосновано, при использовании как временное укрытие от атмосферных воздействий. В случае использования такого решения при постоянном пребывании на открытом воздухе, просматривается его недостаточная прочность и низкая устойчивость к атмосферным явлениям грубого характера.

Формирование параметров проектируемой зарядно-защитной станции

Для выполнения поставленных задач по разработке и внедрению автоматизированной системы мониторинга и диагностики воздушных линий электропередачи на базе беспилотного летательного аппарата, необходимо на основании существующих базовых зарядных станций сформировать целостное представление о проектируемой зарядно-защитной станции (далее – ЗЗС).

Предполагается, что образец будет соответствовать следующим техническим параметрам (таблица 1):

1) Передача данных. В ходе проведения обследования участка воздушной линии электропередачи, БПЛА находясь на оптимальном расстоянии от проводов, производит фото- и видеофиксацию их состояния в видимом и инфракрасном спектрах с помощью

тепловизионной и оптической камеры.

Полученную информацию о техническом состоянии ВЛ необходимо передать в центр обработки для дальнейшего анализа. Большой объем данных, полученных в процессе мониторинга, требует наличия канала связи с большой пропускной способностью и высокой скоростью.

2) Источник питания. Целевое применение разрабатываемой модели зарядно-защитной станции не подразумевает наличия электрической сети напряжением класса 0,4 кВ. Свободный доступ обслуживающего персонала также ограничен предполагаемым расположением станции, поэтому система питания ЗЗС должна быть автономной и надежной.

3) Способ зарядки БПЛА. Особенность тепловизионной диагностики заключается в том, что для более качественной и полной оценки состояния воздушных линий ее необходимо проводить в отведенное время суток, оставшееся время можно использовать для дозаряда аккумуляторных батарей БПЛА без ущерба циклу обследования. В связи с этим будет достаточно разработать систему заряда с временем восполнения энергозапаса не более 5 часов.

4) Место установки. Разрабатываемая автоматизированная система мониторинга и диагностики воздушных линий электропередачи предполагает установку на протяженных и труднодоступных участках ВЛЭП. Как правило, такие участки находятся в зонах с низкой плотностью населения. Однако в целях обеспечения сохранности и безопасности системы необходимо устанавливать зарядно-защитную станцию в недоступных для человека местах.

5) Система позиционирования при посадке. В проектируемой ЗЗС посадочное положение БПЛА влияет на основные этапы работы системы: заряд аккумуляторной батареи, передача данных, построение дальнейшего маршрута, корректная работа защитного укрытия и т.д. В связи с этим необходимо использовать наиболее точную систему автоматической посадки БПЛА.

6) Система выравнивания дрона. Достаточно высокая точность позиционирования при посадке исключает необходимость использования системы выравнивания беспилотного летательного аппарата, что положительно повлияет на конечную стоимость и надежность разрабатываемой ЗЗС.

7) Метеостанция. Различные погодные условия влияют на качество, безопасность проведения обследования воздушных линий, а также накладывают ограничения на использование БПЛА, поэтому необходимо учитывать не только прогноз, но и текущее состояние окружающей среды.

8) Система поддержания микроклимата. Необходимо выяснить, какие компоненты нуждаются в поддержании определенного уровня влажности и температуры для корректного функционирования и создать систему поддержания микроклимата с минимальными затратами и потерями энергии.

9) Тип защитного укрытия. Расположение зарядно-защитной станции в труднодоступных для человека местах накладывает ограничения на массогабаритные характеристики, форму, способ крепления и метод свертывания защитного укрытия станции. Требуется разработать оптимальную конфигурацию, наиболее подходящую для проектируемых условий.

Таблица 1

Table 1

Предполагаемые параметры ЗЗС

Estimated parameters of the charging and protection station

Параметр	Разрабатываемая зарядно-защитная станция
Способ передачи данных	Высокоскоростной тип связи
Источник питания базовой станции	Автономная система
Способ зарядки БПЛА	Контактный
Место установки	На опоре ВЛЭП
Система позиционирования при посадке	Оптические маркеры
Метеостанция	Метеостанция с внешними датчиками
Система поддержания микроклимата	Устройство кондиционирования и подогрева
Тип защитного укрытия	Жесткий каркас

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author*

По итогам проведения сравнительно-оценочного исследования из существующих вариантов выбраны наиболее оптимальные параметры проектируемой зарядно-защитной

станции, необходимые для проведения тестовых полетов БПЛА без установки на опору, при сохранении всех конечных функций. [14]

По итогам исследований, проведенных авторами, можно сделать следующие выводы:

1) спектр промышленного использования беспилотных летательных аппаратов с каждым годом продолжает увеличиваться и по оценке ведущих аналитиков максимальный рост объемов рынка прогнозируется в ближайшем будущем;

2) существующие модели зарядно-защитных станций, представленные на рынке, не способны в полной мере покрыть все потребности электроэнергетической промышленности, поэтому разработка комплекса, состоящего из ЗЗС и БПЛА, для автоматизированной системы мониторинга и диагностики является актуальной задачей;

3) сравнительно-оценочное исследование существующих вариантов определило оптимальные параметры проектируемой ЗЗС. Станция должна обладать высокоскоростным типом передачи данных, источником питания базовой ЗЗС должна быть автономная система, позволяющая заряжать БПЛА контактным способом, после осуществления посадки дрона, ориентирующегося по оптическим маркерам. Местом установки станции должна служить опора ВЛЭП с возможностью монтажа метеостанции для отслеживания погодных условий. [15]

Чувствительные к перепадам температур элементы, для корректного функционирования, должны использоваться в комплекте с устройством кондиционирования или подогрева в зависимости от температуры окружающей среды. Защитные функции ЗЗС должен обеспечивать жесткий защитный каркас, который помимо защиты от погодных условий должен обеспечивать хорошую аэродинамику всей конструкции, а также вандалоустойчивость. Выбранные параметры ЗЗС позволяют проводить полеты БПЛА без установки на опору, при сохранении всех конечных функций [16-18].

Результаты *(Results)*

Электроэнергетика играет ключевую роль в экономике любой страны, оказывая значительное влияние на развитие и стабильную работу предприятий, уровень жизни граждан и общую безопасность государства. Во многих государствах отрасль электроэнергетики опережает другие сектора топливно-энергетического комплекса по темпам цифровой трансформации. В этой области уже сложилось множество бизнес-моделей. Касательно российских энергетических компаний, то они демонстрируют средний уровень готовности к цифровым изменениям и реализуют различные инициативы и проекты в этой сфере [19-21].

На сегодняшний день основной метод инспекции воздушных линий электропередачи – это пеший обход. Внедрение и применение специального комплекса позволит достичь целевых показателей, указанных в таблице 2.

Таблица 2
Table 2

Краткое описание и основные технико-экономические и потребительские характеристики
Brief description and main technical, economic and consumer characteristics

Особенность	Преимущество	Выгода
Возможность производить мониторинг воздушных линий электропередачи на предмет наличия дефектов с использованием технологии тепловизионной съемки	Высокая скорость и простота; удалённый мониторинг	Снижение трудоемкости и затрат; повышение уровня безопасности
Наличие зарядно-защитных станций	Возможностью значительного увеличения дальности полета	Увеличение производительности осмотра
Большая грузоподъемность при сопоставимых с рассматриваемыми аналогами технических характеристиках	Мультизадачность	Позволит в будущем использовать в других областях промышленности

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author*

Электросетевые компании характеризуются «закрытостью» и иерархичной структурой управления, где высшие эшелоны власти отстраняются от оперативной деятельности. Ключевым фактором успеха проектов станет готовность региональных отделений сетевых компаний к интеграции информационных систем, что в свою очередь повысит их эффективность рис. 12.

Произведем анализ рынка. TAM (Total Addressable Market – полный объем целевого рынка). В каждом регионе РФ существует своя электросетевая компания, в ведении которой

находятся объекты (воздушные линии электропередачи и подстанции) 35-110 кВ. Представлены 67 крупными межрегиональными распределительными сетевыми компаниями (МРСК), 19 ДО ПАО «Росссети». Также диагностика линий производится на объектах подразделений федеральных сетевых компаний (Россети), что также имеют свои филиалы в областях.

Кроме того, такие объекты могут принадлежать нефтяным компаниям, газоперерабатывающим (газопромысловые управления), РЖД.

SAM (Serviceable Addressable Market – целевой рынок). Дочерние общества ПАО «Россети», входящие в группу ПАО «Россети Волга» и ПАО «Россети Урал» в количестве 7-10 компаний.

SOM (Serviceable & Obtainable Market – доля рынка, которую действительно можно достичь за первые годы работы) – Оренбургэнерго.

Рис. 12. Аватар потребителя *Fig. 12. Consumer Avatar*

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author.*

Все существующие конкуренты являются косвенными, так как предлагается автоматизированный процесс, и установка зарядно-защитных станций на опорах воздушных линий электропередачи. Потенциальные конкуренты рассмотрены в таблице 3.

Существующие конечные потребители – электросетевые компании. Потенциально потребителями могут стать: строительные компании, проектные и охранные организации, поиск и спасение людей [22].

Таблица 3
Table 3

Потенциальные конкуренты
Potential competitors

	Supercam S250	R.A.L. X6T	SovzondAir-Con 3X
Время полета	180 мин	60 мин	60 мин
Скорость полета	0-120 км/ч	0-80 км/ч	0-60 км/ч
Максимальная полезная нагрузка	1,5 кг	5 кг	5 кг
Возможность полёта без участия оператора	Нет	Нет	Нет
Максимальная дальность полета	90 км	15 км	20 км
Наличие защитно-зарядных станций	Нет	Нет	Нет
Цена	350 000 руб.	3 000 000 руб.	855 500 руб.

**Источник: Составлено авторами Source: compiled by the author*

Обсуждение *(Discussions)*

В последнее десятилетие во многих странах мира очень интенсивное развитие получила беспилотная авиация. Это относится как к военным, так и к гражданским областям применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Особенно быстро растет сегмент мирового рынка БПЛА, связанный с т.н. малыми БПЛА [23-27].

Несмотря на серьезные технологические достижения в области повышения энергоемкости литийионных аккумуляторов, их зарядки хватает обычно на 30-40 мин. полета для аппаратов вертолетного типа или 3-4 часа для аппаратов самолетного типа. Для выполнения многих задач этого недостаточно. Поэтому регенерация источников питания

БПЛА (замена или зарядка) является довольно острой проблемой, особенно для БПЛА вертолетного типа, которые более энергозатратны. Далее речь пойдет именно об аппаратах вертолетного типа - вертолетах, мультикоптерах, конвертопланах и других аппаратах, способных совершать вертикальные взлет и посадку (VTOL - Vertcal Take-Off and Landing) [28-30].

Проще всего регенерацию источников питания можно осуществлять на специальных наземных станциях (стационарных или мобильных), расположенных вблизи зоны действия БПЛА или по маршруту его следования. Хотя существуют и другие способы, описанные, например, в [31-37]. Краткую классификацию и возможные варианты реализации наземных регенерационных станций можно найти в [38-40]. По выполняемым функциям эти станции можно разделить на станции замены источников питания и станции подзарядки аккумуляторов (на станциях замены источников питания часто реализуется также еще и функция зарядки снятых с аппаратов разряженных аккумуляторов) [41-45].

Бесспорно, целесообразно дальнейшее и повсеместное внедрение автоматизированной системы диагностики ВЛ с применением БПЛА с целью обнаружения дефектов технических узлов воздушных линий электропередачи и формирования отчета об их фактическом состоянии [45-52].

Эффекты от реализации в ГК «Россети»:

• Снижение OPEX;

• увеличение полезного отпуска электроэнергии;

• снижение CAPEX;

• эффект от лицензионных платежей;

• минимизация участия человека в производственных процессах;

• оптимизация бизнес-процессов: «Управление перспективным и технологическим развитием», «Техническое обслуживание, ремонт и замена», «Диагностика», «Управление производственной безопасностью», «Обеспечение безопасности», «Управление логистикой и МТО», «Управление информационной политикой», «Оперативно-технологическое управление»;

• изменение технологического процесс осмотра и диагностики ВЛ 35-110 кВ.

Заключение *(Conclusions)*

Внедрение беспилотных летательных аппаратов позволяет оперативно проводить обследование воздушных линий электропередачи на предмет возможных рисков, в том числе после штормов и других неблагоприятных погодных явлений, а также определять места повреждений, проводить их оценку, передавать информацию диспетчерским службам.

Применение дронов особо актуально в труднодоступной болотистой местности, а также в густых лесах, куда тяжело добраться наземной технике. Кроме того, целесообразно применять БПЛА самолетного и роторного типов, высота полетов которых может достигать 80 м, а дальность – 60 км.

Дроны применяются при технических нарушениях, для оценки состояния охранных зон и отдельных элементов ЛЭП, контроля за расчисткой и расширением просек, состояния провода, а также построения 3D-моделей инфраструктуры.

Внедрение БПЛА является одним из направлений концепции реализации проекта «Цифровая трансформация - 2030». Масштабирование использования беспилотной техники направлено на повышение скорости обслуживания и эффективности эксплуатации воздушных линий. Кроме этого, мониторинг ЛЭП с помощью БПЛА является одним из направлений сотрудничества в рамках диверсификации и расширения компетенций ОПК.

Литература

1. Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://energyexpert.ru/media/em/concept_2030.pdf (дата обращения 15.01.2025).

2. Положение ПАО «Россети» «О единой технической политике в электросетевом комплексе» (новая редакция) [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika_02.04.2021.pdf (дата обращения 15.01.2025).

3.Фетисов В.С., Ахмеров Ш.Р., Сизоненко Р.В. Оценка схем построения контактных устройств в посадочных платформах для подзарядки электрических БПЛА с вертикальным взлетом-посадкой // Электротехнические и информационные комплексы и системы. №2. Т. 10. 2014 С. 138-

144.

4. Жуков Д.Р., Михайлов В.А. Исследование устройств для зарядки БПЛА и способов её реализации // Международный научный журнал «ВЕСТНИК НАУКИ». № 7 (76). Т. 2. С. 428-434.

5. Фетисов В.С., Неугодникова Л.М., Адамовский В.В. и др. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние. Уфа: ФОТОН, 2014. 217 с.

6. Kurs A. et al. Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances // Science. 2007. Vol. 317. № 6. P. 83-86.

7. Marshall P.T. Power line sentry charging. US Patent 7318564. Publ. 15.01.2008.

8. Kemper P. Suzuki K., Morrison J. UAV Consumable Replenishment: Design Concepts for Automated Service Stations // Journal of Intelligent and Robotic Systems. 2011. Vol. 61. № 1. P. 369-397.

9. Автоматическая станция зарядки и обслуживания беспилотных летательных аппаратов и беспилотный летательный аппарат, работающий совместно с ней: заявка 2019113393, Рос. Федерация: МПК B 64 C 39/02 / Афанасьев Илья Михайлович (RU), Галимов Муса Музагитович (RU), Липатов Александр Николаевич (RU); патентообладатель: Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис» (RU). – № RU 2 721 048 C1; Дата подачи заявки: 29.04.2019; опубл. 15.05.2020 Бюл. № 14 – 34 с.

10. Базовая станция беспилотного летательного аппарата: заявка 2020115010, Рос. Федерация: МПК B 64 F 1/36 / Яковлев Павел Владимирович (RU); патентообладатель: общество с ограниченной ответственностью "ИТ" СОКОЛ" (RU). – № RU 200 137 U1; Дата подачи заявки: 28.04.2020; опубл. 07.10.2020 Бюл. № 28 – 2 с.

11. Взлетно-посадочная платформа для беспилотных летательных аппаратов: заявка 2020107531, Рос. Федерация: МПК B 64 C 2201/18 / Панфилов Антон Владимирович (RU); патентообладатели: Общество с ограниченной ответственностью "БЕСПИЛОТНЫЕ СИСТЕМЫ" (RU), Общество с ограниченной ответственностью "Научно-производственная группа "ТРАДИЦИЯ" (RU), Общество с ограниченной ответственностью "Т-СМАРТ" (RU) – № RU 199 914 U1; Дата подачи заявки: 19.02.2020; опубл. 28.0.2020 Бюл. № 28 – 7 с.

12. Уланов С.И., Криводубский О.А., Никитина А.А. Анализ возможностей применения летательных аппаратов в контроле состояния местности // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 1(32). С. 94-102.

13. Сафронова И.Г., Шнайдер Н.В., Тарбеев А.С. Традиционные и альтернативные способы молниезащиты объектов // The Scientific Heritage. 2020. № 55-1(55). С. 62-64.

14. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы 6-го и 7-го изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2015 года. Москва: КНОРУС, 2015. 488 с.

15. Митрофанов С.В., Валиуллин К.Р., Чернова А.Д. Правила устройства электроустановок и техника безопасности: практикум. Оренбургский гос. ун-т. Оренбург: ОГУ, 2018. 107 с.

16. Викулов, О. В. Перспективные беспилотные летательные аппараты вертолетного типа отечественного производства // Инноватика и экспертиза: научные труды. 2023. № 1(35). С. 70-82.

17. Nugent T. J., Kare J. T. Power for UAVs. White Paper of Laser Motive. 2010 [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://lasermotive.com/wp-content/uploads/2010/04/Wire-less-Power-for-UAVs-March2010.pdf (дата обращения 15.01.2025).

18. Солуянов Ю.И., Федотов А.И., Ахметшин А.Р. и др. Актуализация удельных электрических нагрузок многоквартирных жилых домов Москвы и Московской области // Электричество. 2023. № 7. С. 52-65.

19. Дубровин В.С., Мариниченко А.А. Модернизация системы передачи данных по ЛЭП на участке "Рузаевка - Арзамас" // Электроника и информационные технологии. 2009. № 2(7). – С. 20.

20. АЛЬФА ЭМС. Грозозащитный трос с оптическим волокном. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://alfa-ems.ru/info/grozozashhitnyiy-tros-s-opticheskim-voloknom (дата обращения 15.01.2025).

21. Воденников Д.А., Жилкина Ю.В. Исследовательский комитет B3 «Подстанции и электроустановки» // Энергетика за рубежом. Приложение к журналу «Энергетик». № 12, 2022. № 1-2. С. 89-96.

22. Дополненная реальность с маркерами ArUco в OpenCV [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://waksoft.susu.ru/2020/03/25/dopolnennaya-realnost-s-markerami-aruco-v-opencv/ (дата обращения 15.01.2025).

23. Альтернативная энергия. Значение солнечной инсоляции. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.betaenergy.ru/insolation/orenburg/ (дата обращения 15.01.2025).

24. Dale D. Automated ground maintenance and health management for autonomous unmanned aerial vehicles: Thesis (M. Eng.) - Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, 2007. - P. 43-49, 32-36.

25. ЭкоТехника. Способ беспроводной зарядки БПЛА. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://ecotechnica.com.ua/technology/3522-kak-bez-provodov-zaryadit-dron-na-letu-pridumali-

v-get-video.html (дата обращения 15.01.2025).

26. Van Blyenburgh P. Unmanned Aircraft Systems: The Current Situation [Text] / P. Van Blyenburgh // EASA Workshop on UAV, EASA, 2008 [Online].

27. Lithium Batteries: Science and Technology [Text] / Nazri G.-A., Pistoia G. (Eds.). - Springer, 2009.- ISBN 978-0-387-92674-2.

28. Pandey P. Aerial path planning using metaheuristics: A survey / P. Pandey, A. Shukla, R. Tiwari // 2017 Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 22-24 February 2017, Coimbatore, India. - 2017. - Pp. 1-7. - https://doi.org/10.1109/ICECCT.2017.8118040

29. A comparative study of meta-heuristic algorithms for solving UAV path planning / S. Ghambari, J. Lepagnot, L. Vermeulen-Jourdan, L. Idoumghar // 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI). - 2018. - Pp. 174-181.

30. Zhao Y. Survey on computational-intelligence based UAV path planning / Y. Zhao, Z.Zheng, Y. Liu // Knowledge-Based Systems. - 2018. - Vol. 158. - Pp. 54-64. - https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.05.033

31. Overview of Path-Planning and Obstacle Avoidance Algorithms for UAVs: A Comparative Study / M. Radmanesh, M. Kumar, P. H. Guentert, M. Sarim // Unmanned Systems. - 2018. -Vol. 6. - Pp. 95-118. - https://doi.org/10.1142/S2301385018400022

32. A Survey on Machine-Learning Techniques for UAV-Based Communications / P. S. Bithas, E. T. Michailidis, N. Nomikos [et al.] // Sensors. - 2019. - Vol. 19. - № 23. - Pp. 1-39. - https://doi.org/10.3390/s19235170

33. Mulgaonkar Y. Automated recharging for persistence missions with multiple micro aerial vehicles: Thesis (M. Eng.) - University of Pennsylvania, Dept. of Mechanical Engineering and Applied Mechanics 2012.

34. Artificial Intelligence Aided Next Generation Networks Relying on UAVs / X. Liu, M. Chen, 4Y. Liu [et al.] // IEEE Wireless Communications. - 2021. - Vol. 28. - № 1. - Pp. 120-127. - https://doi.org/10.1109/MWC.001.2000174

35. Improved artificial bee colony algorithm-based path planning of unmanned autonomous helicopter using multi-strategy evolutionary learning / Z. Han, M. Chen, S. Shao, Q. Wu // Aerospace Science and Technology. - 2022. - Vol. 122. - № 107374. -https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.107374

36. Route planning for unmanned aerial vehicle (UAV) on the sea using hybrid differential evolution and quantum-behaved particle swarm optimization / Y. Fu, M. Ding, C. Zhou, H. Hu // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. - 2013. - Vol. 43. - № 6. - Pp. 14511465. - https://doi.org/10.1109/TSMC.2013.2248146

37. Yin Z. A multiuser detector based on artificial bee colony algorithm for DS-UWB systems / Z. Yin, X. Liu, Z. Wu // The Scientific World Journal. - 2013. - Vol. 2013. - Pp. 1-8. - https://doi.org/10.1155/2013/547656

38. Karaboga D. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: rtificial bee colony (ABC) algorithm / D. Karaboga, B. Basturk // Journal of Global Optimization. - 2007. -Vol. 39. - Iss. 3. - Pp. 459-471. - https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x

39. He C. A pseudo-label guided artificial bee colony algorithm for hyperspectral band selection / C. He, Y. Zhang, D. Gong // Remote Sensing. - 2020. - Vol. 12. - No. 20. - Pp. 34-56.

40. Artificial bee colony algorithm based on information learning / W.-F. Gao, L.-L. Huang, S.-Y. Liu, C. Dai // IEEE Transactions on Cybernetics. - 2015. - Vol. 45. - № 12. - Pp. 28272839.

41. An Improved Artificial Bee Colony Algorithm based on Beetle Antennae Search / L. Cheng, M. Yu, J. Yang, Y. Wang // 2019 Chinese Control Conference (CCC), 27-30 July 2019, Guangzhou, China. - 2019. - Pp. 2312-2316.

42. A Review on Autonomous Vehicles: Progress, Methods and Challenges / D. Parekh, N. Poddar, A. Rajpurkar [et al.] // Electronics. - 2022. - Vol. 11. - № 14. - Pp. 1-18.

43. Clark V. Sea Power 21: Projecting Decisive Joint Capabilities. - URL: https://www.usni.org/magazines/proceedings/2002/october/sea-power-21-projecting-decisivejoint-capabilities (дата обращения: 03.12.2024).

44. Burt K. Manackable Power Systems: An Assessment of Current & Future Fuel Cell Technologies. - URL: http://www.crane.navy.mil (дата обращения: 03.02.2025).

45. Wu Y. A sequencing model for a team of aircraft landing on the carrier / Y. Wu, L. Sun, X. Qu // Aerospace Science and Technology. - 2016. - Vol. 54. - Pp. 72-87.

46. Morphing control of a new bionic morphing UAV with deep reinforcement learning / D. Xu, Z. Hui, Y. Liu, G. Chen // Aerospace Science and Technology. - 2019. - Vol. 92. - Pp. 232-243.

47. Deterministic policy gradient algorithms / D. Silver, G. Lever, N. Heess [et al.] // 31st International Conference on Machine Learning, Beijing, China.- 2014. - Vol. 32. - Pp. 387-395.

48. Ai S. A real-time fault diagnosis method for hypersonic air vehicle with sensor fault based on

the auto temporal convolutional network / S. Ai, J. Song, G. Cai // Aerospace Science and Technology. - 2021. - Vol. 119. - № 107220.

49. Advances in Integrated System Health Management for mission-essential and safety-critical aerospace applications / K. Ranasinghe, R. Sabatini, A. Gardi [et al.] // Progress in Aerospace Sciences. - 2022. - Vol. 128. - № 100758.

50. Isufaj R. Multi-UAV Conflict Resolution with Graph Convolutional Reinforcement Learning / R. Isufaj, M. Omeri, M. Piera // Applied Sciences. - 2022. - Vol. 12. - № 2. - Pp. 1-14.

52. Zhang H. Robust stability analysis for interval Cohen-Grossberg neural networks with unknown time-varying delays / H. Zhang, Z. Wang, D. Liu // IEEE Transactions on Neural Networks. - 2008. - Vol. 19. - № 11. - Pp. 1942-1955.

52. Song Q. Stability analysis of Cohenen «Grossberg neural network with both time-varying and continuously distributed delays» / Q. Song, J. Cao // Journal of Computational and Applied Mathematics. - 2006. - Vol. 197. - № 1. - Pp. 188-203.

53. Гизатуллин Р.М., Дроздиков В.А., Константинов Э.С. Моделирование функционирования элементов электронных систем БПЛА при воздействии излучаемых электромагнитных помех высоковольтной линии электропередачи // Вестник Казанского государственного энергетического университета, 2019, Т. 11, № 4(44), С. 13-21.

54. Вильнер В.Г., Ларюшин А. И., Рябокуль А.С. Оптико-электронные высотомеры-скоростемеры на основе полупроводниковых лазеров для БПЛА // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2015. № 5-6. С. 127-133.

55. Варенов А.А. Структура и динамическая модель электропривода с импульсным управлением для беспилотного летательного аппарата мониторинга энергообъектов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 5-6. С. 78-83.

56. Вильнер В.Г., Волобуев В.Г., Ларюшин А.И., Рябокуль А.С. Новые методы повышения энергии зондирующего излучения импульсных дальномеров-высотомеров на основе полупроводнгиковых лазеров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2013. № 11-12. С. 33-37.

Авторы публикации

Воденников Дмитрий Александрович **–** ПАО «Россети Урал».

Жилкина Юлия Викторовна – канд. экон. наук, ПАО «Федеральная сетевая компания - Россети». *ORCID*: http://orcid.org/0000-0001-7066-8848 Email автора: zhilkina.yulia@gmail.com*

References

1. The main provisions (Concept) of the technical policy in the Russian electric power industry for the period up to 2030 [Electronic resource] – Access mode: http://energyexpert.ru/media/em/concept_2030.pdf

2. The Regulation of PJSC ROSSETI "On the unified Technical Policy in the electric grid complex" (new edition) [Electronic resource] – Access mode: https://www.rosseti.ru/investment/science/tech/doc/tehpolitika_02.04.2021.pdf

3. Fetisov V.S., Akhmerov Sh.R., Sizonenko R.V. Evaluation of schemes for building contact devices in landing platforms for recharging electric UAVs with vertical takeoff and landing / Electrotechnical and information complexes and systems, No. 2, vol. 10. 2014 - pp. 138-144.

4. Zhukov D.R., Mikhailov V.A. Research of devices for charging UAVs and ways of its implementation – International scientific journal "BULLETIN OF SCIENCE" No. 7 (76) Volume 2. July 2024 – pp. 428-434.

5. Unmanned aircraft: terminology, classification, current state / V. S. Fetisov, L. M. Neugodnikova, V. V. Adamovsky, R. A. Krasnoperov; edited by V. S. Fetisov. Ufa: FOTON, 2014. 217 p. URL:http://vositef . url.ph/index.files/PUBL/UAV2014.pdf (accessed December 25, 2024).

6. Kurs A. et al. Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances [Text] / A. Kurs et al. // Science. - 2007. - Vol. 317. - № 6. - P. 83-86.

7. Marshall P.T. Power line sentry charging. US Patent 7318564. Publ. 15.01.2008.

8. Kemper P. UAV Consumable Replenishment: Design Concepts for Automated Service Stations [Text] / P. Kemper, K. Suzuki, J. Morrison // Journal of Intelligent and Robotic Systems. - 2011. - Vol. 61. - № 1. - P. 369-397.

9. An automatic charging and maintenance station for unmanned aerial vehicles and an unmanned aerial vehicle working in conjunction with it: application 2019113393, Russian. The Federation: IPC B 64 From 39/02 / Afanasyev Ilya Mikhailovich (RU), Galimov Musa Muzagitovich (RU), Lipatov Alexander Nikolaevich (RU); patent holder: Autonomous Non-profit Organization of Higher Education Innopolis

University (RU). – No. RU 2 721 048 C1; Application date: 04/29/2019; published 05/15/2020 Issue no. 14 – 34 p.

10. Base station of an unmanned aerial vehicle: application 2020115010, Russian The Federation: IPC B 64 F 1/36 / Pavel Vladimirovich Yakovlev (RU); patent holder: Limited Liability Company IT SOKOL (RU). – No. RU 200 137 U1; Application date: 04/28/2020; published on 10/07/2020 byul. no. 28 – 2 p.

11. Take-off and landing platform for unmanned aerial vehicles: application 2020107531, Russian The Federation: IPC B 64 C 2201/18 / Panfilov Anton Vladimirovich (RU); patent holders: Limited Liability Company "UNMANNED SYSTEMS" (RU), Limited Liability Company "Scientific and Production Group "TRADITION" (RU), Limited Liability Company "T-SMART" (RU) – no. RU 199 914 U1; Application date: 02/19/2020; publ. 28/0.2020 Bul. no. 28 – 7 p. byul. No. 28 – 7 p.

12. Ulanov S.I. Analysis of the possibilities of using aircraft in monitoring the state of the terrain/S.I. Ulanov, O.A. Krivodubsky, A.A. Nikitina Problems of Artificial Intelligence (International Peer-Reviewed Scientific Journal "Problems of Artificial Intelligence"), ISSN 2413-7383. 2023. № 3(30).

13. Safronova I.G., Schneider N.V., Tarbeev A.S. TRADITIONAL AND ALTERNATIVE METHODS OF LIGHTNING PROTECTION OF OBJECTS//The Scientific Heritage. 2020. №55-1. S. 62-64.14. Electrical Installation Rules: all current sections of the 6th and 7th editions with amendments and additions as of February 1, 2015. - Moscow: KNORUS, 2015. - 488 p.

14. Правила устройства электроустановок: все действующие разделы 6-го и 7-го изданий с изменениями и дополнениями по состоянию на 1 февраля 2015 года. - Москва: КНОРУС, 2015. - 488 с.

15. Mitrofanov S. V. Rules of electrical installations and safety technology: a practical guide / S. V. Mitrofanov, K. R. Valiullin, A.D. Chernova; Orenburg State University. Orenburg: OSU, 2018. 107 p.

16. Vikulov O.V. Promising helicopter-type unmanned aerial vehicles of domestic production/O.V. Vikulov. Innovation and expertise. 2023 Issue 1 (35)

17. Nugent T. J., Kare J. T. Power for UAVs. White Paper of Laser Motive, 2010 [Online]. Available: http://lasermotive.com/wp-content/uploads/2010/04/Wire-less-Power-for-UAVs-March2010.pdf

18. Soluyanov Yu.I., Fedotov A.I., Akhmetshin A.R. and others. Updating the specific electrical loads of apartment buildings in Moscow and the Moscow region // Electricity. 2023. No. 7. pp. 52-65.

19. Dubrovin V.S., Marinichenko A.A. Modernization of the transmission line data transmission system at the Ruzaevka-Arzamas site - Electronics and information technologies. Saransk:2009- 20s.

20. ALPHA EMS. Lightning protection cable with optical fiber. [Electronic resource] – Access mode: https://alfa-ems.ru/info/grozozashhitnyiy-tros-s-opticheskim-voloknom

21. Vodennikov D.A., Zhilkina Yu.V. Research Committee V3 "Substations and electrical installations" // Power Engineering abroad. Appendix to the magazine "Energetik". – № 12, 2022. – № 1-2. – Pp. 89-96.

22. Augmented reality with ArUco markers in OpenCV [Electronic resource] – Access mode: https://waksoft.susu.ru/2020/03/25/dopolnennaya-realnost-s-markerami-aruco-v-opencv/

23. Alternative energy. The value of solar insolation. [Electronic resource] – Access mode: https://www.betaenergy.ru/insolation/orenburg /.

24. Dale D. Automated ground maintenance and health management for autonomous unmanned aerial vehicles: Thesis (M. Eng.) - Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, 2007. - P. 43-49, 32-36.

25. Ecotechnics. The method of wireless charging of the UAV. [Electronic resource] – Access mode: https://ecotechnica.com.ua/technology/3522-kak-bez-provodov-zaryadit-dron-na-letu-pridumali-v-get-video.html

26. Van Blyenburgh P. Unmanned Aircraft Systems: The Current Situation [Text] / P. Van Blyenburgh // EASA Workshop on UAV, EASA, 2008 [Online].

27. Lithium Batteries: Science and Technology [Text] / Nazri G.-A., Pistoia G. (Eds.). - Springer, 2009.- ISBN 978-0-387-92674-2.

28. Pandey P. Aerial path planning using metaheuristics: A survey / P. Pandey, A. Shukla, R. Tiwari // 2017 Second International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT), 22-24 February 2017, Coimbatore, India. - 2017. - Pp. 1-7. - https://doi.org/10.1109/ICECCT.2017.8118040

29. A comparative study of meta-heuristic algorithms for solving UAV path planning / S. Ghambari, J. Lepagnot, L. Vermeulen-Jourdan, L. Idoumghar // 2018 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI). - 2018. - Pp. 174-181.

30. Zhao Y. Survey on computational-intelligence based UAV path planning / Y. Zhao, Z.Zheng, Y. Liu // Knowledge-Based Systems. - 2018. - Vol. 158. - Pp. 54-64. - https://doi.org/10.1016/j.knosys.2018.05.033

31. Overview of Path-Planning and Obstacle Avoidance Algorithms for UAVs: A Comparative Study / M. Radmanesh, M. Kumar, P. H. Guentert, M. Sarim // Unmanned Systems. - 2018. -Vol. 6. - Pp. 95-118. - https://doi.org/10.1142/S2301385018400022

32. A Survey on Machine-Learning Techniques for UAV-Based Communications / P. S. Bithas, E. T. Michailidis, N. Nomikos [et al.] // Sensors. - 2019. - Vol. 19. - № 23. - Pp. 1-39. - https://doi.org/10.3390/s19235170

33. Mulgaonkar Y. Automated recharging for persistence missions with multiple micro aerial vehicles: Thesis (M. Eng.) - University of Pennsylvania, Dept. of Mechanical Engineering and Applied Mechanics 2012.

34. Artificial Intelligence Aided Next Generation Networks Relying on UAVs / X. Liu, M. Chen, 4Y. Liu [et al.] // IEEE Wireless Communications. - 2021. - Vol. 28. - № 1. - Pp. 120-127. - https://doi.org/10.1109/MWC.001.2000174

35. Improved artificial bee colony algorithm-based path planning of unmanned autonomous helicopter using multi-strategy evolutionary learning / Z. Han, M. Chen, S. Shao, Q. Wu // Aerospace Science and Technology. - 2022. - Vol. 122. - № 107374. -https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.107374

36. Route planning for unmanned aerial vehicle (UAV) on the sea using hybrid differential evolution and quantum-behaved particle swarm optimization / Y. Fu, M. Ding, C. Zhou, H. Hu // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems. - 2013. - Vol. 43. - № 6. - Pp. 14511465. - https://doi.org/10.1109/TSMC.2013.2248146

37. Yin Z. A multiuser detector based on artificial bee colony algorithm for DS-UWB systems / Z. Yin, X. Liu, Z. Wu // The Scientific World Journal. - 2013. - Vol. 2013. - Pp. 1-8. - https://doi.org/10.1155/2013/547656

38. Karaboga D. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: rtificial bee colony (ABC) algorithm / D. Karaboga, B. Basturk // Journal of Global Optimization. - 2007. -Vol. 39. - Iss. 3. - Pp. 459-471. - https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x

39. He C. A pseudo-label guided artificial bee colony algorithm for hyperspectral band selection / C. He, Y. Zhang, D. Gong // Remote Sensing. - 2020. - Vol. 12. - No. 20. - Pp. 34-56.

40. Artificial bee colony algorithm based on information learning / W.-F. Gao, L.-L. Huang, S.-Y. Liu, C. Dai // IEEE Transactions on Cybernetics. - 2015. - Vol. 45. - № 12. - Pp. 28272839.

41. An Improved Artificial Bee Colony Algorithm based on Beetle Antennae Search / L. Cheng, M. Yu, J. Yang, Y. Wang // 2019 Chinese Control Conference (CCC), 27-30 July 2019, Guangzhou, China. - 2019. - Pp. 2312-2316.

42. A Review on Autonomous Vehicles: Progress, Methods and Challenges / D. Parekh, N. Poddar, A. Rajpurkar [et al.] // Electronics. - 2022. - Vol. 11. - № 14. - Pp. 1-18.

43. Clark V. Sea Power 21: Projecting Decisive Joint Capabilities. - URL: https://www.usni.org/magazines/proceedings/2002/october/sea-power-21-projecting-decisivejoint-capabilities (дата обращения: 03.12.2024).

44. Burt K. Manackable Power Systems: An Assessment of Current & Future Fuel Cell Technologies. - URL: http://www.crane.navy.mil (дата обращения: 03.02.2025).

45. Wu Y. A sequencing model for a team of aircraft landing on the carrier / Y. Wu, L. Sun, X. Qu // Aerospace Science and Technology. - 2016. - Vol. 54. - Pp. 72-87.

46. Morphing control of a new bionic morphing UAV with deep reinforcement learning / D. Xu, Z. Hui, Y. Liu, G. Chen // Aerospace Science and Technology. - 2019. - Vol. 92. - Pp. 232-243.

47. Deterministic policy gradient algorithms / D. Silver, G. Lever, N. Heess [et al.] // 31st International Conference on Machine Learning, Beijing, China.- 2014. - Vol. 32. - Pp. 387-395.

48. Ai S. A real-time fault diagnosis method for hypersonic air vehicle with sensor fault based on the auto temporal convolutional network / S. Ai, J. Song, G. Cai // Aerospace Science and Technology. - 2021. - Vol. 119. - № 107220.

49. Advances in Integrated System Health Management for mission-essential and safety-critical aerospace applications / K. Ranasinghe, R. Sabatini, A. Gardi [et al.] // Progress in Aerospace Sciences. - 2022. - Vol. 128. - № 100758.

50. Isufaj R. Multi-UAV Conflict Resolution with Graph Convolutional Reinforcement Learning / R. Isufaj, M. Omeri, M. Piera // Applied Sciences. - 2022. - Vol. 12. - № 2. - Pp. 1-14.

52. Zhang H. Robust stability analysis for interval Cohen-Grossberg neural networks with unknown time-varying delays / H. Zhang, Z. Wang, D. Liu // IEEE Transactions on Neural Networks. - 2008. - Vol. 19. - № 11. - Pp. 1942-1955.

52. Song Q. Stability analysis of Cohenen «Grossberg neural network with both time-varying and continuously distributed delays» / Q. Song, J. Cao // Journal of Computational and Applied Mathematics. - 2006. - Vol. 197. - № 1. - Pp. 188-203.

53. Gizatullin R.M., Drozdikov V.A., Konstantinov E.S. Modeling the functioning of elements of UAV electronic systems exposed to radiated electromagnetic interference from a high-voltage power

transmission line // Bulletin of Kazan State Power Engineering University, 2019, Vol. 11, No. 4(44), pp. 13-21.

54. Vilner V.G., Laryushin A.I., Ryabokul A.S. Optical-electronic altimeters-speedometers based on semiconductor lasers for UAVs // Bulletin of higher educational institutions. Problems of energy. 2015. No. 5-6. pp. 127-133.

55. Varenov A.A. Structure and dynamic model of an electric drive with pulse control for an unmanned aerial vehicle for monitoring energy facilities // Bulletin of higher educational institutions. Problems of energy. 2013. No. 5-6. P. 78-83.

56. Vilner V.G., Volobuev V.G., Laryushin A.I., Ryabokul A.S. New methods for increasing the energy of probing radiation of pulsed rangefinders-altimeters based on semiconductor lasers // News of higher educational institutions. Problems of power engineering. 2013. No. 11-12. P. 33-37. EDN RWNYDP.

Authors of the publication

Dmitry A. Vodennikov **–** Rosseti Ural PJSC, Ekaterunburg, Russia

Yulia V. Zhilkina **–** Rosseti PJSC, Moscow, Russia. *ORCID*: http://orcid.org/0000-0001-7066-8848*
Email автора: zhilkina.yulia@gmail.com

Шифр научной специальности: 2.4.2. Электротехнические комплексы и системы

Получено ***29.01.2025 г.***
Отредактировано ***07.02.2025 г.***
Принято ***09.03.2025 г.***