

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



БЕСПИЛОТНЫЕ  
АППАРАТЫ  
«БПЛА – 2024»

Сборник статей  
Международного молодежного форума



Минск 2024

Учреждение образования  
«Белорусский государственный технологический университет»



# БЕСПИЛОТНЫЕ АППАРАТЫ «БПЛА – 2024»

Сборник статей  
Международного молодежного форума

Минск, 22–26 апреля 2024 г.



Минск 2024

УДК 623.746.4-519(082)

ББК 39.52я43

Б53

**Беспилотные аппараты «БПЛА – 2024» : сб. ст. Междунар. молодежного форума. Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорус. гос. технол. ун-т ; отв. за изд. И. В. Войтов. Минск : БГТУ, 2024. – 294 с. ISBN 978-985-897-184-7.**

В издании представлены научные статьи, освещающие вопросы применения в различных сферах беспилотных летательных аппаратов, особенности их создания и управления. Рассмотрены общие вопросы использования БПЛА, особенности визуализации и распознания объектов, математическое моделирование поведения БПЛА, особенности конструирования и изготовления деталей и узлов.

Адресовано практикам, преподавателям, научным работникам, аспирантам, студентам I и II ступени получения высшего образования, интересующимся современным состоянием и перспективами развития общества, науки и экономики.

## **РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

*ВОЙТОВ Игорь Витальевич*, ректор Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук, профессор (председатель);

*АЛИБАЕВ Тимур Лазович*, ректор Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева – КАИ;

*ФЛЕЙШЕР Вячеслав Леонидович*, проректор по научной работе Белорусского государственного технологического университета, кандидат технических наук, доцент;

*КАЛИНИЧЕНКО Александр Сергеевич*, директор центра «Научно-технологический парк БГТУ» Белорусского государственного технологического университета, доктор технических наук.

**ISBN 978-985-897-184-7**

© УО «Белорусский государственный  
технологический университет», 2024

---

## **ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ**

---

### **ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО ПРЕДСЕДАТЕЛЯ СОВЕТА РЕСПУБЛИКИ НАЦИОНАЛЬНОГО СОБРАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ Н.И. КОЧАНОВОЙ**

От имени Совета Республики Национального собрания Республики Беларусь и себя лично искренне приветствую вас на открытии I Международного молодежного форума по беспилотным аппаратам «БПЛА-2024».

В современном мире беспилотные авиационные системы формируют безграничные возможности для развития отраслей отечественной экономики и решения разнообразных мониторинговых задач.

Отрадно, что Белорусский государственный технологический университете в соответствии с запросами государства и общества, опираясь на опыт и разработки педагогического и научного сообщества, ведущих технологов и материаловедов, активно внедряет образовательные программы, инновационные технологии обучения и подготовки специалистов в области проектирования и эксплуатации беспилотных аппаратов.

Проводимое сегодня по инициативе университета мероприятие – это настоящий центр притяжения талантливой и предпримчивой молодежи, нацеленной на создание уникальных высокотехнологичных продуктов и практическое применение искусственного интеллекта. Именно от вас, молодых исследователей и изобретателей, вашего неравнодушия и эффективного участия в жизни нашей страны во многом зависят ее дальнейшее процветание и прогрессивное будущее.

Убеждена, что международный форум вдохновит молодых людей на реализацию инновационных идей, создание конкурентоспособной научноемкой продукции, будет способствовать воспитанию истинных патриотов своего Отечества с принципиальной общественно-гражданской позицией.

Искренне желаю всем участникам и организаторам крепкого здоровья, успехов, неиссякаемой энергии, новых результатов научного поиска и плодотворной деятельности на благо нашей родной Беларуси.

**ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО  
ГОСУДАРСТВЕННОГО СЕКРЕТАРЯ СОВЕТА  
БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
А.Г. ВОЛЬФОВИЧА**

Уважаемые участники, коллеги и гости I Международного молодежного форума по беспилотным аппаратам «БПЛА–2024»!

Для меня большая честь приветствовать всех вас на этом, вне всякого сомнения, важном форуме!

В течение следующих дней мы получим возможность услышать множество ярких и новаторских выступлений, познакомимся с передовыми технологиями и оборудованием, инновационной и высокотехнологичной продукцией.

Эволюционное развитие технологий, цифровизация и роботизация всех сфер человеческой деятельности оказывают глобальное влияние на мировую авиацию, формируя новые виды авиационной техники, сценарии ее применения, новые возможности и вызовы для сферы социально-экономического развития, безопасности граждан и национальной безопасности Республики Беларусь.

Курс Республики Беларусь, нацелен на развитие инновационной экономики, укрепление технологического суверенитета и повышение качества жизни граждан, что определяет необходимость динамичного и эффективного развития отрасли беспилотной авиации, обеспечивающей внутренние потребности экономики, формирующей мобилизационный потенциал Республики Беларусь и ориентированной на приоритетные внешние рынки государств, не совершающих в отношении Республики Беларусь, недружественных действий.

Вектор развития беспилотной авиации Республики Беларусь определяет развитие и формирование перспективного облика беспилотной авиации, в том числе в интересах развития высокотехнологичных отраслей экономики и совершенствования беспилотных авиационных систем как продукта, обеспечения технологического суверенитета Республики Беларусь, расширения инфраструктуры для безопасного применения беспилотных авиационных систем и наращивания кадрового потенциала отрасли беспилотной авиации.

Беспилотная авиация является развивающейся отраслью национальной экономики и связана с разработкой, изготовлением и эксплуатацией беспилотных авиационных систем. Развитие технологий радиосвязи и микроэлектроники, миниатюризация устройств и компонентов, повышение их доступности в гражданском секторе привели к созданию

нового класса воздушных судов, управляемых и контролируемых дистанционно, а также к появлению широкого спектра рыночного применения беспилотных авиационных систем и входящих в их состав беспилотных воздушных судов.

В отрасли беспилотной авиации государственные корпорации и организации с государственным участием осуществляют деятельность преимущественно в роли заказчиков. В ближайшей перспективе будет осуществляться совершенствование имеющихся научных разработок и концентрация на развитии узкоспециализированных компетенций, укреплению роли существующих малых технологических предприятий, а также будет уделено особое внимание в этом вопросе развитию университетской науки.

Хотел бы пожелать всем участникам Международного молодежного форума плодотворной работы, новых друзей, знаний, опыта и впечатлений, результативных дискуссий, укрепления деловых связей и достижения поставленных целей! Уверен, что проведение этого значимого мероприятия внесет свой вклад в развитие научного и образовательного сотрудничества между нашими странами!

**ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО  
ЗАМЕСТИТЕЛЯ ПРЕМЬЕР-МИНИСТРА  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
П.А. ПАРХОМЧИКА**

**Уважаемый президиум, уважаемые участники Форума!**

Последние события на мировой арене и рынке беспилотных технологий еще раз наглядно продемонстрировали всему миру, что от его стабильности и эффективности зависят не только независимость и безопасность отдельных государств, но и решение ряда актуальных задач в различных отраслях народного хозяйства.

Поэтому проведение такого научно-технического мероприятия Международного формата, посвященного вопросам инноваций в отрасли беспилотных технологий, является крайне актуальным и важным.

Сфера беспилотных технологий объединяет множество других современных отраслей экономики, которым дает поле для развития (вопросы искусственного интеллекта, электроники и кибербезопасности и др.). В свою очередь стремительное развитие информационных компьютерных технологий и цифровых коммуникаций стало неотъемлемой частью жизнедеятельности молодых людей и активно влияет на их сознание, становление и патриотическое воспитание.

Одна из основных проблем беспилотной отрасли – нехватка грамотных и профессиональных специалистов. Большие компании пытаются «возвращать» молодых экспертов под себя и замечать их на этапе обучения в школах или вузах.

Выбор Вашего университета в качестве площадки для проведения столь значимого научного события неслучаен. За годы существования в Вашем учебном заведении сформировался творческий коллектив единомышленников и ученых, который сегодня уверенно решает важнейшие материаловедческие задачи производственно-технологического и социально-экономического развития ведущих отраслей экономики Беларуси. Ваши выпускники успешно работают во многих отраслях экономики страны и за рубежом. Среди них известные ученые, руководители крупнейших предприятий и просто высококвалифицированные преданные своему делу и своей стране специалисты.

Практикоориентированность данного Форума свидетельствует о том, что исключительно важна роль отраслевых министерств, ведомств, концернов в наращивании финансирования особенно прикладных НИОК(Т)Р во взаимодействии с вузовской и академической наукой по такому направлению, как разработка и применение беспилотных

технологий в промышленности. При этом следует активнее использовать возможность получения софинансирования со стороны государства путем участия ученых и профильных предприятий и организаций частной формы собственности в проектах, представляющих интерес для их развития, входящих в государственные программы ГПНИ, ГНТП и ГПИР.

Данное мероприятие станет новой отправной точкой взаимодействия в области научно-технической и образовательной деятельности, включая реализацию совместных проектов по линии Союзного государства, а также развитие образовательного сотрудничества с университетами Российской Федерации, Республики Узбекистан, Китайской Народной Республики по таким направлениям как создание и реализация совместных образовательных программ, академические обмены, повышение квалификации, стажировки.

Проведение любого мероприятия является весьма ответственной задачей, а проведение столь масштабного Международного Форума как нынешний I Международный молодежный форум по беспилотным аппаратам «БПЛА–2024» потребовало огромных усилий десятка людей, бессонных ночей и напряженной работы. Но все усилия были потрачены не зря, и сегодня я хочу поздравить Вас с открытием и началом работы Форума.

Уверен, что высокий уровень его проведения будет лакмусовой бумагой и еще одним подтверждением профессионализма команды, которую мы называем коллективом Белорусского государственного технологического университета, а широкое международное представительство мировых ученых и университетов лучше любых рейтингов и опросов подтверждает Ваш высокий международный авторитет.

Уверен, что инновационные разработки и технологии, представленные в рамках работы Форума послужат импульсом дальнейшего развития отраслей беспилотных технологий не только дружественных Беларуси и России, но и других стран, а новые научные идеи являются основой дальнейшего развития сотрудничества ученых наших стран.

**ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО  
МИНИСТРА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
А.А. КУЛИКА**

**Уважаемые участники!**

Открывающийся первый Международный молодежный форум по беспилотным аппаратам «БЛА – 2024» является знанием стремительного развития инноваций в этой сфере и чрезвычайной важности внедрения дистанционных технологий в реальный сектор экономики, особенно в сложных производственных процессах для повышения качества и скорости выполняемых работ, снижения рисков и облегчения условий труда.

Беспилотные технологии широко применяются в современном лесном хозяйстве Беларуси, являясь одним из важных векторов его автоматизации и цифровизации. Уже более 10 лет БЛА успешно используются для мониторинга состояния лесного фонда и оценки масштабов неблагоприятных стихийных явлений в лесах для оперативной ликвидации их последствий. В настоящее время такой беспилотной техникой оснащены практически все лесохозяйственные учреждения страны, предприятия лесоустройства и лесозащиты.

Под эгидой Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь на базе отраслевой лаборатории защиты леса БГТУ впервые в стране проведены исследования эффективности применения агродронов для ликвидации очагов вредителей и болезней. Было выявлено, что внесение защитных препаратов при помощи БЛА позволяет существенно снизить затраты на обработку, повысить скорость и точность выполняемых операций, исключить воздействие вредного производственного фактора на работников лесного хозяйства.

С текущего года лесозащитными службами будет проводиться внедрение в отрасль Методики проведения работ по защите лесных питомников, лесосеменных плантаций и насаждений от вредоносных организмов с использованием беспилотных летательных аппаратов. Своим опытом мы будем рады поделится со всеми заинтересованными участниками.

Считаю, что молодежный форум по беспилотным аппаратам является хорошей международной площадкой для обмена мнениями и консолидации усилий молодого поколения научного сообщества в области конструирования и эффективного практического применения беспилотной

техники в различных отраслях народного хозяйства. Уверен, что будущее наших стран, в том числе их экономическая и экологическая безопасность зависит во многом от успешности вашей работы в области создания и внедрения беспилотных технологий.

Хотелось бы пожелать всем участникам форума плодотворной работы, вдохновения новыми идеями, интересных научных контактов и больших успехов на пути созидания инноваций – а значит нашего будущего!

**ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО  
МИНИСТРА ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
А.И. ИВАНЦА**

**Уважаемые участники форума!**

От имени Министерства образования Республики Беларусь поздравляю вас с началом работы Международного молодежного форума по беспилотным аппаратам «БПЛА – 2024» и приветствую молодых ученых, студентов, преподавателей, сотрудников организаций Республики Беларусь и ближнего и дальнего зарубежья.

Рассматриваемая проблематика является чрезвычайно актуальной для мирового сообщества, а сам форум – это мероприятие, в рамках которого создаются условия для выработки важных решений: всестороннее обсуждение актуальных вопросов в области производства и применения беспилотных аппаратов, консолидация отечественного и международного опыта, выработка рекомендаций для эффективного развития беспилотной техники, презентации инновационной отечественной и зарубежной продукции предприятий-разработчиков и поставщиков беспилотных аппаратов, обмен практическим опытом, обсуждение путей развития и потребностей отраслей экономики.

Беспилотная техника, особенно авиационная, стремительно вытесняет традиционную авиацию в решении задач мониторинга местности и объектов и в других отраслях, предоставляя удаленным потребителям оперативную информацию в режиме реального времени для принятия своевременных управлений решений. Создание беспилотных комплексов относится к наукоемкой высокотехнологичной отрасли, требующей значительных капиталовложений в научные исследования, технологии, конструктивные разработки и производство. В связи с этим такая продукция востребована на отечественном и мировом рынках. В связи с этим стоит отметить высокую актуальность проводимого форума, на котором будут обсуждены такие важные направления, как развитие инновационных технологий обучения и подготовки специалистов в области проектирования, разработки и эксплуатации беспилотных аппаратов; практическое использование беспилотных аппаратов; использование беспилотной техники в различных отраслях народного хозяйства и ряд других наиважнейших направлений.

Большие надежды мы возлагаем на научно-исследовательскую деятельность молодого поколения: студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых. Ведь именно им предстоит в ближайшей перспективе

противостоять будущим вызовам современности и решать основные задачи отрасли. Считаю, что форум «БПЛА-2024» будет способствовать увеличению вклада науки, производства, высшей школы в решение важных социально-экономических задач, стоящих перед Республикой Беларусь, а представленные к обсуждению материалы будут с интересом встречены учеными и практиками, станут предметом дальнейших исследований заинтересованных лиц.

Желаю участникам форума интересных и плодотворных дискуссий, творческого поиска, успехов в реализации своих идей, новых научных достижений!

# **БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ – ВАЖНЕЙШИЙ ЭЛЕМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ БЕЛАРУСИ**

**И.В. ВОЙТОВ**

**Добрый день, уважаемые участники Международного молодежного форума по беспилотным аппаратам «БПЛА – 2024»!**

Для нас огромная честь сегодня приветствовать в стенах Белорусского государственного технологического университета, который является крупным научно-инновационным центром Беларуси, ученых, специалистов не только по инновационным технологиям обучения и подготовки специалистов в области проектирования, разработки и эксплуатации беспилотных аппаратов, их практическому использованию, но и специалистов-материаловедов в более узких областях науки и техники.

Республика Беларусь входит в перечень стран с высоким уровнем научно-технологического развития. За годы суверенитета научный потенциал нашей республики не только сохранен, но и существенно укреплен.

Научно-технологическое развитие Беларуси определяется комплексом различных факторов, в том числе разработкой и внедрением передовых инновационных технологий и техники, к числу которых относятся беспилотные технологии.

Концепция национальной безопасности – один из основных документов современного государства. Концепция, утвержденная Указом Президента Республики Беларусь от 9 ноября 2010 г. №575, и проект обновленной Концепции выделяют 9 основных сфер национальной безопасности: политическую, экономическую, научно-технологическую, социальную, демографическую, информационную, военную, экологическую, а также новую – биологическую. Научно-технологическая сфера включает в себя приоритетность развития высоких технологий, включая беспилотные технологии. Беспилотные технологии – одна из самых высокотехнологичных областей, включающая не только элементы обслуживания беспилотных аппаратов, но и материаловедение, 3D-моделирование и конструирование, оптоэлектронику, СВЧ-связь. Научные исследования по указанным выше направлениям активно проводятся в Белорусском государственном технологическом университете в рамках договоров на выполнение НИОК(Т)Р, в том числе с предприятиями и организациями реального сектора экономики. Все это и предопределило проведение на

базе БГТУ такого масштабного для нашей республики мероприятия, как Международный молодежный форум по беспилотным аппаратам.

Создание и развитие в республике собственной научно-технологической и производственной базы для разработки и производства современных беспилотных авиационных комплексов (далее – БАК), сверхлегких малоразмерных пилотируемых комплексов многофункционального применения является одной из актуальных тематик научных исследований в области беспилотных технических систем в Беларуси.

Бурное развитие технологий беспилотной авиации в последние 5 лет создал спрос многих сфер экономики на использование беспилотных летательных аппаратов (далее – БЛА) в своей деятельности. Это и логично, поскольку применение БЛА имеет ряд неоспоримых преимуществ: возможность съемки камерами и лазерами разной функциональности с высоким разрешением; низкая стоимость по сравнению с традиционными методами аэросъемки, оперативность, экологическая безопасность, возможность использования в любое время суток и при любых погодных условиях и т.д.

Беспилотные авиационные комплексы (БАК) относятся к наукоемкой высокотехнологичной авиационной отрасли, требующей значительных капиталовложений в научные исследования, технологии, конструктивные разработки и производство. Данный вид продукции восстановлен на мировом рынке и характеризуется высокой добавленной стоимостью.

Прогнозы крупнейших мировых аналитических агентств свидетельствуют о росте как объемов продаж беспилотников, так объемов услуг в денежном выражении, реализуемых с использованием «дронов». Среди приоритетных направлений использования БЛА прогнозируются сферы строительства и управления недвижимостью; сельского и лесного хозяйства. БГТУ активно развивает указанные направления. И сфера беспилотной авиации является для университета одним из приоритетных направлений как образовательной, так и научной деятельности.

В настоящее время применение БЛА уже не кажется чем-то экзотичным. Производители беспилотников предлагают большой ряд моделей, среди которых можно подобрать аппарат для определенных целей, например:

### **В области лесного хозяйства**

посадка семян, мониторинг состояния взрослых деревьев, безопасная лесозаготовка, картирование и контроль состояния леса, инвентаризация лесных массивов, обнаружение и контроль несанкционированной деятельности (браконьеры), анализ, защита и планирование лесного фонда;

**В области сельского хозяйства**

распыление удобрений и средств защиты растений и почвы, получение актуальной и точной информации о площади, рельефе, специфике грунта полей, состоянии растений и почв, инвентаризация сельхозугодий, оценка всхожести сельскохозяйственных культур, прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур, использование вместо собак при выпасе скота;

**в области электроэнергетики**

обследование электростанций, линий электропередач и теплотрасс;

**в нефтегазовом секторе**

получение информации из труднодоступных мест, обследования нефтяной инфраструктуры, утечек и нарушений, определение районов аварий и их снижение,

обнаружение несанкционированных работ;

**в области безопасности**

анализ дорожно-транспортных происшествий, мониторинг крупных мероприятий, выслеживание преступников, поисково-спасательные операции, обнаружение чрезвычайной ситуации;

**в области проведения научных исследований**

картирование, исследование местности по научным программам в области археологии, геологии, биологии и других наук;

**в области космических исследований;****в военно-технической области****в области экологического мониторинга**

борьба с браконьерами и незаконными рубками, мониторинг состояния лесов, обнаружение пожаров, мониторинг таяния ледников;

**в экономике;****в области логистики и производства**

инвентаризация складских помещений, доставка грузов (беспилотная авиапочта);

**в области строительства, включая состояние дорог и других сооружений дорожного строительства**

планирование и мониторинг строительных работ, определение границ участка, контроль за безопасностью, инспектирование строений.

В рамках международного сотрудничества проект «Образовательная среда для дронов» (2018–2022 гг.), что позволило БГТУ реализовать следующее:

- создан Учебный центр для работы с дронами;
- программу обучающих курсов по подготовке операторов беспилотных летательных аппаратов (далее – БЛА) для специалистов из разных сфер экономики. Обучение прошли более 600 специалистов;

- учебные курсы для бакалавриата «Беспилотные технологии в управлении недвижимостью» и магистратуры «Беспилотные технологии в экономике»;
- разрабатываются технологии по обработке данных, полученных с беспилотных летательных аппаратов;
- проводятся исследования по реализации новейших технологий в сфере беспилотной авиации для разных сфер экономики;
- анализируются мировые технологические решения по направлениям: производства БЛА и навесного оборудования (разнофункциональные камеры, лазеры); создания программных продуктов по обработке данных и пилотированию БЛА.

В настоящее время БГТУ заинтересован в реализации следующих направлений применения БЛА:

1. Разработка технологии использования беспилотных летательных аппаратов в управлении недвижимостью и земельными ресурсами, лесном и сельском хозяйстве
2. Кооперация космических технологий и беспилотных летательных аппаратов в управлении недвижимостью, лесным и сельским хозяйством

В Белорусском государственном технологическом университете с 2024 года будет осуществляться подготовка специалистов по специальности специального высшего образования «Проектирование и технология беспилотной техники» с присвоением квалификации «Инженер. Конструктор-технолог» с профилизациями

«Проектирование и технология беспилотных летательных аппаратов»,  
«Проектирование и технология беспилотной наземной техники»,

«Проектирование и технология водной техники» будет входить в группу специальностей 0722 «Производство материалов и изделий» и не имеет аналогов в Республике Беларусь.

Целью введения данной специальности является удовлетворение потребностей предприятий и организаций Республики Беларусь в квалифицированных специалистах в области проектирования, конструирования, инженерных расчетов и технологии производства беспилотной техники, которые будут обладать углубленными теоретическими знаниями и имеющими необходимые практические навыки в данной области. Развитие данного направление укрепит не только научно-технологическую безопасность страны, но и станет главным ориентиром в ее социально-экономическом развитии.

Потребность Беларуси в выпускниках данной специальности на ближайшие годы может составить более 25 человек ежегодно, исходя из динамики развития соответствующей сферы деятельности и заявок организаций и предприятий.

БГТУ давно и успешно осуществляет подготовку специалистов для предприятий Министерства промышленности Республики Беларусь, концерна «Белнефтехим», НАН Беларуси, учреждений высшего образования. В университете накоплен значительный учебно-методический, кадровый, материально-технический потенциал, разработаны циклы лекционных курсов, лабораторных и практических занятий, содержание учебных и производственных практик, близких к обновленной специальности.

Выпускающей кафедрой по подготовке специалистов с квалификаций «Инженер. Конструктор-технолог» по специальности «Проектирование и технология беспилотной техники» определена кафедра материаловедения и проектирования технических систем (МиПТС), которая совместно с выпускающими кафедрами полимерных композиционных материалов и механики и конструирования располагает всеми необходимыми научными и учебными лабораториями, оснащенными уникальным современным моделирующим и испытательным оборудованием (производство России, Германии, США, Австрии, Швеции и др.). Имеющееся оборудование соответствует мировому уровню и позволяет осуществлять подготовку специалистов со знанием современным методов проектирования, конструирования, получения и испытания полимерных композиционных и конструкционных материалов.

Основными направлениями научных исследований кафедры МиПТС являются:

- разработка и оптимизация технологий новых конструкционных материалов и покрытий, модифицированных наноструктурированными включениями, в том числе на основе углеродных наноматериалов;
- разработка и оптимизация технологий производства традиционных металлов и сплавов, а также изделий на их основе;
- разработка и оптимизация технологий наноструктурированных защитных вакуумно-плазменных покрытий;
- разработка энерго- и ресурсосберегающих технологий производства инструмента;
- исследование структурных, технологических и конструктивных факторов, обеспечивающих повышение эксплуатационных характеристик деталей машин, технологической оснастки и элементов конструкций.

Существенным признаком новизны новой специальности является изменение базовой подготовки специалиста, в компетенции которой войдет разработка, проектирование, испытание и усовершенствование беспилотной техники, предназначенной для бытовых и военных целей, отраслевых решений для геодезии, маркшейдерии, сельского и лесного

хозяйств, строительства, нефтегазового сектора, электроэнергетики, кадастра, безопасности, экологического мониторинга.

Подготовку кадров по специальности «Проектирование и технология беспилотной техники» предполагается осуществлять во взаимодействии организациями и предприятиями по выпуску беспилотной техники, научных учреждений и учреждений образования, использующих соответствующие технологии. Выпускникам данной специальности будет присваиваться квалификация «Инженер. Конструктор-технолог». Выпускники указанной специальности будут способны к профессиональной деятельности на различных предприятиях Республики Беларусь, среди которых КБ «Индела», ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», ОАО «Минский авиаремонтный завод», ГВТУП «Белспецвнештехника» совместно с СООО «Системтроникс», ОАО «Агат – системы управления» (некоторые элементы комплексов), ОАО «558-й авиационный ремонтный завод», «РУП «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов НАН РБ» совместно с ООО Hydromania и Военной академией Республики Беларусь, КБ «Беспилотные вертолёты», ООО «Мидивисана», КБ «Дисплей», ГВТУП Белспецвнештехника и дочернее ООО Белспецвнештехника (БСВТ) – Новые технологии, ОАО «Минский тракторный завод», ОАО «Минский автомобильный завод», ОАО «Пеленг», Научно-производственная компания ООО «КВАНД ИС», УП «Завод СВТ» и др.

Приобретение навыков конструирования и изготовления изделий из полимерных и композиционных материалов с использованием современных методов компьютерного проектирования составляет основное содержание процесса обучения. Профессиональная подготовка ориентирована на инновационную деятельность в области новых материалов, конструкций и технологий, специальных средств технологического оснащения для освоения производства новых изделий из полимерных и композиционных материалов.

Кафедра механики и конструирования активно сотрудничает с предприятиями, занимающимися изготовлением беспилотной техники в научно-технической и образовательной сферах. Сотрудники кафедры провели комплекс исследований по определению механических характеристик композиционных материалов на основе стекло- и углеканей, используемых для производства беспилотников в ООО «КБ беспилотные вертолеты». Проведены исследования механических характеристик сэндвич конструкций на основе стекло- и углепластиков ООО «Современные композиты».

Студенты специальностей «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов», «Производство изделий на

основе трехмерных технологий» регулярно трудоустраиваются и проходят практику в РУП «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларусь, ОАО «ПЕЛЕНГ». В 2023 году кафедра подготовила 3 магистров для ОАО «ПЕЛЕНГ». На данный момент в магистратуре проходит обучение сотрудник РУП «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов».

Основные направления профессиональной деятельности в данном направлении следующие:

оценка конструкционных и технологических свойств полимерных композиционных материалов, оптимизация их состава и структуры в изделии с учетом его геометрии, назначения и условий эксплуатации;

разработка конструкции изделий из полимерных, композиционных и других материалов для машиностроения, химической промышленности, электроэнергетики, строительства, спорта и туризма;

компьютерное моделирование изделий, их поведения в условиях эксплуатации и технологических процессов производства;

разработка конструкторской документации на изделия и технической документации на процессы их изготовления; отработка технологических процессов, проведение испытаний макетов и изделий;

разработка технологических процессов изготовления изделий, расчет и оптимизация режимов формообразования изделий;

разработка формообразующей оснастки и специального оборудования.

Метаматериал – композиционный материал, свойства которого обусловлены не только свойствами составляющих его элементов, сколько искусственно созданной периодической структурой. Примерами метаматериалов, обладающими необычными механическими свойствами, являются ауксетики (материалы, имеющие отрицательные значения коэффициента Пуассона).

Ученые БГТУ проводят активные исследования в области разработки ауксетиков. Подбирая определенные типы структур и их параметры, возможно создавать изделия которые будут обладать малым весом и способностью демпфировать ударные нагрузки и вибрации.

Одним из направлений работы настоящего форума станет обсуждение компетенции специалиста по данной специальности, так как БГТУ крайне заинтересован в выпуске востребованных реальным сектором экономики специалистов. По данному направлению планируется подготовка специалистов совместно с Казанским авиационным институтом в рамках сетевой подготовки с выдачей двух дипломов.

Кроме того, на базе Института повышения квалификации и переподготовки БГТУ в период с 2020 по настоящее время в рамках обучающих

курсов дополнительного образования взрослых осуществляется подготовка операторов гражданских беспилотных летательных аппаратов.

За последние несколько лет наблюдается значительный рост заинтересованности представителей различных отраслей промышленности в подготовке специалистов в области беспилотной авиации. С 2023 г. по настоящее время на базе БГТУ подготовку прошли 520 операторов БЛА. В сравнении с 2022 г. в 2023 году было установлено восьмикратное увеличение числа слушателей.

Основными потребителями образовательных услуг БГТУ в сфере подготовки операторов БЛА являются предприятия лесного хозяйства, водохозяйственной деятельности, строительные организации, средства массовой информации, силовые структуры.

БГТУ располагает 8 беспилотными летательными аппаратами, которые использует в образовательных и научных целях. Обучение осуществляется в соответствии с разработанными БГТУ образовательными программами, которые прошли согласование и утверждение в Департаменте по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь.

Для проведения занятий на базе Института повышения квалификации и переподготовки БГТУ в рамках обучающих курсов по подготовке операторов гражданских беспилотных летательных аппаратов применяются квадрокоптеры DJI Mini 3 Pro.

Основная часть БЛА БГТУ используются для решения различных научно-исследовательских и практических задач в сельском и лесном хозяйстве. DJI Phantom 4 Multispectral благодаря наличию мультиспектральной камеры широко используется в сельском и лесном хозяйстве для изучения состояния растений. Для выполнения геодезических, картографических и инспекционных задач применяется DJI Phantom 4 RTK. Фото- и видеосъемка осуществляется с использованием DJI Phantom 4 Pro V2.0, что позволяет осуществлять мониторинг лесных насаждений. DJI MATRICE 200 применяется для транспортировки полезной нагрузки.

В настоящее время ведется разработка образовательных программ обучающих курсов для специалистов по оценке операционных рисков при эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов, а также для летной подготовки операторов БЛА.

Одним из направлений работы форума станет обсуждение компетенции специалиста по данной специальности, т.к. БГТУ крайне заинтересован в выпуске специалистов, востребованных предприятиями республики и Российской Федерации.

Беспилотные и роботизированные устройства развиваются очень стремительно, и в последние годы активно внедряются во все сферы

хозяйственной деятельности. В лесохозяйственных учреждениях страны дроны применяются уже более 8 лет для мониторинга пожарной обстановки, выявление площадей усыхающих и поврежденных лесных насаждений, для оперативной оценки последствий массового повреждения лесного фонда неблагоприятными погодными явлениями.

Быстрое развитие наблюдается в сфере защитных обработок растений с применением дронов, усовершенствуются выпускаемые модели летательных аппаратов, повышается эффективность их использования. Причиной тому: высокая мобильность, низкая себестоимость обработок, существенное снижение вредного воздействия пестицидов на работников, возможность работы в сложных условиях, где проведение наземной обработки невозможно или затруднительно, сравнительно низкие временные и денежные затраты на подготовку операторов дронов.

Использование дронов в лесном хозяйстве имеет широкие перспективы, прежде всего для обработки посевных и школьных отделений лесных питомников, несомкнувшихся лесных культур и молодняков, лесосеменных плантаций, особенно на труднодоступных для техники участках, на участках со слабой несущей способностью грунтов в условиях избыточного увлажнения почвы, на участках с незначительной площадью, где применение крупногабаритной наземной техники или пилотируемой авиации экономически не целесообразно.

Также использование дронов в лесном хозяйстве может оказаться незаменимым при точечной обработке отдельных деревьев, например, для локализации и ликвидации очагов инвазивных и карантинных видов вредителей.

Технология защиты растений при помощи беспилотных летательных аппаратов относится к инновационным методам, а применительно к лесному фонду такой опыт в мире небольшой.

#### **Дроны в цифрах:**

**2019 г.** – на базе БГТУ начаты первые в стране испытания эффективности БЛА в области защиты леса;

на **58–67%** ниже себестоимость внесения средств защиты растений при помощи дронов по сравнению с традиционными технологиями;

на **30%** меньше расходуется пестицидов из-за высокой точности и равномерности внесения БЛА;

в **50 раз** быстрее ручной обработки – позволяет проводить обработки в оптимальные сроки с минимальными затратами;

**0 мг/м<sup>3</sup>** – концентрация пестицида в зоне дыхания оператора дрона, что приводит к существенному улучшению условий труда;

**4** средства защиты растений прошли государственную регистрацию и разрешены к применению в лесном хозяйстве при помощи БЛА;

**2023 г. – учеными БГТУ разработана и внедрена методика использования БЛА для защиты леса.**

В настоящее время на площадях Минского городского технопарка БГТУ осуществляется создание инновационных подразделений, деятельность которых будет направлена на развитие культуры предпринимательства в рамках реализации концепций «Университет 3.0» и «Университет 4.0» и налаживание более тесной связи с представителями промышленности:

центра по беспилотным летательным аппаратам;  
центра аддитивных технологий БГТУ.

Одним из наиболее динамично развивающихся направлений в лесном хозяйстве является внедрение беспилотных летательных технологий в сферу защиты и мониторинга состояния лесов. Уже сегодня беспилотные летательные аппараты (БЛА) активно применяются в лесной отрасли для решения многих задач, чему способствуют их социально-экономические и экологические преимущества.

На кафедре лесозащиты и древесиноведения проведены полномасштабные испытания современного дрона с целью адаптации его к условиям лесного фонда. Испытания и адаптация позволили усилить многочисленные преимущества данной технологии перед традиционными способами внесения пестицидов и удобрения. В их числе: точная обработка защищаемых объектов, вплоть до кроны отдельного дерева, позволяющая сократить нецелевое расходование пестицидов и снизить побочное воздействие на экосистемы; лучшая проницаемость капель в полог растений и более равномерное их размещение на листовой поверхности по сравнению с практически любыми другими способами опрыскивания; высокая скорость выполняемых операций по обработке защищаемых объектов; низкая себестоимость работ (обработка растений с использованием БЛА до 5 раз дешевле, чем тракторной техникой или с использованием пилотируемой авиации); исключение воздействия вредного производственного фактора (вдыхание аэрозолей пестицидов) на оператора за счет удаленного контроля процесса обработки; возможность работы в автоматическом режиме за счет интеллектуальной системы распознавания симптомов поражения или ослабления растений. Разработка в 2022 году уже применена в ряде лесных питомников и в лесных культурах Беларусь. Географию применения планируется существенно расширить в лесных питомниках и лесных насаждениях страны в 2023 году и последующие годы.

Результатом нашего сегодняшнего мероприятия станут следующие научно-технические проекты, предлагаемые БГТУ, Республиканским унитарным предприятием «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» и другими:

1) взаимодействие в области научно-технической и инновационной деятельности, включая реализацию совместных проектов по линии Союзного государства:

- «Автопилоты для БЛА (пилотажно-навигационный комплекс)»;
- «БЛА гибридной схемы (VTOL) с большой продолжительностью полета и грузоподъемностью»;
- «БЛА самолетной схемы с большой продолжительностью полета и грузоподъемностью (комплектом специальной целевой нагрузки)»;
- «Создание в рамках Союзного проекта сети мультипрофильных лабораторий и экспериментальных учебно-опытных площадок по тематикам разработки, конструированию планеров и вертолетов БЛА, технологии композитного производства элементов БЛА с заданными техническими характеристиками и комплексом свойств»;

2) подписание соглашений о сотрудничестве учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» с Казанским авиационным институтом, Московским авиационным институтом, ОАО «ПЕЛЕНГ», ЗАО «Беспилотные летательные аппараты», CosmosTV, фондом «Сколково» и др.;

3) обмен опытом в сфере беспилотных технологий;

4) развитие образовательного сотрудничества с университетами Российской Федерации, Республики Узбекистан, Китайской Народной Республики по таким направлениям как создание и реализация совместных образовательных программ, магистерская подготовка, академические обмены, повышение квалификации, стажировки;

5) Обсуждение вопросов сетевого взаимодействия с университетами Беларуси, России, Узбекистана, Китая и других стран по обсуждаемым вопросам.

---

---

**I СЕКЦИЯ**

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

**БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ:**

**ТНПА, ПОЛЕТЫ, СЪЕМКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ**

**СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОДВЕСНОГО**

**ОБОРУДОВАНИЯ, ОБРАБОТКА**

**ИНФОРМАЦИИ**

---

---

УДК 629.7:614.8

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ  
АППАРАТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ**

Б.В. КАЗАКОВ, Н.Н. БАЕВ, С.В. ПРИБЫЛЕВ  
филиал «Институт переподготовки и повышения квалификации»  
Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь  
Светлая Роща, Беларусь

В ряде стран беспилотные летательные аппараты (далее – БПЛА) активно применяют при оценке масштабов и последствий стихийных бедствий, пожаров и других чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС). Эффективность решения широкого круга задач с помощью БПЛА доказана практикой их применения наряду с другим оборудованием различными экстренными службами.

В органах и подразделениях по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь БПЛА систематически применяют при проведении поисково-спасательных мероприятий и оценке обстановки в труднодоступных для людей районах.

Применение квадрокоптера, оснащенного камерами видимого и теплового наблюдения, помогает обнаружить людей в условиях природной среды, плохой видимости или сильной задымленности, контролировать температурный режим в районе пожара. При этом существенно снижается время проведения поисково-спасательных мероприятий и разведки района ЧС.

Преимуществом применения БПЛА при реагировании на ЧС является возможность, находясь на удалении, проводить:

- мониторинг района ЧС;
- управление и корректировку действий аварийно-спасательных звеньев;
- оповещение людей, находящихся в районе ЧС, о порядке их дальнейших действий;
- доставку пострадавшим необходимых медикаментов или других мелких грузов.

Считается перспективным направлением внедрение применения БПЛА для анализа развития обстановки и возможных угроз в районах ЧС с наличием взрывоопасных и опасных химических веществ, в зонах радиоактивного загрязнения. Для этого БПЛА оснащаются дополнительным оборудованием: тепловизором, газоанализатором или радиометром.

С учетом периодических пожаров на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, актуальным остается вопрос осуществления контроля обстановки, в том числе радиационной, в условиях лесистой и болотистой местности большой площади.

Начиная с 2000 г. научно-производственным унитарным предприятием «Атомтех» (г. Минск) создаются и выпускаются приборы и аппаратура для ядерных измерений и радиационного контроля, значительная часть из которых может эффективно использоваться в составе современных беспилотных средств воздушной радиационной разведки.

Перечень решаемых при этом задач включает обнаружение источников ионизирующего излучения, измерение мощности дозы гамма-излучения на высоте полета с последующим приведением полученных данных к уровню 1 м от поверхности объекта, идентификацию радионуклидного состава, а также оценку плотности загрязнения радионуклидом Cs-137 [1-2].

УП «Атомтех» совместно с компанией «ЮВР» (г. Минск) проведена работа по интеграции блоков детектирования БДКГ-11М и БДКГ-04 с бортовым оборудованием беспилотного летательного аппарата «Электрон-7» (Рис. 1).

С центрального бортового вычислителя БЛА «Электрон-7» на аппаратуру радиационного контроля поступают значения высоты полета, температуры и давления на высоте полета, времени и координат. Измеренные на высоте ведения разведки значения мощности дозы и ее значения, пересчитанные аппаратурой на уровень 1 м от поверхности земли, вместе с данными о времени и координатах точек измерения возвращаются в центральный бортовой вычислитель для записи в бортовое запоминающее устройство и возможной передачи на наземный пункт управления. Работа аппаратуры полностью автоматизирована и автономна.

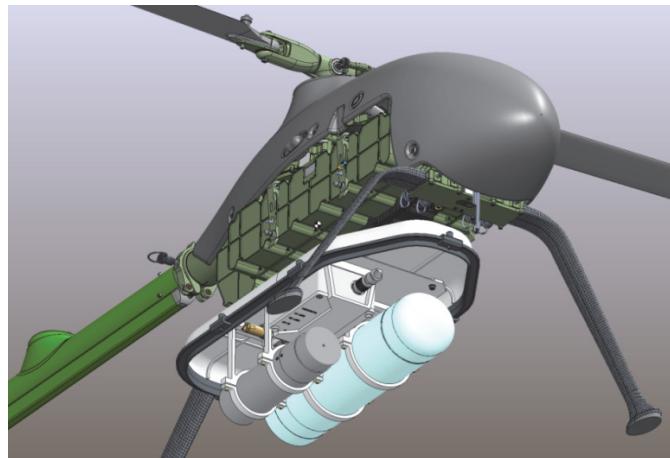


Рис. 1. Размещение аппаратуры радиационного мониторинга в грузовом контейнере БПЛА «Электрон-7»

Для анализа и визуализации получаемой в ходе воздушной радиационной разведки информации разработано программное обеспечение «ДАРК».

ПО «ДАРК» позволяет провести анализ данных воздушной радиационной разведки: отобразить маршрут радиационной разведки и измерения мощности дозы гамма-излучения в путевых точках и в диаграммах. Также с помощью данного программного обеспечения можно провести аппроксимацию результатов измерений путем построения изолиний и градиентной заливки, пересчитать мощность дозы к высоте 1 метр над поверхностью, обнаружить точечные источники излучения на фоне более мощных источников, оценить поле мощности дозы от точечного источника излучения и редактировать данные.

Изображение в виде градиентной заливки (Рис. 2) соответствует оценке мощности дозы на высоте 1 метр над поверхностью земли, линиями показан путь движения БЛА.

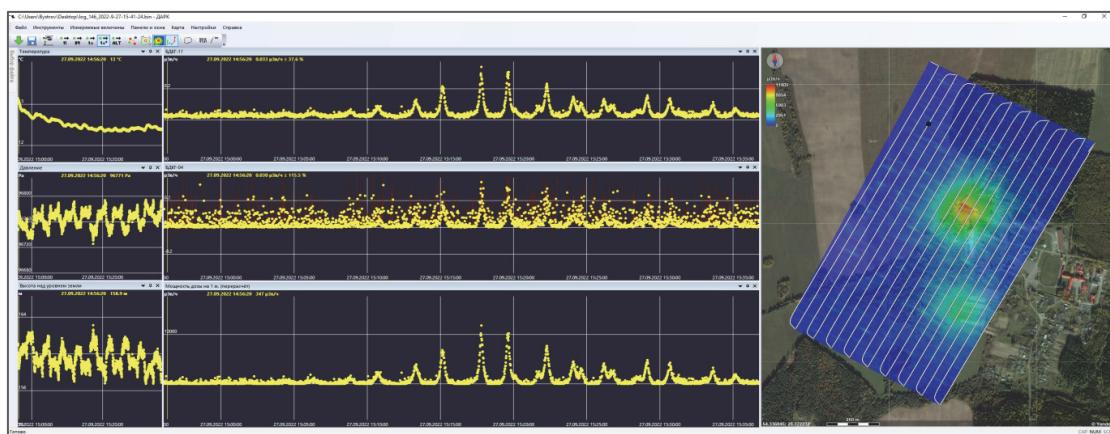


Рис. 2. Пример рабочего окна ПО «ДАРК»

Таким образом, применение БПЛА при оценке радиационной обстановки позволяет эффективно и безопасно проводить мониторинг радиационного загрязнения на больших территориях, быстро обнаруживать и локализовать источники радиации, а также предоставлять точные данные для принятия решений в чрезвычайных ситуациях. Это инновационное средство помогает минимизировать риски для специалистов, повышает эффективность работы и улучшает качество мониторинга радиационной безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кожемякин, В.А. Аппаратура радиационного контроля для дистанционно управляемых беспилотных летательных аппаратов и оценка достоверности результатов аэрогамма-съемки / В.А. Кожемякин // 30-я Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника», г. Санкт-Петербург, 13–15 июня 2019 г. : сб. тезисов / ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. – Санкт-Петербург, 2019. – с.363.
2. Kozhemyakin, V. A. Modern aero-gamma survey facilities and validation of received data / V.A. Kozhemyakin // LXIX International conference «Nucleus-2019» on nuclear spectroscopy and nuclear structure «Fundamental Problems of Nuclear at Borders of Nucleon Stability, High Technologies», Dubna, 1–5 Jul. 2019: Book of Abstracts / Ed. by V. V. Samarin and M. N. Naumenko. – Dubna: JINR, 2019. – P. 321.

УДК 629.7

## ОБСЛУЖИВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ

А.Д. БАРИЕВА

Казанский национальный исследовательский технический  
университет имени А. Н. Туполева – КАИ  
Казань, Россия

Обслуживание и техническое обеспечение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), или дронов, становится всё более значимым аспектом их эксплуатации в различных сферах. С ростом их популярности и расширением областей применения, от сельского хозяйства до мониторинга

окружающей среды, возникает необходимость в разработке и внедрении передовых методов обслуживания и технического обеспечения для обеспечения их надёжности и долговечности.

Основой для обеспечения надёжности и безопасности БПЛА является разработка и соблюдение строгих стандартов технического обслуживания. Это включает в себя регулярные проверки состояния аппаратов, диагностику систем и компонентов, а также своевременную замену изношенных деталей. Стандарты должны охватывать все аспекты эксплуатации БПЛА, от предполётной подготовки до постполётного обслуживания.

Примеры лучших практик:

- предполётная проверка: включает в себя осмотр корпуса дрона, проверку состояния пропеллеров, аккумуляторов и систем управления;
- постполётное обслуживание: очистка дрона от пыли и грязи, проверка на наличие повреждений и дефектов, диагностика электронных систем.

С развитием технологий появляются новые методы и решения для обслуживания БПЛА, направленные на увеличение их эффективности и сокращение времени простоя. Одним из таких решений является использование искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения для диагностики состояния дронов.

ИИ может анализировать данные с датчиков в реальном времени, выявляя потенциальные неисправности и износ компонентов до того, как они приведут к сбою. Это позволяет проводить профилактическое обслуживание, минимизируя риск внезапных отказов во время полётов.

Примеры инноваций:

- прогностическое обслуживание: системы, использующие алгоритмы машинного обучения для анализа данных о состоянии дрона и предсказания возможных неисправностей;
- автоматизированные станции техобслуживания: специализированные автоматические станции, которые могут выполнять базовое обслуживание, такое как зарядка аккумуляторов и замена пропеллеров, без вмешательства человека.

Для обеспечения эффективности обслуживания и технического обеспечения беспилотных аппаратов критически важно разработать и внедрить универсальные стандарты. Эти стандарты не только упрощают процесс обслуживания за счёт унификации компонентов и процедур, но и способствуют повышению безопасности полётов и увеличению продолжительности службы дронов. Важность стандартизации особенно возрастает в контексте международных полётов и операций, где дроны из разных стран должны соответствовать общепринятым требованиям безопасности и надёжности.

Качественное обслуживание БПЛА начинается не только с технического оснащения, но и с профессионализма операторов. Регулярное

обучение и сертификация операторов и технического персонала помогают обеспечить, что каждый БПЛА будет подготовлен к полётам согласно самым высоким стандартам. Курсы по техническому обслуживанию и ремонту, а также программы повышения квалификации в области новых технологий и материалов, являются ключевыми для поддержания высокого уровня эксплуатационной готовности дронов.

Примером компании, применяющей передовые практики и инновации в обслуживании БПЛА, может служить DJI, мировой лидер в области производства коммерческих дронов [1]. DJI разработала комплексную систему мониторинга состояния своих аппаратов, включая программное обеспечение для диагностики и прогностического анализа, что позволяет операторам своевременно обнаруживать и предотвращать потенциальные проблемы.

Также стоит отметить проект Amazon Prime Air, который направлен на создание системы доставки товаров с помощью дронов [2]. В рамках этого проекта компания разрабатывает собственные решения для обслуживания и ремонта БПЛА, чтобы максимизировать их время нахождения в воздухе и обеспечить безопасность доставки.

Обслуживание и техническое обеспечение беспилотных аппаратов являются ключевыми аспектами их эксплуатации. Внедрение лучших практик и инновационных решений в этой области не только повышает эффективность использования дронов, но и способствует обеспечению безопасности полётов. Регулярное обучение операторов, разработка стандартов и стандартизация компонентов, а также применение новейших технологий в обслуживании, таких как искусственный интеллект и автоматизация, являются важнейшими элементами в достижении этих целей. По мере того, как беспилотные технологии будут продолжать развиваться и находить всё новые области применения, важность эффективного обслуживания и технического обеспечения будет только возрастать. Компании и организации, занимающиеся эксплуатацией дронов, должны постоянно искать способы улучшения своих процедур технического обслуживания, адаптируясь к новым вызовам и интегрируя инновационные технологии для повышения надёжности и продуктивности своих беспилотных систем.

Ключом к успеху в этом направлении является сотрудничество между производителями БПЛА, операторами, научно-исследовательскими институтами и регулирующими органами. Совместная работа всех заинтересованных сторон поможет разработать универсальные стандарты и лучшие практики, которые будут способствовать безопасной и эффективной эксплуатации дронов в самых разных условиях.

В будущем мы можем ожидать появление более сложных систем для обслуживания БПЛА, включая автономные роботизированные

станции, способные выполнять комплексное обслуживание без вмешательства человека. Эти технологии смогут значительно уменьшить времяостоя аппаратов, увеличить их эффективность и снизить риски для человеческого фактора.

Также важным аспектом является развитие систем мониторинга состояния БПЛА в реальном времени, которые будут интегрированы непосредственно в бортовые системы дронов. Это позволит операторам и инженерам получать актуальную информацию о состоянии важнейших компонентов и систем, предотвращая потенциальные неисправности и аварии.

В заключение, обслуживание и техническое обеспечение беспилотных аппаратов является критически важной областью, требующей постоянного внимания и инвестиций в исследования и разработку. Принятие лучших практик и инновационных решений не только повысит надёжность и безопасность дронов, но и расширит возможности их использования, открывая перед человечеством новые горизонты в исследованиях, коммерции и повседневной жизни.

## ЛИТЕРАТУРА

1. DJI Technology Co., Ltd. DJI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.dji.com/ru/mobile>, свободный. – Яз. рус., англ. – Дата обращения: 21.03.2024.
2. Amazon Air [Электронный ресурс] // Wikipedia, свободная энциклопедия. – Режим доступа: [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Amazon\\_Air](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Amazon_Air), свободный. – Яз. рус., англ. – Дата обращения: 21.03.2024.

УДК 902.03+910.27

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ

А.А. САЗОНОВ, П.С. КУРЛОВИЧ  
Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

Археологическая разведка (поиск) заключается в обнаружении и выявлении археологических памятников – остатков материальной культуры древних обществ [1], в частном случае военной археологии –

в поиске военных артефактов (вооружения, амуниции, техники), фортификационных сооружений и мест захоронений.

Поиск археологических памятников является важным этапом при проведении археологических исследований, предшествуя непосредственно раскопкам и камеральной обработке результатов.

Подходы к поиску памятников археологии обуславливаются возрастом памятника и его особенностями. В процессе поиска детально изучается конкретный участок местности и его характеристики: топография, водные объекты, ландшафты и динамика землепользования, для определения наиболее перспективных участков для проведения раскопок. Помимо традиционных методов, таких как сбор архивных данных, визуальный осмотр, сбор подъемного материала, могут быть использованы неинвазивные методы поиска [2].

С развитием геоинформационных технологий и распространением гражданских беспилотных летательных аппаратов (БЛА) инструментарий неинвазивных методов поиска значительно расширился. Широкое распространение сегодня имеют данные спутниковой и аэрофотосъемки, в том числе многозональные, воздушное лазерное сканирование (ВЛС), что позволяет выявлять памятники, трудноразличимые с земли. Перспективным направлением является использование тепловизионных камер для поиска погребенных объектов. Среди неинвазивных методов также необходимо отметить георадарную, геомагнитную и электrorазведку, наземное лазерное сканирование и фотосъемку, геодезическую съемку. Для получения наиболее полного представления об историческом ландшафте указанные методы необходимо применять в комплексе.

Воздушное лазерное сканирование занимает особое место среди неинвазивных методов археологической разведки. Можно выделить ряд преимуществ использования ВЛС:

1. Скорость сбора данных и значительный площадной охват;
2. Возможность съемки труднодоступных участков местности;
3. Точность получаемых результатов.

Для целей археологической разведки использование БЛА для ВЛС в целом предпочтительнее пилотируемой авиации: БЛА не требуется аэродромная инфраструктура, применяется упрощенный порядок согласования полётов, низкая (до 100 м) высота полета позволяет получать более точные данные, также меньшее влияние оказывают метеорологические явления (облачность). Тем не менее, применение ВЛС на базе пилотируемых летательных аппаратов оправдано при значительном пространственном охвате исследования и для выявления потенциальных мест для детальных поисковых работ.

ВЛС по своим возможностям превосходит как аэро- и космосъемку, так и наземные методы поиска. Основное преимущество метода заключается в возможности получения цифровой модели местности (ЦММ) и цифровой модели рельефа (ЦМР) без влияния растительного покрова. Наибольший эффект достигается в труднопроходимых, удаленных районах, где человеку физически сложно проводить наземные изыскания.

По данным ВЛС возможно установить локализацию объектов, их форму и размеры, а также выявлять объекты, которые не видны невооруженным взглядом и не выделяются при топогеодезической съемке с мелким шагом [3].

Работы по ВЛС памятников археологии выполняются в Белорусском государственном университете с 2022 г. Обследовано более 20 различных объектов, в том числе городища, курганные могильники, фортификационные сооружения и укрепления, места массовых захоронений. Для выполнения ВЛС использовался лидар DJI Zenmuse L1 на базе БЛА DJI Matrice 300 RTK.

Опыт [4], в том числе зарубежный [3], показывает, что наиболее благоприятный период для выполнения работ – ранняя весна (март-апрель), когда травянистый покров еще не поднялся после схода снега, а у древесно-кустарниковой растительности не начался период вегетации. ВЛС также можно выполнять поздней осенью (конец октября – ноябрь), но не до конца опавшие листья на деревьях, лесной опад могут оказать негативный эффект на результаты съемки.

Основной показатель, на который необходимо ориентироваться при планировании работ – плотность облака точек, от этого будет зависеть качество итоговой ЦМР. Необходимо учитывать, что для построения ЦМР используются точки, классифицированные как земля (ground). Общая расчетная плотность облака должна составлять не менее 100-120 точек/ $m^2$ , при этом точки земли могут составлять 10-50% от общего количества [3], в зависимости от типа поверхности. В случае местности с плотной растительностью, густым подлеском, расчетная плотность точек должна быть выше – 130-150 точек/ $m^2$ .

Обеспечить необходимую плотность облака точек возможно с помощью регулировки высоты полета (от 50 до 100 м), скорости полета (от 5 до 10 м/с), количества регистрируемых отражений и частоты сканирования. Все параметры должны настраиваться в зависимости от условий местности и особенностей исследуемого объекта, а также возможностей используемого оборудования.

При поиске объектов археологии целесообразно первоначально обследовать местность «с запасом», чтобы выявить объекты, о существовании

которых заранее ничего не известно. На данном этапе важно охватить как можно больший участок местности с минимальным расходом заряда аккумуляторов, поэтому качеством съемки можно пренебречь. После выявления всех потенциальных участков, необходимо провести их повторное, детальное сканирование.

На качество результирующих облаков точек, ЦММ и ЦМР, а также на возможность картографирования археологических объектов оказывают влияние три фактора: состояние собственно объекта археологии, погодные условия, ландшафтные условия.

Состояние археологических объектов зависит от возраста памятника, естественных и антропогенных процессов. Лесная растительность и труднодоступность местоположения объекта повышает вероятность его сохранности и возможности выявить с помощью ВЛС, и наоборот – объект, к примеру, расположенный на активно обрабатываемых пахотных землях, будет выявить сложнее.

Метеорологические явления, такие как дождь, снег, туман, будут оказывать негативное воздействие на облако точек, повышая уровень шума. Наличие воды, снега на земной поверхности также может негативно сказаться на результатах съемки.

Влияние ландшафтных условий в первую очередь заключается в характере растительного покрова и стадии вегетации. Как было отмечено ранее, ВЛС лучше всего проводить до начала вегетационного периода. Наилучшие результаты можно получить на безлесной местности, со слабым травянистым покровом. Если участок покрыт лесной растительностью, то лучшие результаты ВЛС демонстрирует в сосновых лесах с неразвитым подлеском, худшие – в смешанных, лиственных лесах, с густым подлеском. Плотная кустарниковая, травянистая растительность, посевы сельскохозяйственных культур оказывают крайне негативное влияние на результаты ВЛС.

Для верификации результатов разведки с использованием ВЛС необходимо проведение комплекса наземных неинвазивных изысканий – полевых визуальных разведок, геофизических методов и т.д. [3].

Отметим, что ВЛС позволяет выявлять только объекты, проявляющиеся в ландшафте и не перекрытые зданиями, другими объектами местности [3]. Пространство между точками заполняется методами триангуляции, интерполяции или вручную.

При анализе ЦМР и для выявления скрытых объектов необходимо применение методов геоморфометрии, в первую очередь метода отмыки рельефа [5]. Для антропогенно-преобразованных территорий дополнительно могут использоваться ЦМР, полученные фотограмметрическим путем по архивным аэрофотоснимкам [5].

Таким образом, ВЛС для археологической разведки должно проводиться с учетом природных условий, особенностей археологического объекта и технических возможностей оборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Авдусин, Д.А. Археологические разведки и раскопки / Д.А. Авдусин. – Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1959. – 314 с.
2. Аржанов, А.Ю. Комплексный подход к методике археологических разведок на примере работ отдела междисциплинарных исследований государственного музея-заповедника «Херсонес Таврический» / А.Ю. Аржанов, А.А. Кучинин, В.В. Панченко // Новые материалы и методы археологического исследования: От критики источника к обобщению и интерпретации данных. Материалы V Международной конференции молодых ученых. – Москва: ИА РАН, 2019. – С. 224-225.
3. Новиков, В.В. Воздушное лазерного сканирование на базе БПЛА для изучения объектов археологии в европейской части России / В.В. Новиков // Поволжская Археология. – 2022, № 1 (39). – С. 246.
4. Сазонов, А.А. Применение воздушного лазерного сканирования в археологических исследованиях на территории Беларуси / А.А. Сазонов [и др.] // ГИС-технологии в науках о Земле : материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 16 нояб. 2022 г. – Минск: БГУ, 2022. – С. 283-287.
5. Флоринский, И.В. Геоморфометрия сегодня / И. В. Флоринский // ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2021. – Т. 27, № 2. – С. 394-447.

УДК. 550.8.014

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОЦЕССЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БЕЛОРУССКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

П.В. ШАБЛЫКО, А.К. ХИБИЕВ, Н.В. КОЗЛОВСКИЙ  
Институт природопользования НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

В рамках Государственной программы «Научно-инновационная деятельность Национальной академии наук Беларусь» на территории Вечернегорской площади Восточная Антарктида Институтом природопользования

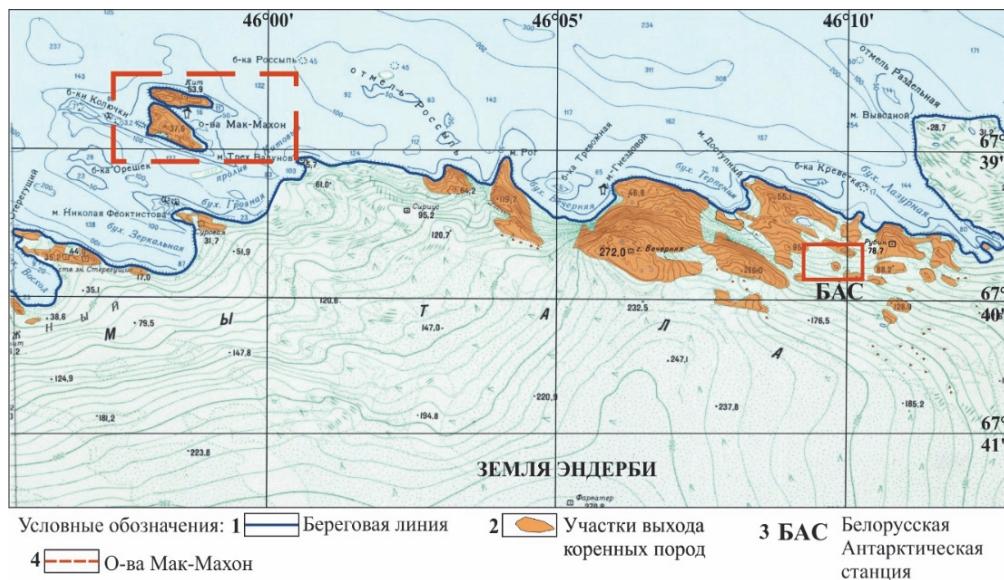
Национальной Академии Наук Республики Беларусь проводятся геолого-геофизические исследования с целью изучения тектонического строения и оценки минерагенического потенциала.

В ходе выполнения задания программы (2022–2024 гг) для расширения площади изучения использованы беспилотные летательные аппараты для визуального анализа и построения ортофотоплана изучаемой местности использовался гексокоптер A20-X. Это позволило изучить острова Мак-Махон, расположенные в акватории рассматриваемой территории, в 1 км от береговой линии на западе Вечернегорской площади. (Рисунок 1). Следует отметить, что участок, состоящий из двух островов в море Космонавтов, абсолютно не изучен в связи с невозможностью безопасно совершить переход по морскому льду в летний период для изучения.

Остров представляет собой два отдельно стоящих горных массива разделённых узким каналом. Общая площадь острова составляет около 1 км<sup>2</sup>. Высшая точка 60 м над уровнем моря Космонавтов. (Рис. 1)

По результатам полётов беспилотного летательного аппарата (БПЛА) был построен подробный ортофотоплан территории с детализацией контуров рельефа.

Помимо островов Мак-Махон съёмка с БПЛА производилась на участке выхода коренных пород Вечернегорской площади. Также были проведены полёты и построен ортофотоплан прибрежной линии Вечернегорской площади, наиболее важной с геологической точки зрения. Ширина линии съёмки составила порядка 1,5 км.



Вечернегорская площадь.  
Районы исследований Белорусской Антарктической Экспедиции

Рис. 1. Картосхема участка работ, материковой  
и акваториальной части Вечернегорской площади

Проведённые работы по дистанционному изучению территории, а также геологические данные территории по Молодёжно-Вечернегорской площади позволяют произвести работы по построению ряда графических материалов, отражающих геологическое строение этих территорий и острова Мак-Махон.

На примере выделенного участка южного острова Мак-Махон (рис. 2) визуально хорошо различимы процессы выветривания, определяются предполагаемые места локальных разрывных нарушений и приуроченные к ним жильные проявления кварца и КПШ, так же отчётливо определяется их простирание. Кроме того, на представленном фрагменте ортофотоплана выделяется наличие орнитогенных участков загрязнений в виде гнездовий пингвинов Адели, что представляет интерес для биологии.

В петрографическом плане острова Мак-Махон сложены гранато-содержащими чарнокитовыми гнейсами и чарнокитовой основой гранобластовой структуры. Южная часть острова покрыта достаточно ярко выраженной за счёт выветривания сетью жил и даек, сложенных гранитоидными и пегматитовыми разностями пород шириной до 30 м., детали которых чётко различимы на рис. 2.

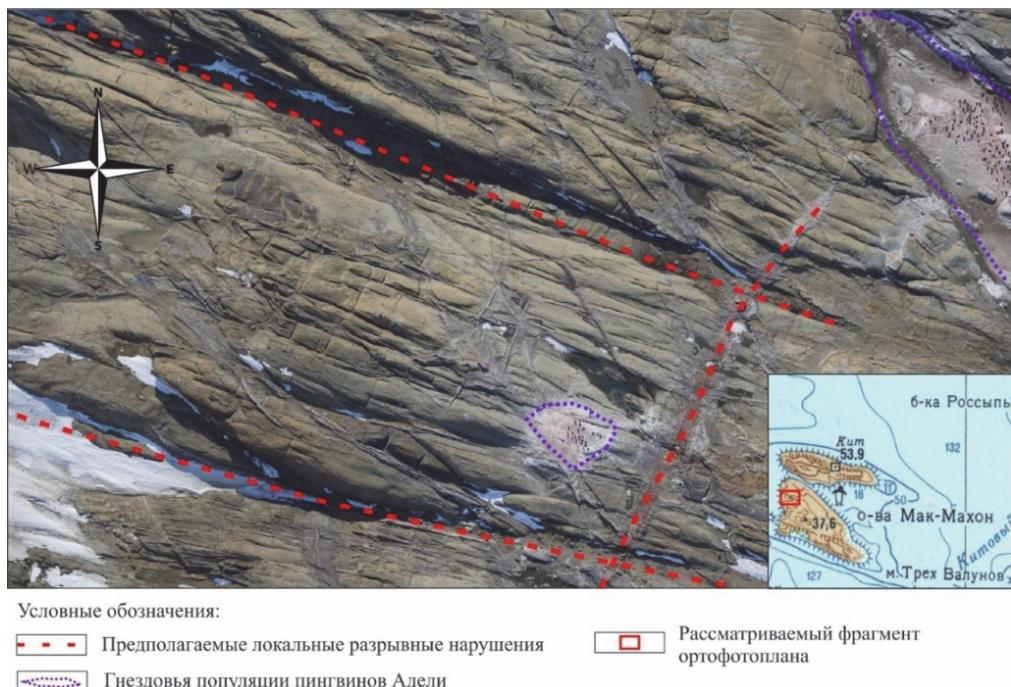


Рис. 2. Фрагмент ортофотоплана острова Мак-Махон у побережья Вечернегорского участка моря Космонавтов

Применение БПЛА позволяет значительно расширить территорию изучения Вечернегорской площади, что даёт более широкое представление о геотектонике и формировании земли Эндерби.

Важным фактором применения БПЛА является возможность его дистанционного использования, что позволяет не тревожить местную фауну при съёмочных работах и не вмешиваться в естественную среду обитания птиц, базирующихся на данной территории. Такой вид исследований позволяет значительно расширить возможности геолого-геофизических и географических исследований и улучшает понимание о геоморфологическом строении изучаемого участка.

Бесспорным преимуществом использования БПЛА в полевых антарктических условиях является возможность изучить труднопроходимые участки местности с высоты, а также получить чёткую картину рельефа и проанализировать геологические объекты с научным анализом, обработкой и интерпретацией фактических данных к реальным геологическим условиям.

УДК 004.422

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

П.В. ЛАСТОЧКИН, А.Н. КОЖЕВНИКОВ, Е.Е. ИСТРАТОВА  
Новосибирский государственный технический университет  
Новосибирск, Россия

В настоящее время острой проблемой России являются крупные масштабные природные пожары, которые наносят не только значительный ущерб окружающей среде, но и несут угрозу безопасности граждан [1]. При интенсивном распространении природных пожаров наблюдаются регулярные ситуации, связанные с переходом возгораний в населенные пункты. Это вызывает как порчу и уничтожение имущества, так и риски здоровью людей, когда наблюдаются ситуации гибели жителей населенных пунктов при пожарах. Кроме того, пожары несут угрозы безопасности охраняемым объектам с особым статусом [2,3].

Эффективное решение данной проблемы требует подходов, решающих следующие задачи:

1. Эффективный мониторинг пожароопасной обстановки вблизи населенных пунктов и прогнозирование движения фронта пожара.
2. Быстрое принятие решения о тушении на основе прогноза о распространении огня для предотвращения перехода пожара на населенные территории.

3. Эффективное тушение с минимальным расходом пожаротушащих средств.

4. Максимальная автоматизация и дистанционное управление процессом пожаротушения в целях минимизации рисков для лиц, принимающих участие в защите территорий и населения.

Таким образом, наиболее перспективные направления решения данного вопроса связаны с автоматизацией процесса мониторинга природных катастроф при помощи беспилотных летательных аппаратов [4,5]. Исходя из этого, для предотвращения перехода огня из лесополосы в населенные пункты и другие охраняемые объекты целесообразно проводить сбор и анализ видеопотока с систем видеонаблюдения, установленных на беспилотных летательных аппаратах, с целью выявления признаков возгорания в лесополосе в пределах защитных зон населенных пунктов.

На основании функционального подхода можно разработать структуру информационной системы мониторинга пожаров на основе применения беспилотных летательных аппаратов, включающую две подсистемы: аналитическую и подсистему мониторинга. Функциями аналитической подсистемы являются следующие:

1. Разработка математической модели распространения огня с учетом природно-ландшафтных и климатических особенностей местности, на которой расположен охраняемый объект.

2. Проектирование зоны безопасности вокруг охраняемого объекта на основе математической модели распространения огня.

3. Определение периодичности и маршрутов видеомониторинга защитной зоны.

4. Анализ видеопотоков, поступающих из подсистемы мониторинга, для выявления и локализации очагов возгорания на основе технологии компьютерного зрения и нейросетевых технологий.

5. Моделирование алгоритма предотвращения распространения огня в направлении охраняемого объекта.

6. Передача разработанного алгоритма в исполнительную подсистему.

7. Контроль работы исполнительной подсистемы в режиме реального времени средствами подсистемы мониторинга.

8. Мониторинг распространения огня в процессе работы исполнительной подсистемы с целью анализа эффективности алгоритма и его корректировки в случае необходимости.

Функциями подсистемы мониторинга являются следующие:

1. Выполнение полетов в соответствии с маршрутами и периодичностью из аналитической подсистемы.

2. Передача видеопотоков в аналитическую подсистему.

3. Контроль технического состояния и планирование технического обслуживания БПЛА собственной подсистемы.

4. Разработка плана полетов и оптимизация ресурсов БПЛА с учетом их технического состояния.

Аналитическая подсистема должна включать следующие модули, обеспечивающие ее работоспособность:

1. Модуль управления полетами беспилотных летательных аппаратов для определения периодичности и маршрутов видеомониторинга защитных зон.

2. Геоинформационный модуль контроля полетами беспилотных летательных аппаратов на основе хранения и анализа пространственных данных и их геометрических измерений.

3. Модуль анализа видеопотоков на основе технологии компьютерного зрения и нейросетевых технологий с целью выявления и локализации очагов возгорания.

4. Модуль для прогнозирования распространения огня с учетом метеорологических условий.

5. Модуль для контроля и мониторинга распространения огня в процессе пожаротушения с целью анализа его эффективности и для корректирования в случае необходимости.

Схема взаимодействия модулей информационной системы показана на рис. 1.



Рис. 1. Структурная схема информационной системы мониторинга пожаров

Также необходимо предусмотреть возможность разработки и интеграции в информационную систему дополнительных модулей для

связи с бортовым оборудованием и с наземными средствами обеспечения применения беспилотных летательных аппаратов.

Причем процесс разработки центра аналитики и управления полетами должен включать следующие этапы:

1. Создание математических моделей отдельных процессов в части управления полетами, прогнозирования распространения огня, принятия решений по предотвращению распространения огня в направлении охраняемых объектов.

2. Определение состава и функционала подсистем информационной системы и регламентов их взаимодействия.

3. Разработка алгоритмов работы отдельных подсистем информационной системы.

4. Разработка методики, выбор технологий и средств реализации информационной системы для обеспечения ее работоспособности.

5. Разработка отдельных подсистем и их интеграция в информационную систему мониторинга пожаров.

6. Реализация и проверка заявленного функционала информационной системы.

Таким образом, в результате работы была спроектирована структура, определены функции и этапы реализации информационной системы для мониторинга пожаров на основе применения беспилотных летательных аппаратов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тебуева Ф.Б. Алгоритм мониторинга динамической зоны распространения лесных пожаров группой беспилотных летательных аппаратов / Ф.Б. Тебуева, В.О. Антонов, М.Ю. Кабиняков // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2023. — № 1. — С. 140-151.

2. Скуднева О.В. Навигационно-пилотажная система беспилотного летательного аппарата для мониторинга лесных пожаров / О.В. Скуднева, С.В. Коптев, С.В. Иванцов // Известия ВУЗов. Лесной журнал. — 2020. — № 6 (378). — С. 194-203.

3. Билинский Ю.А. Беспилотные летательные аппараты в совершенствовании системы пожарной безопасности нефтегазовой промышленности / Ю.А. Билинский, В.Ю. Кошелев // Вестник магистратуры. — 2022. — № 12-1 (135). — С.19-22.

4. Разиньков С.Ю. Разработка состава комплекса оперативного управления беспилотных летательных аппаратов для мониторинга природных и техногенных явлений в режиме реального масштаба времени /

С.Ю. Разиньков, А.В. Вытовтов // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. — 2015. — №1 (6). — С.76-79.

5. Грибунов О.П. Использование результатов информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров при расследовании уничтожения или повреждения лесных насаждений / О.П. Грибунов, Р.О. Морозов // Криминалистика: вчера, сегодня, завтра. — 2022. — № 1. — С. 26-34.

УДК 623.746

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДАХ, НАВОДНЕНИЯХ, ПАВОДКАХ**

И.И. КОВАЛЕНКО, В.В. КОПЫТКОВ  
Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Применение беспилотных летательных аппаратов имеет немаловажную роль в применении при затяжных чрезвычайных ситуациях. В последнее время благодаря беспилотным летательным аппаратам (БЛА) проводится грамотная расстановка сил и средств прибывающих на чрезвычайные ситуации, правильный выбор решающего направления при тушении затяжных пожаров, поиск пострадавших на водоёмах, поиск потерявшимся в природных экосистемах. Так в МЧС РБ в основном применяются модели квадрокоптеров фирмы DJI MAVIC 2 Enterprise; DJI MAVIC 3T и DJI MATRICE. Данные модели компактны, быстро разворачиваются для выполнения задач, удобны и просты в использовании, удобны в транспортировке.

На сегодняшний день одна из основных работ операторов БЛА с помощью квадрокоптеров в МЧС, выполнение спасательных работ на водоёмах, проведение разведки в местах подтоплений или наводнений.

Проведение затяжных спасательных работ на водных акваториях. Так при помощи квадрокоптера производится разведка водных акваторий для поиска тонущих (утонувших) людей методом визуального наблюдения в режиме online.

В случае обнаружения тонущего человека, требуется к квадрокоптеру присоединить комплект спасаемого на воде (рисунок 1) и сбросить на воду, после чего он автоматически надувается и помогает

пострадавшему находится на поверхности воды до прибытия группы спасения на водах или спасателя.

При помощи беспилотных летательных аппаратов можно оценить обстановку затопленных или подтопленных территорий. Уточнить масштабы чрезвычайной ситуации. Поиск пострадавших производится с использованием инфракрасной камеры, а так же камер которые установлены на полезной нагрузке беспилотного летательного аппарата. При обнаружении человека с помощью беспилотника, при взаимодействии сброса с БЛА, можно доставить пострадавшему аптечку с минимальным количеством медицинских препаратов, для самостоятельного оказания помощи до прибытия поисково-спасательных групп, а также доставить минимальный питательный рацион (еду богатую белками и углеводами).



а

б

а -комплект в сборе б- содержание комплекта

Рис. 1. Комплект спасаемого на воде

Немаловажную роль представляет и работа БЛА с громкоговорителем на водных акваториях. В летнее время при помощи громкоговорителя, можно осведомлять отдыхающих о правилах поведения на воде. В зимнее время – об правилах поведения на льду. БЛА позволяет проводить агитационную работу на больших площадях водных акваторий, и за короткое время.

К квадрокоптеру для увеличения его работоспособности присоединяется дополнительная батарея, а для улучшения качества связи устанавливается усилитель частоты, что даёт больше времени находится в воздухе и на дальних расстояниях.

Беспилотные летательные аппараты являются незаменимым помощником в ликвидации затяжных чрезвычайных ситуациях. Ведь наблюдая с высоты птичьего полёта намного легче определить всю степень ситуации и решение способа ее ликвидации.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Постановление Министерства обороны Республики Беларусь от 1 августа 2022 г. № 41 «Об утверждении Авиационных правил организации и выполнения полетов государственных беспилотных летательных аппаратов Республики Беларусь»
2. Приказ Департамента по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 04.10.2022 № 268 Руководство по порядку государственного учета и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов.

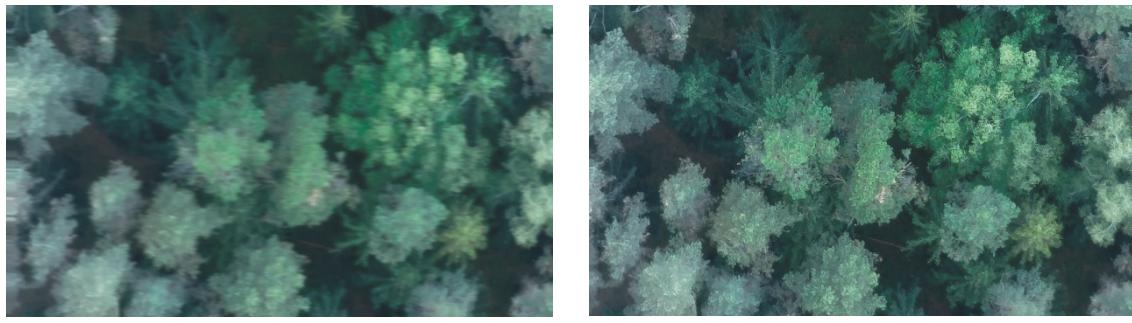
УДК 520.066, 681.785

## **СИСТЕМА АКТИВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ БПЛА**

А.В. ГУТОРОВ  
НИИ ПФП им. А.Н. Севченко  
Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

Системы стабилизации навесного оборудования для БПЛА играют ключевую роль в обеспечении эффективной работы и точности выполнения задач. В современном мире использование БПЛА в сельском хозяйстве, геодезии, геологии, мониторинге окружающей среды других отраслях становится все более распространенным. Однако для достижения оптимальных результатов необходимо обеспечить стабильность и точность работы навесного оборудования на беспилотных аппаратах. Одной из основных функций систем стабилизации навесного оборудования для БПЛА является уменьшение воздействия внешних факторов, таких как ветер и турбулентность, на работу оборудования. Это позволяет повысить точность выполнения задач и качество получаемых данных. Стабилизация также способствует уменьшению вибраций и колебаний, что особенно важно при использовании оптических и других чувствительных приборов, как на рисунке 1.

В отделе аэрокосмических исследований НИИПФП им. А.Н. Севченко, БГУ, был разработан и создан беспилотный комплекс авиационного спектрометрирования (БЕКАС), который применяется для подспутниковых измерений. Полученные им данные используются в исследованиях по космическим программам Союзного государства «Интеграция-СГ» и «Комплекс-СГ».



А

Б

Рис. 1. Результат использования оптического оборудования на БПЛА без/со стабилизацией:  
А – фотография леса, снятая без стабилизации;  
Б – фотография леса, снятая со стабилизацией

БЕКАС, представленный на рисунке 2, представляет собой комплекс мультиспектральной съёмки (КМС), на несущей платформе, в качестве которой использован беспилотный летательный аппарат (БПЛА) Matrice 300 RTK [1,2]. В качестве системы стабилизации использовался подвес с виброразвязкой, целью которого является стабилизация навесного оборудования с максимальным снижением массы полезной нагрузки, однако, в ходе испытаний выявлена необходимость в создании более эффективной системы.



Рис. 2. Беспилотный комплекс авиационного спектрометрирования

На рисунке 3 представлена система активной стабилизации навесного оборудования для БПЛА, разработанная в отделе аэрокосмических исследований, она позволяет автоматически корректировать положение

оборудования в реальном времени. С помощью данной системы становится возможным стабильное положение камеры в надир во время полета, что обеспечивает высокую четкость и качество получаемых изображений и спектров подстилающей поверхности. Стабильность во время полёта достигается благодаря использованию двигателей с высоким крутящим моментом при низком напряжении питания: 7.5 кг/см при питании 6В.

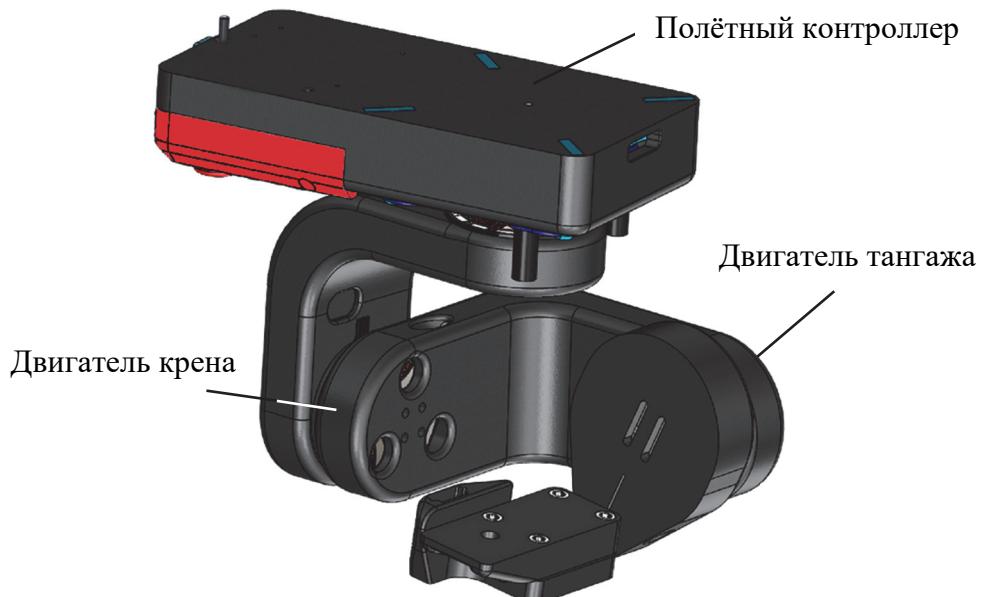


Рис. 3. Система активной стабилизации навесного оборудования для БПЛА

В качестве головного устройства системы стабилизации разработан полётный контроллер, в тоже время специальное программное обеспечение, написанное на языке C++ позволяет использовать контроллер Arduino, или мини компьютер Raspberry pi 4 model B в качестве головного устройства по структурной схеме взаимодействия элементов между собой, представленной на рисунке 4.

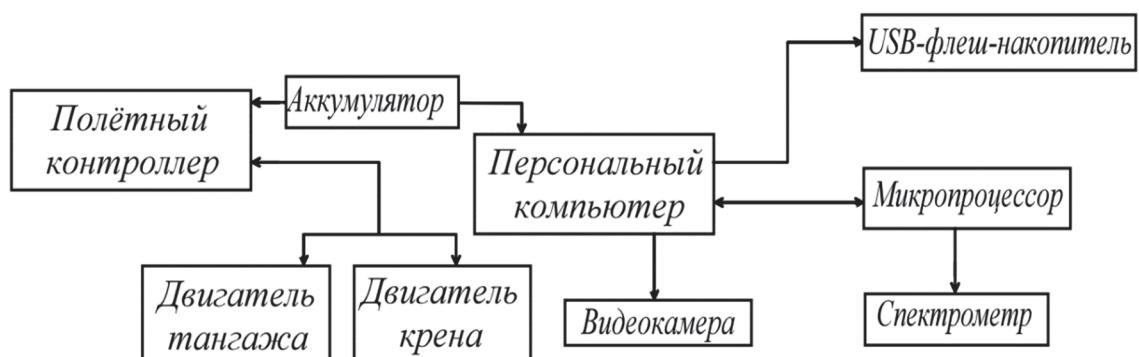


Рис. 4. Структурная схема взаимодействия элементов КМС и системы стабилизации между собой

Следующим этапом развития БЕКАС является объединение КМС и активной стабилизации, а также развитие возможностей дистанционного контроля и управления БПЛА с пульта оператора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Гуторов, А.В. Домарацкий, П.В. Ивуть, А.Д. Хомицевич, Н.Г. Щербаков Комплекс мультиспектральной съемки для БПЛА / А.В. Гуторов Семинар проблемные вопросы разработки беспилотных авиационных комплексов 2023 г.
2. Патент № 13010 Республики Беларусь, МПК G 01N 21/01 (2006.01). Устройство для авиаспектральной съемки: № 20220118: заявл. 25.05.2022 : опубл. 01.08.2022 / Бручковский И. И., Гуторов А. В., Домарацкий А. В., Ивуть П. В., Литвинович Г. С., Ломако А.А., Хомицевич А. Д., – 7 с. : ил. – Текст : непосредственный.

УДК 528.8

## ОСОБЕННОСТИ СЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ: ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНИКИ И МЕТОДЫ

А.В. ЛОСИК, Л.А. ЕВСЮК

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) открывают новые возможности в области фотографии и видеосъемки, благодаря их способности к уникальным полетам и маневрам. В данном докладе мы обсудим основные аспекты использования БПЛА, включая оборудование, техники и методы съемки.

**Оборудование:** В зависимости от задач съемки, БПЛА могут быть оснащены разнообразными камерами и датчиками. Камеры высокого разрешения с широким динамическим диапазоном обеспечивают качественные изображения. Гимбалы используются для стабилизации изображений, нивелируя движение и вибрацию дрона.

**Техники съемки:** БПЛА применяют различные полетные маневры и методы кадрирования для получения желаемых снимков. Для панорамных видов дрон может осуществлять вращение или летать по кругу. Техника «follow me», когда дрон следует за объектом, также широко используется для поддержания объекта в фокусе камеры.

**Методы съемки:** съемка с БПЛА может варьироваться от базовой фотографии до сложного 3D-моделирования, что незаменимо в таких сферах, как картография и строительство.

**Погодные условия:** при планировании съемки с БПЛА необходимо учитывать погодные условия, такие как ветер, дождь и облачность, которые могут повлиять на полеты и качество изображений.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ознамец Владимир Владимирович ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СЪЕМКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ // Образовательные ресурсы и технологии. 2020. №1 (30).

2. Журнал горная промышленность [Электронный ресурс]: Геоинформационные системы. – Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/geoinformsys/17379-topograficheskaya-semka-s-ispolzovaniem-bespilotnikov> – Дата доступа: 01.04.2024).

УДК 551.501.7

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНОЙ БЕСПИЛОТНОЙ ВОЗДУШНОЙ ПЛАТФОРМЫ САМОЛЕТНОГО ТИПА С ЦЕЛЕВОЙ НАГРУЗКОЙ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА АТМОСФЕРОЙ В ПЛАНЕТАРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ**

А.А. ЩАВЛЕВ, И.С. МАРКОВА, И.П. АНИСЬКОВ

Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов»

Национальной академии наук Беларуси

Минск, Беларусь

Современное исследование атмосферы в планетарном пограничном слое Земли – активная и многогранная область научных исследований. Исследования в этой области включают в себя изучение множества процессов, происходящих в этом слое, таких как перемещение тепла, влаги и газов, образование облаков и осадков, формирование турбулентного потока и ветров. Важно понимать эти процессы, чтобы улучшить прогнозы погоды и климата, а также эффективно управлять ресурсами и предотвращать экологические катастрофы. Оценка и прогноз состояния

планетарного пограничного слоя является важной практической задачей. Существуют различные наземные, полетные и спутниковые приборы дистанционного зондирования, которые могут использоваться для измерения свойств атмосферного пограничного слоя планеты, включая высоту пограничного слоя, аэрозоли, облака и т.д. Однако использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для наблюдения за атмосферой может быть более экономически выгодным, чем использование пилотируемых летательных аппаратов, спутников или других средств.

Одним из эффективных решений исследования атмосферы в планетарном пограничном слое Земли является разработка подсистемы наблюдения атмосферы (ПНА) на основе малогабаритной беспилотной воздушной платформы самолетного типа (БВП СТ) с целевой нагрузкой (ЦН) для наблюдения за атмосферой в планетарном пограничном слое.

Целью такой малогабаритной БВП СТ является повышение точности измерений параметров и информативности существующих потоков данных об атмосфере (давление, температура, относительная влажность, характеристика ветра, концентрация аэрозолей (PM2.5), концентрация озона, высота, географическое положение (далее - первичная информация)) на основе разработки специализированного беспилотного авиационного комплекса и интеграции в него ЦН – измерителя параметров атмосферы.

Малоразмерный БЛА самолетного типа «Бусел-М» (рис. 1) способен подниматься на высоту до 3 км по спиралевидной траектории заданного шага и по аналогичной траектории возвращаться в указанное место. При этом первичная информация, измеренная ЦН в режиме реального времени в виде потока данных может транслироваться на наземный пункт управления и далее к потребителю.



Рис. 1. БЛА самолетного типа «Бусел М»

Современная элементная база позволяет создавать разнообразную малогабаритную аппаратуру, включающую измерительные датчики, системы сбора, обработки и хранения данных, так, что вес бортового оборудования для измерения основных метеорологических параметров атмосферы для БЛА может не превышать 1000 г, и ее можно использовать на борту сверхлегких летательных аппаратов. Вес БЛА самолетного типа, используемого для создания БВП, около 12 кг. Продолжительность полета составляет около 3 часа, высота полета – до 3 км. БЛА имеет систему автопилотирования, позволяющую летать по заранее заданной траектории. Бортовая система измерения метеопараметров выполнена на базе следующих датчиков: датчик температуры, датчик давления, датчик влажности, датчик характеристики ветра, датчик концентрации аэрозолей (PM2.5), датчик концентрации озона, датчик концентрации углекислого газа, система определения точных координат БЛА.

Автоматическая метеостанция исследования состояния нижних слоев атмосферы (далее – метеостанция) (рис. 2) предназначена для сбора атмосферных данных с целью изучения структуры тропосферы, пограничного слоя атмосферы, буферной поверхности и турбулентного движения в атмосфере.

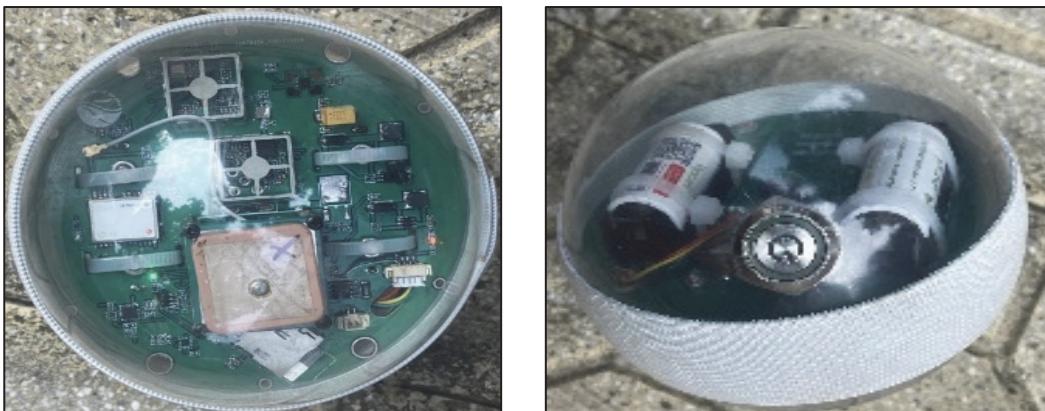


Рис. 2. Общий вид метеостанции

С помощью такой малогабаритной БВП СТ можно осуществлять мониторинг атмосферных процессов, изучать изменения климата и погоды, а также отслеживать загрязнение атмосферы, например, выбросы парниковых газов или промышленных выбросов. Такие данные могут быть полезны для научных исследований, прогнозирования погоды, а также для разработки мер по защите окружающей среды.

Дополнительным преимуществом использования малогабаритных БЛА является их относительная небольшая цена по сравнению с традиционными спутниками и исследовательскими аппаратами. Это делает

их доступными для широкого круга исследователей и позволяет проводить более частые и детальные измерения.

В целом, использование малогабаритной БВП СТ с ЦН для наблюдения за атмосферой в планетарном пограничном слое представляет собой эффективный инструмент для научных исследований и мониторинга природных явлений.

УДК 629.7.05

**ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ  
СИСТЕМА ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ  
КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ  
СИСТЕМЫ МАЛОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО  
АППАРАТА**

А. А. ШЕЙНИКОВ, В. А. МАЛКИН, Л. А. ИВАНИЦКИЙ

Военная академия Республики Беларусь

Минск, Беларусь

Длительное и точное определение навигационных параметров малых беспилотных летательных аппаратов (БЛА) до недавнего времени было невозможным без использования сигналов спутниковых радионавигационных систем (СРНС). Однако в настоящее время средства радиоэлектронной борьбы позволяют подавлять такие сигналы [1]. Поэтому актуальной становится задача разработки систем навигации, не требующих для обеспечения движения по заданному маршруту сигналов от СРНС. Что касается штатных автономных бесплатформенных инерциальных навигационных систем на микроэлектромеханических модулях (базовых элементов навигационных комплексов малых БЛА), то они без периодической коррекции [2] с течением времени быстро накапливают ошибку счисления координат. В таких условиях альтернативой СРНС могут стать автономные оптико-электронные корреляционно-экстремальные навигационные системы (ОЭ КЭНС) [3]. В контексте решаемой задачи разработки ОЭ КЭНС для малых БЛА, предлагается обратить внимание на трехмерные цифровые модели местности (ЦММ). Использование третьего измерения позволит увеличить точность позиционирования за счет увеличения объема обрабатываемых данных. Трехмерная реконструкция текущей ЦММ выполняется с использованием алгоритмов машинного зрения [4] путем сравнения координат подобных

точек на двух смещенных цифровых изображениях (ЦИ) (стереопаре), сделанных в надир с определенной задержкой. В процессе реконструкции трехмерной геометрии сцены по стереопаре, производится вычисление карты глубины (КГ) [4] и трехмерной структуры сцены (рисунок 1). Далее осуществляется преобразование результатов расчета в восстановленную (текущую) ЦММ с использованием фотограмметрических методов [5]. Так, на рисунке 2 приведена схема измерений высот объектов сцены (ВОС) с помощью бортовой цифровой камеры (БЦК).

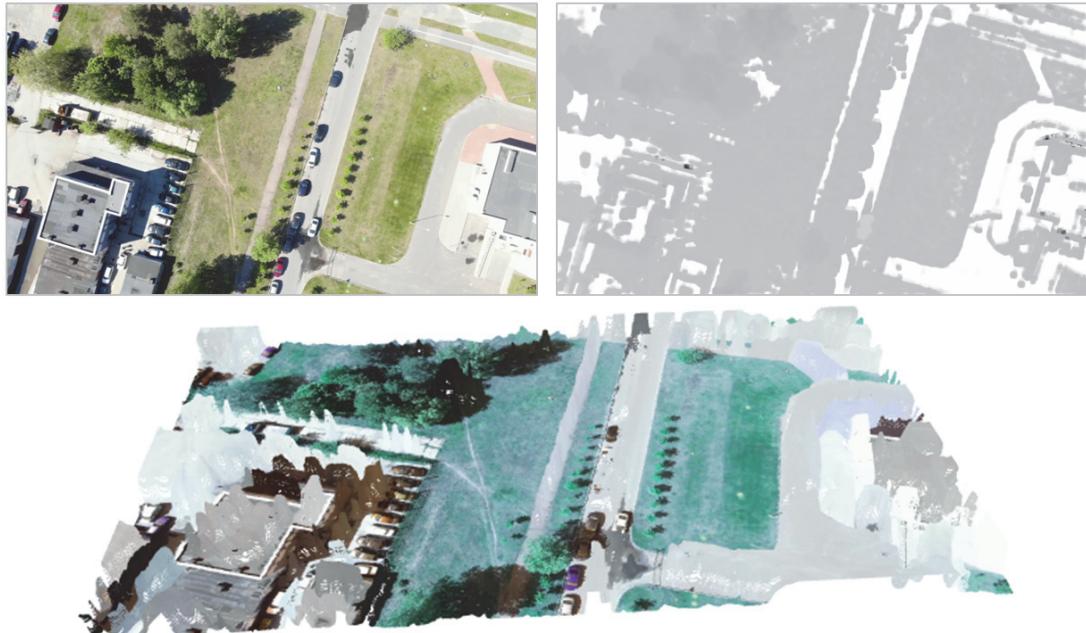


Рис. 1. Один кадр из стереопары, КГ и 3D-структура сцены

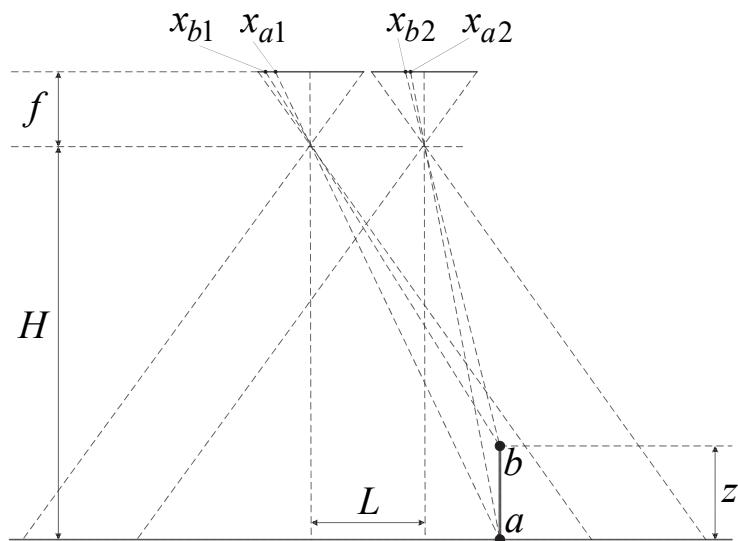


Рис. 2. Схема измерения ВОС по стереопаре

На рис. 2:  $a, b$  - нижняя и верхняя точка объекта сцены соответственно;  $x_{a1}, x_{b1}, x_{a2}, x_{b2}$  - координаты проекций точек  $a, b$  (отсчитываемые от левого края ЦИ) на первом и втором кадре соответственно;  $L = V\tau$  - путь, пройденный БЛА за время  $\tau$  между моментами съемки двух ЦИ, составляющих стереопару;  $V$  - истинная скорость БЛА;  $z$  - ВОС;  $H$  - высота полета БЛА;  $f$  - фокусное расстояние БЦК. В соответствии со схемой измерений, для расчета ЦММ по стереопаре (преобразования КГ в ЦММ) получены выражения для прямого и обратного расчета:

$$z = \frac{\xi H^2}{\xi H + V\tau f}; \quad \xi = \frac{zLf}{H(H-z)},$$

где  $\xi = (x_{a1} - x_{b1}) - (x_{a2} - x_{b2})$  - относительное смещение точек  $a$  и  $b$  в стереопаре.

С учетом того, что измерения проводятся с использованием матрицы БЦК, следует учитывать дискретность результатов измерений:

$$\Delta_\xi = \xi - \text{div}(\xi/p)p.$$

где  $p$  - размер пикселя матрицы БЦК.

Тогда погрешность измерения ВОС  $\Delta_z$ , обусловленную дискретностью измерителя, можно рассчитать так:

$$\Delta_z = \frac{\Delta_\xi H^2}{\Delta_\xi H + V\tau f}; \quad \Delta_{z\max} = \frac{pH^2}{pH + V\tau f}. \quad (1)$$

На рис. 3 представлена зависимость погрешности измерения ВОС от  $H$  и  $f$ .

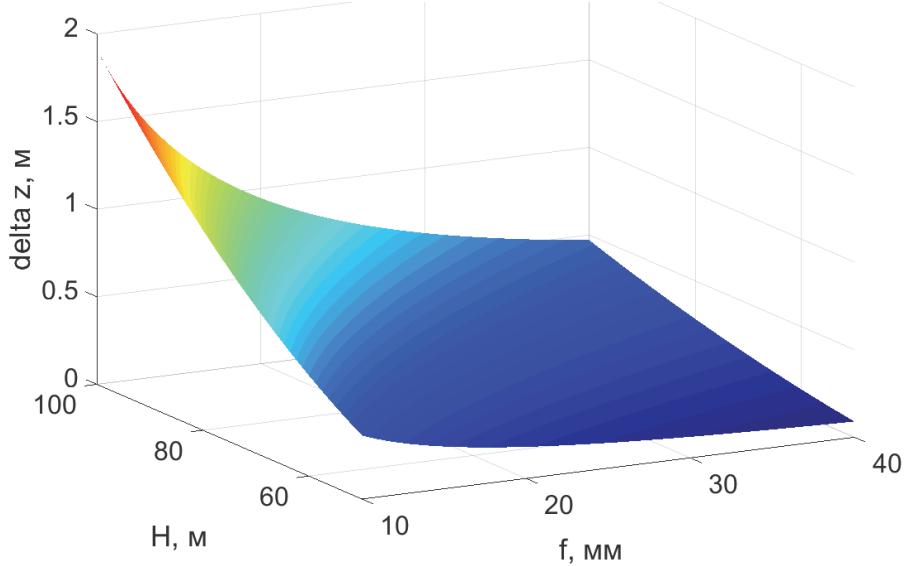


Рис. 3. Зависимость погрешности измерения ВОС от  $H$  и  $f$

Из рис. 3 видно, что главным фактором, влияющим на точность фотограмметрических измерений, является  $H$ . Быстрый рост погрешности при увеличении  $H$  выше 100 м еще раз подтверждает выводы, сделанные авторами ранее в [6]. Таким образом, можно с уверенностью констатировать, что в качестве рабочей высоты полета БЛА следует выбирать  $H = 100 \text{ м}$ . При большей  $H$  необходимо увеличение  $f$ , что потребует обеспечения более жестких требований к стабилизации БЦК. Современный технологический уровень обеспечивает измерение  $H$  в рассматриваемом диапазоне (0 – 100 м) с погрешностью не более  $\pm 1 \text{ м}$ . Соответственно, в качестве критерия по точности измерения ВОС с использованием предлагаемой системы целесообразно выбрать:  $\Delta_{z\max} = 1 \text{ м}$ . Для обеспечения такой точности, с учетом (1), а также с учетом известных характеристик БЦК ( $p = 1,5 \text{ мкм}$ ;  $\tau = 35 \text{ мкс}$ ;  $f = 14 \text{ мм}$ ) и установленного значения  $H$  (100 м), целесообразно выбрать  $V = 109 \text{ км/ч}$ . Таким образом, предлагаемая система обеспечивает приемлемую точность фотограмметрических измерений, что в свою очередь важно для корректной работы ОЭ КЭНС малых БЛА.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Теодорович, Н.Н., Способы обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами / Н.Н.Теодорович, С.М. Строганова, П.С. Абрамов // Науковедение – Т. 9, – №1 – 2017.
2. Пролетарский, А.В. Способы коррекции навигационных систем и комплексов летательных аппаратов / А.В. Пролетарский, К.А. Неусыпин // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Приборостроение» – 2012. – С. 223–216.
3. Костяшкин, Л.Н. Совмещение изображений в корреляционно-экстремальных навигационных системах / Л.Н. Костяшкин, М.Б. Никифоров. – М.: Радиотехника, 2015. – 208.
4. Клетте, Р. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы / пер. с англ. А.А. Сликин. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 506.
5. Козин, Е.В. Фотограмметрия / Е.В. Козин, А.Г. Карманов, Н.А. Карманова. – СПб.: Университет ИТМО, 2019. – 142.
6. Шейников, А.А. Математическая модель ошибок высотомера беспилотного летательного аппарата на базе стереосистемы технического зрения / А.А. Шейников, В.А. Малкин, А.А. Санько, Л.А. Иванецкий // Авиационный вестник. – 2022. – № 7. – С. 68-75.

УДК 629.7.014.16:614.8

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МЕДИЦИНСКИХ ДОСТАВОК И СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ**

Д.Р.САЛИХОВ, Б.С. МУРЗАБУЛАТОВ

Башкирский государственный аграрный университет  
Уфа, Россия

Развитие направления: спасательные операции, доставка медикаментов на основе применения БПЛА не стоит на месте, а лишь набирает обороты. Ожидается новые тенденции, проблемы и возможности для индустрии беспилотной авиации.

**БПЛА-Беспилотный Летательный Аппарат.** Это аппарат, который способен совершать полёт без пилота на борту. С помощью заранее заданных программ или ручного механизма человек может управлять им с земли. Аппараты, которые имеют такое название, называют дронами, квадрокоптерами или беспилотными воздушными судами (БВС).

Россия быстро набирает обороты использования БПЛА при: поисково-спасательных операциях, ликвидации пожаров, чрезвычайных ситуациях и доставки медикаментов. В первую очередь спасение людей требует незамедлительной реакции. Исходя из этого новые технологии стремительно внедряются в сферу беспилотной авиации. Дроны используют в своей работе волонтеры поисковых отрядов сотрудники МЧС и многие другие. В его арсенале есть способность быстро и точно идентифицировать человеческое тело в условиях чрезвычайных ситуаций, таких как землетрясения, пожары, горные потоки или другие стихийные бедствия. БПЛА целесообразно применять для обнаружения очагов ЧС, доставки медикаментов, обнаружения людей на объектах с повышенным уровнем опасности и многое другое. С помощью беспилотной авиации операции выполняются в кратковременные сроки с наименьшими рисками для здоровья и жизни личного состава спасательных служб.

Рассмотрим с помощью чего быстрее и эффективнее выполнять спасательные операции и доставку медикаментов.

Одним из инструментов для помощи в спасательных операциях, является БПЛА, оснащенный инфракрасными тепловизионными детекторами или модулями, которые весьма ускоряют процесс нахождения пропавших людей.

Благодаря уникальным свойствам термического зрения такая техника прочно закрепилась в арсенале служб, которым доверено спасение людей.

В случае необходимости БПЛА, оснащенные данными детекторами или модулями, могут работать в ночное время суток, не используя внешние источники света. У него есть возможность проникать сквозь дым и другие неблагоприятные условия окружающей среды на расстоянии до нескольких сотен метров, даже если он находится в густой дымке. В его арсенале есть способность быстро и точно идентифицировать человеческое тело в условиях чрезвычайных ситуаций, таких как землетрясения, пожары, горные потоки или другие стихийные бедствия. Он может быстро и точно определить местонахождение людей, попавших в ловушку, а также оценить вероятность возникновения опасности на поврежденной дороге, что значительно повысит эффективность и безопасность спасательных мероприятий.

На рис. 1 показана эффективность обнаружения людей с помощью тепловизионных приборов.



Рис. 1. Тепловизионный снимок

Для проведения спасательных операций компания по производству БПЛА DJI предлагает новейшие технологии, которые применяются практически во всех странах. Одним из таких аппаратов является DJI Mavic 2 Enterprise Advanced (рисунок 2). Компактный и маневренный БПЛА, который оснащен тепловизионным разрешением HD  $640 \times 512$  пикселей и визуальной камерой 48 Мп с CMOS-матрицей 1/2 дюйма. Режим двойного видения позволяет просматривать изображения с пульта управления DJI Smart Controller как в визуальном формате, так и изображение с тепловизора. Частота кадров тепловизора составляет 30 Гц; погрешность температуры —  $\pm 2^\circ\text{C}$ . Имеется цифровое 32-кратное зумирование для визуальной съемки и 16-кратное для тепловизионной.

Этот дрон способен нести на себе различную полезную нагрузку, включая фонарь с высокой светоотдачей в 2400 люмен и громкоговоритель с заранее записанной информацией для спасательных служб или же для передачи информации о ситуации для людей, оказавшихся в затруднительном положении. Модуль RTK имеет полезную нагрузку в виде метрической точности позиционирования. С помощью данного дрона спасатели могут доставлять грузы, которые не превышают по размеру медицинские препараты и вещи первой необходимости. Благодаря этому, можно рассчитать максимально допустимое время полета БПЛА. Оно составляет 31 минуту в зависимости от установленной полезной нагрузки. Примечательно, что средний участок во время поисковых мероприятий 0.5 на 0.5 км БПЛА преодолевает за четверть часа, в результате чего удается собрать максимально точную информацию местности сканирования. Рабочая температура колеблется от -10°C до +40°C.



Рис.2- DJI Mavic 2 Enterprise Advanced

**Заключение.** Беспилотная авиация все больше набирает популярность в Российской Федерации, в данной статье мы определили важность новейших технологий в сфере медицинских доставок и спасательных операциях. В сферах деятельности, где важна каждая секунда времени дроны являются главным помощником.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Тактика работы дронов во время поисково-спасательных мероприятий [Электронный ресурс] Автор: Кристина Волкова [сайт]. - режим доступа:<https://skymec.ru/blog/drone-use-cases/bezopasnost/rabota-dronov-vo-vremya-psm/>

## **ТАКТИКА ПОИСКА ПОСТРАДАВШИХ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В МЧС**

П.М. КОТОВ, Д.В. БЕЗМЕН, И.И. КОВАЛЕНКО  
Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в поисково-спасательных операциях в последнее время приобрело популярность. Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь активно внедряет операции БПЛА, поскольку доказано, что они значительно повышают эффективность. Дроны способны обнаруживать объекты в сложных и труднодоступных местах, тем самым сокращая время поиска, помимо этого могут дать инструкцию через громкоговоритель и специальный фонарик, чтобы вывести людей из труднопроходимой местности, с их помощью на место можно быстро доставить лекарства и другую помощь.

В нынешних реалиях тепловизор является наиболее часто используемой утилитой при тушении пожаров, которая измеряет разницу температур для обнаружения самых важных точек и обнаружения людей во время поисково-спасательных операций. Разведка местности включает в себя осмотр территории, обнаружение наиболее сложных участков и самых высоких точек, а также поиск людей даже в условиях плохой видимости. При правильном учете эргономических факторов, включая простоту эксплуатации и возможность функционировать в сложных условиях, БПЛА может продолжать сохранять функции в поисково-спасательных работах.

В качестве увеличения эффективности при поисково-спасательных работах с использованием дронов, следует использовать следующие способы:

1. Параллельное (зигзагообразное) галсирование - подход позволяющий осуществлять более эффективное и скоростное сканирование большой площади, также позволяет обеспечить более равномерное покрытие всей области поиска и более точную навигацию. Кроме того, такой метод работы уменьшает возможность пропуска зоны поиска и повышает вероятность обнаружения интересующих объектов или областей. При этом возможно использование различных сенсоров и оборудования на беспилотных аппаратах для обнаружения и анализа информации. В целом, параллельное галсирование является эффективным и гибким подходом к работе на обширной территории.

Перед началом миссии поиска оператору необходимо определить наиболее вероятное местонахождение человека или очаг возгорания. Для этого можно использовать информацию от свидетелей, сенсорные данные или другую разведывательную информацию. Затем оператор начинает визуальный поиск, охватывая всю заданную область. Чем выше летательный аппарат, тем больше расстояние между пролетами, чтобы обеспечить достаточное покрытие области поиска.

Важно отметить, что внутри каждого пролета есть максимально допустимый угол обзора с каждой стороны. Это означает, что летательный аппарат должен иметь достаточную маневренность и способность поворачиваться или изменять свою траекторию, чтобы обеспечить максимально возможный обзор в каждую сторону.

Таким образом, использование пролетов в поисковых операциях с беспилотными летательными аппаратами позволяет эффективно охватывать и осматривать заданную область, что значительно увеличивает шансы на обнаружение и определение местонахождения искомого объекта.

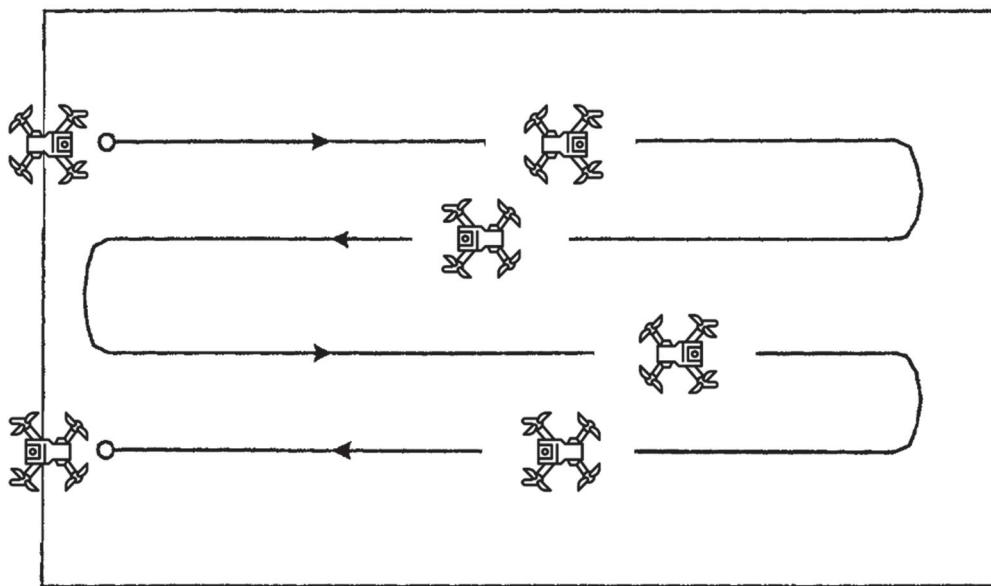


Рис. 1 – Параллельное галсирование

2. Поиск по расширяющемуся квадрату – подход позволяющий выполнять полеты по расширяющемуся квадрату, он движется по заданному маршруту, который строится таким образом, чтобы каждый следующий параллельный участок пересекал предыдущие участки. Это позволяет максимально охватить всю территорию поиска. Квадрокоптер оборудован камерой или другими сенсорами, которые

позволяют собирать данные о местности, например, фотографии или видеоизображения.

Для автоматизации процесса поиска можно использовать алгоритмы компьютерного зрения. Они анализируют изображения, полученные с камеры, и находят объекты или признаки, которые могут свидетельствовать о присутствии потерянного, например, его одежда или другие предметы. При обнаружении потерянного или подозрении о его местонахождении, квадрокоптер может отправлять координаты или другую информацию оператору.

Использование квадрокоптера для поиска является эффективным и быстрым методом, так как он позволяет охватить большую площадь за короткое время.

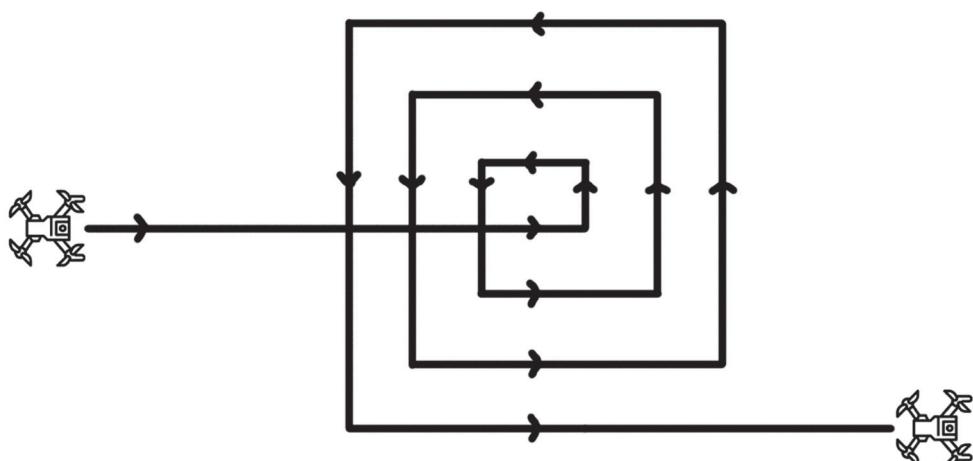


Рис. 2 – Поиск по расширяющемуся квадрату

Квадрокоптер также может достигать мест, которые могут быть труднодоступны для людей или других транспортных средств. Все это делает его незаменимым инструментом в операциях поиска и спасания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Министерства обороны Республики Беларусь от 1 августа 2022 г. № 41 «Об утверждении Авиационных правил организаций и выполнения полетов государственных беспилотных летательных аппаратов Республики Беларусь»
2. Приказ Департамента по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 04.10.2022 № 268 Руководство по порядку государственного учета и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов.

УДК 681.51

## РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА

А.С. ОГОРОДОВ, А.Е. БЛАГОВ, А.А. МАХАНЬКО

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им.А.Н.Туполева – КАИ  
Казань, Россия

Современный уровень развития автоматики, электроники и механики позволяет создавать робототехнические комплексы (РТК) различного назначения, позволяющие существенно повысить эффективность и безопасность работы человека. Применение робототехнических средств в военном деле также позволяет добиваться ранее недостижимых результатов, при этом существенно уменьшив опасность для личного состава. С развитием технологий, изменением видения будущих войн и необходимостью вести противопартизанские боевые действия в многочисленных горячих точках боевые наземные роботы становятся всё более востребованным видом вооружения.

Предлагаемый РТК изначально предполагается разрабатывать исходя из требований применения именно в тактическом звене, основные из которых можно сформулировать следующим образом:

- малая масса подвижной платформы. Позволяет организовать транспортировку таких платформ стандартным армейским транспортом, а в случае необходимости ручную переноску силами расчёта (погрузка, разгрузка, преодоление крупных препятствий);
- применение только стандартного стрелкового и инженерного вооружения. Позволяет осуществлять снабжение боеприпасами и запасными частями вооружения силами самих тактических подразделений;
- дальность действия (дальность действия связи и запас хода платформы) РТК – 2,5 – 3,5 км. Соответствует глубине огневого воздействия средств тактических подразделений (дальность выстрела батальонного миномёта);
- электрическая силовая установка. Обладает существенно меньшей шумностью и выделением тепла по сравнению с двигателями внутреннего сгорания. А использование современных высокоэнергоёмких аккумуляторов позволяет обеспечить необходимую дальность, скорость и тяговооружённость платформы;
- скрытность. Платформа должна обладать небольшими габаритами для обеспечения малой заметности на поле боя, а также специальными средствами маскировки;
- способность к длительной автономной работе. Платформа должна сохранять работоспособность в случае потери связи с управляющими

средствами с РТК и иметь возможность восстановления управления после длительного отсутствия связи;

– устойчивость связи и возможность организации связи в условиях противодействия средств РЭБ противника;

– тактическая гибкость. Возможность перенастройки или даже небольшой переделки РТК в полевых условиях для решения разных задач и использования различных средств вооружения и разведки;

– ремонтопригодность. Возможность быстрой (поблочной) замены вышедших из строя элементов РТК в полевых условиях.

Описанный ниже робототехнический комплекс (РТК) полностью отвечает приведённым условиям.



Рис. 1. Макетный образец шасси РТК

Для обеспечения устойчивой связи в условиях применения противником средств радиоэлектронной борьбы необходимо организовать канал связи с учётом такого воздействия. При этом можно воспользоваться особынностью ведения радиоэлектронной борьбы, заключающейся в том, что подавление сигналов связи ведётся в относительно небольшом диапазоне частот, который противник определил (в результате наблюдения) как основной, в котором ведётся радиосвязь и передача данных.

Эффективной контрмерой против такого подавляющего воздействия является разработка системы связи, способной обмениваться данными по каналу относительно небольшой ширины, но способную варьировать несущую частоту данного канала связи в очень широком диапазоне, недоступном для одновременного подавления средствами РЭБ противника. Дополнительно можно организовать алгоритм взаимодействия между гусеничной платформой и пультом управления таким образом, что конкретная частота связи будет неизвестна даже связывающимся сторонам до начала непосредственно сеанса связи.

Основной организационной единицей, отвечающей за применение РТК в боевых условиях, является отделение, состоящее из четырёх человек: командира, двух операторов и техника.

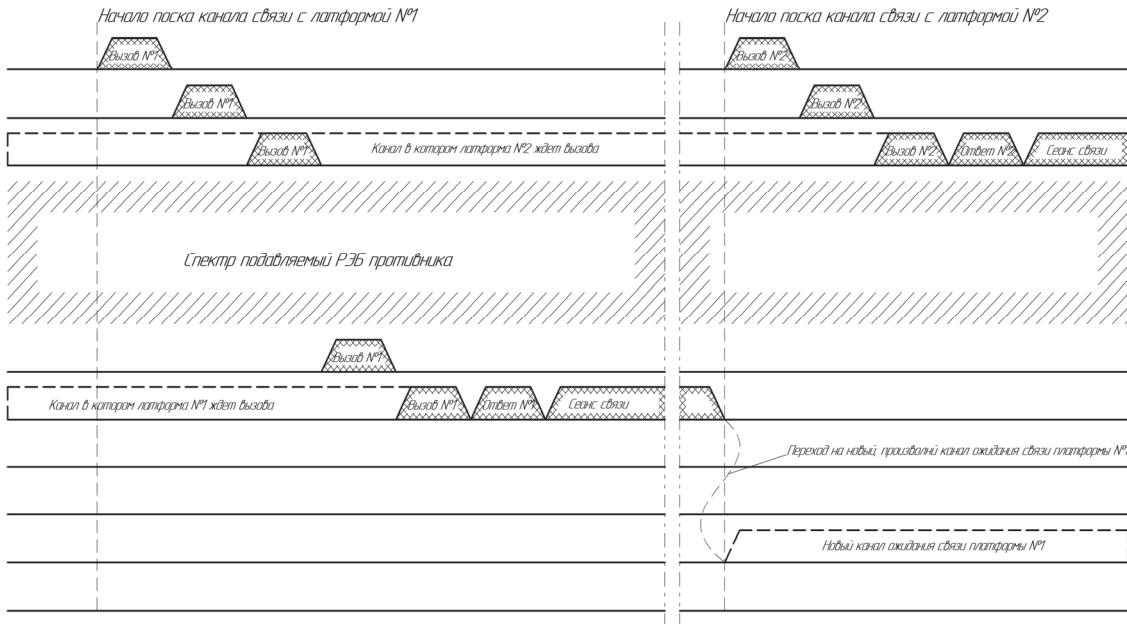


Рис. 2. Алгоритм организации радиосвязи

Основу вооружения отделения составляет комплект из двух гусеничных шасси, набора платформ полезной нагрузки различного назначения, двух пультов управления и средств технической эксплуатации, также все военнослужащие имеют личное оружие для самообороны и огневой поддержки подразделения, включающего в свой состав отделение РТК. Полный набор средств отделения РТК определяется исходя из возможности транспортировки их одним стандартным грузовым автомобилем или одним бронетранспортёром, конструкции которых доработаны с целью обеспечения данной перевозки.

Гусеничные платформы РТК со средствами индивидуальной маскировки также могут размещаться в предполагаемой зоне боевых действий заблаговременно в составе инженерных заграждений. В этом случае при занятии позиций, включающих данное инженерное заграждение подразделениям, включающим отделения РТК, соблюдаются индивидуальные номера гусеничных платформ, размещенных в их зоне ответственности. При подобной организации боевых действий с участием отделений РТК им нет необходимости возить с собой комплекты шасси и платформ полезной нагрузки. Однако такой способ использования РТК целесообразнее всего при занятии обороны и с использованием преимущественно инженерных боеприпасов в качестве снаряжения РТК (организация подвижного минно-фугасного заграждения). В этом случае платформы РТК должны иметь возможность совершать короткие быстрые рывки с замаскированных позиций к объектам, находясь под управлением операторов отделения РТК.

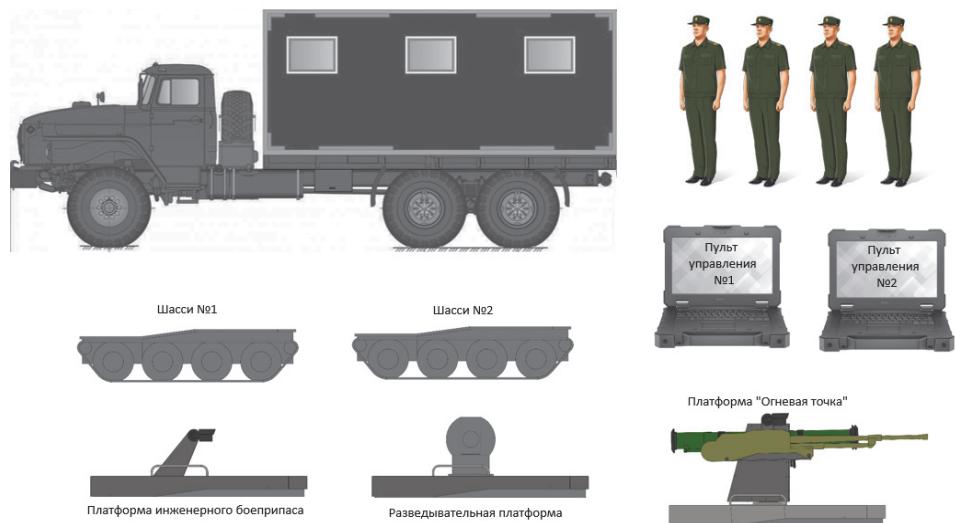


Рис. 3. Отделение РТК

В других вариантах ведения боевых действий тактика и снаряжение РТК определяется тактической обстановкой. Так, например, для поражения хорошо бронированной техники и защищённых объектов (танки, доты) могут использоваться варианты снаряжения с реактивными противотанковыми гранатами или подобным вооружением (штурмовые гранаты, реактивные огнемёты). Для поражения живой силы в состав полезной нагрузки необходимо включать стрелковое оружие разных калибров, также крупнокалиберное стрелковое вооружение может использоваться для поражения легкобронированной техники. Возможно использование платформы РТК с дополнительной стабилизацией стрелкового оружия для решения снайперских задач. При размещении на платформе РТК средств наблюдения он также способен решать задачи тактической разведки в интересах подразделения (батальон, рота).

Основным режимом управления для РТК является дистанционное управление оператором посредством пульта, имеющегося в распоряжении отделения РТК. В качестве вспомогательного может быть использован режим автономного управления по сигналам спутниковой навигационной системы. Однако, этот режим можно использовать ограниченно в условиях простого рельефа местности.

Для решения задачи полностью автономного управления необходимо дополнить контур управления системой технического зрения с функцией анализа изображения и распознавания образов, которая могла бы выявлять препятствия и опознавать возможные цели. Однако, на разработку такой системы требуется дополнительное время.

Таким образом предлагаемый РТК наиболее полно отвечает требованиям применения в тактических подразделениях.

УДК 681.51

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫМ И БОКОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА САМОЛЕТНОГО ТИПА

С.В.БАБИНА, С.А. ТЕРЕНТЬЕВ

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им.А.Н.Туполева – КАИ  
Казань, Российская Федерация

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА или БЛА) – это летательный аппарат, который управляется без экипажа на борту. На данный момент БПЛА являются одной из наиболее перспективных отраслей как с технической точки зрения, так и с точки зрения экономики. Согласно стратегии развития беспилотной авиации, утвержденной правительством Российской Федерации 21.06.2023 г., новая отрасль появится уже в ближайшие 6 лет. При этом большие возможности для реализации потенциала БПЛА представляются в сельском хозяйстве, строительном надзоре, создании и обновлении геопространственных баз данных и доставке [1].

В общем случае движение БПЛА самолетного типа описывается системой нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений. Система уравнения в таком виде не решаема аналитически, поэтому принимают допущения о малых значениях угловых параметров можно пренебречь перекрестными связями между продольным и боковым движениями.

С учетом принятых упрощений систему линеаризованных дифференциальных уравнений, описывающую движение БПЛА самолетного типа в продольной плоскости, можно представить в виде:

$$\left. \begin{array}{l} \dot{\alpha}(t) + a_{22}a(t) + a_{23}\omega_z(t) = b_{21}\delta_b(t) + \bar{F}_{yb}(t) \\ \dot{\omega}_z(t) + a_{32}a(t) + a_{33}\omega_z(t) = b_{31}\delta_b(t) + \bar{M}_{zb}(t) \\ \dot{v}(t) = \omega_z(t) \\ \dot{H}(t) = a_{41}\theta(t) \end{array} \right\} \quad (1)$$

где  $a(t)$  - угол атаки,  $\vartheta(t)$  - угол тангажа,  $\omega_z(t)$  - угловая скорость по тангажу,  $\theta(t)$  - угол наклона траектории,  $H$  - высота полета,  $a_{ij}$  – аэродинамические коэффициенты самолета в продольном движении,  $b_{21}$  и  $b_{31}$  – коэффициенты подъемной силы рулей высоты и создаваемого ими момента соответственно,  $\bar{F}_{yb}(t)$  - возмущающее воздействие вдоль оси ОY,  $\bar{M}_{zb}(t)$  - возмущающий момент относительно ОZ [2].

Для построения модели в среде MATLAB Simulink введем обозначения:

$$T_c = \frac{1}{\sqrt{a_{22}a_{33} + a_{32}}}; T_1 = \frac{1}{a_{22}}; \zeta_c = \frac{a_{22} + a_{33}}{2\sqrt{a_{22}a_{33} + a_{32}}}; k_c = \frac{|b_{31}|a_{32}}{a_{22}a_{33} + a_{32}}; k_f = \frac{a_{32}}{a_{22}a_{33} + a_{32}};$$

$$k_M = \frac{a_{22}}{a_{22}a_{33} + a_{32}}$$
(2)

Из системы (1) с учетом обозначений (2) могут быть получены передаточные функции, на основе которых построена модель на Рис. 1.

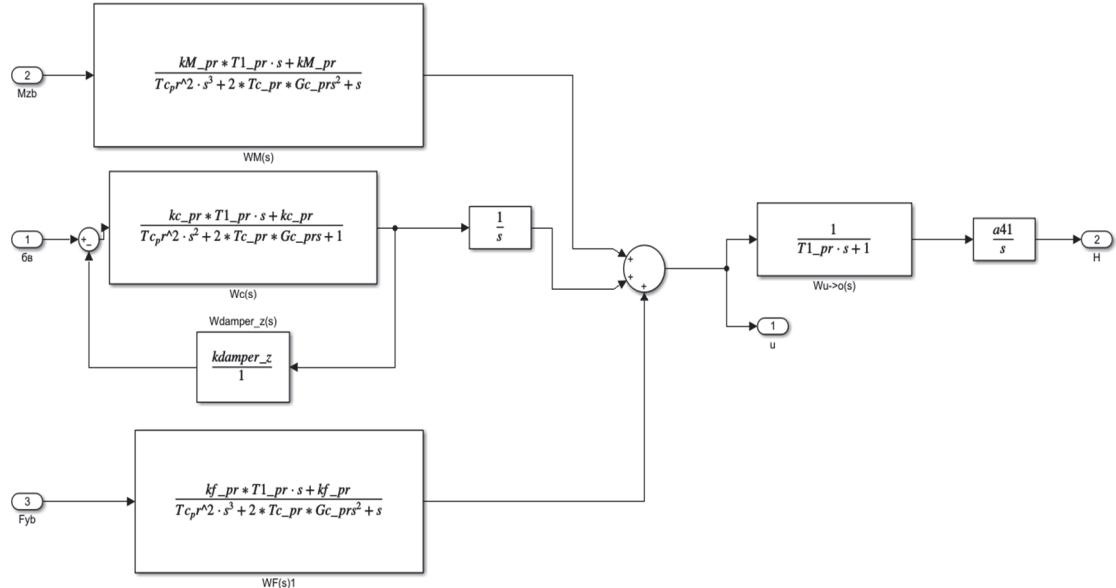


Рис. 1. Модель канала продольного движения в Simulink

На Рис. 2 приведена схема регулирования высоты полета. Регулирование обеспечивается с помощью PID-регулятора.

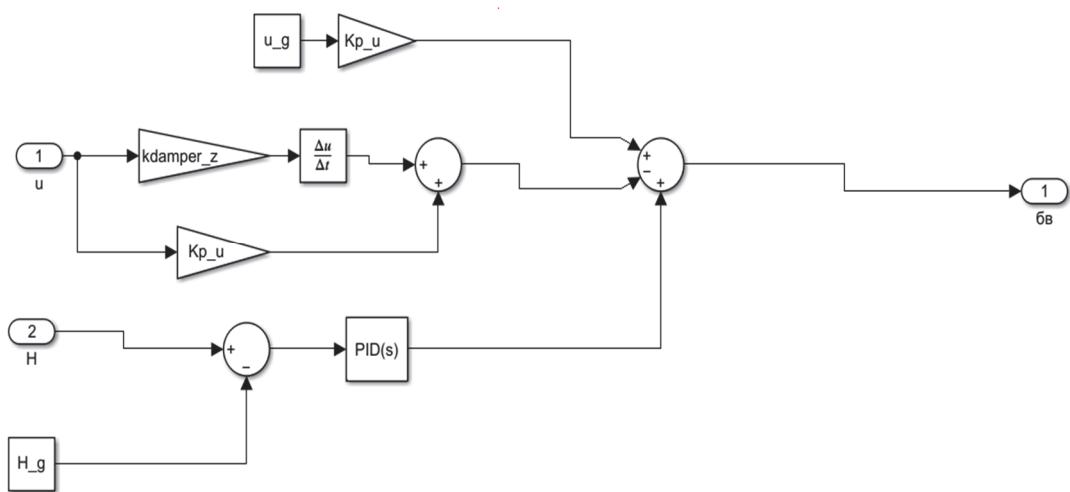


Рис. 2 Модель автомата высоты в среде Simulink

В модель введена нелинейность типа зона насыщения, имитирующая ограниченности диапазона работы рулевых машинок. Используя значения, приближенные к реальным [3] и задавая желаемую высоту равной 1000 м проведем моделирование, результаты которого приведены на Рис. 3.

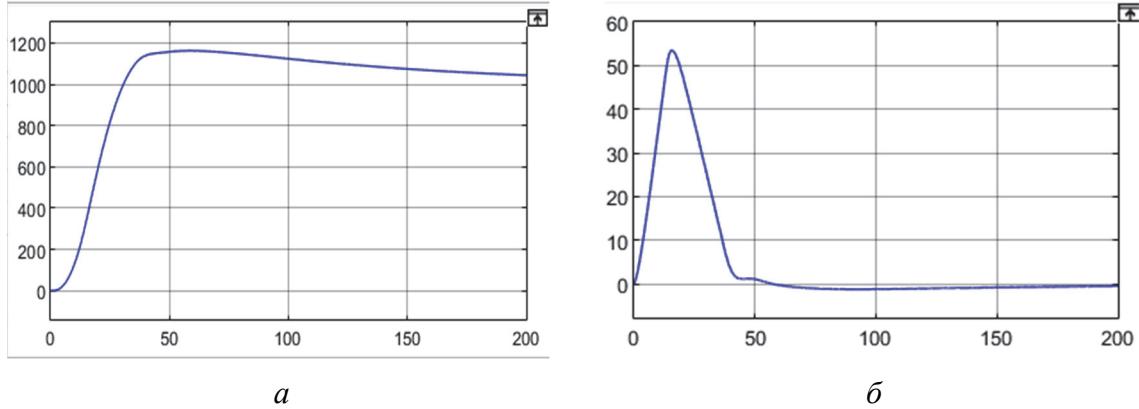


Рис. 3. Результаты моделирования:  
а – изменение высоты во времени; б – изменение тангажа во времени

Учитывая допущения, принятые для бокового движения систему уравнений можно представить, как:

$$\left. \begin{aligned} \dot{\beta}(t) - n_{11}\beta(t) - n_{12}\omega_y(t) &= m_{11}\delta_H(t) + m_{12}\delta_3(t) + \bar{F}_{zb}(t) \\ \dot{\omega}_y(t) - n_{21}\beta(t) - n_{22}\omega_y(t) &= m_{21}\delta_H(t) + m_{22}\delta_3(t) + \bar{M}_{yb}(t) \\ \dot{\omega}_x(t) - n_{31}\beta(t) - n_{33}\omega_x(t) &= m_{31}\delta_H(t) + m_{32}\delta_3(t) + \bar{M}_{xb}(t) \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Принятые обозначения:  $n_{ij}$  – аэродинамические коэффициенты;  $m_{ij}$  – коэффициенты подъемной силы руля направления и элеронов и создаваемого ими момента;  $\beta$  – угол скольжения;  $\omega_y$ ,  $\omega_x$  – угловые скорости рыскания и крена соответственно;  $\delta_H$ ,  $\delta_3$  – углы отклонения руля направления и элеронов;  $\bar{F}_{zb}$ ,  $\bar{M}_{yb}$ ,  $\bar{M}_{xb}$  – возмущающая сила и моменты. При построении модели также введены обозначения:

$$\begin{aligned} T_c &= \frac{1}{\sqrt{n_{11}n_{22} + |n_{21}|}}; T_1 = \frac{1}{|n_{11}|}; \zeta_c = \frac{|n_{11}| + n_{22}}{2\sqrt{n_{11}n_{22} + |n_{21}|}}; k_c = \frac{|m_{21}|n_{11}}{n_{11}n_{22} + |n_{21}|}; k_c^M = \frac{|n_{11}|}{n_{11}n_{22} + |n_{21}|}; \\ k_c^f &= \frac{|n_{21}|}{n_{11}n_{22} + |n_{21}|}; k_\gamma = \left| \frac{m_{32}}{n_{33}} \right|, k_\gamma^\beta = \left| \frac{n_{31}}{n_{33}} \right|, k_y^M = \left| \frac{1}{n_{33}} \right|, T_\gamma = \frac{1}{|n_{33}|}, k_\gamma^{\delta_1} = \left| \frac{m_{31}}{n_{33}} \right|, k_\beta^{\delta_1} = \frac{m_{21}}{n_{11}n_{22} + |n_{21}|} \end{aligned} \quad (4)$$

На рисунке 4 – модель канала бокового движения, основанная на системе уравнений (3) с учетом введенных обозначений (4).

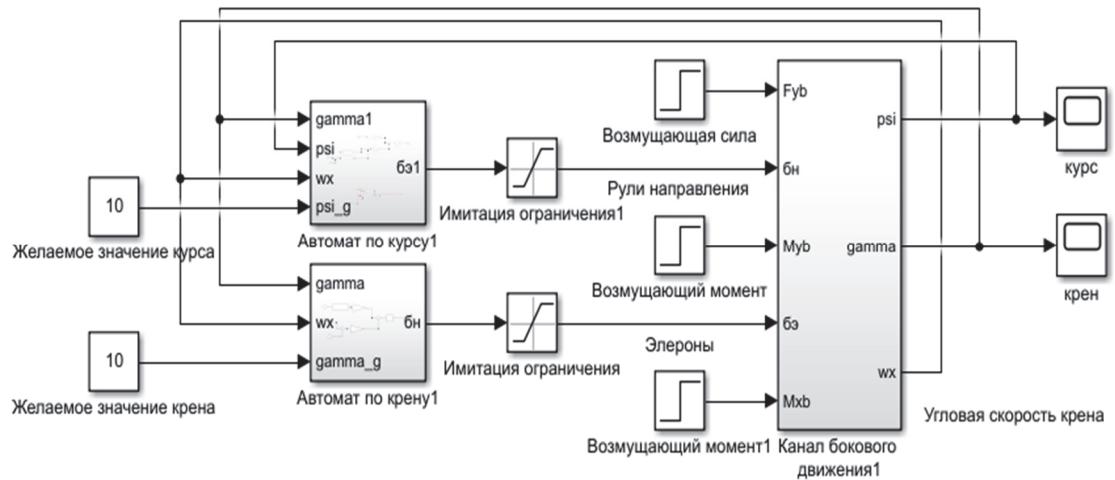


Рис.4 Модель канала бокового движения в Simulink

Аналогично построению САУ продольным движением в САУ боковым движением введены автоматы стабилизации по крену и курсу, а также демпферы. В модель введена нелинейность типа зона насыщения, имитирующая ограниченности диапазона работы рулевых машинок. Используя значения, приближенные к реальным [3] и задавая поочередно желаемый угол крена и курса равными 10 градусам проведем моделирование, результаты которого приведены на рис. 5.

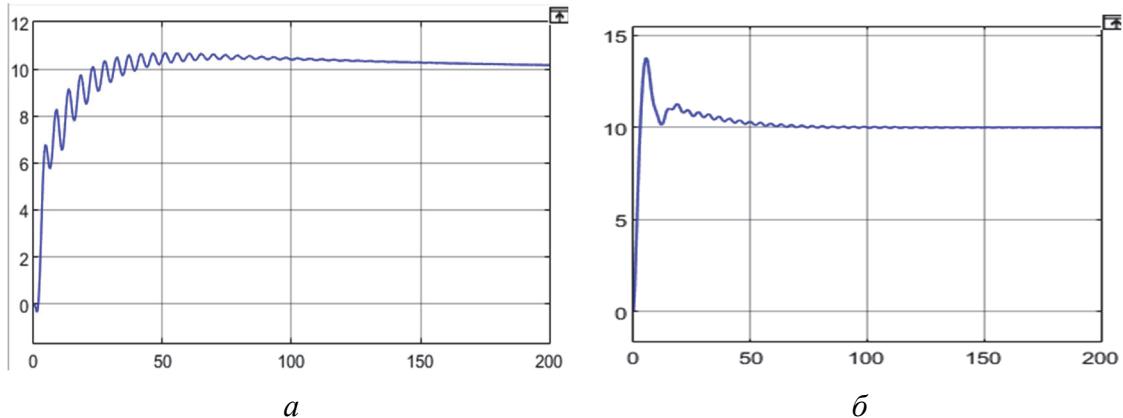


Рис. 5. Результаты моделирования:  
а – изменение курса во времени; б – изменение крена во времени

**Выводы.** Из результатов моделирования следует, что системы управления продольным и боковым движением обеспечивают выход достижение заданных параметров (высоты полета, углов крена и курса). При этом время регулирования составляет менее 170 с для продольного движения и менее 120 с для бокового. Перерегулирование в обоих случаях не превышает 35%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ. Распоряжение от 21 июня 2023 г. № 1630-р. Стратегия развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года. Москва. URL: <http://static.government.ru/media/files/3m4AHa9s3PrYTDrl316ibUtyEVUpnRT2x.pdf> (Дата обращения: 22.03.2024 г.)
2. Гусев А.Н. Системы автоматического управления самолетом: Учебное пособие/Самар.гос.аэрокосм.ун-т. Самара, 2004. 138 с.
3. Гуцевич Д.Е. Моделирование поведения летательного аппарата самолетного типа с автоматическим управлением в различных режимах полёта // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2018. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-povedeniya-letatelnogo-apparata-samoletnogo-tipa-s-avtomaticheskim-upravleniem-v-razlichnyh-rezhimah-polyota> (дата обращения: 22.03.2024).

УДК 681.51

## АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОПИЛОТА ВЕРТОЛЁТА

К.С. ЖУРАВЛЕВА, С.А. ТЕРЕНТЬЕВ

Казанский национальный исследовательский технический

университет им.А.Н.Туполева – КАИ

Казань, Российская Федерация

**Введение.** Вертолеты – это летательные аппараты (ЛА) вертикального взлёта, которые имеют возможность решать широкий спектр задач и функционировать на режимах, которые недоступны другим типам ЛА. В настоящий момент является актуальной задача разработки автопилота вертолета, который способен управлять воздушным судном и осуществлять его полет по заранее определенному маршруту.

Особенностью автопилота является сохранение замкнутой системы "вертолет-пилот", так как и пилот, и автопилот могут воздействовать на органы управления одновременно, даже когда автопилот включен (рис. 1).

Уравнения равновесия сил, описывающие движения вертолета как твердого тела, а также уравнения равновесия моментов относительно оси несущего винта:

$$\begin{aligned}
m(\dot{V}_X + \omega_Y V_Z - \omega_Z V_Y) &= R_X - G \sin \vartheta; \\
m(\dot{V}_Y + \omega_Z V_X - \omega_X V_Z) &= R_Y - G \cos \vartheta \cos \gamma; \\
m(\dot{V}_Z + \omega_X V_Y - \omega_Y V_X) &= R_Z - G \cos \vartheta \sin \gamma; \\
J_X \dot{\omega}_X &= M_X + (M_Y - \xi M_{\text{ДВ}}) J_{XY} / J_y; \\
J_Y \dot{\omega}_Y &= M_Y + M_X - \xi M_{\text{ДВ}} + M_X J_{XY} / J_X; \\
J_Z \dot{\omega}_Z &= M_Z.
\end{aligned}$$

где  $m$  и  $G$  – масса и сила тяжести (вес) вертолета;  $R_X, R_Y, R_Z$  – составляющие результирующей аэродинамической силы  $\bar{R}$  вертолета;  $M_X, M_Y, M_Z$  – составляющие момента силы  $\bar{M}$  вертолета;  $V_X, V_Y, V_Z$  – проекции вектора  $\bar{V}_{\text{в}}$  воздушной скорости полета на оси связанной системы координат;  $\omega_X, \omega_Y, \omega_Z$  – скорости крена, рыскания и тангла;  $\omega_h$  – угловая скорость вращения несущего винта;  $J_X, J_Y, J_Z$  и  $J_{XY}$  – составляющие моменты инерции вертолета относительно соответствующих осей;  $J_\omega$  – момент инерции несущего винта и кинематически связанных с ним агрегатов;  $M_{\text{ДВ}}$  и  $M_k$  – мощности двигателя и несущего винта;  $\xi$  – коэффициент использования мощности двигателя.

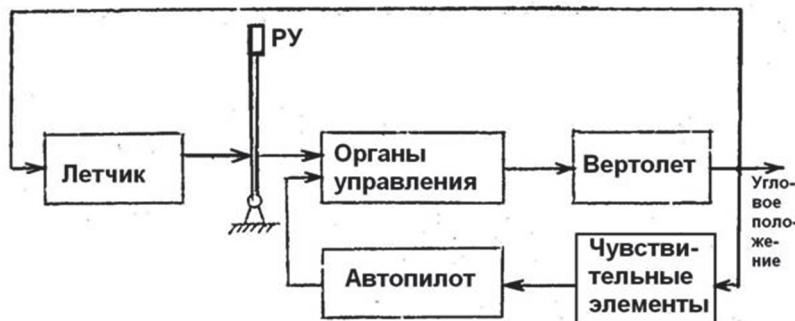


Рис. 1. Структурная схема системы управления

Схема сил и моментов, действующих на вертолет по осям связанной системы координат, показана на рис. 2.

Математическая модель вертолета является нелинейной, поэтому целесообразно использовать линеаризацию.

Определение коэффициентов линеаризованных уравнений движения производится с использованием основных принципов метода малых возмущений путём численного дифференцирования правых частей исходных нелинейных уравнений движения.

Линеаризовать систему – значит представить ее в виде:

$$\dot{\vec{x}} = A\vec{x} + B\vec{u},$$

$$\begin{vmatrix} \dot{V}_x \\ \dot{V}_y \\ \dot{V}_z \\ \dot{\omega}_x \\ \dot{\omega}_y \\ \dot{\omega}_z \end{vmatrix} = |A(V)| \cdot \begin{vmatrix} 0 \\ V_y \\ V_z \\ \omega_x \\ \omega_y \\ \omega_z \end{vmatrix} + |B(V)| \cdot \begin{vmatrix} \delta_B \\ \delta_K \\ \delta_H \\ \varphi_{\text{ОШ}} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \bar{X}(V) \\ \bar{Y}(V) + \Delta T(H) \\ \bar{Z}(V) \\ \bar{M}_x(V) \\ \bar{M}_y(V) \\ \bar{M}_z(V) \end{vmatrix} \\ + \begin{vmatrix} -g \cdot \sin\theta \\ -g \cdot \cos\theta \cdot \cos\gamma \\ g \cdot \cos\theta \cdot \sin\gamma \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}$$

Таким образом, при допущениях о балансировочном режиме получена линейная модель вертолёта.

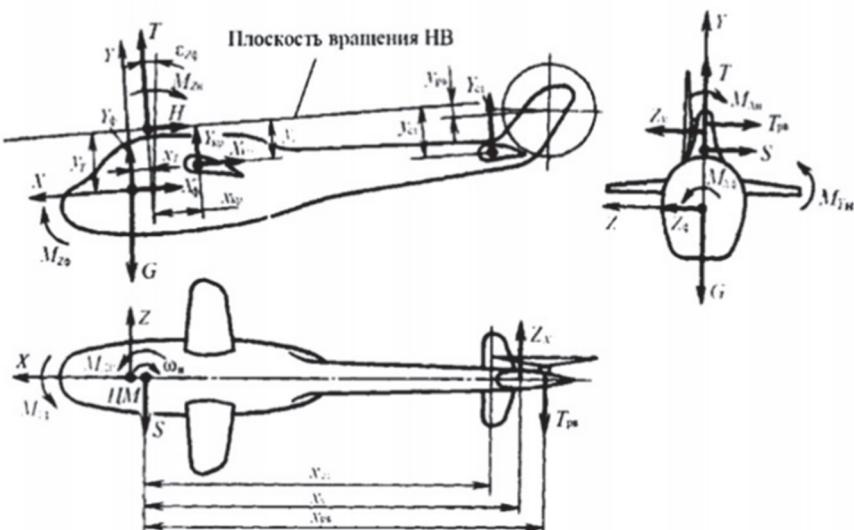


Рис. 2. Силы и моменты, действующие на вертолёт

**Алгоритмы управления стабилизации угла крена.** Движение вертолета по крену с автопилотом описывается изображающими уравнениями:

$$\left\{ \begin{array}{l} (p^2 - \bar{M}_x^{\omega_x} p) \Delta\gamma = \left[ \frac{\bar{M}_x^{\delta_k}}{F_B(t)} \right] \Delta\delta_k; \\ \Delta\delta_k = \Delta\delta_{k.a.} + \Delta\delta_{k.y.}; \\ (T_a p + 1) \Delta\delta_{k.a.} = i_\gamma \cdot (\gamma - \gamma_0) + i_{\omega_x} \cdot \omega_x; \end{array} \right.$$

Передаточные числа  $i_{\omega_x}, i_\gamma$  в канале стабилизации угла крена определяются либо по заданным значениям постоянных времени эталонных переходных процессов с помощью методов оптимального управления, например, путем минимизации среднеквадратичного критерия качества

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt.$$

Аналогично формируется закон управления и рассчитываются передаточные числа для автопилота в режиме стабилизации тангажа.

$$\delta_B^{AP} = K_{kd,\vartheta} (X_B - X_B^0) - i_\vartheta (\vartheta - \vartheta_0) - i_{\omega_z} \omega_z$$

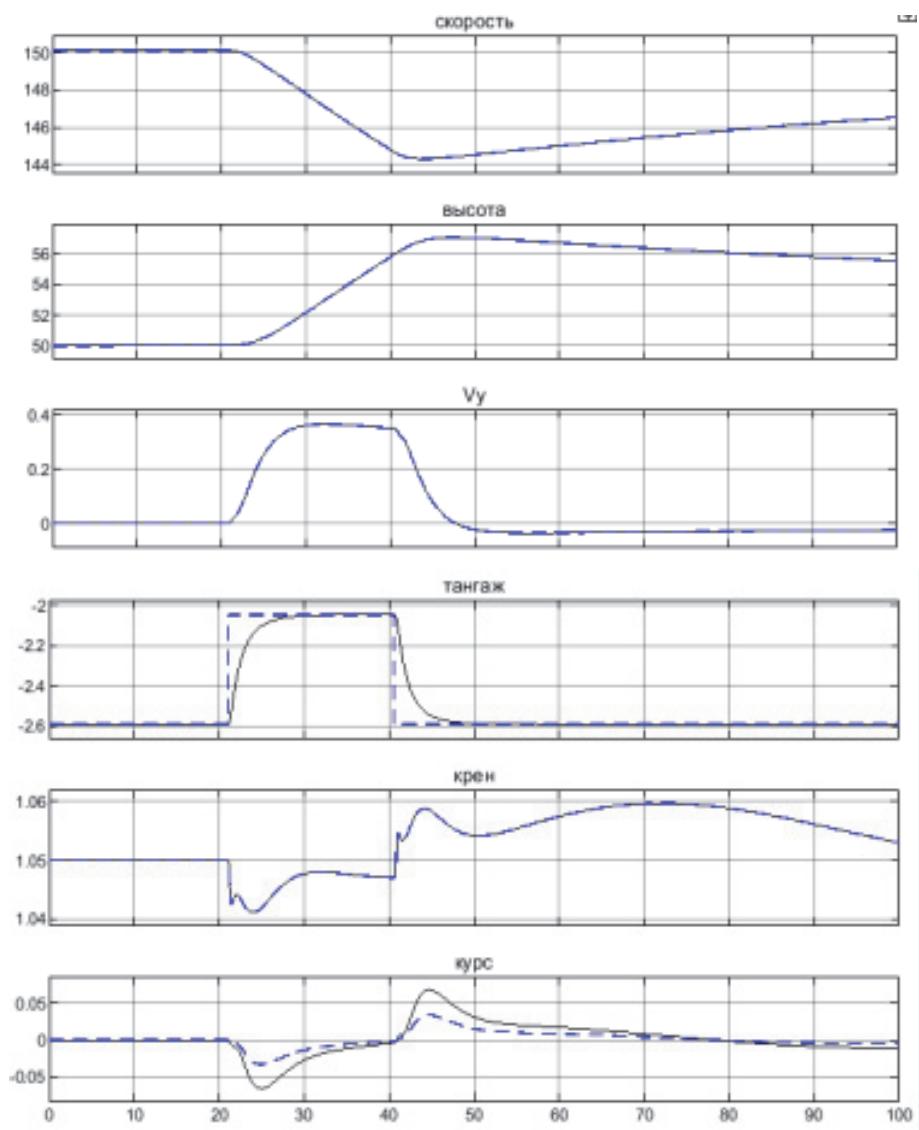


Рис. 3. Стабилизация заданного угла тангажа

**Выводы.** Выбраны модель описания динамики полета вертолета с рациональной степенью детализации описания сил и моментов, действующих на вертолет со стороны основных элементов конструкции.

Произведен расчет переменных по скорости коэффициентов линеаризованной модели вертолета, позволяющей производить расчет динамики полета в широком диапазоне скоростей полет. Предложены алгоритмы системы улучшения устойчивости и управляемости вертолета.

Проведённая компьютерная апробация алгоритмов управления автопилота показала работоспособность разработанной методики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Сайт холдинга Вертолёты России <https://www.russianhelicopters.aero/>.
2. Берестов Л.М. Моделирование динамики вертолета в полете. М:Машиностроение, 1978
3. СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОМПЛЕКСНАЯ (КСУ-А). Режим доступа: [https://domavia.ru/library\\_ati/detail/191816](https://domavia.ru/library_ati/detail/191816)
4. Вертолет АНСАТ Пассажирская кабина. Режим доступа: <https://helicopter.su/wp-content/uploads/2019/11/Garipov-1.pdf>

УДК 614.8 : 629.735

## КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ И ТЕРРИТОРИЙ НА БАЗЕ ЛЕТАЮЩЕГО КРЫЛА СО СПЕЦИАЛЬНЫМ БОРТОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

А.Г. БЫЛИНЦЕВ

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)  
Казань, Россия

В наше время есть много разновидностей БПЛА, которые предназначены для выполнения самых разных задач, в числе которых, в частности, задачи обеспечения безопасности. БПЛА для мониторинга, в частности, видео наблюдения – это летательный аппарат, оснащенный камерой и датчиками, и передающий данные в режиме реального времени на наземные пункты. В настоящий момент — это самый перспективный вид беспилотных летательных аппаратов, которые все чаще

используются в системах видеонаблюдения и мониторинга, в силу ряда важных преимуществ:

1. Высокая мобильность. Благодаря своим небольшим размерам, БПЛА могут легко перемещаться по местности, не привлекая к себе внимания.

2. Малый уровень звука.

Существуют и построенные на базе БПЛА специализированные системы контроля безопасности как отдельных локальных объектов, так и протяжённых, и целых территорий.

Но чаще всего это классический мониторинг оператором через видеонаблюдение с камеры, установленной на БПЛА. В то же время целесообразен комплексный подход к вопросам обеспечения безопасности больших по площади и разнородных по функциям территорий путём их относительно быстрого облёта и быстрой же, пусть вероятной в грубом приближении, идентификации угрозы. Это касается, например, мегаполисов и объектов повышенной опасности и (или) значимости, где важен контроль в первом грубом приближении, но зато быстро и по всей территории. А уже в последующем второе приближение – с локализацией места и уточнением всех обстоятельств.

Концепции комплексной безопасности с применением технических средств в их наиболее актуальном с учётом современного состояния выражении изложены в работах М.Ю.Щеглова, в частности, в /1/. Рассмотрена комплексная безопасность как внутри зданий, так и в масштабах распределённых по территориям объектов и больших территорий многостороннего функционального использования.

Необходим выбор типа БПЛА, наиболее подходящего для решения задач данного круга, и его практическое воплощение.

Автор данной статьи более трёх лет занимается созданием различных малоразмерных БПЛА, и подошёл к созданию наиболее совершенного и многофункционального устройства для различных целей. Накопленный опыт позволяет сделать вывод, что наилучшим для решения обозначенной проблемы следует считать БПЛА типа «летающее крыло» /2/.

Автором самостоятельно разрабатывались, изготавливались и апробированы в различных целях и обстоятельствах БПЛА данного типа. Среди приоритетов в создании нового аппарата для рассматриваемых целей следует выделить:

- стоимость;
- простота использования;
- увеличение дальности полета.

Суммируя имеющуюся информацию можно рассмотреть задачу создания БПЛА со следующими характеристиками:

- Дальность полета 20км.
- Длительность полета 40 мин.

- Складная малогабаритная конструкция.
- Системы стабилизации для упрощения управления.
- Автоматический полет по маршруту.

При этом в базовую комплектацию следует включить:

- 2 микроконтроллера Arduino nano;
- 2 джойстика;
- 2 серводвигателя;
- бесколлекторный двигатель, регулятор оборотов;
- 2 радиомодуля 2,4 ГГц.

Однако это лишь для «минимального» использования, а на перспективу следует рассматривать концепцию наращивания функций. В итоге может рассматриваться «максимальная» концепция комплексной безопасности объекта, представленной в виде схемы рис. 1, на которой рассмотрен пример мегаполиса-миллионника.

Здесь БПЛА рассматриваемого типа представлен схематично крылом прямой стреловидности с трёх лопастным пропеллером в задней части фюзеляжа. Управляющими полётом органами являются два элерона также в задней части крыла. В левом верхнем блоке схемы представлен перечень бортовых приборов и устройств, обеспечивающих полёт по заданным траекториям, а также камеру высокого разрешения и качества.

Этот состав даёт возможность реализации «минимального» классического мониторинга путём наблюдения оператором. Зато в правом верхнем блоке представлены дополнительные функции и возможности, реализованные на разных уровнях в различных бортовых устройствах, включая мини-компьютер, дающие возможность на том же БПЛА реализовать «максимальный» уровень. Среди них следует выделить систему распознавания всего спектра образов угроз, а также связи и координации, работающих по адаптивным алгоритмам, включая нейросетевые технологии. А вот уже эти функции в совокупности, как видим по нижней части схемы, позволяют выйти на «максимум» защиты, идентифицировать практически все вообразимые угрозы, сопровождающиеся видимыми событиями.

Наряду с собственными заделами автора в КНИТУ-КАИ имеется возможность привлечения, а также обучения специалистов высокой квалификации соответствующих профилей. В конечном итоге может идти речь о расширении производства БПЛА не только количественно и одного типа, а о создании функционально широкой линейки, в конечном итоге – некоей платформы по созданию БПЛА.



Рис.1 Структура комплексного мониторинга безопасности сложного объекта (на примере мегаполиса-миллионника)  
с применением БПЛА типа «летающее крыло»

Вывод по данной работе состоит в том, что в кардинальном решении проблем безопасности наземных объектов и территорий на современном этапе отправной точкой станет беспилотная маломерная авиация. Но эффект от её применения будет получен только в случае грамотного применения современных средств микроэлектроники и оптикоэлектроники и информационных технологий. Это наилучшим образом может быть достигнуто в условиях передового российского технического профильного вуза, коим является КНИТУ-КАИ.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. М.Ю. Щеглов Защита информации техническими средствами. Курс лекций. URL: [https://bb.kai.ru:8443/webapps/blackboard/execute/content/blankPage?cmd=view&content\\_id=\\_505514\\_1&course\\_id=\\_17690\\_1&mode=reset](https://bb.kai.ru:8443/webapps/blackboard/execute/content/blankPage?cmd=view&content_id=_505514_1&course_id=_17690_1&mode=reset)
2. Костенко И. К. Летающие крылья : монография / И. К. Костенко ; науч. ред. С. С. Иванов. — Москва : Наука, 2022. — 320 с.

УДК 621.397

## **АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ОАО «ПЕЛЕНГ»**

С.В. ЛУФЕРОВ, С.В. ФИЛИПОВИЧ, А.Н. ХРИБЕНКО  
ОАО «Пеленг», Минск, Беларусь

Основными видами деятельности ОАО "Пеленг" являются выполнение НИОКР и изготовление наукоемкой оптико-электронной продукции широкого спектра применения: оптико-электронных средств (ОЭС) для спутников дистанционного зондирования земли, оборудования для криминалистики и метеорологии, авиационных систем технического зрения (СТЗА).

Компания предлагает своим заказчикам полный спектр услуг: от разработки и производства оптико-электронных приборов и систем до их интеграции на объектах заказчика, а также гарантийное и послегарантийное обслуживание.

Первым разработанным средством ведения воздушного мониторинга стала СТЗА «Сыч» (рис. 1).

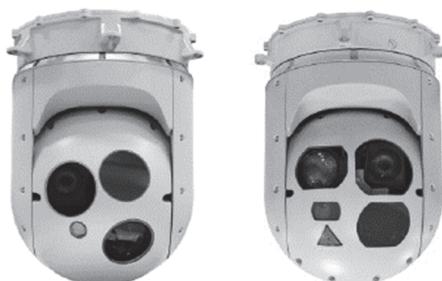


Рис. 1. Система  
технического зрения авиационная «Сыч»

Ее можно отнести к системам среднего класса. Основные каналы данного изделия: обзорная и детальная телевизионные камеры (ТВ), охлаждаемая тепловизионная камера (ТПВ) и лазерный дальномер (ЛД). Система прошла успешные испытания в составе беспилотного авиационного комплекса и получила самые положительные отзывы пользователей. Основные технические характеристики СТЗА приведены в таблице 1.

Табл. 1. Технические характеристики СТЗА «Сыч»

Характеристики	Значение	
	СТЗА-1	СТЗА-2
Диапазон углов разворота по азимуту и углу места	$n \times 360^\circ$	
Стабилизация	двухступенчатая, 50 мкрад	трехступенчатая, 20 мкрад
Разрешение изображения ТВ	$1920 \times 1080$ (RGB)	
Поле зрения (Г) ТВ обзорной	$2,3^\circ - 63,7^\circ$	
Поле зрения (Г) ТВ детальной	$4,0^\circ; 8,0^\circ$	$2,4^\circ; 4,8^\circ$
Разрешение изображения ТПВ	$640 \times 512$	
Поле зрения (Г) ТПВ	$2,0^\circ - 27^\circ$	
Длина волны ЛД	1,54 мкм	
Диапазон измерения ЛД	0,1 - 10 км	
Номинальное напряжение	27 В	
Габаритные размеры (Д×В)	250×340 мм	
Масса	12,8 кг	16 кг

Системы технического зрения малого класса представлены СТЗА-С (рис. 2). Изделие позволяет вести наблюдение, поиск, обнаружение, распознавание и автосопровождение объектов интереса в видимом диапазоне длин волн. Изделие выполняет функции телевизионного координатора цели барражирующего боеприпаса. Основные технические характеристики СТЗА-С приведены в таблице 2.



Рис.2. Система технического зрения  
авиационная СТЗА-С

В настоящее время в рамках ОКР ведется разработка гиростабилизованных ОЭС, в том числе и ГОЭС тяжелого класса (ГОЭС-Т). ГОЭС-Т (рис. 3) позволяет вести круглосуточный поиск, обнаружение и распознавание объектов интереса. Изделие обеспечивает получение

изображения местности и объектов в видимом, коротковолновом инфракрасном (ИК) и средневолновом ИК диапазонах в обзорном и детальном режимах. Функциональные возможности позволяют данной системе измерять дальность, определять координаты и параметры движения объектов, выполнять лазерное целеуказание. Имеется возможность захвата и автоматического сопровождения объектов интереса.

Табл. 2. Технические характеристики СТЗА-С

Характеристика	Значение
Диапазон углов разворота по:	
азимуту	от $-110^\circ$ до $+110^\circ$
углу места	от $-90^\circ$ до $+10^\circ$
Разрешение изображения ТВ	$1920 \times 1080$
Поле зрения ( $\Gamma$ )	$10^\circ, 20^\circ$ (с бинированием)
Номинальное напряжение	14 В
Габаритные размеры ( $Д \times В$ )	$125 \times 195$ мм
Масса, не более	0,8 кг



Рис. 3. Гиростабилизированная ОЭС  
тяжелого класса

Опционально возможна установка в изделие цветной телевизионной камеры, низкоуровневой телевизионной камеры или коротковолновой ИК (SWIR) камеры, охлаждаемой тепловизионной камеры. Возможен выбор систем дальномерирования с различными рабочими диапазонами длин волн, включая безопасные. Оптико-электронный модуль имеет четыре степени стабилизации. В таблице 3 приведены основные технические характеристики ГОЭС-Т.

Так же ведется разработка гиростабилизированной ОЭС малого класса с двумя каналами наблюдения – телевизионным и тепловизионным. Изделие позволяет получать изображения местности и объектов в видимом, дальнем ИК спектральных диапазонах и вести круглосуточное наблюдение за объектами интереса. Функциональные возможности данной целевой нагрузки позволяют автоматически сопровождать объекты интереса, определять координаты и параметры движения объектов.

Табл. 3. Технические характеристики ГОЭС-Т

Характеристика	Значение
Диапазон углов разворота по: азимуту углу места	$n \times 360^\circ$ от $-100^\circ$ до $+90^\circ$
Максимальная скорость наведения	$60^\circ/\text{с}$
Стабилизация линии визирования	10 мкрад
Разрешение изображения ТВ	$1920 \times 1080$
Поля зрения ( $\Gamma$ ) ТВ	от $1,5^\circ$ до $31,5^\circ$ - обзорный, $0,76^\circ$ - детальный
Разрешение изображения SWIR	$1280 \times 1024$
Поле зрения ( $\Gamma$ ) SWIR	SWIR: $1^\circ$
Разрешение изображения ТПВ	$1280 \times 1024$
Поле зрения ( $\Gamma$ ) ТПВ	от $3,6^\circ$ до $25,6^\circ$ - обзорный, $1^\circ$ - детальный
Длина волны ЛД	1,54 мкм (ЛД)/1,06 мкм (ЛДЦ)
Диапазон измерения ЛД	0,15 - 20 км
Номинальное напряжение	27 В
Габаритные размеры ( $Д \times Ш \times В$ )	485×525×650 мм
Масса, не более	75 кг

В линейке всех изделий имеются возможности по внесению конструктивных и функциональных изменений под запросы конкретных потребителей. При поставке изделий заказчику предлагается комплектация программно-аппаратным комплексом для обучения операторов управления целевой нагрузкой.

УДК 623.746

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ИНТЕРЕСАХ МЧС РОССИИ

А.В. КАЛАЧ<sup>1</sup>, Т.П. СЫСОЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет,  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России

Министерство Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий является федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке и реализации государственной политики, нормативно-правовому регулированию, а также по надзору и контролю в области гражданской обороны, защиты населения

и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах [1].

Из статистических данных о пожарах на территории Российской Федерации за 2018-2022 гг. [2] приведённых на рис. 1, можно сделать вывод, что общее количество пожаров с 2019 года особо не становится меньше.

**Количество пожаров, ед.**

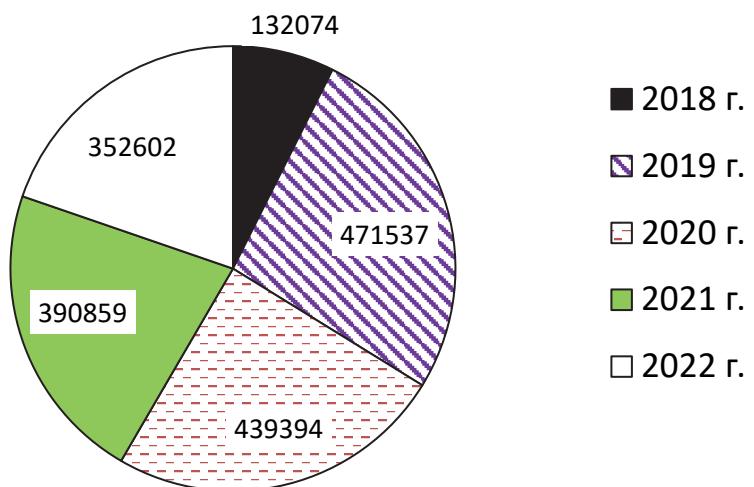


Рис. 1. Сведения о пожарах в Российской Федерации за 2018–2022 гг.

Возможно, такая динамика связана с расширением границ РФ, что в свою очередь увеличивает в разы объем работы МЧС России.

Основные задачи на сегодняшний день стоящие перед МЧС России, приведены ниже на рис. 2.

Сложность задач, стоящих перед Министерством определяется территориальными особенностями нашей страны, наличием регионов с повышенным риском чрезвычайных ситуаций различного характера [3]. Для повышения результативности, оперативности и сохранения жизней сотрудников министерства при выполнении поставленных задач, подразделениями активно применяются беспилотные авиационные системы (далее БАС), различного принципа действия, размеров, форм, грузоподъемности и полезной нагрузки [4,5].

Исходя из стоящих задач в рамках работы МЧС России, можно выделить основные области применения беспилотных авиационных систем (рис. 3).

## Основные задачи стоящие перед МЧС России

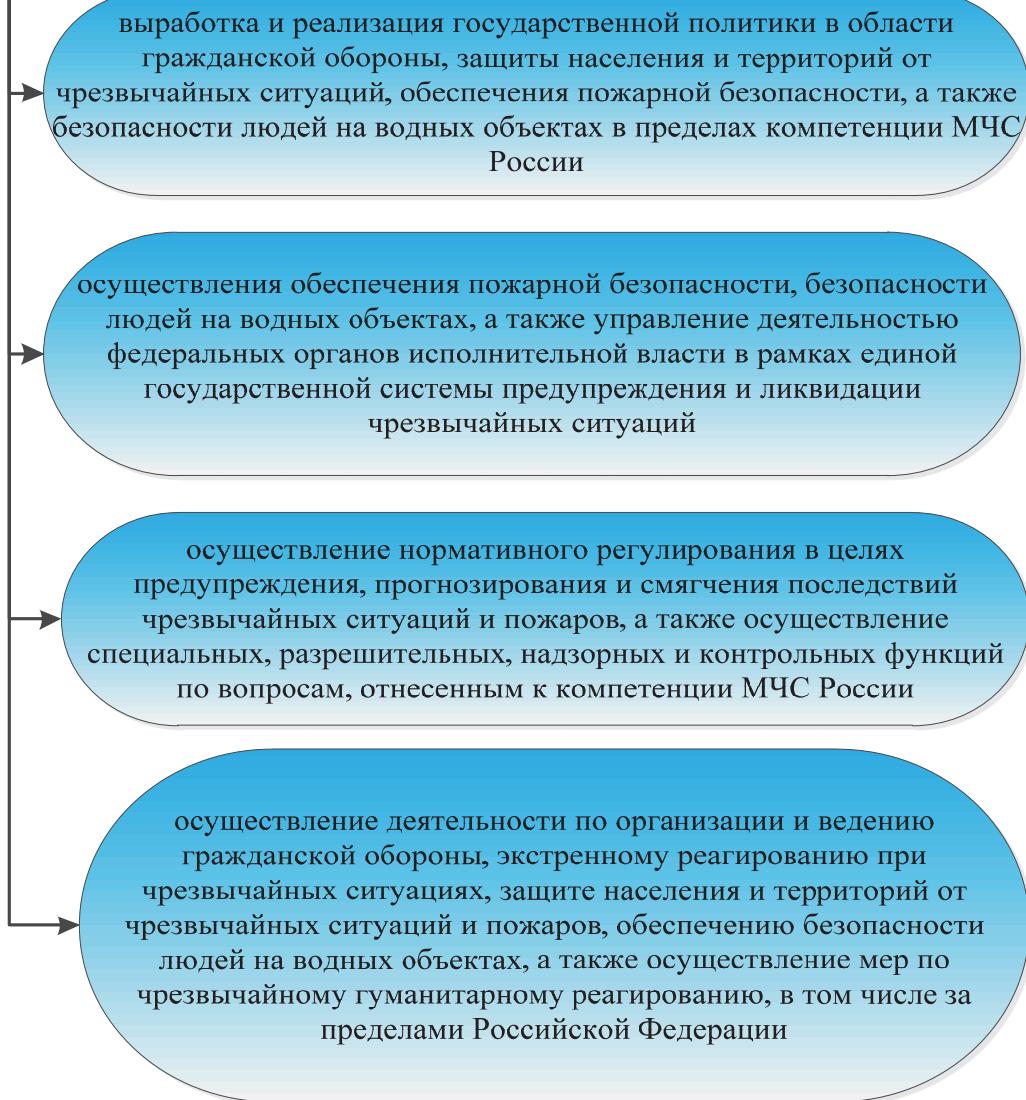


Рис. 2. Блок-схема основных задач стоящих перед МЧС России

Из данных областей применения следует, что БАС помогает в решение многих задач и позволяет оптимизировать их выполнение, получить точную оперативную информацию и сохранить человеческие жизни сотрудников Министерства.

Таким образом, можно отметить, что применение и развитие БАС в работе МЧС России является одним из важных направлений, которое требует постоянного совершенствования, мониторинга новых моделей, функций и возможностей БАС.



Рис. 3. Основные области применения БАС в МЧС России

Применение БАС в системе МЧС России занимает ключевую роль в стратегических и инновационных проектах по проведению аварийно-спасательных работ. Позволяет осуществлять успешное руководство проведением операций различной сложности, равно как и высокоэффективного применения новейших технологий. Это позволило обеспечить безопасную устойчивость защиты личного состава без значительного увеличения финансовых расходов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Указ Президента РФ от 11.07.2004 N 868 (ред. от 30.12.2021). URL: <https://mchs.gov.ru/uploads/document/2022-04-08/db4d4237cb55f6909c866c6177c57804.pdf>
2. Пожары и пожарная безопасность в 2022 г. Статистика пожаров и их последствий. ФГБУ ВНИИПО МЧС России. URL: <https://ptm01.ru/assets/images/biblioteka/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0/2022/%D0%92%D0%9D%D0%98%D0%98%D0%9F%D0%9E/sbornik-2022-pogary.pdf>
3. Калач А.В., Сысоева Т.П., Лобова С.Ф. Влияние климатических условий на выбор беспилотного летательного аппарата // В книге:

Современные проблемы обеспечения безопасности. Сборник материалов XXV Международной научно-практической конференции. Екатеринбург, 2023. С. 20-23.

4. Пупынин В.И., Филимонов П.Б. Состояние и проблемы применения беспилотной авиации МЧС России// В сборнике: Современные проблемы транспортно-технологической и аварийно-спасательной техники в системе МЧС. Сборник трудов XXVIII Международной научно-практической конференции. 2018. С. 87-92.

5. Дударев А.В. Применение БЛА в структуре МЧС России для предотвращения ликвидации чрезвычайных ситуаций// В сборнике: Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт. 2018. С. 405-407.

УДК 621.9

## **АЛГОРИТМЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТОЛЕТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ**

С. А. ТЕРЕНТЬЕВ, В.А. ТИЩЕНКО

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования «Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ)  
Казань, Россия

Разработка и создание вертолетов в настоящее время играет важную роль в обеспечении безопасности полетов. Для обучения пилотов используются различные технические средства, такие как обучающие стенды, компьютерные симуляторы и учебные летательные аппараты. С развитием систем управления и компьютерной техники стало возможным использовать моделирующие летательные аппараты (МЛА), которые позволяют имитировать реакцию больших вертолетов (БЛА) при управлении.

Этот метод обучения стал известен как динамическое подобие, которое проводится в полете с использованием МЛА, известных как «летеющие лаборатории». Этот подход позволяет пилотам отработать

навыки пилотирования на практике и компенсировать различные динамические свойства вертолетов[1,2].

Рассмотрим математическую модель движения вертолета по одной оси[4,5]. Будем формировать алгоритм управления для обеспечения динамического подобия математических моделей вертолетов Ми-8(БЛА) и Ансата(МЛА).

Математическая модель:

$$\begin{cases} m_m * \ddot{x}_m = F_m \\ m_b * \ddot{x}_b = F_b \end{cases} \quad (1)$$

$$(2)$$

где  $m_b$  – масса БЛА ;  $m_m$  – масса МЛА.

Требования динамического подобия(ДП):

$$\begin{cases} F_m = F_b \\ \ddot{x}_m = \ddot{x}_b \end{cases} \quad (3)$$

$$(4)$$

$$F_m = F_b + \Delta, \quad (5)$$

где  $\Delta$  – компенсация различных динамических свойств.

Из (1) , учитывая (4):

$$\begin{cases} m_m * \ddot{x}_b = F_b + \Delta \\ m_b * \ddot{x}_b = F_b \end{cases} \quad (6)$$

$$(7)$$

Из (6) вычитаем (7)

$$\Delta = \ddot{x}_b * (m_m - m_b) \quad (9)$$

Из формулы (9) получим значение составляющей управления, компенсирующей различие в динамических свойствах ЛА, что обеспечит динамическое подобие вертолетов Ми-8(БЛА) и Ансат(МЛА).

Далее проведено компьютерное моделирование управляемого движения ЛА. Моделирование проведено с использованием программного пакета MATLAB Simulink.

В математической модели взяты численные значения указанных ЛА, взят максимальный взлетный вес каждого вертолета.

На рисунке 1 показана схема в Simulink для моделирования движения БЛА и МЛА, в схему включён модуль для вычисления компенсации различия динамических свойств вертолетов. В программе предусмотрено моделирование различных входных сигналов: константы, импульсного сигнала, линейного сигнала, синусоидального и шагового сигналов.

Анализ расчётов показывает, что при различных видах входных сигналов компенсация позволяет обеспечить движение МЛА похожее на БЛА. Это следует из того, что на рис.2-6 разница  $E_{\dot{x}} \approx 0$ , на режиме ДП. Также моделирование выполнено для входных сигналов: импульсного, линейного и синусоидального. Для таких сигналов также получено  $E_{\dot{x}} \approx 0$ .

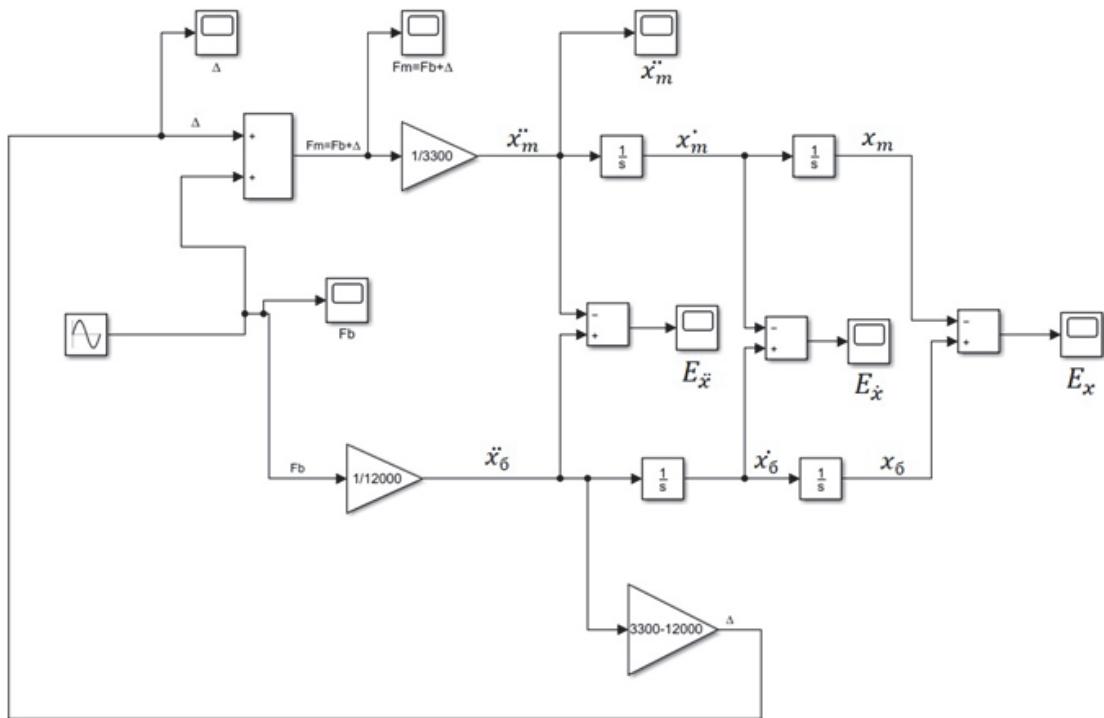


Рис. 1. – Компьютерная модель для анализа компенсации различных динамических свойств вертолетов БЛА и МЛА при синусоидальном входном сигнале

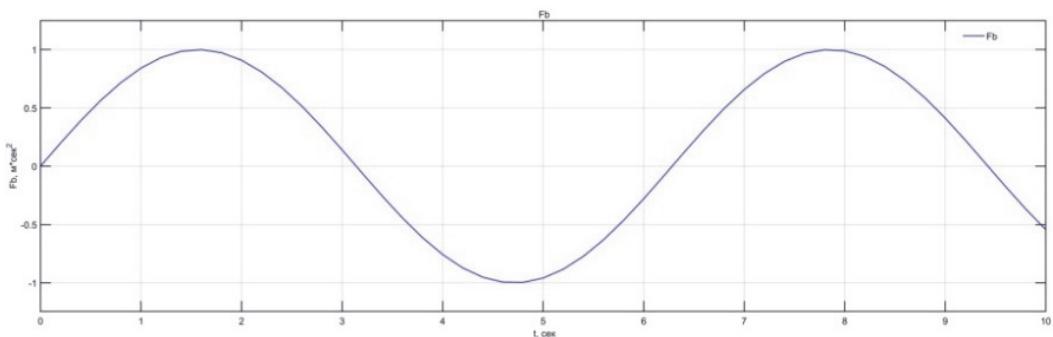


Рис. 2. – Входной сигнал на БЛА (Fb)

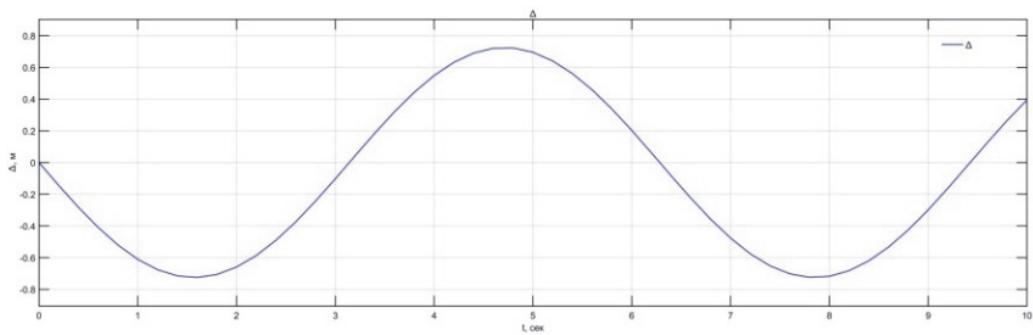


Рис. 3. – Входной сигнал на МЛА без компенсации (Fm)

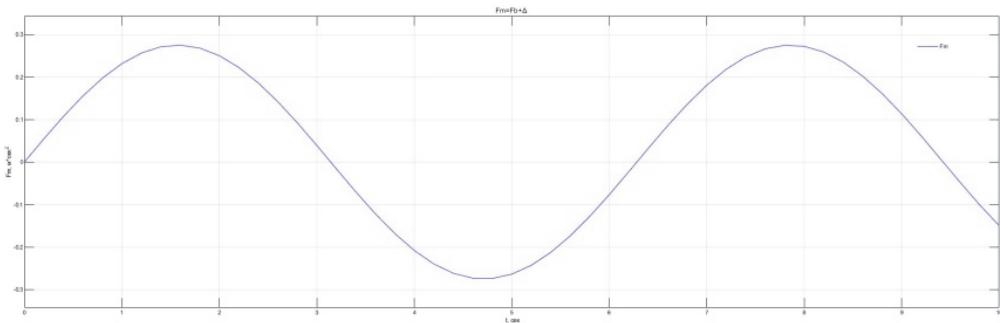


Рис. 4. Входной сигнал на МЛА с реализацией ДП ( $F_b + \Delta$ )

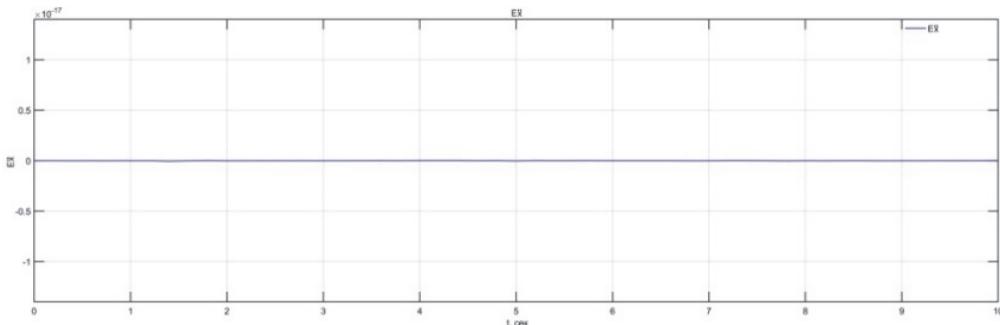


Рис. 5. Рассогласование ускорений МЛА и БЛА при реализации ДП

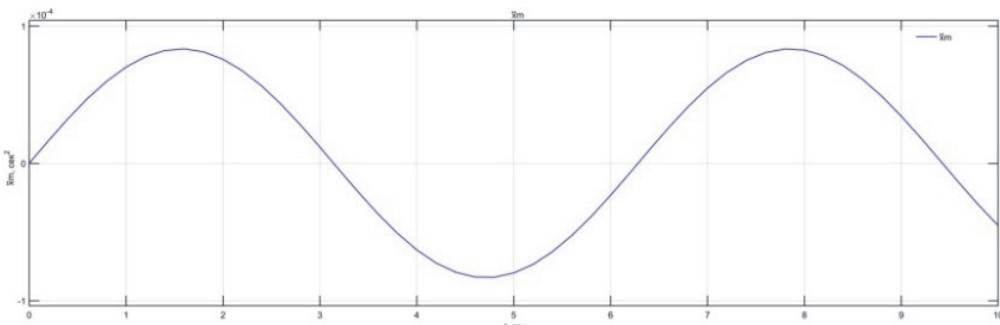


Рис. 6. Выходной сигнал МЛА, ускорения

**Выводы.** В работе представлены результаты исследований по разработке алгоритмов управления вертолетом. На основе исследований, приведенных в работе [5] в данной научной статье происходит анализ управляемого движения ЛА, представляется формирование управления, проводится компьютерное моделирование.

Основное внимание при исследовании было сделано на то, что управляющие воздействия на один вертолет приводят к аналогичной реакции другого вертолета. Такой подход позволяет использовать моделирующий вертолет в качестве тренировочного аппарата, повторяющего характеристики полета основного вертолета.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Информация о технических характеристиках вертолёта Ансат. Режим доступа: <http://roe.ru/catalog/vozdushno-kosmicheskie-sily/vertolety/ansat/>
2. Информация о технических характеристиках вертолёта Ми-8. [https://rhc.aero/catalog/m\\_mi-8-171](https://rhc.aero/catalog/m_mi-8-171)
3. Есаулов С.Ю., Бахов О.П., Дмитриев И.С. Вертолет как объект управления/1977.
4. Браверман А.С., Вайнтруб А.П. Динамика вертолета. Предельные режимы полета/1988.
5. Терентьев С.А. Алгоритм динамически подобного управления летательным аппаратом. Вестник КГТУ: Т.15, №15, 2012. стр. 252-254.

УДК 623.746

## **ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В МЧС**

В.В. ШИЛО, Д.В. БЕЗМЕН, И.И. КОВАЛЕНКО  
Университет гражданской защиты МЧС Беларуси

Наблюдение лесных пожаров с земли считается довольно проблематичным, ведь в таких условиях тяжело правильно расставить приоритеты. При использовании дрона для определения пожара в лесу, можно обойти все препятствия, быстро исследовать пострадавшие лесные районы, определить масштабы и установить линии отсечки огня.

Данные, полученные с БЛА, помогают пожарным командам определить, где разместить ресурсы и какую тактику тушения выбрать.

1. Один из ключевых методов, которые используются учеными и пожарными для предотвращения пожаров, заключается в контролируемом пале сухой прошлогодней травы и кустарников. Этот способ предполагает намеренное поджигание небольших костров в определенных условиях, чтобы очистить скопления экосистемы, которые могут стать топливом для будущих незапланированных пожаров.

Встречный пал — способ тушения пожаров для лесных и степных мест. Данный способ заключается в том, что навстречу основной стене огня пускается встречный огонь, который сжигает горючие материалы. При данном способе тушения перед основным огнем выжигается лесная подстилка или участок степи. Таким образом, увеличивается ширина препятствия, через которое мог бы произойти переброс огня или искр.



Рис. 1. Тушение пожара при помощи БЛА

2. Традиционно для контролируемого пала использовались ручные капельные горелки. Но инновационная полезная нагрузка IGNIS, созданная специально для пожаротушения, позволяет пилоту БЛА дистанционно проводить контролируемые операции сжигания, не подвергая персонал опасности.



Рис. 2. Использование огнемёта с БЛА

IGNIS работает вместе с DJI Matrice 600 Pro и сбрасывает специальные сферы размером с шарик для пинг-понга в необходимую точку. Каждая сфера заполнена перманганатом калия, который в сочетании с этиленгликолем перед падением запускает химическую реакцию. Небольшой размер сфер позволяет пилоту дрона легко контролировать размер и местоположение планируемого поджога. Миссии можно выполнять вручную или автоматизировать процесс с помощью приложения IGNIS.

Для достижения наилучших результатов используется гибридная тепловизионная камера Zenmuse H20T, чтобы в реальном времени наблюдать за развитием контролируемого пожара и своевременно вносить корректировки.

Применение беспилотных летательных аппаратов с целью тушения лесных пожаров является наиболее безопасным и практичным, так же с их помощью можно оценить масштаб пожара, быстро применить средства тушения и тем самым своевременно ликвидировать его.

С каждым годом мы наблюдаем большое количество инновационных разработок в этой сфере, что в последующем приведет к уменьшению затрачиваемых ресурсов и облегчит тушение лесных пожаров.

УДК 623.746

## **РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СБРОСА ХЛАДАГЕНТА ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ**

Ю.М. ЧАДИН, Л.Ю. МАРУНЧЕНКО, К.В. КОСТЮШИН,  
Д.С. ПЕТРОВ, А.В. ЮСТУС

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования «Национальный исследовательский  
Томский государственный университет»  
634050, г. Томск, Российская Федерация

Одним из эффективных способов тушения крупных пожаров, особенно в труднодоступных районах, является сброс хладагента в очаг пожара с борта самолета или вертолета. В качестве хладагента используется, как правило, тонкораспыленная вода. При воздействии распыленной

воды на пламя реализуется объемно-поверхностный механизм взаимодействия. Тонкораспыленная вода охлаждает зону горения и одновременно за счет испарения блокирует паром доступ кислорода к горящим элементам. Эффективное использование этого способа базируется на закономерностях осаждения жидкко-капельного облака и его взаимодействия со средой вблизи очага пожара. Эти закономерности являются фундаментальной основой для разработки оптимальных режимов использования средств авиации для тушения пожаров с учетом реальных условий.

При моделировании процессов тушения очага пожара необходимо рассматривать три стадии: процесс разрушения макрообъема жидкости, сбрасываемого из сливного устройства с образованием первичного облака полидисперсных капель [1, 2]; эволюция аэрозольного облака при осаждении в изотермических условиях; взаимодействие жидкокапельного облака с очагом пожара [3-5].

В настоящее время, в Российской Федерации для тушения крупных пожаров в труднодоступных районах, в качестве средств доставки и сброса хладагента применяются вертолеты МИ-8 с водосливным устройством типа ВСУ-5А. Проведение натурного эксперимента и параметрических исследований по определению плотности орошения поверхности и динамики движения и осаждения жидкокапельного облака с использованием ВСУ-5А приводит к большим материальным затратам. В связи с этим, в работе предложена методика по моделированию сброса хладагента с использованием беспилотного летательного аппарата и модельного водоливного устройства.

Для моделирования процессов сброса хладагента и определения плотности орошения, разработана экспериментальная беспилотная авиационная система, включающая в себя беспилотное воздушное судно, систему сброса хладагента, станцию внешнего пилота, линии управления и контроля, систему передачи telemetry и систему фиксации научных данных. Общая схема экспериментального комплекса показана на рисунке 1.

Системы сброса хладагента показана на рисунке 2 и состоит из следующих элементов: корпус водосливного устройства, запорная арматура, привод сброса воды, подвесы корпуса. Система сброса хладагента подвешивается к корпусу беспилотного воздушного судна с использованием комплекта боковых и одного центрального троса. Управление беспилотным воздушным судном и передача команды на сброс хладагента осуществляется со станции внешнего пилота как в ручном, так и в автоматическом режиме.

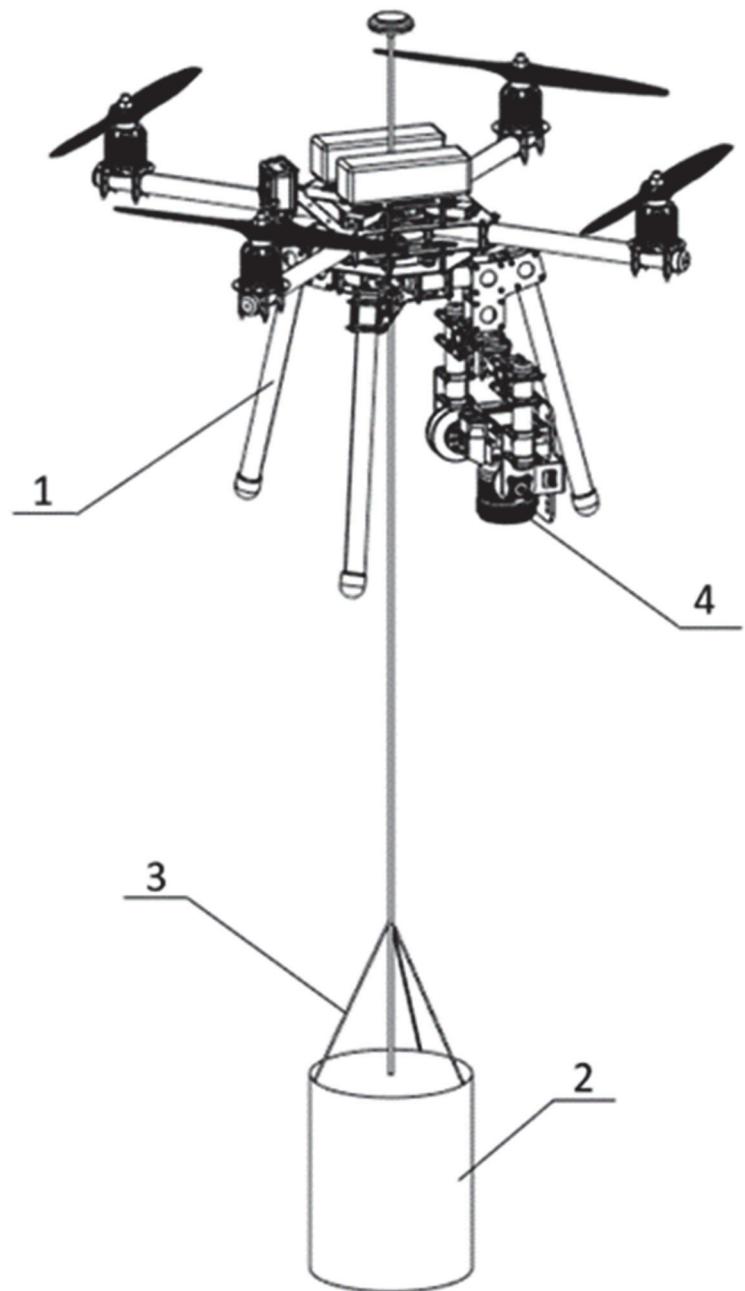


Рис. 1. Экспериментальная беспилотная авиационная система:  
1 – беспилотное воздушное судно,  
2 – корпус водосливного устройства,  
3 – несущие стропы, 4 – надирная камера

Для фиксации экспериментальных данных используется надирная камера (плановая вертикальная), расположенная на беспилотном воздушном судне, и система высокоскоростных камер находящихся в области сброса хладагента. Для обработки экспериментальных данных, поступающих с камер используются алгоритмы машинного зрения.

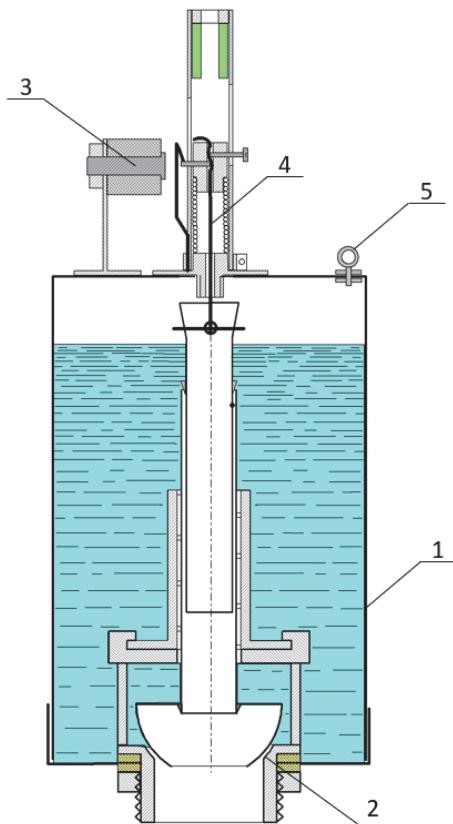


Рис. 2 Устройство сброса хладагента:  
 1 – корпус водосливного устройства, 2 – клапан в сборе,  
 3 – электромагнит, 4 – управляющий тросик,  
 5 – крепежные элементы несущих строп

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-00307, <https://rscf.ru/project/22-19-00307/>.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кудров М.А. Динамика объема жидкости в газовом потоке с учетом деформации дробления и срыва капель // Научный вестник МГТУ ГА – Высокие технологии гражданской авиации. 2010. Т. 151. С. 163–168.
2. Мешков Е.Е., Орешков В.О., Ямбаев Г.М. Образование капельных облаков при разрушении водяного ядра в процессе свободного падения // Письма в журнале техник-еской физики – Письма о технической физике. 2011. Том. 37, № 15. С. 79–85.
3. Александров Ю.В., Близнецова М.В., Власов Ю.А., Герасимов С.И., Дудин В.И., Левушов А.Е., Логвинов А.И., Ломтев С.А., Мармышев В.В., Мешков Е.Е., Семенов Ю.К., Цыкин С.В. Метод исследования взаимодействия диспергированной воды с пламенем // Физика горения и взрыва – Горение, взрыв и ударные волны. 2006. Том. 42, № 1. С. 57–64.

4. Волков Р.С., Кузнецов Г.В., Стрижак П.А. Анализ влияния начальной температуры распыленной воды на интегральные характеристики ее испарения при движении через зону «горячих» газов // Журнал инженерной физики и теплофизики. 2014. Том. 87, № 2. С. 450–458.

5. Архипов В.А., Басалаев С.А., Матвиенко О.В., Перфильева К.Г., Усанина А.С. Генерация и эволюция жидкко-капельного аэрозольного облака в поле силы тяжести. Томск, 2022. 264 с.

УДК 623.746

## **ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В СФЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ**

**Я.А. ШВЕД**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

С 28 марта в силу вступил указ, который был подписан Александром Лукашенко в сентябре 2023 года. Теперь физлицам запрещено ввозить, хранить, продавать, эксплуатировать и изготавливать беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

Исключением станут только организации и ИП, которые используют беспилотники в целях своей предпринимательской и профессиональной деятельности, но с соблюдением требований, установленных указом.

Теперь в первую очередь оператору гражданского БПЛА необходимо заняться получением разрешения на использование воздушного пространства, которое выдается в центре Единой системы организации воздушного движения.

Кроме того, дрон должен быть зарегистрирован в Государственном реестре гражданских воздушных судов Беларуси, а в случаях, когда хочется провести аэрофотосъемку, потребуется еще разрешение Генерального штаба Вооруженных сил.

Также при выполнении полета у оператора беспилотника должен быть с собой целый пакет документов: паспорт или другой документ, удостоверяющий личность; документ, подтверждающий освоение содержания образовательной программы дополнительного образования порядка эксплуатации гражданских беспилотников.

В тех случаях, когда дрон будет летать над населенным пунктом или оператор будет выполнять работу за плату, он должен быть индивидуальным предпринимателем или работать в организации (юридицо), эксплуатирующей беспилотный летательный аппарат.

Нарушение правил использования воздушного пространства либо правил использования авиамоделей влечет за собой административную ответственность по ст. 18.35 Кодекса Республики Беларусь об административных правонарушениях. Штраф для физлица может составлять до 20 базовых величин (Br800), а для юридического лица – до 50 базовых (Br2000).

Повторный противозаконный полет дрона в течение одного года после наложения административного взыскания увеличит штраф в два, а то и в три раза: от 10 до 50 базовых, а для юридического лица – от 20 до 100 базовых величин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пресс-служба Президента Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Запрет на беспилотники – Режим доступа <https://president.gov.by/ru/events/v-belarusi-vveli-zapret-dlya-fizlic-na-vvoz-hranenie-oborot-ekspluataciyu-i-izgotovlenie-bespilotnikov> – Дата доступа: 01.04.2024).

УДК 371.226.5

## РОЛЬ ГРАЖДАНСКО-ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ГОТОВНОСТИ УЧАЩИХСЯ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БПЛА В ЦЕЛЯХ ОБЩЕСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

А.В. ЯНКОВСКАЯ, А.В. САХАРОВ  
Государственное учреждение образования  
«Лидский районный центр технического творчества»  
Лида, Республика Беларусь

В современном информационном обществе использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) становится все более распространенным и значимым. БПЛА нашли широкое применение в различных сферах, включая разведку, доставку грузов, мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности и многое другое. Однако, использование БПЛА также может стать причиной опасных ситуаций или нарушений правил безопасности, если недостаточно обученные лица выполняют данную работу.

Гражданско-патриотическое воспитание играет важную роль в формировании готовности учащихся Государственного учреждения образования «Лидский районный центр технического творчества» к ответственному

использованию БПЛА в целях общественной безопасности. Этот процесс предполагает развитие у учащихся нашего учреждения понимания гражданских и патриотических ценностей, уважения к правилам и законам, сознательного отношения к своей ответственности и обязанностям, а также развития навыков работы с технологическими средствами.

Однако, на данный момент существует недостаточно исследований, посвященных роли гражданско-патриотического воспитания в формировании готовности учащихся к использованию БПЛА в целях общественной безопасности. Поэтому, проведение данного исследования является актуальным и важным в свете обеспечения безопасного применения БПЛА и готовности учащихся к выполнению задач в области общественной безопасности. Результаты данного исследования помогут выработать эффективные методы гражданско-патриотического воспитания, способствующие формированию готовности учащихся к безопасному использованию БПЛА.

Целью данного исследования стало определение роли гражданско-патриотического воспитания в формировании готовности учащихся к использованию БПЛА в целях общественной безопасности и создание практически значимых рекомендаций для педагогов дополнительного образования в области дополнительного образования детей и молодежи технического профиля.

При проведении данного исследования были поставлены следующие задачи:

1. Изучить теоретические аспекты гражданско-патриотического воспитания в области дополнительного образования детей и молодежи технического профиля и его значение в формировании готовности учащихся к использованию БПЛА в целях общественной безопасности.
2. Анализировать опыт практической реализации гражданско-патриотического воспитания в обучении учащихся использованию БПЛА.
3. Исследовать восприятие учащихся о гражданско-патриотическом воспитании и его связи с готовностью к использованию БПЛА в целях общественной безопасности.
4. Исследовать эффективность методов и практик гражданско-патриотического воспитания, направленных на формирование готовности учащихся к использованию БПЛА.
5. Разработать рекомендации для педагогов и специалистов в области образования относительно гражданско-патриотического воспитания и его роли в формировании готовности учащихся к использованию БПЛА в целях общественной безопасности.
6. Сформулировать возможные пути интеграции гражданско-патриотического воспитания и обучения использованию БПЛА в учебные программы объединений по интересам дополнительного образования

детей и молодежи с учетом потребностей современного общества и требований безопасности.

Следует отметить, что хотя на тему гражданско-патриотического воспитания и использования БПЛА в целях общественной безопасности имеются некоторые исследования, она по-прежнему остается открытой для дальнейших исследований и разработки конкретных методов и подходов к решению данной проблемы. В этом контексте новые исследования могут быть проведены, чтобы углубить понимание роли гражданско-патриотического воспитания и его влияние на готовность учащихся к использованию БПЛА в целях общественной безопасности.

В ходе теоретического обзора необходимо обосновать следующие основные положения: изучение понятий гражданско-патриотического воспитания и безопасности; анализ роли гражданско-патриотического воспитания в формировании готовности учащихся; изучение принципов и мер безопасности, связанных с использованием БПЛА. Методология исследования будет базироваться на определении методов исследования (наблюдение, анкетирование, анализ документов, эксперимент), определении выборки исследования (учащиеся, педагоги, специалисты в области БПЛА), разработке анкет.

Эмпирическое исследование будет основываться на проведении исследования с использованием выбранных методов и инструментов, сборе данных о роли гражданско-патриотического воспитания в формировании готовности учащихся к использованию БПЛА в целях общественной безопасности, анализе собранных данных и полученных результатов. Интерпретация полученных результатов и их анализ в контексте поставленных задач исследования выявят возможные недостатки и ограничения исследования.

**Выводы.** Гражданско-патриотическое воспитание играет важную роль в формировании готовности учащихся к использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в целях общественной безопасности. Это включает развитие у детей гражданских ценностей, патриотических чувств и понимания собственной ответственности. Исследования указывают на необходимость эффективного гражданско-патриотического воспитания, чтобы учащиеся могли осознанно и ответственно использовать БПЛА, соблюдать принципы безопасности и не нарушать законы и правила. Важно учитывать влияние гражданской и патриотической составляющей воспитания на формирование готовности учащихся в использовании БПЛА в целях общественной безопасности. Патриотические чувства и понимание значимости общественной безопасности могут способствовать более ответственному подходу к использованию БПЛА. Необходимо разрабатывать и применять инновационные методы и практики

гражданско-патриотического воспитания, включая использование интерактивных цифровых платформ и игровых технологий, чтобы заинтересовать и мотивировать учащихся и обеспечить более эффективное формирование готовности к использованию БПЛА. Дальнейшие исследования и разработки должны быть направлены на поиск оптимальных подходов к интеграции гражданско-патриотического воспитания и обучения использованию БПЛА в учебные программы, а также на разработку практически значимых рекомендаций для педагогов и специалистов в области образования и безопасности.

В целом, гражданско-патриотическое воспитание необходимо для формирования готовности учащихся к использованию БПЛА в целях общественной безопасности. Это включает развитие гражданских и патриотических ценностей, понимания правил и законов, а также сознательного отношения к своей ответственности. Дальнейшие исследования и реализация эффективных методов гражданско-патриотического воспитания могут способствовать безопасному использованию БПЛА и обеспечению общественной безопасности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кондаков Н.Д. ПРЕДНАЗНАЧЕНИЕ БПЛА В РАЗЛИЧНЫХ СФЕРАХ ЗАДАЧ // Вестник Башкирского государственного педагогического университета им. М. Акмуллы. 2023. №S1 (67). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prednaznachenie-bpla-v-razlichnyh-sferah-zadach> (дата обращения: 22.03.2024).
2. Ларина Т.В., Кораблин И.И. Сущность и специфика профессиональной культуры будущих военных специалистов беспилотной авиации // МНКО. 2018. №6 (73). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/suschnost-i-spetsifikasi-professionalnoy-kultury-buduschih-voennyh-spetsialistov-bespilotnoy-aviatsii> (дата обращения: 22.03.2024).
3. Соколова М.Е. БПЛА: ТЕХНОЛОГИЯ, ЭТИКА, ПРАВО // Социальные и гуманитарные науки. Отечественная и зарубежная литература. Сер. 3, Философия: Реферативный журнал. 2020. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bpla-tehnologiya-etika-pravo> (дата обращения: 22.03.2024).
4. Старков Р. В., Климанов В. С. ТЕХНОЛОГИИ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ОБУЧЕНИЮ ОГНЕВОЙ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ВДВ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЧЕБНО-ТРЕНИРОВОЧНЫХ СРЕДСТВ // ВВО. 2022. №4 (37). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-virtualnoy-realnosti-v-obrazovatelnom-protsesse-innovatsionnyy-podhod-k-obucheniyu-ognevoy-podgotovke-spetsialistov-vdv> (дата обращения: 22.03.2024).

УДК 623.746

## **ОСОБЕННОСТИ ОСНАЩЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ И ЛАБОРАТОРИЙ ИЗУЧЕНИЯ БАС**

М. В. КАМЕНЕВ  
ООО «НТЦ ЭТ», Россия

В настоящее время активно развивается образовательное направление по изучению БПЛА и БАС. Однако образовательные программы, внедряемые в учебных заведениях, зачастую подстраиваются под существующие на рынке продуктые линейки, их обслуживание или аспекты практического применения. Еще чаще бывает, что образовательная программа сосредоточена в области развития базовых знаний учащихся в области информационных технологий и ограничивается изучением основ высокоуровневых языков программирования, что благоприятно влияет на общий кругозор учащихся, но никак не развивает в них профильные навыки в сфере разработки БАС.

Для решения данной проблемы компанией НТЦ ЭТ и ее партнерами предлагается комплексное решение для разработки линейки учебных БАС различного типа, с использованием различных комплектующих, устройств управления, информационных и сенсорных систем, различного навесного оборудования и т.п. Предлагаемое решение позволяет учащимся на практике разработать программируемые модели различных БПЛА, обладающих различной кинематикой и массо-габаритными характеристиками. Вариативность учебной линейки БПЛА дает возможность учащимся на практике проверить инженерных расчеты, производимые на стадии проектирования, изучить различную элементную базу для разработки БАС и интегрировать различные элементы систем управления.

УДК 623.746

## **ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫХ БПЛА ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ**

Н.В. Голубурдин  
ООО «Прикладная робототехника АВИА», Россия

Практическое применение БПЛА и БАС в различных задачах с каждым днем становится все больше, как и разработчиков подобных

решений. Однако важно отметить, что в большинстве случаев архитектура подобных систем оказывается схожей, по причине того, что при разработке и производстве подобных решений используются массово распространенные на рынке технические решения, чаще всего обладающие схожими функциональными возможностями. В связи с этим, производимые различными компаниями БПЛА и БАС чаще всего обладают схожими функциональными возможностями, ограниченными используемой элементной базой иностранного производства. Все это приводит к общей проблеме, что БПЛА и БАС обладают частичной автономностью – пилотируются в режиме ручного управления или перемещаются по координатам в рамках полетного задания. Однако при этом СУ БПЛА и БАС практически не имеет возможности адаптивно реагировать на изменения окружающей обстановки, возникающей в процессе полета. Для решения данной проблемы Группой компаний «Прикладная робототехника» предлагается линейка комплектующих для разработки БПЛА и БАС с бортовыми системами автономного управления, а также симуляционное ПО, позволяющее отладить работу системы управления на земле в лабораторных условиях .

УДК 623.746

## **ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БВС**

К. О. ЛОБЗА  
ООО «Международный центр мониторинга», Россия

Применение БВС самолетного типа часто связано с полетами по маршрутам на дальние расстояния, в том числе на расстояния недоступные для систем связи или на местности где возможно отсутствие каких-либо систем связи. Для решения данной проблемы предлагается использовать системы спутниковой связи. Компанией ООО «Международный центр мониторинга» разработано устройство, позволяющее использовать спутниковые технологии для трекинга полётов БВС в условиях отсутствия иной связи. Устройство обеспечивает постоянный контроль за местоположением и передачу минимальной телеметрии для анализа состояния борта. Изобретение основано на современных технологиях передачи данных. Данное устройство позволяет в импульсе обеспечить мощность до 250 Вт при средней мощности порядка 20-25 Вт для передачи сигнала на спутниковые группировки, расположенные на низких орбитах.

Все технологии отработаны для использования со спутниковой группировкой компании ООО «Спутникс». Проведены первые тесты, подтверждающие возможности устройства. Размер, масса и уровень потребления позволяют использовать маяк на БВС с взлётной массой от 5 кг.

УДК 623.746

## **ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ БВС**

К. О. ЛОБЗА

ООО «Международный центр мониторинга», Россия

Учебные БВС должны обладать свойствами, отличающимися от коммерчески применяемых БВС:

- надежностью;
- ремонтопригодностью;
- простотой конструкции;
- низкой стоимостью комплектующих для ремонта.

Важно иметь возможность использовать учебный БВС для разных целей:

- отработка взлёта и посадки
- мониторинг протяженных объектов
- перевозка грузов.

Для учебного оборудования непринципиальна большая длительность полёта, а принципиальна возможность отработки различных сценариев применения, обеспечивающих разнообразие тем обучения и повышение квалификации пользователей.

Для решения данной задачи компанией ООО «Международный центр мониторинга» разрабатывается учебный комплект для изучения основ проектирования и обслуживания БВС на базе аппаратно – программных комплексов отечественного производства. Учебный комплект представляет собой не только полноценно функционирующую модель БВС, но еще и учебно-лабораторный стенд, имеющий возможность подключения к симуляционному программному обеспечению для моделирования полета внутри помещения при закреплении БВС в специальный испытательный стенд.

---

---

## II СЕКЦИЯ

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

---

---

УДК 629.735.33.052-52:630\*5

### ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

И.В. ВОЙТОВ, С.А. ПУШКИН, И.В. ТОЛКАЧ, В.Б. ЗВЯГИНЦЕВ

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Одним из наиболее динамично развивающихся направлений цифровизации и автоматизации процессов лесохозяйственной отрасли является внедрение беспилотных летательных технологий. Они основываются на применении инновационных технологий искусственного интеллекта, интернета вещей, машинного зрения, анализа больших объемов данных и точного земледелия [1]. Уже сегодня беспилотные летательные аппараты (БЛА) активно применяются в лесном хозяйстве для решения многих важных практических задач в сферах таксации, мониторинга и защиты и охраны лесов, чему способствуют их социально-экономические и экологические преимущества.

Современные дроны благодаря сложным системам сбора и получения информации способны выполнять свои функции исключая эффект «человеческого фактора», что в конечном итоге приводит к повышению скорости и качества работ, сокращению их себестоимости и улучшению условий труда работников лесного хозяйства.

К основным направлениям использования БЛА в лесном хозяйстве можно отнести следующие:

1. оперативное выявление, картографирование и определение площадей усыхающих лесных насаждений, ветровально-буреломных повреждений и лесных пожаров на основе использования съемки в видимом и мультиспектральном диапазонах;

2. оценка состояния лесных культур, качества лесохозяйственных работ и других мероприятий в лесном фонде;

3. инвентаризация лесного фонда и лесных ресурсов на основе данных лидарной и мультиспектральной съемок, создание планово-карточеских материалов;

4. контроль за нарушениями законодательства в лесном фонде, таких как самовольные рубки; вывоз мусора; уничтожение живого напочвенного покрова; факты браконьерства и т.п.;

5. внесение средств защиты растений при помощи агродронов для сдерживания развития очагов вредителей и болезней в лесных питомниках, лесосеменных плантациях, в культурах и насаждениях.

Учеными университета активно разрабатываются методы оценки таксационных показателей насаждений на основе материалов лазерной и мультиспектральной съемок с БЛА. В 2022–2023 гг. кафедрой лесоустройства БГТУ совместно с ООО «Хобби-парк», ООО «Центр промышленных беспилотных решений «Коптер Бай» выполнены пилотные проекты по лазерному сканированию участков лесного фонда Негорельского учебно-опытного лесхоза с применением дрона Matrice 300. В результате разработана методика обработки материалов лидарной съемки с использованием открытой геоинформационной системы SAGA, сформированы цифровые модели поверхности полога насаждений, высот деревьев и кустарников под их пологом, выполнена оценка основных таксационных показателей древостоя.

В пределах ЕАЭС Республика Беларусь является флагманом научно обоснованного внедрения БЛА в сферу защиты леса от вредителей и болезней. Под эгидой Министерства лесного хозяйства в стране с 2020 г. ведется апробация и регистрационные испытания биологических и химических составов, с целью применения при помощи агродронов. Исследования, совместно проведённые БГТУ, Учреждением «Беллесозащита» и РУП «Научно-практический центр гигиены» на примере лесосеменных плантаций, питомников и лесных насаждений различного возраста и породного состава позволяют говорить о высокой эффективности беспилотных технологий. Они показывают, что себестоимость внесения средств защиты растений при помощи агродронов ниже на 58–67% по сравнению с традиционными технологиями [2]. При этом на 30% меньше расходуется пестицидов из-за высокой точности и равномерности внесения препаратов при помощи БЛА, что снижает пестицидную нагрузку на окружающую среду.

Токсиколого-гигиенические исследования показали, что условия труда при внесении препаратов с использованием агродрона соответствуют республиканским гигиеническим требованиям, а содержание вредных веществ в воздухе рабочей зоны оператора БЛА не фиксируется [3]. Причем большинство современных агродронов способны проводить обработку растений в полностью роботизированном режиме, что еще больше снижает гигиенические риски для работников.

Учеными университета были подобраны оптимальные режимы применения БЛА, на основе которых разработана и проходит внедрение в лесном хозяйстве методика использования агродронов для защиты леса, проведена государственная регистрация четырех препаратов для их применения с использованием агродронов.

Полученный опытложен в основу организованных в Институте повышения квалификации БГТУ образовательных курсов подготовки операторов БЛА, позволяющий получить теоретические и практические навыки применения агродронов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Чижик, С.А. и др. Интегрированная система точного земледелия с использованием беспилотных летательных аппаратов // Наука и инновации. – 2020. – №. 10(212). – С. 63–64.
2. Звягинцев В.Б. Малашевич Д.Г., Жданович С.А. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве для проведения лесозащитных мероприятий // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2023. – № 2(274). – С. 43–49.
3. Звягинцев В.Б. и др. Беспилотные технологии в лесных питомниках: биологическая эффективность и гигиенические риски // Лесное хозяйство: материалы 87-й науч.-техн. конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием) / БГТУ; отв. за издание И.В. Войтов. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 112–113.

УДК 502.72

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ИЗУЧЕНИЯ ЖИВОТНОГО МИРА НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ**

**Е.О. СМОЛЯРКО**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

В настоящее время система особо охраняемых природных территорий (далее - ООПТ) в Республике Беларусь включает в себя 1338 объектов. К ним относятся Березинский биосферный заповедник, четыре

национальных парка "Беловежская пуща", "Браславские озера", "Нарочанский", "Припятский", 99 заказников республиканского значения, а также заказники местного значения и памятники природы, составляющие большинство ООПТ страны. Общая площадь ООПТ составляет 1,9 млн. га, или 9,1% территории Беларуси и характеризуется благоприятным экологическим состоянием и наличием большого разнообразия природных ресурсов (редких форм рельефа, живописных озер и мест обитания исчезающих видов флоры и фауны) [1]. Общее количество ООПТ и их площадь не являются статичными показателями, поскольку работа по преобразованию существующих территорий с охранным статусом и созданию новых ведется непрерывно, согласно разработанным областными комитетами природных ресурсов и охраны окружающей среды и утвержденным областными Советами депутатов региональным схемам рационального размещения ООПТ.

Так, например, в марте 2024 года была утверждена региональная схема рационального размещения ООПТ местного значения Минской области на 2024-2033 годы, согласно которой в указанный период запланировано объявление 6 новых заказников местного значения общей площадью около 7190 га. При этом итоговая оценка площади заказников может существенно отличаться от запланированной, поскольку границы заказников формируются по результатам обследования территорий - кандидатов в заказники, оценке их соответствия критериям выбора и могут изменяться как в меньшую, так и в большую сторону. Для этого в установленные сроки исполнителем проектной документации (научное и технико-экономическое обоснование) проводятся натурные обследования территорий с целью оценки наличия и состояния ценных природных комплексов и объектов и установление факторов, оказывающих на них вредное воздействие; подтверждение известных и выявление новых мест обитания диких животных и мест произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенными в Красную книгу Республики Беларусь, и (или) к видам, подпадающим под действие международных договоров Республики Беларусь, типичных и редких природных ландшафтов и биотопов, а также мест миграционных скоплений диких животных, колониальных поселений птиц и (или) млекопитающих [2]. В зависимости от запланированной площади, а также физической доступности территорий перспективного заказника, длительность их обследования может существенно варьироваться, из-за чего у исполнителя не всегда есть возможность максимально полно и в установленный планом срок провести обследование, что оказывает негативное влияние на качество выполнения работ, подготовку проектной документации и, в конечном счете, некорректное определение границ

создаваемой ООПТ. Это не позволяет в полной мере обеспечить эффективную охрану ресурсов биологического и ландшафтного разнообразия и формирование национальной экологической сети.

В ряде случаев для облегчения выявления мест обитания диких животных и произрастания дикорастущих растений целесообразно использовать беспилотные летательные аппараты (далее - БЛА), что позволяет существенно сократить время, требуемое для обследования всей площади территории, а также облегчить поиск конкретных объектов. Особенно это актуально для динамичных явлений, которые возможно отследить только в режиме реального времени: стаи птиц, стада животных, а также объектов, связанных с их жизнедеятельностью, возникающих спонтанно, в произвольных местах и за достаточно короткое время - гнезда, норы. Положительно зарекомендовало себя использование БЛА для поиска нор барсука на обширных открытых пространствах - лугах, полях, вырубках в лесных массивах. С помощью фотосъемки с воздуха барсучьих поселений существенно упрощается обнаружение нор и отнорков и подсчет их количества для последующего составления плана-схемы городка даже при использовании БЛА в условиях лесного фонда. БЛА активно используются в зимне-весенний период для поиска гнезд дневных хищных птиц в кронах деревьев, а также непосредственно в период гнездования для обследования гнезд. БЛА с тепловизионной съемкой часто применяются для обнаружения видов теплокровных животных, представители которых имеют небольшие размеры или которых трудно обнаружить в естественной среде. Использование тепловизора осложняется идентификацией животных при съемке с большой высоты, однако последующая цифровая обработка изображений с использованием тепловых сигнатур различных животных, позволяет их идентифицировать с достаточной точностью [3].

На действующих ООПТ диапазон использования БЛА существенно шире. В первую очередь это учет поголовья животных для сохранности популяций и поддержания численности в том числе в условиях влияния антропогенных факторов. Учет некоторых видов копытных крайне сложно провести традиционными способами по следам, поскольку стадные животные редко передвигаются поодиночке. С 2012 года в рамках проекта Национальной академии наук Беларусь ведется учет оленей и зубров в Беловежской пуще и Национальном парке «Припятский» [4], а с 2024 планируется ведение учета поголовья зубра, лося и волков в заказнике "Налибокский" [5]. По сравнению с традиционными визуальными авиаучетами данный способ обладает преимуществами в виде значительно более высокой точности определения числа животных и низкими экономическими затратами.

Существенное снижение затрат при использовании БЛА по сравнению с эксплуатацией гражданских средств малой пилотируемой авиации особенно ощутимо и в других областях применения, а именно:

- лесозащитные мероприятия (точное распыление пестицидов и инсектицидов на пораженных участках);
- лесопатологический мониторинг с использованием мультиспектральных камер с возможностью химического анализа древесных пород;
- патрулирование лесного фонда с воздуха в пожароопасный период.

Помимо традиционных сфер использования БЛА для картографирования лесных и водных угодий, контроля границ участков и развития леса, перспективно природоохранное направление, а именно фиксация незаконной вырубки лесов, несанкционированного разведения костров, вывоза и складирования твердых бытовых отходов и загрязняющих веществ, браконьерства и иных нарушений охранного режима. В этих целях БЛА сегодня активно используются не только непосредственными сотрудниками ООПТ, но и в Государственной инспекции охраны животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь.

С точки зрения научного потенциала применения БЛА интересна разработка швейцарских ученых, представивших в марте 2023 года в целях мониторинга биоразнообразия дрон для сбора биологического материала для последующего анализа ДНК, что позволяет обнаруживать признаки обитания живых организмов (насекомые, мелкие позвоночные, растения, лишайники и грибы) в таких труднодоступных местах как кроны высоких деревьев [6].

Основные преимущества БЛА при использовании на ООПТ:

- экономия средств. Меньшая стоимость летательного аппарата, меньшие операционные расходы и отсутствие необходимости дорогого обслуживания;
- работа без расширения штата, возможность обучения собственных сотрудников и решения комплексных задач силами одного оператора БЛА;
- простота и оперативность. Взлет в любой географической точке без использования аэродрома или посадочной площадки и упрощенное законодательное регулирование полетов;
- точность аэрофотосъемки. За счет применения спутниковых систем навигации и модулей кинематики реального времени, карты, созданные при помощи БЛА, имеют высочайшую точность. Выполнение полета на различных высотах повышает детализацию и качество снимков.
- возможность оснащения БЛА специальным навесным оборудованием в зависимости от решаемых задач. Благодаря применению тепловизоров и мультиспектральных камер, круг задач БЛА на ООПТ не ограничивается съемкой и наблюдением;

– невысокий уровень шума, что обеспечивает сравнительно низкий фактор беспокойства диких животных и возможность скрытного наблюдения, не оказывая влияния на их поведение.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Новость БелТА от 01.06.2023. Ссылка в Интернет: <https://www.belta.by/society/view/sistema-osobo-ohranjaemyh-prirodnyh-territorij-belorussi-vkljuchaet-1338-objektov-569652-2023/>
2. Статья 20 Закона Республики Беларусь от 15 ноября 2018 г. № 150-З "Об особо охраняемых природных территориях".
3. Povlsen P. et al. Using Drones with Thermal Imaging to Estimate Population Counts of European Hare (*Lepus europaeus*) in Denmark. *Drones* 2023, 7(1), 5; [https://doi.org/10.3390/drones7010005/](https://doi.org/10.3390/drones7010005)
4. Галковский С. Дрон считает стадо. Советская Белоруссия №228 от 29.11.2014.
5. Мильто А. Настоящий робот для охраны заказника. Белорусская лесная газета №10 от 14.03.2024.
6. Aucone E. et al. / *Science Robotics*, 2023. DOI: 10.1126/scirobotics.add5762

УДК 911.9+910.27

## ПРОГНОЗНОЕ ПОЧВЕННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГС “ЗАПАДНАЯ БЕРЕЗИНА”)

А.Л. КИНДЕЕВ, А.А. САЗОНОВ, И.С. КНЯЗЕВ, А.А. РАУШ  
Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

Цифровая почвенная картография, как отдельное направление почвоведения, была сформирована в 2003 г. [1], заложенные идеи были реализованы в концептуальной модели SCORPAN (Soil (почва), Climate (климат), Organisms (организмы), Relief (рельеф), Parent material (почвообразующие породы), Age (возраст территории), Spatial position (положение в пространстве)). Модель ориентирована на практическое применение для создания цифровых почвенных карт.

С появлением общедоступных цифровых моделей рельефа (ЦМР) и развитием геоинформационных технологий получила развитие концепция прогнозного почвенного картографирования (ППК), суть которой сводится к возможности на основе небольшого числа измерений почвенных свойств прогнозировать их пространственную дифференциацию на определенной территории [4].

Ряд исследований последних лет показывает, что из всех факторов почвообразования главенствующую роль в прогнозном почвенном картографировании отводится рельефу [2]. При этом особую важность представляют собой производные характеристики рельефа, рассчитываемые по ЦМР. Флоренским И. В. и соавторами было определено, что корреляционные взаимосвязи между почвенным покровом и рельефом местности проявляются через морфометрические показатели третьего порядка [3, 4], что делает выбор предикторов важным этапом прогнозного почвенного картографирования.

В связи с этим, определяющую роль в итоговом моделировании играет точность исходной ЦМР. Достижение наилучших результатов в построении ЦМР может быть достигнуто с помощью воздушного лазерного сканирования, позволяющего “увидеть” рельеф с геодезической точностью под растительность и в труднодоступных местах (пойменные и заболоченные территории, буреломы и тд.). Такая информация позволяет выделять мелкоконтурные почвенные ареалы, как у автоморфных почв, так и полугидроморфных в ложбинах стока, гидроморфных на затопляемых территориях.

В настоящем исследовании воздушное лазерное сканирование осуществлялось с применением беспилотного летательного аппарата (БЛА) “DJI Matrice 300 RTK”, оснащенного лазерным сканером “DJI Zenmuse L1”. В результате проведенного обследования и обработки данных была получена цифровая модель рельефа на территорию географической станции БГУ «Западная Березина» (рис. 1). Для фильтрации шумов, вызванных избыточной детальностью модели, полученный растр был генерализован до разрешения в 3 метра на пиксель.

При разработке модели ППК в качестве предикторов были отобраны наиболее часто используемые в отечественных и зарубежных исследованиях морфометрические показатели рельефа, такие как уклон, общая кривизна поверхности, профильная кривизна поверхности, тангенциальная кривизна поверхности, кривизна Казаратти, Гауссова кривизна поверхности, кривизна контура, геодезическое кручение изолиний, направление потока, топографический позиционный индекс в окрестности 3 и 5 пикселей, топографический индекс влажности, индекс баланса геомассы, индекс сходимости (конвергенции), а также спектральные

индексы MTVI2, RTVICore и SAVI. Спектральные индексы рассчитывались по данным многозональной космической съемки. Предикторы были объединены в едином многомерном наборе растровых данных, формируя таким образом многомерное пространство признаков.

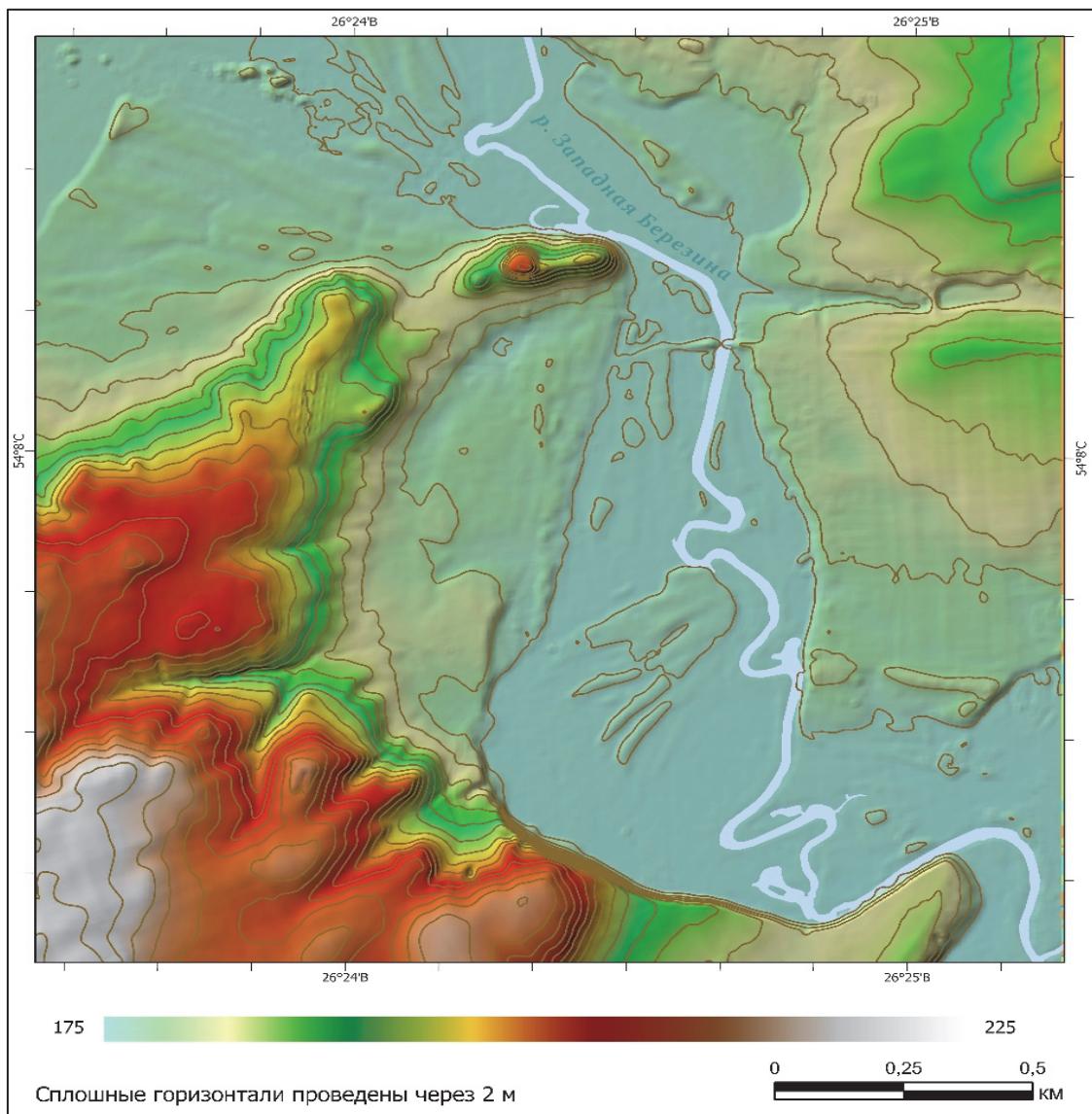


Рис. 1. Цифровая модель рельефа на исследуемый участок

В основе предлагаемой методики лежит метод машинного обучения «случайный лес», реализованный в ГИС ArcGIS Pro, который хорошо себя зарекомендовал в задачах классификации изображений. Для обучения модели использовались данные о почвенных разрезах, полученные во время проведения учебных полевых почвенных практики студентами БГУ. Результатом моделирования стала карта почв исследуемого участка на уровне типов (рис. 2)

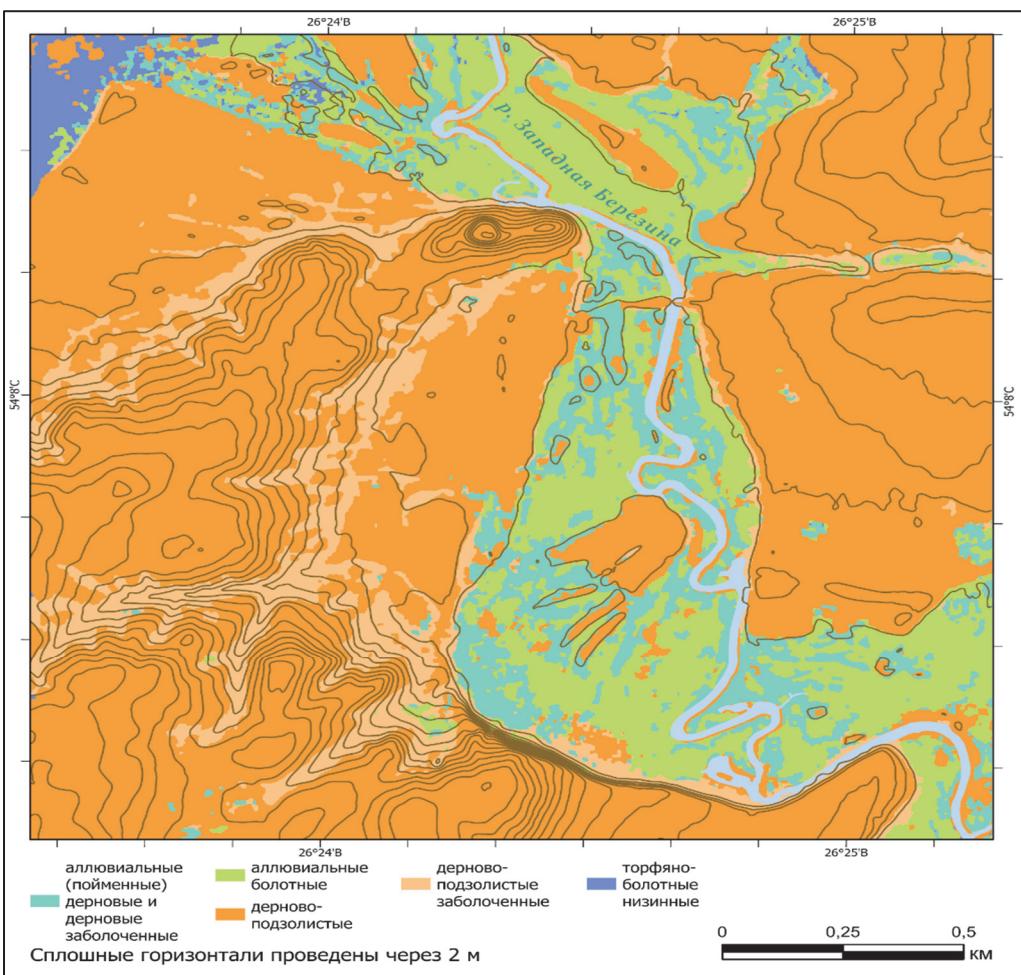


Рис. 2. Цифровая почвенная карта

Точность модели оценивалась по 495 случайно расположенным точкам, значения в которых сравнивалось с эталонной картой. Этalonом для оценивания точности классификации стала почвенная карта на территорию геостанции "Западная Березина", составленная традиционным методом.

Разработанная модель при определении автоморфных почв позволила достичь точности в 92,68%, заметно хуже результаты при определении глеевых почв (точность 46,15%), и хуже всего удается определить ВИУ и глееватые почвы (точность 34,11%). Результаты классификации по типам почв показали общую точность классификации по типам почв 64,24%, что говорит об эффективности методики, используемой для автоматической классификации почв.

Таким образом, данные, полученные с помощью воздушного лазерного сканирования, могут являться основной не только для проведения технических работ по инвентаризации объектов, но и для фундаментальных научных изысканий в области почвоведении и географии почв,

позволяя моделировать почвенных покровов на различных территориях и масштабах, а также, в перспективе, являться основой для определения пространственного перераспределения веществ в элементарных ландшафтно-геохимических системах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *McBratney A. B, Mendonça Santos M. L., Minasny B. On digital soil mapping / A. B. McBratney, M. L. Mendonça Santos, B. Minasny // Geoderma. 2003. – №1-2. – P. 3–52*
2. Improved digital soil mapping with multitemporal remotely sensed satellite data fusion: A case study in Iran / S. Fathololoumi [et al.] //Science of the Total Environment. 2020. – Т. 721. – 14 р.
3. *Флоринский, И.В. Картографирование почвы на основе цифрового моделирования рельефа (по данным кинематических GPS-съемок и почвенных наземных съемок) / И.В. Флоринский // Исследование Земли из космоса. – 2009, № 6. – С. 56-65.*
4. Прогнозное почвенное картографирование на основе цифрового моделирования рельефа / И.В. Флоринский [и др.] // Геоинформатика. – 2009, № 1. – С. 22-32.

УДК 631.3

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСНОМ, СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ

Г.А. ЕФИМЕНКО, М.Ю. МУХИНА

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

В последние годы беспилотные аппараты, также известные как дроны или беспилотные летательные аппараты (БПЛА), стали все более популярными в различных отраслях промышленности, включая лесное и сельское хозяйство. Их использование в этих отраслях приводит к существенному увеличению эффективности, снижению затрат и улучшению производительности. В данном реферате рассмотрим примеры использования беспилотных аппаратов в лесном, сельском хозяйстве и других отраслях.

Лесное хозяйство является одной из отраслей, где беспилотные аппараты нашли широкое применение. Они могут использоваться для мониторинга состояния лесных массивов, обнаружения пожаров, осуществления инвентаризации древесных ресурсов и многих других задач. Беспилотные аппараты оснащены специализированными камерами и сенсорами, которые позволяют собирать данные о состоянии леса и выявлять потенциальные проблемы. Это позволяет оперативно реагировать на возникающие угрозы и предпринимать необходимые меры для сохранения лесных ресурсов.

В сельском хозяйстве беспилотные аппараты также нашли широкое применение. Они могут использоваться для мониторинга растений, определения уровня урожайности, распыления удобрений и пестицидов, а также для орошения полей. Беспилотные аппараты оснащены оптическими и тепловыми камерами, которые позволяют операторам получать информацию о состоянии растений и определять проблемы, такие как болезни или пестицидные повреждения. Это помогает сельскохозяйственным предприятиям принимать решения на основе точных данных и повышать эффективность производства. Беспилотные аппараты также находят применение в других отраслях, таких как геология, энергетика, строительство и многие другие. В геологии и геодезии они могут использоваться для создания точных карт местности и проведения геологических исследований. В энергетике они могут использоваться для инспекции энергетических линий и солнечных панелей. В строительстве беспилотные аппараты могут применяться для мониторинга строительных работ и контроля качества.

Использование беспилотных аппаратов в лесном, сельском хозяйстве и других отраслях приводит к существенным преимуществам. Они позволяют снизить затраты, повысить эффективность и улучшить качество работы. Беспилотные аппараты оснащены специализированными камерами и сенсорами, которые собирают данные и обеспечивают точную информацию о состоянии объектов. Это позволяет операторам принимать обоснованные решения и предотвращать проблемы. Однако, необходимо учитывать такие аспекты, как безопасность и законодательство, чтобы обеспечить надлежащую эксплуатацию беспилотных аппаратов.

Таким образом, использование беспилотных аппаратов в лесном, сельском хозяйстве и других отраслях является важным шагом в современном развитии промышленности. Они способствуют улучшению процессов, повышению эффективности и снижению затрат. Однако, внедрение данной технологии должно осуществляться с учетом специфики каждой отрасли и с соблюдением соответствующих правил и нормативов.

## ИНТЕГРАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Л.В. ПРИГОДИЧ, А.М. ЛАПИЦКАЯ

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются инновационной технологией, они оснащены различными сенсорами и камерами, благодаря которым становится возможным собирать данные и выполнять задачи в таких областях, как лесное хозяйство, сельское хозяйство, геологическое исследование земель, строительство и так далее.

Леса представляют собой важный компонент экосистемы нашей планеты и играют ключевую роль в поддержании биоразнообразия, регулировании климата и предоставлении ценных ресурсов для жизнедеятельности человека. Тем не менее, сохранение и эффективное управление лесным комплексом является сложной задачей, которая требует непрерывного мониторинга, анализа и принятия оперативных решений. Благодаря широкому функционалу, беспилотные летательные аппараты обладают большим потенциалом в лесном хозяйстве. При помощи БПЛА можно осуществлять эффективный мониторинг лесных участков, анализировать состояние растительности, выявлять вредителей лесов, а также оценивать состояния, при которых возможно возгорание растительности.

Беспилотные летательные аппараты оснащены различными сенсорами, такими как мультиспектральные камеры и лазерные сканеры, которые позволяют получать информацию о структуре леса, плотности деревьев, биомассе и других параметрах. Благодаря этому лесхозы, лесничества и другие организации могут принимать обоснованные решения при планировании вырубок, восстановлении лесов и контроле за выполнением лесохозяйственных мероприятий.

Мониторинг лесных насаждений с помощью БПЛА предполагает регулярную съемку из воздуха, благодаря которой можно следить за изменениями в структуре леса, определять прирост деревьев в лесосеке и оценивать состояние экосистемы.

Многие беспилотные летательные аппараты оборудованы тепловизионными камерами, например DJI Mavic 2 Enterprise Advanced. Такие модели могут использоваться для обнаружения и мониторинга пожаров в лесных массивах, определения очагов возгорания, что дает возможность оперативно реагировать и координировать усилия по устранению лесных пожаров.

Одним из потенциальных путей использования беспилотных летательных аппаратов в лесном комплексе является мониторинг биоразнообразия в лесных экосистемах. БПЛА помогут собирать данные о распределении видов, плотности популяций и состоянии животных и растений, что поможет в оценке состояния экосистемы и принятии мер по ее охране и сохранению.

Таким образом, интеграция беспилотных летательных аппаратов в лесное хозяйство представляет собой перспективное направление развития, которое может принести значительные преимущества в мониторинге и управлении лесными ресурсами.

УДК 528.74

## **ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

**Е.С. КРИВЧЕНЯ, В.С. ВАСИЛЮК**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

Строительство – процесс создания и развития объектов инфраструктуры, жилых или коммерческих зданий, а также других сооружений. Этот процесс включает в себя планирование, проектирование, строительство и эксплуатацию объектов. Строительство играет важную роль в развитии городов и обеспечении комфортных условий для жизни людей. Оно также способствует экономическому росту и созданию новых рабочих мест.

Цифровизация строительной отрасли с использованием беспилотных летательных аппаратов (далее БПЛА), или дронов, представляет собой значительный прорыв в сфере строительства. Большинство строительных проектов начинаются с обследования участка. Это можно сделать с помощью обычного геодезического оборудования или с помощью современных инструментов, таких как БПЛА для фотограмметрии и лазерные сканеры для картографирования.

Далее геодезисты ведут проект, отслеживая ход работ, измеряя кучи мусора, раскопки и, в конечном итоге, выполняя полную съемку с использованием мобильного и наземного картографического оборудования, которое создает как облако точек, так и панорамные фотографии.

Все эти усилия способствуют формированию общей среды обработки данных (CDE), наборов данных для информационного моделирования зданий (BIM) и цифровых близнецов. Точные облака точек, модели и изображения, полученные геодезистами, могут уменьшить необходимость посещения объекта другими лицами. Это может сэкономить время и снизить выбросы углекислого газа, связанные с транспортировкой. Легкодоступные данные также побудят членов проектной группы чаще проверять детали, что может сэкономить время в процессе проектирования и уменьшить количество ошибок. Наконец, сведение к минимуму количества людей на месте, очевидно, является преимуществом.

Цифровизация в строительной отрасли. Для всестороннего развития строительной отрасли на территории Беларуси необходимо применять новейшие технологии, разработанные как на территории страны, так и заимствованные. К данным технологиям относятся беспилотные летательные аппараты для фотограмметрии и лазерные сканеры для картографирования, которые помогают отслеживать ход работ, выполнить полную съемку с использованием мобильного и наземного картографического оборудования, которое создает как облако точек, так и панорамные фотографии.

Подводя итоги, можно сказать, что БПЛА могут выполнять такие функции в строительстве, как:

- Инспекции и мониторинг. Дроны могут использоваться для проведения инспекций строительных объектов, обнаружения дефектов, контроля качества выполненных работ и мониторинга прогресса строительства.
- Съемка и моделирование. Дроны могут выполнять аэросъемку строительных площадок, создавать трехмерные модели объектов и территорий, что помогает в планировании и проектировании.
- Поддерживать безопасность. Дроны могут мониторить рабочие процессы, что может предотвращать аварии.
- Оптимизация процессов: Использование дронов позволяет оптимизировать процессы строительства, уменьшить затраты на рабочую силу и оборудование, а также улучшить качество и точность выполнения работ.

К результатам применения данных технологий относятся общая среда обработки данных (CDE), наборы данных для информационного моделирования зданий (BIM) и цифровые близнецы зданий, которые значительно облегчат работу в строительной сфере. Также для повышения эффективности строительной отрасли необходимо применять современное землеройное оборудование, оснащенное GNSS и рядом

датчиков, благодаря которым можно управлять техниками непосредственно из строительных конструкций. Необходимо внедрять такие, уже применяемые в мире технологии, как дополненная реальность (AR) и виртуальная реальность (VR), BIM-данные, а также упомянутые ранее цифровые двойники, основанные на лазерном сканировании или фотограмметрии.

Однако при внедрении беспилотных летательных аппаратов в строительную отрасль необходимо учитывать нормативные и правовые аспекты, обеспечивать обучение персонала и соблюдать меры безопасности. В целом, цифровизация строительной отрасли с помощью дронов может значительно улучшить процессы работы, повысить производительность и качество строительства.

УДК № 656.09

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В ЛОГИСТИКЕ

Т.В. ЗАБАВНИКОВ

Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова  
Архангельск, Россия

Вопрос логистики играет ключевую роль в функционировании разнообразных сферах деятельности: производство, торговля, государственных структуры и услуги. С развитием технологий и инноваций, появляются новые решения и подходы, которые позволяют оптимизировать логистические процессы, сокращать затраты и повышать эффективность работы. Одним из таких решений является использование беспилотных летательных и наземных аппаратов или дронов в логистических сетях. Рассмотрим преимущества и возможности применения БПА в различных отраслях логистики, а также основные направления и перспективы развития данного направления.

Логистику, реализуемую при помощи дронов, можно разделить по множеству факторов, мы же выберем область эксплуатации, выделим три категории:

- Внутристорождская организация;
- Междугородняя поставка;
- Доставка последней мили.

Разберемся с каждой категорией по отдельности

**Внутрискладская организация.** Обширный пункт, включающий в себя множество процессов, осуществляется он как воздушными, так и наземными аппаратами. Дроны осуществляют погрузку и разгрузку грузов, инвентаризацию и организацию хранения. Использование дронов в данной сфере позволяет снизить вероятность ошибок и повысить точность с эффективностью. Устройства склада с помощью ПБА в складской сфере требует определенной инфраструктуры, наличие ретрасляторов, систем управления дронов, SQL-сервера и оператора. Человек в данной структуре исполняет роль не пилотирующего звена, а руководящего, назначает проверку определенных зон складского помещения, следит за выполнением процесса инвентаризации, перемещением товара и его назначением на отправку. Дрон, предназначенный на инвентаризацию, выполняет автономные маневры по назначеннной траектории, осуществляет поиск меток для определения груза на стеллаже. Полученная информация отправляется на сервер, где оператор определяет дальнейшую судьбу груза, перенаправление его в другие сектора или направление на доставку. Перемещение груза может быть реализована с помощью наземных дронов.

Такая система дает возможность в дальнейшем масштабировать систему, упрощать процесс логистики, удешевляя его и экономя ресурсы. Но процесс модернизации создаст серьезные проблемы. Во время модернизации на складе следует приостановить деятельность, проведение массовых сокращений ввиду избытка рабочей силы. На складах Amazon роботы оказались слишком эффективными: они доставляли товары так быстро, что нормативы для людей увеличились более чем вдвое и продолжали расти. Из-за резкого повышения нагрузки, монотонной работы и отсутствия перерывов количество травм начало расти. Несмотря на негативные последствия, модернизация позитивно складывается на организацию логистики.

**Междугородняя поставка.** В данной области Россия является определенным лидером в сфере доставки крупных грузов между городами на дальние дистанции с помощью беспилотных аппаратов, но не стоит оставлять без внимания конкурентоспособных представителей. На данный момент в России действует беспилотные тягачи КАМАЗ-5490 компании ПЭК – крупного российского оператора логистических услуг на территории России и за рубежом. В 2024 году планируется вывести на трассу М-11 уже 18 машин, способных перевозить грузы общей массой до 200 тонн.

В формате эксперимента прошли опытно-промышленную эксплуатацию два тягача в арктической зоне. Автомобили доставляли грузы

по 140-ка километровому зимнику, который связывает нефтепромысел на Гыданском полуострове с поселком Тазовским. Компания, на чьем "полигоне" проводилось тестирование, оценила результат положительно.

Доставка грузов с помощью БПЛА в наших условиях крайне актуальна в условиях труднодоступных регионов, но эксплуатация и тестирования не проводятся. Здесь отличились Канадские инженеры. В Канаде, как и у нас множество труднодоступных городов и деревень, к которым в несезон крайне затруднительно доставлять грузы первой необходимости. Дроны нацеленные на дальнюю доставку в такие случаях осуществляют дальноходные дроны. Но при ухудшении погодных условий, доставка будет невозможна.

**Доставка последней мили.** Понятие, использующееся для обозначения коротких дистанций для доставки грузов между компаниями, корпоративными зданиями и клиентам. В данной ситуации дроны выступают дешевым и быстрым вариантом для доставки малых и средних грузов. Дроны для доставки товаров активно используются для доставки заказов пользователями сервисов. Такого рода доставка уже активно применяется. Реализована доставка по-разному, но есть сходства. Везде присутствует доставка землей, грузовые подвижные капсулы, с грузом внутри и воздухом, БПЛА оснащенные коробом и способные спускать груз на тросе или оставлять его в определенном месте. На западе хорошо развиты оба вида, но воздушная осуществляет доставки только к частным домам, к многоэтажным зданиям доставка осуществляется наземным путем. На востоке, в Китае, прекрасно развита доставка по воздуху. У домов оборудовано помещение, подстроенное под прием и хранилище грузов. Дрон оснащают грузом и задают координаты для доставки. Дрон прибывают к пункту и садятся на крышу, там он оставляет груз и отправляется на станцию. Груз храниться в камере хранения. Пользователь подходит к пункту выдачи и вводит индивидуальный код, данный ему с доставкой, вводит его и забирает свой товар. В России активно развиваются оба вида доставки, но наиболее представлен наземный. Яндекс является ведущей компанией в области беспилотных средств доставки и представляет крупную долю рынка. Наземные дроны доставщики из точки а, к точке б доставляют грузы к подъезду и ожидают пользователя. Даный вид доставки осуществляется в крупных городах в рамках теста для улучшения систем курсирования дронов. Каждый дрон имеет свои плюсы и минусы. Основные проблемы наземных дронов заключены в проходимости и вандализме. На западе является огромной проблемой вандализм, дронов нещадно избивают, переворачивают и

вскрывают, мешая выполнять свои функции. В России выделяется проблема с проходимостью, связанная суровыми климатическими условиями, дроны часто застревают в рыхлом снегу или вязкой грязи и не могут самостоятельно выбраться.

Проблемы летательных устройств более комплексные. Увеличение числа дронов в сфере доставке гарантированно вызовет «воздушные аварии», особенно если данным способом доставки будут пользоваться разные компании, так же такого рода аварии могут быть вызваны птицами, густо заселяющими города. Отсутствие инфраструктуры основная причина отсутствия повсеместного их использования, лучший вариант доставлять к частным домам или пунктам выдачи. Для доставки к многоквартирным домам возникает высокая вероятность вандализма и несчастных случаев. При ухудшении погодных условий доставка будет приостановлена на определенный срок.

**Итог.** Беспилотные аппараты обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными методами доставки грузов. Они позволяют сократить затраты на топливо, уменьшить время доставки и выполнять трудные задачи.

Однако, несмотря на все преимущества, существуют и определенные вызовы, связанные с использованием беспилотных аппаратов. В частности, это вопросы, безопасности и технической готовности таких устройств к эксплуатации.

Тем не менее я уверен, будущее логистики связано именно с применением беспилотных технологий, и уже сегодня многие компании активно внедряют их в свои операции. Это может привести к кардинальным изменениям в отрасли и значительному улучшению эффективности доставки грузов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Михаил Павлушкин Библиотечные фонды: стратегия развития / Михаил Павлушкин, Геннадий Евстафьев, Иван Макаренко; Изд–во Москва Триалог, 2004. — 612 с.
2. Беспилотные летательные аппараты / Справочное пособие. Воронеж Издательство Полиграфический центр «Научная книга», 2015. 616 с. С. 43
3. Беспилотные летательные аппараты // Н.Я. Василин. Минск. «Попурри», 2017. 272 с.
4. С. Бодрова А.С., Безденежных С.И Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами: конф. г. Коломна, 2016. 274 с.

## **АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ**

И.Д. КАМЧАТОВ

Казанский национальный исследовательский технический  
университет имени А.Н. Туполева – КАИ  
Казань, Россия

Применение БПЛА в сельском хозяйстве имеет огромный потенциал, и с каждым годом интерес к их использованию растет. Максимальной эффективности в сельском хозяйстве можно добиться, только владея актуальной и точной информацией о площади, рельефе, специфики грунта полей. Наиболее простым и действенным способом для получения таких сведений, является использование беспилотников. Всего за несколько минут полета можно собрать детальную информацию об изучаемом объекте, создать ортофотоплан, 3D-модель рельефа и не только. Это позволяет полностью контролировать сельскохозяйственные процессы и своевременно принимать решения по их корректировке.

### **Какие виды беспилотников применяют в сельском хозяйстве?**

Для наблюдения за полями используют два вида БПЛА, отличающиеся своей конструкцией и летными характеристиками:

1. Самолетного типа или Летающее крыло – наиболее удобный вариант для облета больших территорий, характеризующийся высокими аэродинамическими показателями. БПЛА этого типа лучше всего подходит для мониторинга протяженных объектов или съемки в условиях значительного удаления. Но, из-за особенностей конструкции беспилотник должен постоянно двигаться и поэтому не может работать в режиме зависания над объектом, а также осуществлять съемку на ограниченных территориях.

2. Коптерные беспилотники или дроны – могут оснащаться различным количеством винтов, что позволяет отлично справляться с точечной съемкой в одном месте для обследования небольшого земельного участка, трехмерного моделирования, опыскивания. Квадрокоптеры отличаются простой конструкцией, стабильностью полета и надежностью.

### **Какие операции выполняют беспилотники?**

Технологично оснащенные беспилотники в сельском хозяйстве способны выполнять разнообразные операции:

1. **Аэрофотосъемку** – необходимую для выявления проплешин, гибели урожая после воздействия природных факторов и других дефектов, нуждающихся в своевременном устраниении. Аэрофотосъемка с дрона более

детальная, чем съемка со спутника, за счет небольшой высоты полета. Кроме того, беспилотные системы позволяют снимать даже в условиях порывистого ветра и облачности.

2. **Видеосъемку** – производительность летательного аппарата при видеосъемке достигает  $30 \text{ км}^2$  за 1 час, что существенно снижает временные и финансовые затраты по сравнению с использованием наземных видов обследования или пилотируемой авиации.

3. **3D моделирование** – позволяет определять переувлажненные или засушливые территории, выемку грунта, грамотно создавать планы и карты увлажнения или осушения почвы, рекультивации участков или мелиорации земель.

4. **Лазерное сканирование** – применяется для анализа местности на труднодоступных или недоступных территориях. Данный метод обеспечивает получение точной модели высокой плотности с детальным отображением рельефа даже при работе в условиях сильной загущенности насаждений.

5. **Опрыскивание** – благодаря возможности дооснащения, дроны используют для точечного опрыскивания растений и плодовых деревьев. Такой подход позволил фермерам обрабатывать только больные растения, исключая попадание химикатов на остальной урожай.

**Преимущества БПЛА.** Активный интерес к применению БПЛА вызван рядом выраженных преимуществ технологии:

1. Высокая скорость исследований и экономия времени фермеров. За 1 день съемки можно обследовать территории площадью до 5 тыс. га.

2. Максимальная точность результата.

3. Возможность визуального анализа информации в режиме реального времени.

4. Возможность своевременно оценки качества выполненных в поле работ.

5. Детальный контроль каждого участка на всех этапах сельскохозяйственных работ.

Применение беспилотников помогает не только провести детальный анализ условий, влияющих на качество растительности, но и оптимизировать производство для получения максимально эффективного результата с рациональным использованием ресурсов. Регулярная съемка позволяет вносить данные в технические документы с учетом привязки к определенному времени для оценки последствий воздействия неблагоприятных условий.

**Недостатки беспилотников.** Кроме преимуществ, работа с дронами и БВС самолетного типа имеет ряд недостатков, среди которых:

1. необходимость получения специального разрешения на полеты;

2. зависимость точности съемки от навыков оператора и программного обеспечения;
3. ограниченная дальность действия из-за невысоких возможностей аккумуляторов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Хабарина, Д.С. Тишанинов И.А. Анализ применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного типа в сельском хозяйстве // Наука без границ. 2021. №4 (56). С. 78-83.
2. Оценка точности инвентаризации лесных земель с применением воздушного лазерного сканирования / В.Ф. Ковязин [и др.] //Геодезия и картография. 2022. Т. 83, № 6.С. 54-63.
3. Мониторинг состояния растительного покрова территории Центрального Ирака с использованием спутниковых данных ТапдзаЕ8 / О.С. Токарева [и др.] / Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020.Т. 331, № 6.С. 19-31.
4. Труфляк Е.В., Курченко Н.Ю., Креймер А.С. Мониторинг и прогнозирование в области точного сельского хозяйства по итогам 2021 г. Краснодар: КубГАУ, 2022. 210 с.
5. Михайленко ИМ. Развитие методов и средств применения данных дистанционного ‘зондирования земли в сельском хозяйстве // Тенденции развития науки и образования. 2018. № 41-3. С. 70-83.
6. Савин ИЮ., Вернюк Ю.И. Фараслис И. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности почв // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2018. № 80. С. 95-105.

УДК 629.735.4

## **ОБЗОР РАЗРАБОТОК ЦЕНТРА «БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ». КОМПЛЕКС НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОЖАРАМИ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ**

**О.М. ЯРОСЛАВЦЕВА**  
Центр «Беспилотные летательные аппараты» МАИ  
Москва, Россия

В настоящее время Московский Авиационный Институт (МАИ) занимается как подготовкой специалистов, тесно взаимодействуя с аэрокосмической индустрией, так и занимает активную позицию в научно-исследовательских работах по гражданским программам авиастроения.

Центр обеспечивает сопровождение полного жизненного цикла изделий от формирования технического задания на разработку и оканчивая послепродажным обслуживанием. Для этого в структуре Центра имеются различные отделы. Разработка изделий соответствует авиационным стандартам, принятым в отрасли для беспилотных воздушных судов.

Можно выделить следующие разработки Центра:

- «АгроДрон» - беспилотный летательный аппарат для выполнения в роботизированном режиме сельскохозяйственных операций опрыскивания с применением средств защиты растений, органомикробиологических препаратов, гормонов роста и т.п.
- «Агроскаут» - воздушное судно, предназначенное для мониторинга и анализа состояния посевов.
- «Контур» - совокупность различных систем для обеспечения контроля безопасности территории. Под контролем безопасности территории подразумевается обнаружение конфликтов; обнаружение незаконного пересечения границ; мониторинг важных объектов; фиксация и распознавание транспортных средств;
- «Дефектоскоп» - аппарат для проведения внутреннего осмотра промышленных помещений, проверки состояния оборудования и приборов.

Кроме аппаратов мультироторного типа Центр ведет активные разработки аппаратов самолетного и гибридного типов. Одним из перспективных проектов является аэrotакси.

Среди сотрудников Центра присутствуют научные работники, специалисты пришедшие из авиационных предприятий, а также студенты различных специальностей, получающие практические навыки в процессе создания изделий. Далее подробно рассмотрим проект молодых сотрудников Центра.

Пожары в лесах - это серьезная проблема, которая может иметь различные причины и негативные последствия. В последнее время особенно много случаев зарегистрировано в Сибири, что может оказывать негативное влияние на окружающую среду, включая воздух, воду и экосистемы.

Актуальность работы: число пожаров в лесах из года в год растет, а количество персонала, работающего в лесных хозяйствах, остается неизменным или наоборот уменьшается со временем. Поэтому образуется необходимость в автоматизации наблюдения за лесными массивами.

Новый комплекс наблюдений, представляет собой перспективное решение для обнаружения и предотвращения пожаров в лесных массивах Сибири и не только.

Он включает такие преимущества, как:

- возможность автономной работы беспилотного летательного аппарата с самостоятельным приземлением;
- наблюдение за выделенной территорией;
- возможность быстрого реагирования на возгорание;
- приспособленность к различным погодным условиям;
- минимальные затраты человеческих сил при эксплуатации.

Постановка задачи: рассматривается проблема лесных пожаров, способы их своевременного обнаружения и скорого реагирования при помощи новых технических устройств и систем.

Цель работы: разработать комплекс наблюдений за лесами, состоящий из беспилотного летательного аппарата и башни, приспособленной для различных погодных условий и выполняющей роль док-станции; способный, в случае обнаружения возгорания, отправлять данные в МЧС; оценить эффективность применения такого комплекса.

Идея использовать беспилотники в целях обнаружения и предотвращения пожаров не нова. Однако, заряд и время полета дронов ограничены. Чтобы более эффективно внедрять и применять новые технологии, создаваемый нами комплекс наблюдений за лесными массивами будет подразумевать применение модульного беспилотного мульти rotorного квадрокоптера «Аракоптер», способного выполнять свою задачу почти при любых погодных условиях, а также док- станций с ветрогенератором, солнечными панелями, люком и подогревом и системы «антиветер», где дрон сможет зарядиться и отправить данные с камеры человеку – технику, который будет наблюдать за работой аппарата дистанционно. Время полета «Аракоптера» - 20 минут. Этого времени будет достаточно, чтобы перелететь от башни к башне, расположенных друг от друга на расстоянии 15 км.

Ориентируясь на инфракрасные датчики, дрон – приемник – точно садится на панель башни – передатчик - для подзарядки. При помощи стереокамер, высотных лидаров и GPS- модуля, дрон будет составлять карту местности и сам выбирать себе маршрут, а при помощи инфракрасной- тепловизионной камеры и датчика дыма – отслеживать температуру патрулируемого лесного массива и фиксировать наличие дыма. В случае обнаружения аномального повышения температуры, информация об возгорании и координаты места фиксации пожара, отправляются на ближайшие базы МЧС, для своевременного реагирования и устранения очага возгорания.

Выводы: таким образом в ходе работы была рассмотрена проблема пожаров, становящихся с каждым годом все актуальнее, разработан комплекс наблюдений и обнаружения возгораний. Он представляет собой:

- модульный беспилотный летательный аппарат, составные детали которого, предполагаются стандартизированными, унифицированными и взаимозаменяемыми, что значительно упростит создание серии и ремонт аппарата;
- башня док-станция, которая приспособлена для различных погодных условий, возможных в лесных массивах и воздействий окружающей среды.

«Аракоптер» полностью автономен, а наличие таких же автономных зарядных станций, делает систему более эффективной по сравнению с уже существующими.

Данный комплекс спроектирован и в последующем может быть готов к изготовлению и реализации.

В настоящее время продолжается работа над усовершенствованием комплекса и возможностью интегрирования в него искусственного интеллекта.

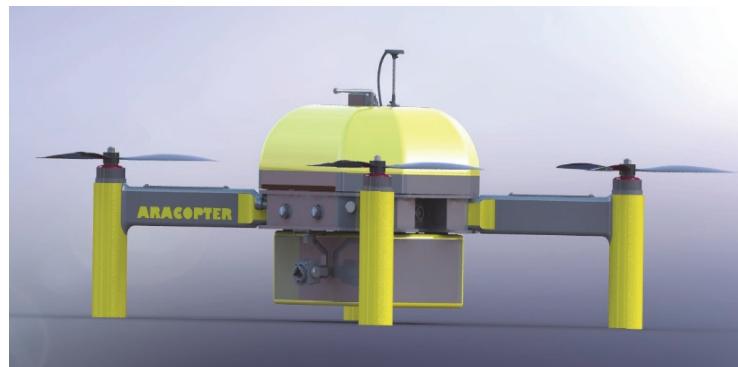


Рис. 1. Общий вид «Аракоптера» в изометрии



Рис. 2. Общий вид «Аракоптера» с открытой крышкой

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ahmed F., Narayan Y. S. Design and Development of Quad copter for Surveillance /International Journal of Engineering Research. – 2016. – Т. 5. – С. 312-318.
2. BO Omijeh, VM Oden, KJ Joseph, JA Erameh. Design and Construction of a Quadcopter with Payload for Pipeline Inspection and Surveillance / International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering, Volume No.5 Issue: 6.-2016

УДК 528.(571.150)

### **ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ПРИ ОЦЕНКЕ АРЕАЛА РЕСУРСНОГО ВИДА (ХМЕЛЯ ОБЫКНОВЕННОГО) И АГРОЦЕНОЗОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ (РОССИЯ)**

Н.В. ОВЧАРОВА<sup>1</sup>, И.А. ПЕСТУНОВ<sup>2</sup>, М.М. СИЛАНТЬЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Алтайский государственный университет

Барнаул, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр информационных

и вычислительных технологий

Новосибирск, Россия

В настоящее время применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для оценки ресурсных видов и качества выполнения технологических операций в сельском хозяйстве является актуальным направлением в агробизнесе и природопользовании. Данные, получаемые с помощью БПЛА, позволяют обнаруживать нарушения технологического процесса, выявлять участки с сорной растительностью и с отставанием в развитии растений, а также пораженные вредителями и болезнями посевы.

Авторами предлагаются методы автоматизированного распознавания и подсчета экземпляров подсолнечника, а также обнаружения сорняков по RGB-изображениям сверхвысокого разрешения, полученным с помощью БПЛА и оценка экотопов и ареала ресурсного вида хмеля обыкновенного.

Объектами мониторинга явились растительные сообщества с участием хмеля обыкновенного и агроценозы, расположенные на территории Алтайского края (Россия) (рис. 1).

Ареал хмеля обыкновенного в России приурочен к умеренной природной зоне (Иванов и др., 2014). Все границы ареала хмеля являются климатическими.

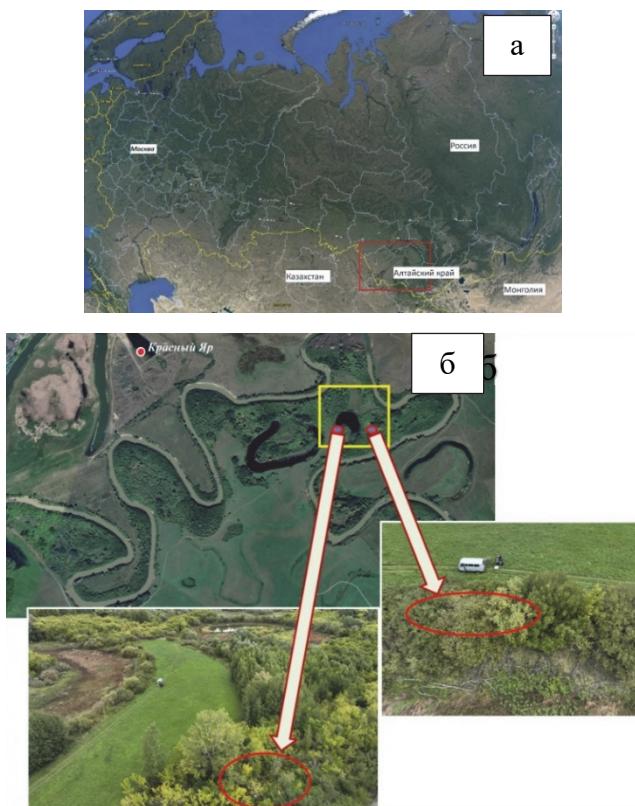


Рис. 1. Карта-схема мониторинговых участков агроценозов на территории Алтайского края (Россия) (а) и локализация сообществ с *Humulus lupulus* (б) с помощью БПЛА (Алтайский край, Алейский район, высота съёмки 80 м, площадь распространения 1,7 га)

На мониторинговых площадках с помощью DJI Mavic 3 Multispectral была проведена съёмка с разных высот (от 10 до 100 м) для обнаружения в труднодоступных и удалённых местах хмеля обыкновенного (рис. 2). Снимки обрабатывались с помощью Agisoft Metashape Professional. При подтверждении присутствия на изображении хмеля была подсчитана площадь его распространения с помощью ArcGIS 10.2. Так, на обследовании мониторингового участка в пойме Алейского района при высоте съёмки 80 м был обнаружен хмель общей площадью распространения 1,7 га.

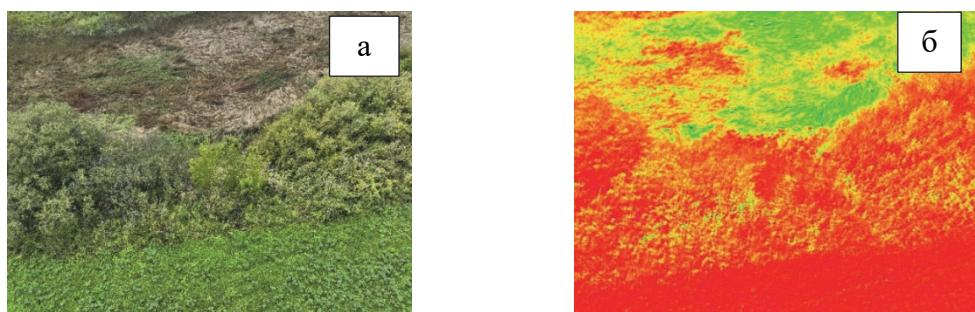


Рис. 2. Пример фрагмента RGB-изображения (а) и RGB-композит мультиспектрального изображения (730, 860, 650 нм) (б) растительных сообществ с участием хмеля обыкновенного

Для решения задачи мониторинга состояния посевов сельскохозяйственных культур были предложены и исследованы автоматизированные методы распознавания и подсчета экземпляров подсолнечника (рис. 3), а также построения карт сорной растительности (рис. 4) по RGB-изображениям сверхвысокого пространственного разрешения, полученным с помощью беспилотного летательного аппарата (Пестунов и др., 2023).

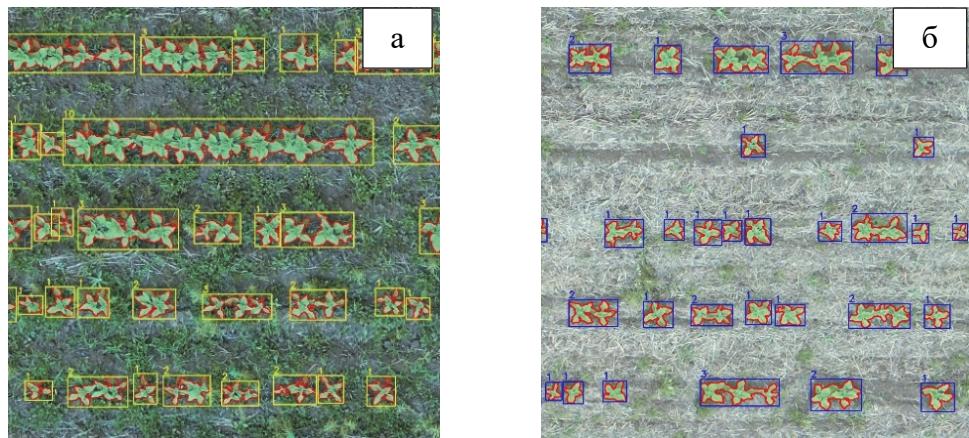


Рис. 3. Результаты работы процедуры определения числа растений на фрагментах изображений опытных полей по технологии классической вспашки (а) и no-till (б). Красным цветом выделены контуры сегментов, желтым и синим цветом – минимальные описывающие прямоугольники для каждого сегмента, числами – количество растений в каждом сегменте

Исходными данными для обработки служили 3000 RGB-изображений размером  $5472 \times 3648$  пикселей, полученные с помощью цифровой фотокамеры 20 Мп, установленной на квадрокоптере DJI Phantom 4 Pro V2.0.

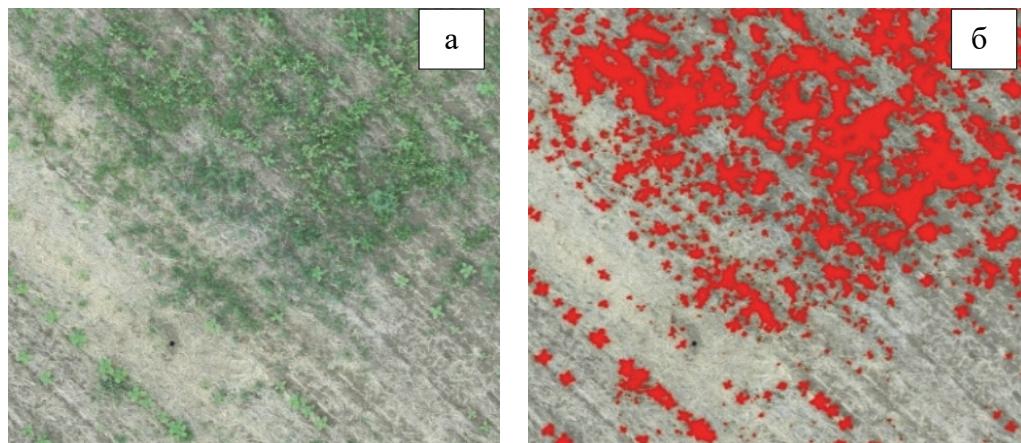


Рис. 4. Исходное изображение (а) и выделенная растительность с помощью индекса VEG (значение порога  $> 60$ ) (б)

*Благодарности: работа выполнена в рамках реализации Программы развития университета на 2021-2030 годы в рамках реализации программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030».*

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Иванов А.Л., Савин И.Ю., Егоров А.В. Методология оценки ресурсного потенциала земель России для сельскохозяйственного производства (на примере хмеля) // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2014. – Вып. 73. – С. 19-43.
2. Пестунов И.А., Овчарова Н.В., Калашников Р.А., Беляев В.И., Радчиков А.Н., Рогозная А.О. Оценка полевой всхожести подсолнечника и обнаружение сорняков по RGB-изображениям сверхвысокого разрешения с использованием глубокого обучения для разных агротехник (классическая плоскорезная обработка и система «no-till») // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов. Сборник трудов всероссийской конференции с международным участием. Новосибирск, 2023. – С. 327-335.

УДК 369.07

## **ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ**

А.Ю. ПОЛЯКОВ, О.Н. СКРЫПНИК  
Белорусская государственная академия авиации  
Минск, Беларусь

Стремительное развитие беспилотных летательных аппаратов (БЛА), улучшение их летно-технических и эксплуатационных характеристик создало благоприятные условия для разработки новых технологий и новых сфер их применения при решении самых различных задач в отраслях экономики. Подтверждением этому является быстро растущий рынок сельскохозяйственных дронов.

На сегодняшний день лидирующими отраслями в мире по объему заказанных услуг с применением БЛА являются энергетический сектор (14 %), строительство (12%) и сельское хозяйство (9%). Более 60 % заказов приходится на мелкосегментированные отрасли (рис. 1).



Рис. 1. Объемы услуг с применением БЛА

Расширение внедрения методов точного земледелия для принятия более эффективных агрономических решений и необходимость в глобальных запасах продовольствия – два основных фактора роста мирового рынка сельскохозяйственных дронов. Ожидается, что мировой рынок сельскохозяйственных дронов в течение 2021–2028 гг. принесёт доход в размере \$6244,5 млн и будет расти на 19,2% в год. [1]

В Республике Беларусь с развитием индустрии и совершенствованием правовой базы можно ожидать более активное использование БЛА для в различных отраслях экономики. Особая актуальность использования БЛА в сельском хозяйстве обусловлена устареванием и низкой эффективностью традиционных технологий (затратны по времени, трудоёмки и как следствие - неэкономичны). Эти недостатки проявляются особенно сильно при обработке больших площадей земли [2]. БЛА позволяют охватить весьма большие расстояния, которые тяжело контролировать с помощью человеческого ресурса, решать задачи опрыскивания (внесения удобрений и препаратов), мониторинга сельскохозяйственных угодий. [3]

Опрыскивание с БЛА может проводиться в двух форматах: «классическом авиационном», когда раствор распыляют по всему полю, и «дифференцированном», например, с предварительным осмотром посевов при помощи оптических и других приборов.

Рассмотрим технологию применения БЛА в «классическом авиационном» формате при опрыскивании сельхозугодий, которая включает следующие этапы (работы):

1. *Прибытие оператора БЛА на поле* (происходит процесс развертывания БЛА и подготовки оборудования).
2. *Оцифровка поля* (для построения траекторий полета БЛА).

На практике применяют три варианта оцифровки: при помощи GPS на карте через пульт, совершая обводку границ поля; при помощи GPS БЛА путем облета границ поля совершая обводку; обходом границ поля с ровером (устройство для отметки точек, которые задают границы поля).

3. *Подготовка к опрыскиванию* (определяются нормы внесения препарата, готовится и заливается в баки рабочий раствор, осуществляется загрузка полетного задания в полетный процессор дрона).

4. *Опрыскивание*. БЛА-опрыскиватель обрабатывает участок поля, оператор контролирует ситуацию на поле. БЛА автоматически при малом заряде батареи или при израсходовании раствора прибывает на точку старта, после чего происходит замена бака и элемента питания (батареи). Указанные действия повторяются до полной обработки поля.

БЛА в эксплуатации весьма прост и для управления процессом опрыскивания достаточно двух человек (оператор и помощник).

Проведем сравнительный анализ трудозатрат и расходных материалов при использовании для опрыскивания поля классической техники и БЛА. Объектом исследования стало фермерское хозяйство в деревне Брыли, Оршанского района, площадь поля (рапс яровой) около 100 га.

Исходные данные для расчетов:

**А) Традиционная обработка**

Трактор МТЗ-82 с навесным опрыскивателем объемом 600 литров и прицепная бочка для воды объемом 7 куб. м.

При полной заправке опрыскивателя (с учетом времени заправки) время обработки 3 га составляет 30 минут, расход топлива в час на практике при данном виде работ составляет 18 л/час.

Следует отметить, что расход топлива зависит и от расстояния до объекта обработки, и от времени заправки опрыскивателя. В условиях эксперимента расстояние до поля от исходного места стоянки трактора составило 3 км. В процессе обработки нужно сделать 20 рейсов с бочкой 7 куб. м, что составляет 2 часа. Для обработки 100 га поля осуществлено 34 заправки опрыскивателя, время заправки 5-6 минут.

Таким образом, на одну полную обработку поля площадью 100 га потребовалось 300 литров дизельного топлива.

**Б) Обработка БЛА**

БЛА оснащен емкостью 30 литров для рабочего раствора. Для зарядки аккумулятора БЛА на 8 кВт/час использовался дизель-генератор, расход топлива на практике при данном виде работ составляет 2 л/час.

На одну обработку поля площадью 100 га требуется 34 литра дизельного топлива.

За период с весны до уборки урожая необходимо провести минимум 7 обработок поля. Итоговые результаты расчетов приведены в табл.1.

Табл. 1. Результаты расчетов

Стадия/ Тип обработки	Норма внесения пестицида	Расход пестицида на 100 га	Вода, расход на 100 га		Топливо, расход на 100 га	
			Трактор	БЛА	Трактор	БЛА
3-4 листа	0.3 л/га.	30 л	20 м <sup>3</sup>	~1 м <sup>3</sup>	360 л	34 л
Микроэлементы	2 кг/га.	200 кг	20 м <sup>3</sup>	~1 м <sup>3</sup>	360 л	34 л
Период бутонизации до цветения	0.2 л/га.	20 л	20 м <sup>3</sup>	~1 м <sup>3</sup>	360 л	34 л
Цветение(внесение дважды за период)	0.15 л/га.	30 л	40 м <sup>3</sup>	~2 м <sup>3</sup>	720 л	68 л
Микроэлементы	2 кг/га.	200 кг	20 м <sup>3</sup>	~1 м <sup>3</sup>	360 л	34 л
Десикация	2 л/га.	200 л	20 м <sup>3</sup>	~1 м <sup>3</sup>	360 л	34 л
Итого:	—	Пестициды: 280 л.	140 м <sup>3</sup>	~7 м <sup>3</sup>	2520 л	238 л

При максимальной скорости обработки 8 м/с, на одной зарядке аккумулятора дрон покрывает площадь в 2,88 га примерно за 10 мин. За час, с учетом дозаправок, дрон делает 2 вылета, следовательно, за рабочую смену (8 часов), дрон обрабатывает 46 га, а для полной обработки потребуется 2,5 дня. Трактору на выполнение этих же работ потребуется 4 дня.

Ниже приведены обобщенные показатели эффективности сравниваемых технологий обработки (табл.2):

Табл. 2. Обобщенные показатели обработки, за сезон

	Вода	Топливо	Время
БЛА	7 м <sup>3</sup>	238 л	17,5 дня
Трактор	140 м <sup>3</sup>	2520 л	28 дня
Во сколько раз	20 раз	10 раз	1,6 раз

В дополнение к рассчитанным показателям эффективности, при опрыскивании с БЛА следует отметить отсутствие технологической колеи на обрабатываемом поле, которая по средним расчетам приводит к потере до 8% урожая. Учитывая среднюю урожайность в 25 ц/га, это составит приблизительно 2 центнера с одного гектара, а на 100 га приходится порядка 200 центнеров или 20 тонн рапса, что является существенным показателем при оценке потерь при обработке.

Таким образом, преимуществами применения БЛА являются:

- отсутствие технологической колеи, что снижает потери урожая;

- возможность использовать БЛА сразу после дождей, на полях со сложным рельефом;
- эффективность при обработке кустарников и подросших культур;
- точность дозировки и равномерное покрытие растений;
- покрытие обратной стороны растений за счёт нисходящих потоков воздуха от лопастей;
- высокая скорость обработки, мобильность и возможность масштабирования;
- экономическая эффективность по сравнению с традиционными технологиями обработки;
- снижение контактов человека с препаратом;
- возможность использовать в ночное время;

Недостатки и факторы, сдерживающие внедрение БЛА:

- наличие «группы поддержки», состоящей из операторов и обслуживающего персонала, что, увеличивает издержки потребителей;
- существующие ограничения на выполняемые операции могут затруднять внедрение и оптимальное использование БЛА, включая работу дронов за пределами прямой видимости оператора, автономные полеты и специализированное применение в сельскохозяйственных операциях;
- консервативность сельскохозяйственной отрасли.

Проведенный анализ показывает очевидные преимущества и эффективность использования БЛА для выполнения сельскохозяйственных работ. Использование беспилотных устройств (не только БЛА, но и наземной техники), является одним из перспективных решений прикладных задач в сельскохозяйственной отрасли. Можно с высокой степенью уверенности предположить, что технологии обработки сельскохозяйственных угодий с применением БЛА постепенно станут отраслевым стандартом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Мировой рынок сельскохозяйственных дронов: прогноз на 2021–2028 годы [Электронный ресурс], 2022. Режим доступа: <http://vestnik-glonass.ru/~9Tjk9>
2. Дроны в сельском хозяйстве// [Электронный ресурс], 2022. Режим доступа: <https://skymec.ru/blog/drone-use-cases/agricultural-drones-use/drony-v-selskom-khozyaystve/>
3. Загазекова О.З., Мамбетов А.Х. Инновационные технологии как фактор опережающего развития региона // Известия КБНЦ РАН. 2017. № 6-2(80). с. 97-101.

УДК 502.3–047.36:629.735.33.052–52

## **МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА ПРИ ПОМОЩИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С МОБИЛЬНЫМИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРАМИ**

И.В. ВОЙТОВ, М.А. КОМАРОВ, А.В. ДУБИНА

Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Беларусь

Загрязнение воздуха является одним из самых главных рисков состояния окружающей среды, непосредственно влияющей как на окружающую среду, так и на здоровье человека. Загрязненный воздух, попадая при вдыхании в организм человека наносит ему непоправимый вред и может вызывать ряд тяжелых заболеваний. Помимо этого, загрязнение атмосферного воздуха является одной из причин кислотных дождей, изменения климата, а также отрицательно действует на состояние флоры и фауны в различных регионах Земли. Исходя из выше изложенного в мировой практике, при оценке качества атмосферного воздуха, в частности, широко используется показатель индекса качества атмосферного воздуха (ИКАВ). Такой подход определен также и требованиями, прописанными в законодательстве Республики Беларусь. Этот показатель рассчитывается для населенных пунктов с населением свыше 20 тыс. человек, а также иных населенных пунктов, где осуществляется мониторинг на стационарных постах наблюдений. Расчет производится по диоксиду азота, диоксиду серы, оксиду углерода, озону, ТЧ10 и ТЧ2.5, что определяет необходимость контроля указанных веществ. При этом в соответствии с ЭкоНиП (п.10.12) оценка качества (загрязнения) атмосферного воздуха распространяется на расстоянии не более 2 километров от стационарного пункта наблюдений. Однако за счет охвата малой территории получаемых данных недостаточно для расчета ИКАВ по республике.

В 2021 г. сеть мониторинга атмосферного воздуха Республики Беларусь включала 67 пунктов наблюдений: в г. Минск функционировало 12 пунктов наблюдений; в г. Могилев – 6, в г. Гомель и г. Витебск – по 5, г. Брест, г. Гродно – по 4 пункта наблюдений; в остальных промышленных центрах – по 1-3 пункту наблюдений. Из них на 16 работают в автоматическим режиме, на остальных станциях осуществляется ручной отбор проб. Мониторинг включает определение следующих показателей по следующим веществам: твердые частицы (недифференцированная по составу пыль/аэрозоль), оксид углерода, диоксид азота, диоксид серы),

а также концентрации приоритетных специфических загрязняющих веществ (формальдегид, аммиак, фенол, сероводород, сероуглерод).

Одним из наиболее актуальных вопросов оценки качества воздуха является контроль за выбросами предприятий. Определение выбросов загрязняющих веществ от объектов очистных сооружений канализации (ОСК) является одной из самых сложных задач в практике аналитического контроля источников воздействия на атмосферный воздух. Это обусловлено тем, что большинство источников выбросов загрязняющих веществ на таких объектах относятся к неорганизованным и труднодоступным. На количественный и качественный состав веществ, выделяющихся в процессах механической и биологической очистки, помимо состава материальных, химических потоков и физико-химических и биохимических процессов с участием загрязняющих веществ, существенное влияние оказывают температура воздуха и водной поверхности очистного сооружения, наличие пленок органических веществ на поверхности, гидрометеорологические условия, вертикальный профиль скоростей ветра и др.

Объемы выбросов в окружающую среду ОСК являются основными факторами, которые определяют размер санитарно-защитной зоны данных объектов. Особые проблемы связаны с выбросами дурнопахнущих веществ, которые вызывают беспокойство населения, проживающего вблизи таких объектов.

Оценка выбросов необходима как для контроля действующих ОСК, так и проектируемых объектов с целью прогнозирования содержания загрязняющих веществ на прилегающей территории. Однако осуществляемый в большинстве случаев ручной отбор проб не способен дать точные данные за счет частого колебания температур (в т.ч. в пределах одного дня), локальных мест отбора проб (зачастую лишь в легкодоступных местах) и др.

Решением этих недостатков является использование мобильных газоанализаторов, устанавливаемых на БПЛА (рисунок 1). Современный газоанализатор легко интегрируется с большинством моделей БПЛА и способен распознавать до 9 видов веществ одновременно, а область его применения весьма широка:

- Мониторинг окружающей среды;
- Взятие пробы воздуха в специальный пакет (высота на которой можно осуществить отбор пробы ограничивается лишь высотой полета БПЛА);
- Научные исследования;
- Применение во время аварийных ситуаций;
- Обнаружение таких загрязняющих веществ как: PM2.5; PM10; SO<sub>2</sub>; CO; NO<sub>2</sub>; O<sub>2</sub>; O<sub>3</sub>; VOCs, LEL / CH<sub>4</sub>; CO<sub>2</sub>; H<sub>2</sub>S; NH<sub>3</sub>; HCl; H<sub>2</sub>; Cl<sub>2</sub>;

$\text{PH}_3$  (пользователи могут гибко выбирать или изменять конфигурации своих датчиков в соответствии с их сферой деятельности);

- Картирование загрязнителей воздуха.



Рис. 1. Мобильный газоанализатор для БПЛА

Применение мобильных газоанализаторов, установленных на БПЛА с целью обеспечения мониторинга по сравнению с применяемыми методами в настоящее время имеет ряд преимуществ:

1. Мобильность и быстрота: БПЛА с газоанализаторами могут быстро перемещаться и получать данные в реальном времени в труднодоступных или опасных местах, таких как высотные здания, нефтяные платформы, области с пожарами или химическими выбросами. Это позволяет быстро определить опасные уровни загрязнения и принять необходимые меры.

2. Точность: мобильные газоанализаторы имеют высокую точность измерения и способны обнаруживать даже низкие концентрации опасных веществ. Это позволяет получить более точную и полную информацию о загрязнении воздуха в сравнении с традиционными методами измерения.

3. Экономия средств и времени: использование БПЛА с газоанализаторами может сократить время и затраты на мониторинг загрязнения воздуха в труднодоступных местах. Это может привести к более быстрой реакции на аварии и уменьшению рисков для здоровья людей и окружающей среды.

4. Автоматизация: многие мобильные газоанализаторы, установленные на БПЛА имеют функцию автоматической обработки данных и генерации отчетов (пример представлен на рисунке 2), что позволяет

быстро обрабатывать и анализировать информацию и принимать необходимые меры.

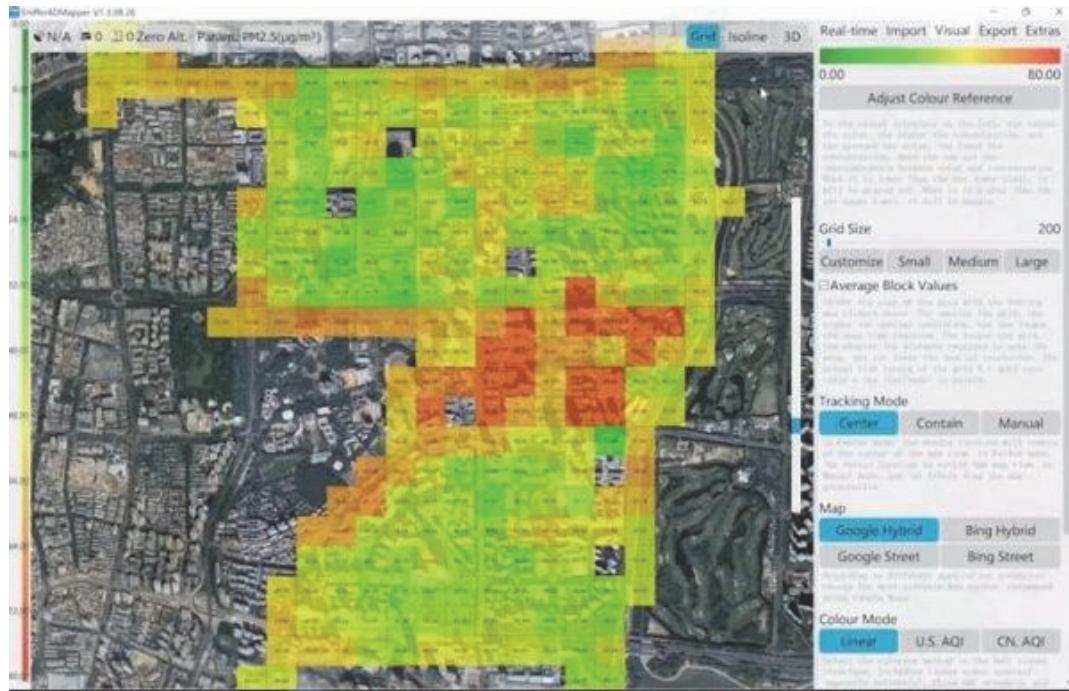


Рис. 2. Пример отчета, полученного с помощью мобильного газоанализатора

5. Безопасность операторов: Использование БПЛА с газоанализаторами может помочь избежать рисков для здоровья операторов, которые могут подвергаться опасным условиям при работе с традиционными методами мониторинга загрязнения воздуха.

Таким образом использование БПЛА с мобильными газоанализаторами может снизить затраты на обслуживание и обследование различных объектов, таких как высотные конструкции и газопроводы, т.к. их можно быстро и эффективно проверить без необходимости многочисленных и трудоемких инспекций.

В результате быстрого и эффективного мониторинга вредных выбросов, БПЛА могут помочь предотвратить возможные аварии и утечки газов, что может снизить риски для окружающей среды и здоровья людей.

БПЛА с мобильными газоанализаторами могут также использоваться для определения наиболее загрязненных зон, что может помочь в принятии решений по улучшению качества воздуха и позволит повысить эффективность мониторинга состояния окружающей среды с одновременным снижением трудозатрат и рисков для здоровья людей.

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА

Е.В. ПЕЧЕНЕВ, П.А. КАЦУБО

Белорусский государственный университет транспорта  
Гомель, Беларусь

В настоящее время беспилотные авиационные комплексы различных классификаций применяются при решении большого количества задач. Потенциал современных БЛА позволяет решать задачи не только визуального наблюдения, но и сбора различных данных. К такой информации можно отнести данные технической разведки мостового перехода.

Техническая разведка мостового перехода может производиться различными способами (рис. 1) с применением различного оборудования.



Рис. 1. Способы проведения технической разведки

Получение основных геодезических, гидрологических и геологических исходных данных водной преграды при восстановлении и строительстве мостовых переходов является неотъемлемой частью инженерного процесса. От точности и своевременности получения данных технической разведки зависит принятие решения на вид и способ восстановления мостового перехода.

Основой получения геодезических, геологических и гидрометрических данных в районе проведения технической разведки является

техническая оснащенность имеющимися на вооружении техническими средствами. Для каждого вида работ (геодезических, гидрологических и геологических) используются различные приборы и методы производства измерений.

Основными приборами для производства основных измерений и удовлетворяющие требованиям проведения технической разведки являются:

- лазерный дальномер;
- электронный нивелир и теодолит;
- эхолот;
- GPS-трекер.

Большинство из этих приборов возможно применять совместно с современными многоподвесными БЛА (рис. 2).



Рис. 2. Современные мобильные и многофункциональные устройства для сбора данных совместимые с БЛА

Процесс получения исходных данных может быть упрощён и автоматизирован за счет проведения технической разведки с помощью роботизированных комплексов, в том числе и беспилотных авиационных. Это позволит за счет передачи информации удаленным способом производить процесс ввода исходных данных без вмешательства инженерного состава.

Имея исходные данные, программный комплекс должен приступить к обработке данных и выбрать способ и вариант восстановления, на основе имеющихся у него технических требований и инвентарных (типовых) конструкций.

В настоящее время существуют БЛА и комплект оборудования к нему, которые позволяют производить весь перечень мероприятий технической разведки мостового перехода. С помощью 3D-сканера БЛА может строить профиль местности в оси мостового перехода, а при использовании аэропенетрометр получать геологические параметры. Приводнение БЛА позволит собирать гидрологические данные с помощью эхолота.

Таким образом, применение беспилотных авиационных комплексов при проведении технической разведки мостового перехода позволит сократить время на принятие решения по восстановлению или строительству мостового перехода.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Печенев, Е. В. Применение современных средств инженерно-строительных изысканий при проведении технической разведки / Е. В. Печенев, П. А. Кацубо, Я. В. Шутов // Инновационная железная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. проблемы и решения: Сборник статей V-ой международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, Петергоф, 17 мая 2022 года. – Санкт-Петербург, Петергоф: Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева, 2022. – С. 384-389.

2. Бобрицкий, С. М. Анализ характера повреждений, состояния и положения основных элементов конструкций мостовых сооружений, вызванных при чрезвычайных ситуациях / С. М. Бобрицкий, П. А. Кацубо, Е. В. Печенев // Инновационная железная дорога. Новейшие и перспективные системы обеспечения движения поездов. проблемы и решения: Сборник статей V-ой международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, Петергоф, 17 мая 2022 года. – Санкт-Петербург, Петергоф: Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева, 2022. – С. 167-172.

3. Поддубный, А. А. Концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений по восстановлению мостовых переходов / А. А. Поддубный, Е. В. Печенев // Вестник БелГУТА: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 42–44.

УДК 551

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В ГЕОЛОГИИ

Д.Р. САНТОЦКИЙ

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

Изучение планеты Земля происходит с использованием широкого спектра инструментов, потому как геологические процессы происходят в разных масштабах. Например, спутники и сейсмометры используется

для изучения Земли в глобальном масштабе, тогда как микроскопы и масс-спектрометры используются для изучения Земли в масштабе атомов. Открытия науки о Земле часто коррелируют с технологическим прогрессом в инструментах, используемых для записи наблюдений и замеров. В некоторых случаях эти достижения позволяют ученым обнаружить то, что было ранее неизвестно. Одним из таких инструментов, который только начинает производить революцию в изучении планеты Земля, являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА), более известные как дроны.

Дроны, летающие на малой высоте, могут захватывать информацию о поверхности и топографическую информацию, которая традиционно собиралась от бортового LiDAR (обнаружение света и определение дальности) или TLS (наземное лазерное сканирование). Использование LiDAR является лучшим для больших площадей (более 8 квадратных километров), тогда как съемка с дронов на малой высоте идеальна для мест малого и среднего размера (менее 8 квадратных километров). Изображения, полученные с помощью дронов, получаются с аналогичной точностью и более высоким разрешением, чем с многих признанных фотограмметрических инструментов. Кроме того, большинство дронов небольшого размера, легкие и очень мобильные, таким образом, они быстро развертываются для фиксации кратковременных событий (таких как селевые потоки) или используются для повторной фотосъемки долгоживущих событий, как, например, речная эрозия.

С помощью дронов можно создавать:

- фото и видео;
- 3D карты;
- ортомозаики;
- 2D и 3D сетки и облака точек (для реконструкции поверхности земли);
- практические отчеты.

С помощью дронов исследователи и учёные могут неоднократно обследовать быстро разрушающиеся скалы, чтобы отслеживать скорость эрозии, создавать модели оползней, которые в сочетании с данными о недрах помогают понять процессы оползней, моделировать геологические разломы в 3D, что позволяет понять разломы и любые риски, которые они могут представлять для критически важной инфраструктуры, а также составлять карты температуры поверхности земли, чтобы определить геотермальные ресурсы. Также дроны позволяют проводить картирование относительно молодых объектов и форм рельефа на поверхности Земли. Дроны, оснащенные магнитометрами, используются для нахождения полезных ископаемых. Повторные исследования действующих шахт и буровых площадок предоставляют информацию о

ежедневных операциях практически в реальном времени. Цифровые модели поверхности с высоким разрешением позволяют операторам шахт измерять складские запасы и быстро определять количество материалов, транспортируемых через рабочую зону. Одним из наиболее важных направлений является использование оптических и тепловизоров на дронах для отслеживания потоков лавы и изменений формы вулканических жерл. Установливая на дроне оборудование для мониторинга газа, можно пролетать через вулканические шлейфы для непосредственного измерения газов, которые геологи используют для прогнозирования извержений.

Одна из наиболее важных причины, почему дроны становятся такими популярными – это простота их использования. Даже для неопытных пользователей, управляющих дроном на любительском уровне, обучение более точным и сложным техникам занимает относительно короткий временной промежуток. Во многом это результат достижений в программном обеспечении, например, машинном зрении, когда компьютер сам распознает объекты, и миниатюризации электроники и аксессуаров, которая не только предлагает более точные датчики, но и большие вычислительные мощности в меньшей конструкции, что ещё сильнее упрощает использование БПЛА в геологических целях как профессиональных учёных, так и любителей-энтузиастов.

УДК [631.331.99: (629.7.07 + 629.735 + 621.315.1)]: 630\*651.72

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЕСНЫХ ПОЛОС И МОНИТОРИНГА РИСКА ПРОНИКНОВЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЗОНЫ ЛИНЕЙНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ**

**Я.А. РЫЖОВ**

Воронежский государственный лесотехнический университет  
имени Г.Ф. Морозова  
Воронеж, Россия

Интеграция беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в практику лесного хозяйства [14] отмечает новую эру в мониторинге, анализе и управлении лесными ресурсами. Данный подход предоставляет беспрецедентные возможности для точного и своевременного сбора информации о состоянии лесных насаждений, что особенно актуально

для задач, связанных с оценкой восстановления лесов после антропогенного вмешательства, а также с оценкой видового разнообразия нежелательной растительности [11] вдоль инфраструктурных зон для планирования операций расчистки и получения вторичных лесных ресурсов, например, в виде древесной зелени.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) являются революционным инструментом в сфере мониторинга молодых, средне- и старовозрастных лесных массивов [5], высева / подсева калиброванных лесных семян [4; 15] на труднодоступных площадях [2]. В отличие от предыдущих методов (например, аэросев [10] и аэромониторинг леса с помощью пилотируемых летательных аппаратов вертолетного и самолетного типов), страдавших от высоких затрат, затянутого процесса обработки данных, БПЛА предоставляют более доступный и гибкий способ мониторинга, позволяя оперативно получать актуальную информацию. Предлагаются решения множества задач, связанных с пространственно-временным мониторингом БПЛА, в частности, начальной ориентацией [16], применения адаптивного фильтра Калмана при оценке параметров наблюдаемого [9] и наблюдателя [8].

Процесс работы с БПЛА при оценке лесных полос организуют в несколько этапов: 1) планирование полетного задания, включающего определение цели, анализ типа местности, выбор траектории полета, выбор полезной нагрузки, обеспечение безопасных условий полета; 2) выполнение полетного задания, включающего фотограмметрию [1] участков лесных полос с использованием разнообразных датчиков (LiDAR [7; 13; 17] и т.д.) и / или камер с разрешением до 100 мегапикселей [5], оснащенных зум-объективами, в том числе многоспектральных; 3) анализ послеполетных данных о приросте или биометрических параметрах [3] лесных культур, с применением специализированного программного обеспечения.

Уильям Реклинг и другие [12] в исследовании, опубликованном 02 октября 2021 года в журнале «Drones», предлагают при планировании полетного задания создавать априорную прогностическую модель распределения конкретных лесных видов с помощью метода машинного обучения с максимальной энтропией, а также вычислять эволюцию дневной тени для лесных участков со сложной морфологией с целью уточнения времени суток. Цюань Чжоу и другие [17] в исследовании, опубликованном 18 мая 2022 года в журнале «Remote Sensing», апробируют новую методику оценки стресса ясеня болотного (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh) от повреждения вредителем ЕАВ по определенному критерию детектирования NDVI (776,678), технологической особенностью методики является консолидация технических средств гиперспектральной визуализации и лидарного датчика. Симон Экке и

другие (2022) [6] определяют БПЛА как высокоэффективный инструмент для выявления и анализа рисков, связанных с проникновением нежелательной растительности в зоны, прилегающие к важнейшим объектам инфраструктуры, таким как линии электропередачи и дороги.

Спектральный анализ, применяемый вместе с датчиками, производят с помощью мультиспектральных или гиперспектральных камер, которые могут фиксировать изображения в различных диапазонах длин волн света, включая видимый, инфракрасный, ультрафиолетовый и другие. Мультиспектральные камеры обычно обеспечивают захват изображений в 4-10 спектральных полосах, тогда как гиперспектральные камеры могут анализировать сотни узких полос по всему спектру.

Для создания 3D-моделей местности используются фотограмметрические методы и специализированное ПО, основанные на обработке большого количества перекрывающихся фотографий, полученных с камер, и создания детализированных трехмерных карт местности с точностью до нескольких сантиметров.

Способность БПЛА к гибкому планированию полетов и сбору данных с высокой пространственной разрешающей способностью позволяет своевременно идентифицировать угрозы, вызванные инвазивными видами растений, риском падения деревьев на инфраструктурные линейные объекты и возможностью возникновения лесных пожаров, а также оценивать потенциальные объемы вторичных лесных ресурсов. Благодаря использованию передовых технологий, таких как фотограмметрия, спектральный анализ и 3D-моделирование местности, детализируются геоморфологические особенности ландшафта, что играет важную роль в контроле виталитета лесных культур для планирования операций по расчистке лесных полос.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Демидов, Д.Н. Исследование алгоритма оценки параметров предполетной ориентации средств управления беспилотного летательного аппарата при мониторинге молодых лесных насаждений // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 4. – С. 100-111. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/9>.
2. Новиков, А.И. Способ восстановления леса: пат. 2714705 Российская Федерация, МПК A 01 G 23/00. – заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. лесотехн. ун-т. – № 2019115418 ; заявл. 20.05.2019 ; опубл. 19.02.2020, Бюл. № 5., 2019.
3. Петрищев, Е.П. Исследование взаимосвязи биометрических параметров ювенильных сеянцев сосны обыкновенной из кондиционных

семян при оценке результатов лесовосстановления // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 11. – № 4. – С. 161-169. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2021.4/14>. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/bsbcm>.

4. Свиридов, Л.Т. Устройство для очистки и сортирования лесных семян хвойных пород: пат. 2179079 Российская Федерация, МПК7 В 07 В 1/16. / Л.Т. Свиридов, А.Д. Голев, А.И. Новиков, А.В. Филатов 1. – заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. лесотехн. акад. – № 2000107585/03 ; заявл. 28.03.00 ; опубл. 10.02.02, Бюл. № 4.

5. Dai, W. Enhancing UAV-SfM Photogrammetry for Terrain Modeling from the Perspective of Spatial Structure of Errors / W. Dai, R. Qiu, B. Wang et al. // Remote Sensing. – 2023. – Vol. 15. – № 17. – P. 4305. – DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15174305>.

6. Ecke, S. UAV-Based Forest Health Monitoring: A Systematic Review / S. Ecke, J. Dempewolf, J. Frey et al. // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14. – № 13. – P. 3205. – DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14133205>.

7. Liu, L. Combining Airborne and Terrestrial Laser Scanning Technologies to Measure Forest Understorey Volume / L. Liu, Y. Pang, Z. Li et al. // Forests. – 2017. – Vol. 8. – № 4. – P. 111. – DOI: <https://doi.org/10.3390/f8040111>.

8. Manin, A.A. Kalman Filter Adaptation to Disturbances of the Observer's Parameters / A.A. Manin, S. V. Sokolov, A.I. Novikov et al. // Inventions. – 2021. – Vol. 6. – № 4. – P. 80. – DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions6040080>.

9. Manin, A.A. Kalman Filter Adaptive to Constant Perturbations of the Observable Object Parameters / A.A. Manin, A. V. Sukhanov, S. V. Sokolov et al. // Lecture Notes in Networks and Systems. Proceedings of the Fifth International Scientific Conference “Intelligent Information Technologies for Industry” (IITI’21) / S.M. Kovalev et al. eds. . – 2022. – P. 527-538.

10. Novikov, A.I. Aerial seeding of forests in Russia: A selected literature analysis / A.I. Novikov, B.T. Ersson // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2019. – Vol. 226. – № 1. – P. 012051. – DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/226/1/012051>.

11. Platonov, A. Assessment of the species diversity of vegetation growing on the territories of linear infrastructure facilities in Central Russia / A. Platonov // Forestry Engineering Journal. – 2023. – Vol. 13. – № 1. – P. 180-193. – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.1/12>.

12. Reckling, W. Efficient Drone-Based Rare Plant Monitoring Using a Species Distribution Model and AI-Based Object Detection / W. Reckling, H. Mitasova, K. Wegmann et al. // Drones. – 2021. – Vol. 5. – № 4. – P. 110. – DOI: <https://doi.org/10.3390/drones5040110>.

13. Reed, M.G. Assessment of safety-relevant woody vegetation structures along railway corridors / M.G. Reed, G. Lidestav, J. Xue et al. //

Remote Sensing. – 2020. – Vol. 13. – № 6. – P. 1-17. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.106048>.

14. Sokolov, S. Development tendency of sowing air operating technology by unmanned aerial vehicles in artificial reforestation / S. Sokolov, A. Novikov // Forestry Engineering Journal. – 2018. – Vol. 7. – № 4. – P. 190-205. – DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5a3d040dc79c79.94513194](https://doi.org/10.12737/article_5a3d040dc79c79.94513194).

15. Sokolov, S. V. How to increase the analog-to-digital converter speed in optoelectronic systems of the seed quality rapid analyzer / S. V. Sokolov, V. V. Kamenskij, A.I. Novikov, V. Ivetić // Inventions. – 2019. – Vol. 4. – № 4. – P. 61. – DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions4040061>.

16. Sokolov, S.V. Determining the initial orientation for navigation and measurement systems of mobile apparatus in reforestation / S. V. Sokolov, A. Novikov, V. Ivetić // Inventions. – 2019. – Vol. 4. – № 4. – P. 56. – DOI: <https://doi.org/10.3390/inventions4040056>.

17. Zhou, Q. Fusion of UAV Hyperspectral Imaging and LiDAR for the Early Detection of EAB Stress in Ash and a New EAB Detection Index—NDVI(776,678) / Q. Zhou, L. Yu, X. Zhang et al. // Remote Sensing. – 2022. – Vol. 14. – № 10. – P. 2428. – DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14102428>.

УДК 631.5

## **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ ТРИХОГРАММЫ**

**И.Н. АБДУЛЛИН, Р.А. ЛЭЙ, И.С. ПОСМЫГАЕВ**

Казанский национальный исследовательский технический

университет им. А.Н. Туполева-КАИ

Казань, Россия

В мировом сельскохозяйственном производстве сельскохозяйственные вредители являются одним из ключевых факторов, приводящих к потерям продовольствия, нанося значительный экономический ущерб развитию сельского хозяйства. Длительное использование химических пестицидов в нынешнем процессе борьбы с вредителями привело к устойчивости полевых популяций к широко используемым пестицидам; инсектициды также создают такие проблемы, как уничтожение естественных врагов, образование остатков пестицидов и загрязнение

воды, что ограничивает устойчивое развитие сельского хозяйства. Поэтому для обеспечения безопасности сельскохозяйственного производства и достижения устойчивого развития в долгосрочной перспективе необходимо трансформировать методы борьбы с вредителями.

С повышением осведомленности людей об охране окружающей среды и постоянным развитием зеленого сельского хозяйства методы биологического контроля заменяют традиционный контроль пестицидов и становятся важным средством зеленой профилактики и борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур. Биологический контроль заключается главным образом в том, чтобы поместить в поле естественных врагов вредителей сельскохозяйственных культур, чтобы большое их количество было рассеяно по полю, и использовать паразитические, хищнические и другие методы для сокращения количества вредителей, тем самым сокращая потери продовольствия и улучшение качества урожая. Виды трихограммы составляют одну из наиболее часто используемых групп естественных врагов программ биологического контроля во всем мире, они имеют широкий круг хозяев, широкий ареал распространения и быструю скорость размножения.

В настоящее время к основным методам высвобождения трихограммы относятся ручное распыление суспензий трихограммы, ручное вывешивание карточек трихограммы, ручная доставка релизеров трихограммы и т. д. С помощью этого долгосрочного метода трудно достичь ожидаемых целей по однородности, охвату и скорости доставки, срок ручной способ доставки. В то же время наблюдается существенное отставание в строгой своевременности биологического контроля, а высокая трудозатратность также сдерживает широкое применение этого метода. Однако, с постоянным развитием сельскохозяйственной техники постепенно появляется механизированное оборудование, с помощью которого можно доставлять трихограмму, в основном включающее наземную технику и авиационную технику [1, 2].

Использование сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов в странах с большой посевной площадью с каждым годом становится все более актуальным. Основное применение БПЛА нашли в военной сфере и МЧС. Однако, в последние годы количество выпускаемых машиностроительными предприятиями БПЛА сельхозназначения увеличилось за счет заинтересованности инвесторов инновациями в конструкторской отрасли – массовое производство превысило весь объем предшествующих лет [3].

Для внесения трихограммы в основном применяются сельскохозяйственные беспилотные летательные аппараты с полезной нагрузкой до 10 килограммов.

Автоматическим или дистанционно управляемым комплексам БПЛА необходим особый, более тщательный подход к уровню обеспечения. В таких системах информационная база интегрируется на фундамент полностью автономно функционирующими и дистанционно управляемыми беспилотными авиационными системами [4, 5].

Предлагаемый в настоящей работе способ механизированной защиты растений от вредителей методом дифференцированного внесения трихограммы заключается в следующем: бункер (рис.1) для хранения и рассеивания биоматериалом заполняется куколками трихограммы и отродившимися насекомыми, далее с помощью электродвигателя и закрепленного к нему дозатора в виде шестерни, подает необходимое количества биоматериала в зависимости от наличия вредных насекомых на обрабатываемую площадь, вида сельскохозяйственных культур и скорости полета БПЛА (рис.2), что позволяет повысить эффективность расселения трихограммы.

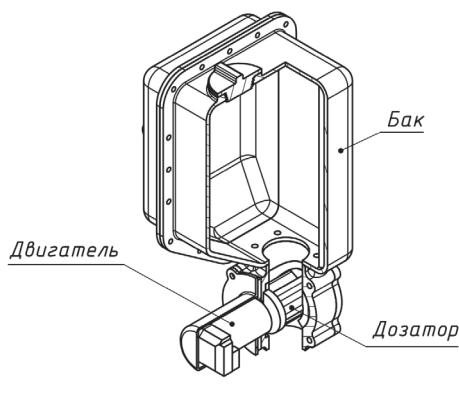


Рис. 1 Бункер для хранения и рассеивания трихограмм



Рис. 2 БПЛА для рассеивания трихограмм

Для равномерной обработки сельскохозяйственных культур трихограмму смешивают с наполнителем (манной крупой) в расчете: 1г. яиц зерновой моли зараженных трихограммой и 3г манной крупы.

Агротехнологические требования и технологические параметры дифференцированного внесения трихограммы – норма внесения трихограммы – 2 г/га, производительность беспилотного летательного аппарата за один вылет до 50 га.

Алгоритм технологического процесса дифференцированного внесения трихограммы с применением БЛА включает разработку полетного задания, предполетную подготовку, взлет, программируемый полет БЛА с внесением трихограммы, посадку БЛА в заданную точку.

Полетное задание содержит выбор рационального типа БЛА с заданной полезной нагрузкой для внесения трихограммы, электронную

карту-задание на внесение трихограммы с координатами участков поля, реперные точки начала полета, участков разворота, рабочую скорость и высоту полета.

Предполетная подготовка БЛА предусматривает доставку БЛА, вспомогательных технических средств, энтомофагов к месту начала работы, подготовку бункера для хранения и рассеивания трихограмм и бортового оборудования БЛА к полету, подзарядку аккумулятора, мониторинг метеоусловий, загрузку в автопилот электронной карты-задания на полет, установку БЛА на исходную позицию, запуск двигателя.

Технологическая операция дифференцированного внесения трихограмм включает взлет БЛА, набор высоты, подлет к реперной точке, установление заданных параметров полета (высоты, скорости), программируемый полет по заданной траектории, внесение, контроль параметров полета и нормы внесения, контроль заряда АКБ, посадку БЛА к месту дозаправки бункера.

**Заключение.** Преимущества применения БПЛА аграрного назначения:

- отказ от ручного опрыскивания (рабочие больше не будут контактировать с опасной химической жидкостью во время распыления);
- экономия распрыскиваемых средств борьбы с вредителями вследствие низкой высоты полета БПЛА в сравнении с другими типами сельскохозяйственных летательных аппаратов;
- окупаемость БПЛА гораздо выше в сравнении с традиционной сельскохозяйственнойaviацией, которая окупается только при использовании ее на больших и средних по площади полях, использование ее на малых по площади полях не экономично;
- точечная обработка сельскохозяйственных культур, на которые не способна традиционная авиация;
- простота обработки сельскохозяйственных культур в условиях холмистой местности, где эффективность ручного труда сокращается [6].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Giles, D. K., Gardner, J., and Studer, H. E. (1995). Mechanical release of predacious mites for biological pest control in strawberries. Trans. ASAE 38 (5), 1289–1296. doi: 10.13031/2013.27950
2. Dionne, A., Khelifi, M., Todorova, S. I., and Boivin, G. (2018). Design and Testing of a Boom Sprayer Prototype to Release *Trichogramma ostriniae* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Sweet Corn for Biocontrol of *Ostrinia nubilalis* (Hübner) (Lepidoptera: Crambidae). Trans. ASABE 61, 1867–1879. doi: 10.13031/trans.12922

3. Второй В. Ф., Второй С. В. Перспективы экологического мониторинга сельскохозяйственных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Теоретический и научно-практический журнал ИАЭП. 2017. № 92. С. 158–165.

4. Дифференцированное внесение пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов / Л. А. Марченко, И. Г. Смирнов, Г. И. Личман [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. № 4. С. 17–23.

5. Михайленко И. М. Беспилотная малая авиация в сельском хозяйстве // Агрофизика. 2015. № 2. С. 16–24.

6. King A. Technology: The Future of Agriculture. Nature 544, S21–S23 (2017). <https://doi.org/10.1038/544S21a>.

УДК 712.253

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПРЕДПОСЫЛОК СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ  
ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ (ЭКОПАРКОВ)  
НА МЕЖСЕЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ  
С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ**

В.В. ВОЛКОВА, В.Ю. ЛИХОТА  
Полесский государственный университет  
Пинск, Беларусь

Межселенные территории – это территории, находящиеся между населенными пунктами, за пределами их границ. Здесь могут создаваться загородные рекреационные территории различного назначения, в том числе и курортно-рекреационные, туристские.

Важным элементом системы туризма и отдыха на межселенных территориях являются объекты инфраструктуры – гостиницы, кемпинги, рестораны, транспортные коммуникации и т.д. Они обеспечивают комфортное пребывание туристов на территории региона. В Гомельской области популярными направлениями являются окрестности городов Мозырь, Гомель и Жлобин, а также национальный парк «Припятский». Развитие системы туризма и отдыха в регионе способствует привлечению инвестиций и созданию новых рабочих мест. Кроме того, это способствует сохранению исторического и культурного наследия и его продвижению на международном уровне [1].

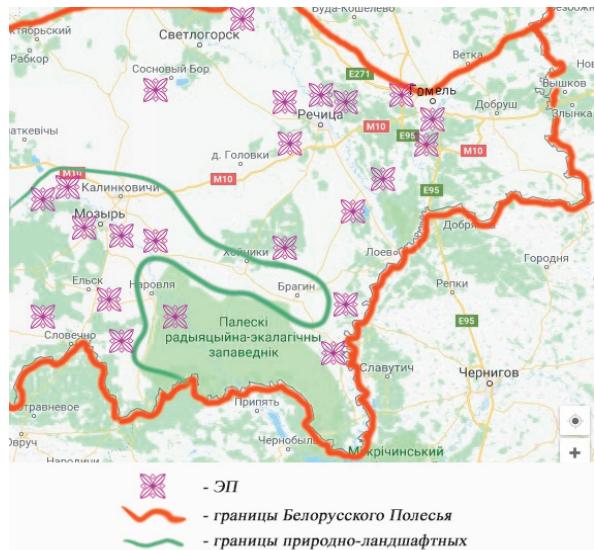
В составе межселенных загородных курортно-рекреационных и туристских территорий на основе критериев благоприятности условий

для размещения ЭП выявлены следующие площадки в Гомельской области (таблица 1):

- свободная от застройки природная территория вдоль р. Сож, входящая в состав территории ГУО «Оздоровительный лагерь Ченковский бор»;
- лесопарковая загородная территория в Гомельском районе, прилегающая к детскому оздоровительному центру «Романтика»;
- свободная от застройки природная территория, прилегающая к санаторию «Золотые пески», который расположен в Гомельском районе 40 км от Гомеля в смешанном хвойно-лиственном лесу на берегу реки Сож;
- луго-болотная территория вблизи деревни Ивановка, на 15 км западнее городской черты Гомеля.

Табл. 1. Потенциально пригодные территории для создания ЭП в природно-ландшафтном районе Гомельское Полесье

Характерные ландшафты района Гомельское Полесье	Пригородные и периферийные зоны больших и средних городов		Курортно-рекреационные и туристские зоны	Буферные зоны ООПТ	Инфраструктура
	Гомель	Речица			
Лесные ландшафты	+	+	+	+	
Лесо-речные ландшафты		+			+
Лесо-озерные ландшафты	+				
Луговые ландшафты		+	+		
Луго-речные ландшафты			+		+
Луго-озерные ландшафты			+		
Луго-болотные ландшафты	+			+	
Болотные ландшафты					+



Поскольку вблизи Гомеля сосредоточено наибольшее количество характерных природных ландшафтов региона Гомельское Полесье, то наиболее подходящей площадкой для создания ЭП на межселенных территориях в составе курортно-рекреационных и туристских зон является первая из списка – свободная от застройки природная территория вдоль р. Сож, расположенная в 5 км южнее городской черты Гомеля и входящая в состав территории ГУО «Оздоровительный лагерь Ченковский бор» (рис.1-2). Природная ценность ландшафта заключается в отсутствии грубого антропогенного вмешательства, потому как эта территория предназначена для рекреационной деятельности в качестве оздоровительного лагеря.

Благодаря современным технологиям, данную территорию можно исследовать с высоты, что позволяет выявить множество особенностей, по которым определяется пригодность для проектирования объектов ландшафтной архитектуры. Например – композиционные характеристики и градостроительные условия, наличие водных объектов, способность к планировочной структуре, наличие удобных подъездов к территории, определение примерных границ для будущего ЭП, определить конфигурацию границ зеленых насаждений, полян, опушек, формы и размеры древесных групп (овал, круг, треугольник и др.) и др.



Рис. 1. Вид на территорию:  
а) с северо-восточной стороны,  
б) с восточной стороны (фото с высоты 60 метров, получено  
с помощью квадрокоптера модели DJI Mavic 2 Pro) (фото автора)

Около 60 % площади занимают луговые открытые пространства, что создает хорошие условия обзора территории. 20% территории занимает долина реки Сож. Соотношение закрытых и открытых пространств оценивается как 1:3 соответственно. Данную территорию можно отнести к луго-речному типу ЭП [2]. Природный комплекс включает лесной генетический резерват дуба черешчатого. В пределах

1 км находятся главные транспортные узлы и остановки общественного транспорта.

Поэтому здесь предлагается создать луго-речной ЭП площадью 180 га. Ориентировочными границами объекта будущего луго-речного ЭП служат: с западной стороны – ГУО «Оздоровительный лагерь Ченковский бор», с остальных сторон – река Сож, за ней – естественные природные комплексы. С западной стороны в 1 км от р. Сож находится д. Бобовичи.



Рис. 2. Вид на территорию с южной стороны  
(фото с высоты 60 метров, получено с помощью квадрокоптера  
модели DJI Mavic 2 Pro) (фото автора)

При этом будет создана новая дорожно-тропиночная сеть, которая позволит посетителям насладиться видовым разнообразием территории. Также при ЭП предусмотрено создание центра экологического образования и ботанического мини-сада, где могут проводиться различного рода мероприятия для экологического просвещения посетителей. Экологическая тропа будет пролегать по всей территории парка вдоль реки и захватывать растительные сообщества, представленные на небольших участках. Запроектирован палаточный городок для посетителей, которые желают наслаждаться природным окружением во время отдыха [3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении схем комплексной территориальной организации областей и генеральных планов городов-спутников [Электронный ресурс] : Указ Президента Респ. Беларусь, 18 янв. 2016 г., № 13 : в ред. Указа Президента Респ. Беларусь от 22.05.2023 г. // КонсультантПлюс. Беларусь / ООО «ЮрСпектр», Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2023.

2. Волкова, В. В. Типология экологических парков в условиях Белорусского Полесья / В. В. Волкова // Архитектура : сб. науч. тр. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2022. – Вып. 15. – С. 11–15.

3. Дунай, В. И. Планировочные модели характерных типов экологических парков на территории Белорусского Полесья (с петельной, линейной и рассредоточенной планировкой) / В. И. Дунай, В. В. Волкова // Инжиниринг: теория и практика : материалы II междунар. заоч. науч.-практ. конф., Пинск, 6 мая 2022 г. / Полес. гос. ун-т ; редкол.: В. И. Дунай [и др.]. – Пинск, 2022. – С. 92–96.

УДК 004.932.72

**АДАПТИВНАЯ К ФОНОЦЕЛЕВОЙ ОБСТАНОВКЕ  
ПРОГРАММНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ,  
ФОРМИРУЕМЫХ НА БЕСПИЛОТНОМ  
ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ В УСЛОВИЯХ  
ТУРБУЛЕНТНОСТИ АТМОСФЕРЫ**

О.В. КОВРИГО  
Военная Академия Республики Беларусь  
Минск, Беларусь

**Введение.** Анализ развития беспилотной техники характеризуется ростом интенсивности применения беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в различных сферах жизнедеятельности человека.

Однако ввиду малой массы и скорости полета влияние турбулентности атмосферы приводит к колебаниям БЛА по углу крена ( $\gamma$ ) и тангенажа ( $\vartheta$ ), что в свою очередь приводит к смещению и вращению изображения, которое затрудняет наблюдение и выполнение поставленных задач. Уменьшить влияние турбулентности атмосферы на изображение возможно с помощью методов программной стабилизации [1].

Наиболее эффективными методами программной стабилизации является спектральный метод [2], пирамидальный метод Лукаса-Канаде [3], иерархический блочно-сопоставительный метод (БСМ) [4] и ускоренный метод нормированных коэффициентов (УМНК) [5]. Из перечисленных методов высокую эффективностью оценки смещения изображения при вертикальном положении оптической оси БЛА показал УМНК, однако снижающий свою эффективность при горизонтальном положении. Высокую эффективность оценки вращения в разреженной фоновоцелевой

обстановке (ФЦО) показал спектральный метод, а в насыщенной – пирамидальный метод Лукаса-Канаде. Поэтому необходимо повысить эффективность УМНК при горизонтальном положении оптической, и комплексировать спектральный метод для оценки угла вращения в разреженной ФЦО, а пирамидальный метод Лукаса-Канаде в насыщенной.

**Способ оптимизации параметров эталона изображения.** Повысить эффективность УМНК при горизонтальном положении оптической оси бортовой оптико-электронной системы (ОЭС) БЛА возможно путем применения разработанного способа оптимизации параметров эталона изображения (рис. 1).

Горизонтальное положение оптической оси бортовой ОЭС характеризуется наличием вращения изображения, что снижает эффективность УМНК. Разработанный способ позволяет определить область изображения в центральной части (эталон) для которой влияние вращения будет минимально, а в случае невозможности определения такой области, программно синтезировать ее исходя из угла поворота изображения и ФЦО на ней.

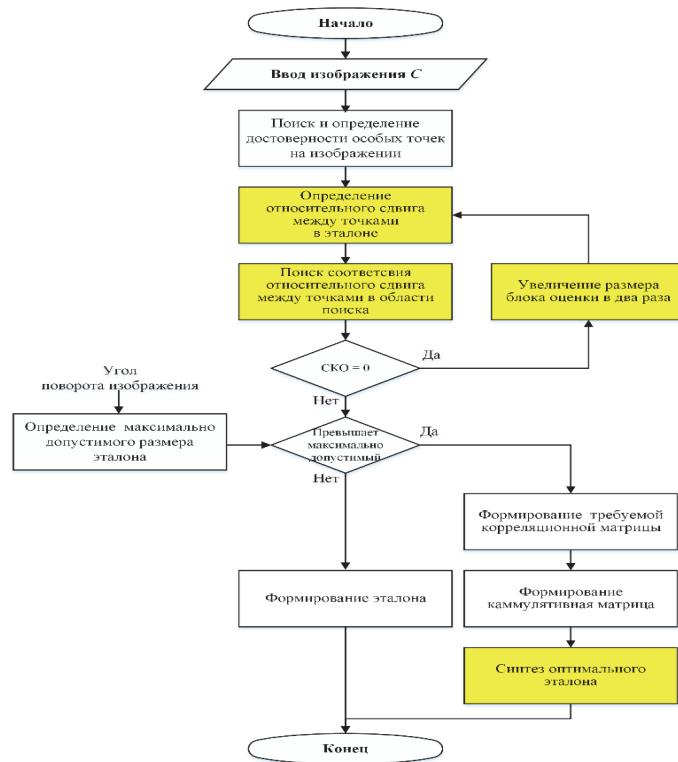


Рис. 1. Способ оптимизации параметров эталона изображения

**Методика определения угла вращения изображения, с учетом адаптации к фоновоцелевой обстановке.** Разработанная методика комплексирования оценки вращения [6] позволяет рациональным образом

использовать в разреженной ФЦО спектральный метод, а в насыщенной ФЦО пирамидальный метод Лукаса-Канаде (рис. 2).

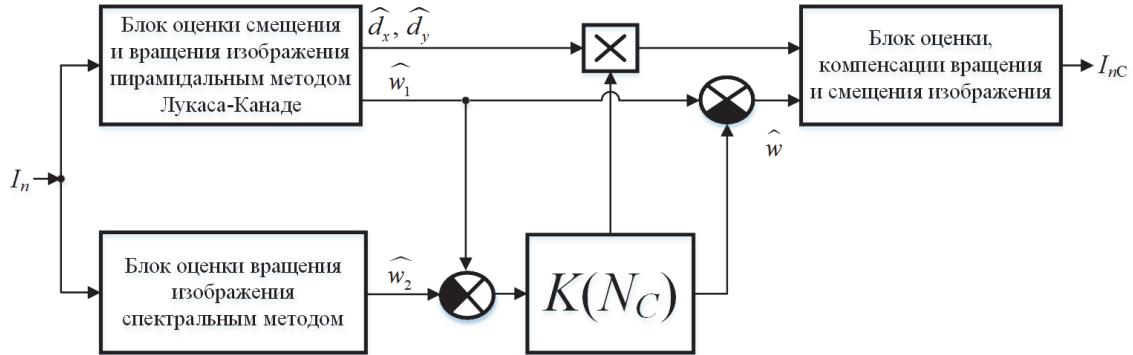


Рис. 2. Структурная схема устройства комплексирования

На вход блоков оценки поступает изображение ФЦО  $I_n$ , с выходов блоков получаем измерения углов вращения, где полученные значения комплексируются согласно выражению:

$$\hat{w}(p) = w(p) + (1 - F(p))n_1(p) + F(p)n_2(p) \quad (1)$$

где  $n_1, n_2$  – погрешности методов оценки вращения;  $F(p)$  – передаточная функция фильтра.

Эффективность проверялась путем многократного моделирования полета БЛА в турбулентной атмосфере в среде *Unity* (рис. 3).

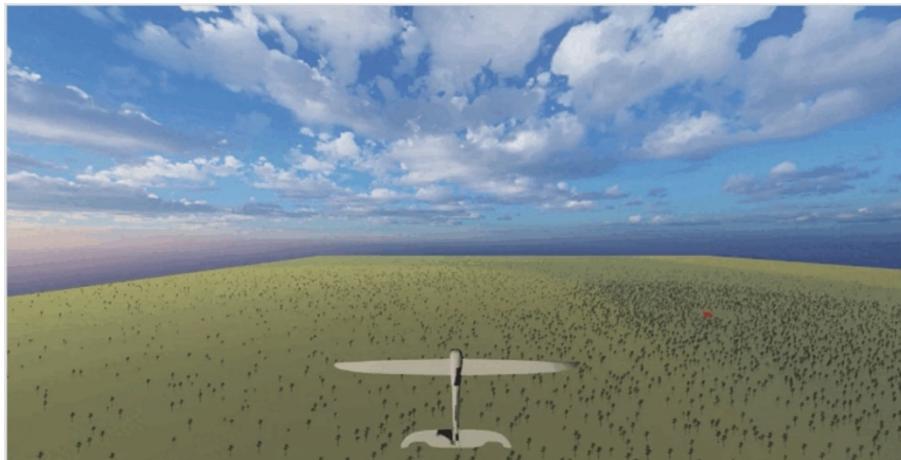


Рис. 3. Условное изображение полета БЛА в среде *Unity*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ковриго, О.В. Сравнительный анализ методов оценки смещения изображения, формируемого на малогабаритном беспилотном летательном

аппарате в условиях турбулентности атмосферы / О. В. Ковриго, А. В. Шарамет // Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь. – 2020. – № 4. – С. 78–89.

2. Алпатов, Б. А. Методы автоматического обнаружения и сопровождения объектов. Обработка изображений и управление / Б. А. Алпатов, П. В. Бабаян [и др.]. – М.: Радиотехника, 2008. – 176 с.

3. Bouguet J-Y., Pyramidal Implementation of the Affine Lucas Kanade Feature Tracker Description of the algorithm / Intel Corporation Microprocessor Research Labs.

4. Поляков Д.Б. Блочные алгоритмы оценки движения / [Электронный ресурс]. 06.01.2024. – URL: chrome-extension://efaidnbmnnibpcajpcglclefindmkaj/ <https://www.tvs-mtuci.ru/attachments/article/19/Blochnye%20algoritmy%20ocenki%20dvizhenja.pdf>

5. L. Ma, Y. Sun, N. Feng and Z. Liu, Image Fast Template Matching Algorithm Based on Projection and Sequential Similarity Detecting / 2009 Fifth International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, Kyoto, Japan, 2009, pp. 957-960, doi: 10.1109/IH-MSP.2009.94.

6. Ковриго, О.В. Комплексная методика оценки угла вращения изображения, формируемого на малогабаритном беспилотном летательном аппарате, с учетом адаптации к фоновоцелевой обстановке / О. В. Ковриго // Вестн. ВА РБ. – 2022. – № 4 (77). – С. 59–69.

УДК 621.3 + 629.735.4+ 739.826

## **РАЗРАБОТКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ БПЛА ДЛЯ ДОСТАВКИ МАЛОМЕРНЫХ ГРУЗОВ АГРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Д.Н. СУРЧИЛОВ, Е.И. ТАРАСОВ, А.А. ШАРАФУТДИНОВ

Казанский национальный исследовательский технический

университет им. А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)

Казань, Россия

Цель работы: обеспечение агротехнических мероприятий путём доставки грузов на поля посредством БПЛА.

Задача работы: проектирование БПЛА, обеспечивающего надёжную доставку груза, его парашютирование, и реализация опытного экземпляра «в железе».

В агротехнике зачастую необходимо обеспечить доставку относительно небольших грузов (порядка 1 кг) точечно по полю. Рассмотрена возможность данной доставки посредством БПЛА с парашютированием

груза. В данной работе решается задача создания подобного аппарата и реализация опытного образца.

Основные требования к создаваемому аппарату:

- масса полезной нагрузки – 1 кг;
- крейсерская скорость полета – 20 м/с;
- продолжительность полета – 30 минут;
- наличие системы спасения и резервирования;
- скорость ветра до 14 м/с, возможна пониженная видимость;
- наличие системы компьютерного зрения;
- наличие системы контроля сброса груза;
- получение информации о глобальном местоположении аппарата;
- телеметрия, обмен информацией со станцией наземного контроля, управление аппаратом со станции;
- управление аппаратом в ручном и полуавтоматическом режимах;
- передача видеосигнала для FPV системы.

Условия проведения полетов требуют автоматического поддержания таких фаз полета как: взлет, набор высоты, полет, снижение, заход на посадку, посадка. Помимо этого, имеющееся на борту оборудование должно выполнять задачу поиска на земле контрастных маркеров, согласно дополнительному заданию, а также выполнять задачи вычисления точки падения груза для выполнения основного задания.

1. Проведён аналитический обзор, произведены расчёт и выбор:

- схемы аэродинамической компоновки;
- конструктивные элементы БПЛА;
- тип и элементы силовой установки;
- источник электропитания;
- управляющая электроника;
- алгоритмы, ПО, в т.ч. нейросетевое.

Выполнены все необходимые аэродинамические и прочностные расчеты, произведено математическое моделирование.

Краткое описание спроектированного БПЛА.

Аэродинамическая схема разрабатываемого летательного аппарата – классическая бесхвостка с элевонами. Достоинства схемы:

- большая площадь крыла, что позволяет сделать аппарат компактнее, при этом сохранить высокую грузоподъемность;
- наличие вертикального оперения, что позволяет упростить пилотирование в сравнении со схемой «летающее крыло»;
- развитый центроплан, позволяющий разместить внутри максимум оборудования и большой объем перевозимой целевой нагрузки;
- простота изготовления, ввиду отсутствия горизонтального оперения и простых форм летательного аппарата.

2. По выполненному проекту разработана технология и изготовлен реальный БПЛА, проведены лётные испытания.

Отработана и реализована технология изготовления каждого из элементов конструкции спроектированного БПЛА. Аппарат, включая фюзеляж и крылья, элементы внутреннего усиления, изготавливались вручную авторами самостоятельно с использованием соответствующих инструментов и приспособлений в одной из лабораторий КНИТУ-КАИ.

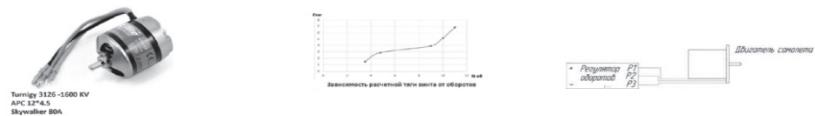
На рис. 1 очень кратко отображены этапы расчётов, выбора и в целом проектирования данного БПЛА (п.1 по тексту), а также этапы разработки технологии и самого его изготовления (п.2 по тексту).

### 1. Этапы расчетов и проектирования

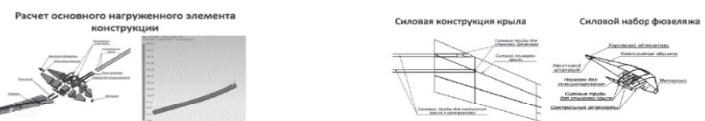
#### Аэродинамика конструкции крыла



#### Силовая установка и винты

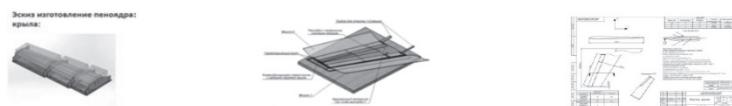


#### Прочность и нагрузки

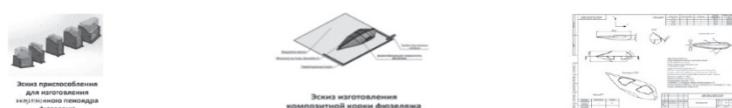


### 2. Разработка технологии и изготовление БПЛА

#### Изготовление крыла и вертикального оперения



#### Изготовление фюзеляжа



#### Изготовление системы сброса груза



Рис.1 Иллюстрации к этапам создания БПЛА

В порядке дополнительной информации, выбрана следующая комплектация БПЛА заводскими элементами:

- аккумулятор сборный из Li-Ion ячеек 21700 (4S 4P) общей емкостью 20АЧ. Ячейки 21700 т.к. соотношение массы к ёмкости при достаточной токоотдаче является наиболее приемлемым.

- в качестве БРЭО – покупное, распространённое ПК PixHawk 4.

- софт для БРЭО запрограммирован автором.
- нейронная сеть для СВ - многослойный перцептрон Румельхарта в котором один алгоритм обратного распространения ошибки обучает все слои. Нейросеть распознаёт наземные знаки с воздуха. Обработка картинки на бортовом компьютере (Raspberry pi4).

Также некоторые элементы электронного оборудования:

- машинное зрение, контроль сброса GNSS модуль Holybro M8N;
- получение информации о глобальном местоположении аппарата;
- телеметрия Instock RCMOY RFD900A;
- приемо-передатчик TBS TRACER SIXTY9.

В целом изделие представляет из себя полностью автономный беспилотный комплекс. На самолете установлен цифровой комплекс авионики. Контроллер полета получает информацию со всех датчиков и, используя метод контроля полной энергии и координации ориентации выдает сигналы на контроллер мотора и на сервомоторы.

Подобранные компоненты и в целом созданный БПЛА обеспечивают автономное и безопасное использование при условии скорости ветра <14м/с и вне зависимости от видимости.

Проведённые полётные испытания образца подтвердили выполнение задачи и достижение цели. Образец готов к внедрению в серийное производство и может применяться для существенно более широкого круга задач, чем рассмотрены в данной работе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник авиационных профилей URL: [http://kipla.kai.ru/liter/Spravochnic\\_avia\\_profiley.pdf](http://kipla.kai.ru/liter/Spravochnic_avia_profiley.pdf)
2. Расчет на прочность элементов конструкции самолета: Ю. Л. Тарасов, Б. А. Лавров; СГАУ, Самара, 2000 URL: <https://goo.su/jN7ecOC>

УДК 631

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Н.М. ТАРАБУЕВ

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

В данной статье рассматривается то, как агродроны открывают огромные перспективы для сельскохозяйственного экономического роста.

Развитие беспилотных комплексов на сегодняшний день достигло уровня зрелости. Фермеры стали принимать тот факт, что дроны влекут за собой неизбежную модернизацию в аграрной сфере. Доступность БПЛА позволяет легко адаптироваться к нововведению, проводя тестовые полеты и экспериментируя с возможностями аэрофотокамеры для визуализации растений.

Без сомнения, сельское хозяйство является одним из важнейших факторов устойчивости любой экономики. Оно играет ключевую роль в долгосрочном экономическом росте и структурных преобразованиях, хотя может значительно варьироваться в зависимости от страны. В прошлом сельскохозяйственная деятельность ограничивалась производством продуктов питания и растениеводства. Тем не менее, в нескольких странах она превратились в маркетинг и распространение сельскохозяйственных культур и продуктов животноводства. В настоящее время сельскохозяйственная деятельность является первым источником средств к существованию, повышающим ВВП, выступая источником национальной торговли, сокращая безработицу, обеспечивая сырьем для производства в других отраслях, и в целом развивая экономику.

Агродроны – это следующий этап индустриализации сельского хозяйства. Они способны собирать и составлять статистику, сравнивать показатели за несколько лет. Всего один аппарат способен заменить целый ряд оборудования: датчики на сельхозтехнике, спутниковые устройства, метеоприборы. БПЛА, в некоторых случаях, поможет обойтись и без лабораторных исследований. Камеры способны измерять и контролировать уровень содержания воды и микроэлементов в почве. Причём, для расшифровки данных не нужно иметь в штате специалиста. В комплекте с дронами идёт программное обеспечение, которое устанавливается на ПК и составляет подробные таблицы, диаграммы, статистику. На экране даже можно увидеть наименования конкретных СЗР, которые эффективно справляются с поставленной проблемой, их примерную стоимость и требуемое количество. Такие данные – отличное подспорье, как для начинающего, так и для опытного фермера.

Рост популярности агродронов связан с простотой в эксплуатации, универсальностью и безрисковым пилотированием. Основная область применения БПЛА расширилась от рекреационных и военных полетов до научных исследований и сельского хозяйства. Популярность БПЛА для сбора научных данных и приложений, особенно при использовании небольших многороторных БПЛА, довольно широко распространена. Эти портативные многороторные БЛА портативны, недороги, маневренны и просты в обращении. Такие особенности делают такие БПЛА привлекательными для ученых и исследователей во всем мире.

На современном этапе стремительно развивается использование БПЛА (агророботов) в нишевых областях, таких как сельское хозяйство. Сельхозпроизводители предпочитают проводить полевые операции с использованием агророботов и дистанционное зондирование проверенным временем спутниковым, особенно для локального масштаба и высокого пространственно-временного разрешения. Существуют различные типы БПЛА, технологий зондирования, архитектур БПЛА и их применимости в точном земледелии.

Работа дрона включает четыре этапа: предварительная фотограмметрическая обработка, обнаружение объектов с использованием алгоритмов глубокого обучения, анализ данных и оценка результатов. Первым шагом была предварительная обработка изображений, полученных с помощью БПЛА, с использованием цифровой фотограмметрии. Во-вторых, применяются алгоритмы глубокого обучения для обнаружения растительного покрова и выявления связанных заболеваний, после выполняется сопоставление шаблонов для сегментации площади, покрытой основной культурой, и обнаружения отдельных культур, соответственно, на ортофотомозаике. После анализа данных проводится с использованием передовых инструментов геообработки. И в финале определяется порог точности обнаружения и проводится оценка влияния на урожай вредителей полевых культур и анализируются полевые пробы.

Во всем мире дроны уже активно используют в сельском хозяйстве. По результатам недавнего анализа аналитиков PwC общая стоимость систем с применением дронов в разных отраслях составляет более 127 миллиардов долларов.

В сельском хозяйстве Японии так называемые агророботы используют для полива полей, внесения удобрений и посева. Дроны, оснащенные специальными датчиками, могут определять, какие участки полей высыхают или нуждаются в обработке. Помимо этого, когда урожай растет, с помощью дронов можно рассчитать плотность и качество урожая.

Главная задача технологии, проект применения которой одобрен экспертной группой Агентства стратегических инициатив, – повысить качество и доступность высокодетальных карт, фотопланов местности, моделей рельефа, 3D-моделей местности и отдельных объектов.

В условиях, когда мировые цены на сырье находятся на рекордно низком уровне, а предложение на рекордно высоком уровне из-за увеличения потребления продуктов питания и производственных потребностей, современное сельское хозяйство переживает поворотный момент. Сейчас, чем когда-либо прежде, агрономы и фермеры во всем мире нуждаются в улучшении управления ресурсами в связи с ограниченными и хрупкими бюджетами и растущим давлением в сторону повышения качества продукции.

Согласно статистике, доля обрабатываемых земель в Китае с использованием авиационных сельскохозяйственных технологий составляет всего 1,7%, а это означает, что существует большой потенциальный рынок для промышленности. Это также указывает на то, что рынок еще не сформировался. Любая новая агротехника - это рынок крупных инвестиций с длительным периодом развития и с медленным возвратом инвестиций.

По сравнению с ручным опрыскиванием культур применение сельскохозяйственных дронов отличается высокой эффективностью и безопасностью, но отрасли еще предстоит пройти долгий путь. Пропаганда знаний, связанных с защитой культур аэронавигационными средствами, наращивание сети продаж и улучшение обслуживания, а также настройка самого режима бизнеса защиты растений при помощи агродронов требуют больших инвестиций и долгосрочной работы.

Китай, Япония и Корея являются основными странами, занимающимися исследованиями, производством и применением БПЛА для защиты растений, а также основными странами-разработчиками проекта.

УДК: 631.41

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ LIDAR ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ**

**Е.С. ФРУЛЬ**

Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

Исследование эрозионной деятельности является достаточно сложной задачей, т. к. на нее влияет большое количество факторов: эрозионная способность осадков, способность почвы к эрозии, наличие растительного покрова, длины, уклоны склонов. Такое разнообразие факторов, влияющих на эрозию, сильно усложняет ее моделирование для проведения точных расчетов. Гипотезой настоящего исследования выступила опасность деградации почвенного покрова, вызванная водной эрозией.

Объектом исследования является опытный участок заложенный на территории Барановичского района Брестской области. Для исследования был выбран именно этот район, так как в пределах него представлены ключевые особенности рельефа Новогрудской возвышенности. Также для данного района характерно значительное увеличение количества эрозионных процессов.

Информация для исследования, была получена в ходе полевого исследования, в результате которой было отобрано 565 почвенных проб. С помощью лазерного сканирования были получены детальные цифровые модели рельефа для каждого опытного участка. Основным новшеством данной работы, является применение технологии LIDAR и БПЛА для получения ЦМР [2]. На сегодняшний день для таких исследований используются данные радиолокационных спутниковых наблюдений, например SRTM или Sentinel-1, которые не сравнятся по точности с современным методом.

Основным недостатком использования радиолокационной съёмки, является то, что древесно-кустарниковая растительность искажает значения высоты. Это связано с физикой отражения радиоволн от крон деревьев. В свою очередь лидарная съёмка позволяет выявлять такие наиболее опасные территории, так как лазерный луч имеет несколько отражений, и в конечном результате формируется точная модель рельефа земной поверхности с удовлетворяющей точностью для проектирования противоэрозионных мер [3].

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС), или лидарная съемка – достаточно новая технология, позволяющая создать цифровую модель объекта на основе облаков точек с определенными пространственными координатами. Для их получения используется лазерный сканер – LiDAR, который в процессе съемки записывает для каждой точки координаты (XYZ) и численный показатель интенсивности отраженного сигнала. Он зависит от свойств поверхности, на которую визируется лазерный луч [1].

Применяемый в исследовании лазерный сканер DJI Zenmuse L1 позволяет получать до трех отражений лазерного луча, имеет диапазон обнаружения 450 м при коэффициенте отражения 80% и 190 м при коэффициенте отражения 10%, обеспечивает плотность облака точек на уровне 100 тчк/м<sup>2</sup> при высоте полета 100 м, точность получения координат по горизонтали составляет 10 см, по вертикали 5 см при высоте полета 50 м.

Обработка облака точек проводилась в программном продукте DJI Terra. Проводилась классификация точек, а также извлечение чистой ЦМР без древесно-кустарниковой растительности.

В ходе исследования были созданы почвенная карта, а также картосхема суммарного потенциального смыва почвы. Для моделирования использовалось адаптированное к условиям Беларуси универсальное уравнение Уишмейра-Смита [1].

Для моделирования и расчета суммарного потенциального смыва почвы был выбран программный продукт ArcGIS Pro 3.0. В данном

программном комплексе возможно представление информации в виде грида, что в свою очередь позволяет использовать функции картографической алгебры, а именно сложение и произведение ячеек раstra.

Значение потенциального смыва почвы ( $A$ ) определяется суммой смыва, обусловленного ливневыми осадками ( $A_1$ ) и смыва под действием талых вод ( $A_2$ ), и описывается адаптированным к условиям Беларуси универсальным уравнением В.Х. Уишмейра и Д.Д. Смита:

$$A = A_1 + A_2 = R \cdot K \cdot L \cdot S + K \cdot h \cdot L \cdot S [4]$$

где  $A_1$  – смыв почвы ливневыми осадками, т/га в год;  $A_2$  – смыв почвы талыми водами;  $R$  – фактор осадков, выраженный через эрозионный индекс осадков;  $K$  – фактор почвы, выраженный через коэффициент противоэрзационной стойкости почвы;  $L$  – фактор длины склона, м;  $S$  – фактор уклона, °;  $h$  – слой склонового стока за период снеготаяния, мм.

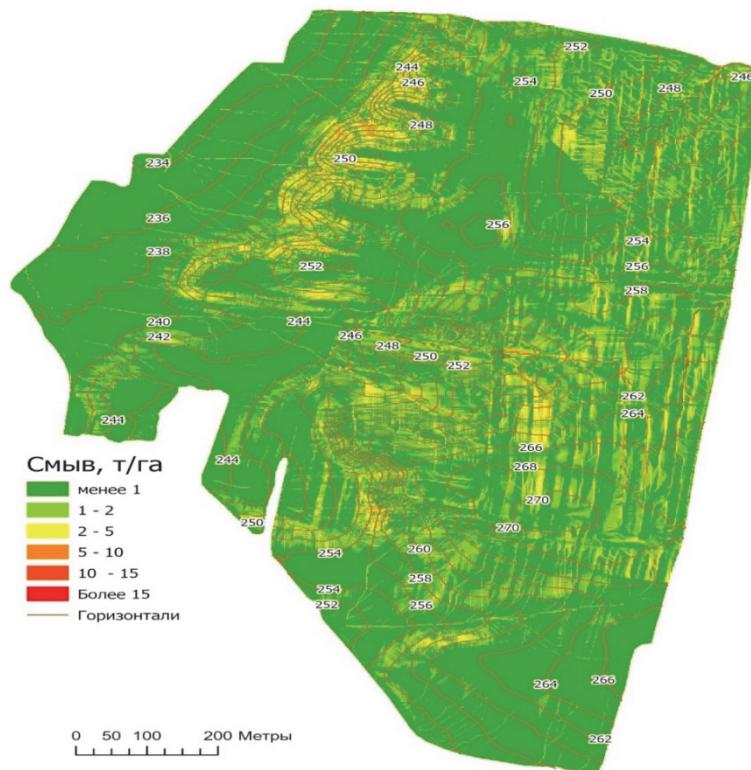


Рис. 1. Картосхема суммарного потенциального смыва почвы

Главным выводом проведенного исследования служит то, что современные ГИС позволяют производить моделирование даже таких сложных природных процессов как эрозия почв.

Современное оборудование, а именно БПЛА оснащенные лидаром, помогают в короткий срок получать точную цифровую модель рельефа местности при небольших трудозатратах.

Воздушное лазерное сканирование на сегодняшний день является самым передовым способом получения данных о рельефе земной поверхности с субсантиметровой точностью. Пространственная точность ЦМР позволяет создавать прогностические модели водно-эрэзионных процессов, максимально приближенных к действительным топографическим и геоботаническим факторам.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воздушное лазерное сканирование // СВР Гео [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://srvgeo.ru/services/vozdushnoe-lazernoe-skanirovanie>. – Дата доступа: 30.03.2023 г.
2. Сazonov A. A., Kindeev A. L., Knyazev I. C., Kurovich P. C., Makhovskaya B. A. Применение воздушного лазерного сканирования в археологических исследованиях на территории Беларуси // ГИС-технологии в науках о Земле: материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 16 нояб. 2022 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А. А. Сazonov (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2022. – С. 283-287.
2. Фруль Е. С., Киндеев А. Л. Получение данных о рельефе земной поверхности с помощью ДДЗ \\ ГИС-технологии в науках о Земле: материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 15 нояб. 2023 г. / Белорус. гос. ун-т; редкол.: А. Н. Червань (гл. ред.) [и др.]. – Минск: БГУ, 2023. – С. 128-134.
3. Червань А. Н., Черныш А. Ф., Устинова А. М. Геоинформационное моделирование в почвозащитной организации агроландшафтов Беларуси / Вестник Львовского университета. Серия географическая. 2013. Выпуск 44. С. 388–396.

УДК 528.94+633.1

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ УБОРОЧНОЙ ПОТЕРИ УРОЖАЯ ЗЕРНОВЫХ ОТ ПОЛЕГАНИЯ

А.А. ЯНОВСКИЙ  
Институт природопользования НАН Беларуси  
Минск, Беларусь

Полегание посевов – одна из причин крупных потерь урожая зерновых культур (от 15 до 50% для участков полегания). Потери урожая

обусловлены как непосредственно снижением урожайности вследствие снижения интенсивности фотосинтеза (от затенения) и ухудшения корневого питания, так и существенным усложнением уборки урожая, с увеличением затрат и снижением производительности уборки. Кроме того, полегшие культуры, как правило, более влажные и подвержены различным болезням.

Для планирования очередности и способа уборки участков полей зерновых культур необходима тематическая карта расположения участков их полегания, с определением степени (угла) полегания на каждом участке. Данная информация может быть получена с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА), при этом картографирование необходимо выполнять в автоматическом режиме исходя из многочисленности и мозаичности расположения участков полегания.

Физическая основа картографирования полегания зерновых в видимом и ближнем ИК-диапазоне спектра заключается в увеличении значения коэффициента отражения участков полегания (рис. 1) вследствие уменьшения площади разрывов в растительном пологе, через которые фотоны достигают поверхности почвы. Наличие данных разрывов обусловлено эллиптичностью листьев зерновых и меньшим, чем длина листьев расстоянием между растениями, что приводит к пересечению проекций листьев разных растений [1].

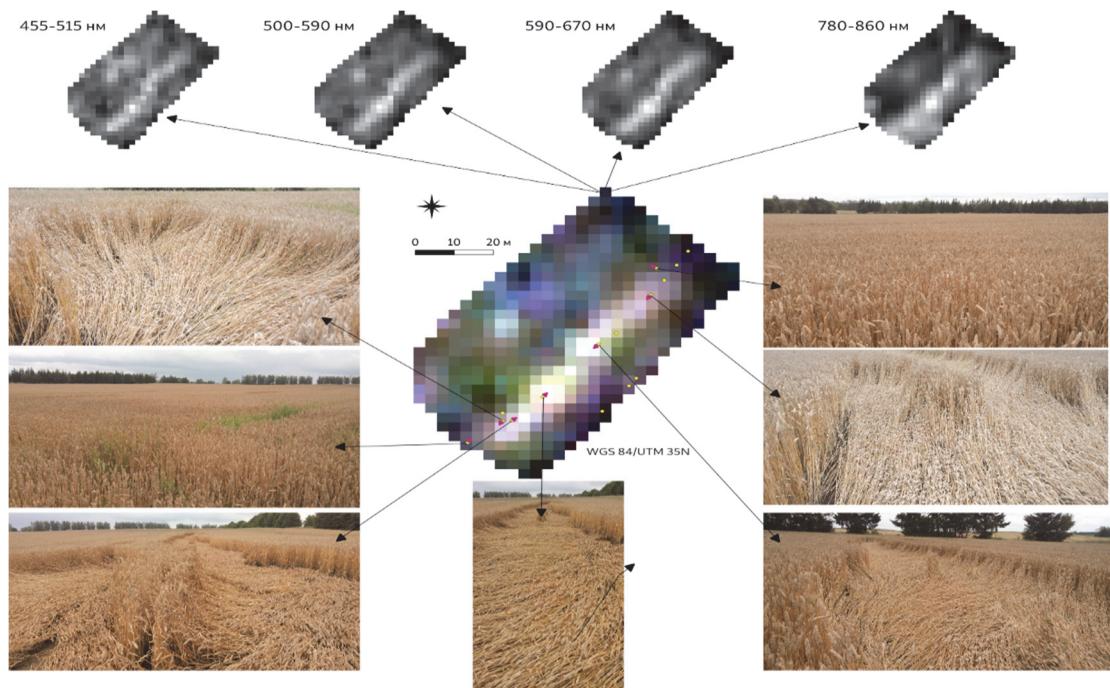


Рис. 1. Изменение спектральных свойств озимой пшеницы при полегании (съемка наноспутника PlanetScope выполнена 02.08.2018, подспутниковые исследования проведены 24.07.2018)

Физическая основа картографирования полегания по радарным данным заключается в увеличении интенсивности кросс-поляризации электромагнитных волн участками полегания (рис. 2) вследствие увеличения множественного рассеяния излучения растительностью, а при VH-поляризации также и по причине уменьшения ослабления в объеме растительного полога падающего излучения при вертикальной поляризации [2].

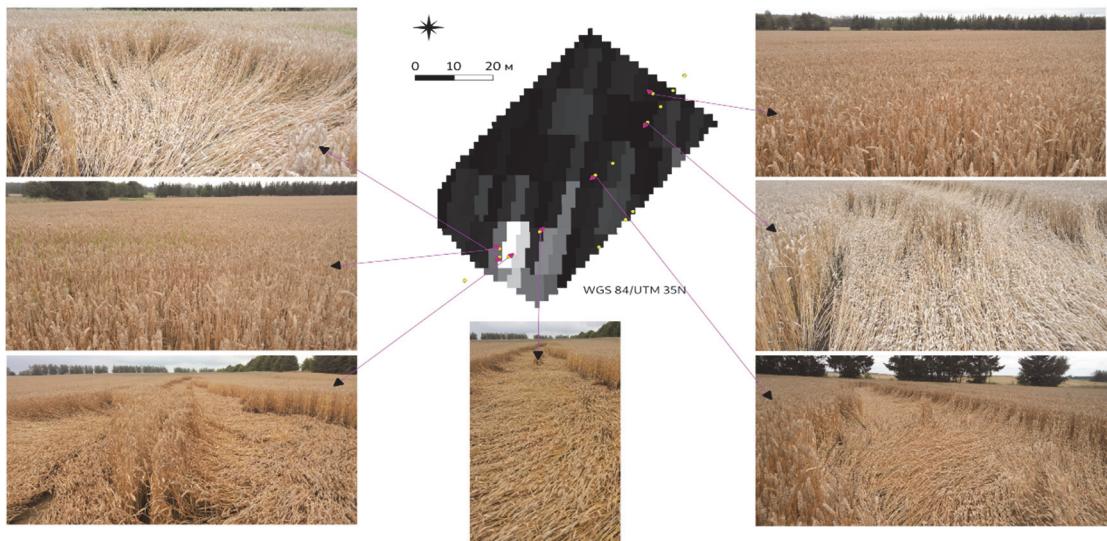


Рис. 2. Увеличение интенсивности VH-поляризации излучения участками полегания озимой пшеницы (спутник Sentinel-1, наземные и спутниковые данные получены 24.07.2018)

Полученная тематическая карта участков полегания может использоваться для планирования очередности уборки участков полей и оценки целесообразности раздельной уборки участков с полеганием и без полегания. При большой площади участков полегания целесообразна их отдельная уборка с последующим использованием собранного зерна в фуражных целях, поскольку полегание зерновых, как правило, приводит к снижению качества урожая и повышает вероятность заражения грибами с последующим появлением в зерне микотоксинов.

Для картографирования степени полегания на каждом участке необходимо существенно большее пространственное разрешение, чем у PlanetScope на рис.1 (3 м) и Sentinel-1 на рис.2 (5 x 20 м), достижимое с помощью БПЛА. Степень и направление полегания позволяет планировать способ уборки данных участков. Уборку сильно полеглых хлебов нужно вести в направлении полегания. Если хлеба покрученены и проросли травой, то такие участки следует убирать вкруговую или выделить для уборки двухфазным способом [3].

Дальнейшее развитие работы возможно в следующих направлениях. Использование БПЛА позволяет по результатам стереосъемки в оптическом диапазоне создавать цифровую модель полога с/х культуры, позволяющую на основе цифровой модели рельефа данного поля рассчитать высоту колосьев на каждом его участке. Используя оптические данные высокого пространственного разрешения возможно оценить также количество колосьев на каждом участке поля, а по съемке радаром с синтезированной апертурой – плотность колосьев. При использовании поляризационной интерферометрии в X-диапазоне возможна также оценка влажности колосьев, однако необходимо отметить, что вызванные турбулентностью атмосферы колебания траектории полета БПЛА приводят к существенному снижению качества результатов обработки снимков радара с синтезированной апертурой.

Полученная при дистанционном картографировании информация может использоваться для автоматической коррекции работы комбайна: скорости движения комбайна (количество или плотность колосьев и степень полегания), индекса (количество или плотность колосьев) и выноса мотовила (степень полегания), угла установки пальцев граблин (степень полегания).

В отношении картографирования влажности колосьев необходимо отметить, что она оказывает существенное влияние на процесс обмолота и очистки. Обычно содержание влаги можно измерить только в соломоподъемнике в конце процесса очистки, что означает невозможность вовремя отрегулировать систему обмолота и очистки. Полученные с помощью БПЛА ее измерения позволяют вовремя корректировать настройки комбайна.

Для практического использования радара с синтезированной апертурой на БПЛА для уменьшения уборочной потери урожая зерновых, кроме компенсации колебания траектории его полета под влиянием турбулентности атмосферы необходимо учесть, что ветер вызывает временное, в общем случае неоднородное по полю, полегание полога зерновых, что не отличимо на радарной съемке от их постоянного полегания. Возможные решения - ограничиться сильным полеганием зерновых или картографировать его как по радарным, так и по оптическим данным.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Математическое моделирование переноса радиации в растительных средах / Ю. Росс [и др.] // СПб.: Гидрометеоиздат. – 1992. – 198 с.
2. Wheat lodging monitoring using polarimetric index from RADARSAT-2 data / H. Yang [et al.] // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2015. – Vol. 34. – C. 157–166.

3. Рекомендации по организации и проведению уборки урожая зерновых, зернобобовых, крупяных культур, озимого и ярового рапса в 2020 году / Ф.И. Привалов [и др.] // РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию», РУП «Институт защиты растений». – 2020. – 17 с.

УДК 630\*585:629.735.33.052-52

## **МОНИТОРИНГ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

А.А. ПЕТРОВСКАЯ, И.А. ЕВКОВИЧ, А.А. БЕЛЯКОВ  
Белорусский государственный технологический университет,  
Минск, Беларусь

Проблема стихийных бедствий в лесном фонде (ветровалы, буреломы) становится в последние годы все более актуальной и требует проведения исследований с целью разработки эффективных методов и средств для ликвидации их последствий.

Наиболее разрушительный ветровал в Беларуси произошел в 2016 году, в результате которого площадь поврежденных лесонасаждений с различной степенью интенсивности составила 110 тыс. га, а объем поврежденной древесины – около 6 млн м<sup>3</sup> или 25% от годового объема заготовки лесоматериалов в стране. За 2022 год ущерб от ветровалов составил в общем объеме около 6 млн м<sup>3</sup> поврежденной древесины на площади 90 тыс. га.

Основные сведения по годам о повреждении лесных насаждений неблагоприятными факторами окружающей среды приведены в таблице 1.

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в лесном хозяйстве сегодня широко практикуется в лесохозяйственных учреждениях Республики Беларусь. При этом, воздушный мониторинг леса представляет собой систему регулярных наблюдений за состоянием лесов с целью оценки и прогноза его изменения. Регулярный мониторинг лесных земель помогает актуализировать электронную документацию и сопоставить ее с прогнозируемыми ранее результатами.

Сегодня в виду проблем стихийных бедствий, ветровалов и буреломов для оперативного освоения лесфонда, отвода его в рубку, уборки захламленности, необходимо проводить мониторинг поврежденных

лесных насаждений в короткие сроки и с соответствующим качеством. Наземные способы и средства определения границ поврежденных участков, используемые при отводе поврежденных лесных насаждений, а также оценки степени и характеристик повреждения являются малоэффективными и сопряжения с повышенным риском для работников лесного хозяйства.

Табл. 1 Повреждение насаждений ветровалами

Год	Повреждено всего		Фактически проведены всего	
	га	т. кбм		
			га	т. кбм
<b>Ветровалы по РБ</b>				
<b>2012</b>	43601,8	993,24	—	—
<b>2013</b>	40024,3	656,63	39886,7	649,27
<b>2014</b>	62607,5	1402,36	62170,5	1388,08
<b>2015</b>	66115,2	1149,58	65580,4	1140,23
<b>2016</b>	<b>110684,8</b>	5905,95	95402,2	5426,22
<b>2017</b>	37677,3	1064,01	37227,7	1028,56
<b>2018</b>	21895,0	429,89	21866,9	426,95
<b>2019</b>	37718,1	1122,80	37640,7	1112,90
<b>2020</b>	52770,0	1327,04	52522,2	1314,75
<b>2021</b>	46317,2	1034,01	46156,3	1013,20
<b>2022</b>	<b>89216,9</b>	5434,06	85722,3	5131,39

Для разработки мероприятий по ликвидации последствий стихийных бедствий в лесхозах требуется оперативное обследование поврежденных участков с их оценкой по ряду параметров.

Выходом из данной ситуации может служить аэрофотосъемка с использованием БПЛА, позволяющих оперативно и со сравнительно низкой себестоимостью произвести качественную съемку высокого разрешения с применением приборов геопозиционирования с последующим созданием фотоплана и его обработкой в геоинформационной системе (ГИС) для планирования мероприятий по ликвидации последствий негативного воздействия.

Выполненный анализ характеристик БПЛА показал, что для этих целей могут использоваться следующие модели: DJI Matrice 300 RTK Combo, Hubsan Ace Pro RTF 64GB , Walkera QR X350 Pro с передатчиком Devo 10, DJI Phantom 4 RTK SE Combo, DJI P4 Multispectral, Mavic2 Enterprise.

Рассмотрим применение БПЛА для планирования мероприятий по ликвидации последствий негативного воздействия на примере квадрокоптера DJI Phantom 4 RTK стоимостью 29400,00 бел. руб. с одной литий-ионной батареей в комплекте. Для более эффективной работы БПЛА

необходимы дополнительные аккумуляторы, стоимость одного составляет 959,00 бел. руб.

Ввиду того, что площадь поврежденных лесонасаждений в отдельных лесхозах варьируется от 50 га до 3200 га, необходимо определять рациональные обрабатываемые площади одним БПЛА. Анализируя возможности предлагаемых к использованию БПЛА с учетом комплекса факторов (стоимость, качество и функции выполняемых операций и др.) возможно производить обработку до 50 га одним специалистом. Исходя из экспериментально полученных данных в среднем для обработки такой площади с высоты 80 м квадрокоптеру DJI Phantom 4 RTK необходимо 4 аккумулятора. Так же необходимо иметь один запасной аккумулятор в виду непредвиденных обстоятельств. Значит стоимость одного комплекта будет составлять 33236 бел. руб. Работы по мониторингу поврежденных лесных насаждений с применением БПЛА будут выполняться в три этапа.

Первым этапом в планировании будет аэрофотосъемка поврежденных лесонасаждений. Оператор, начиная с границы ветровала производит полет вручную с целью установки границ поврежденных участков и определяет геокоординаты для последующей работы БПЛА в автономном режиме.

На втором этапе оператор выставляет задачи для БПЛА, который в свою очередь в автоматическом режиме производит аэрофотосъемку на высоте 80 м (2.5 см/пикс) и перекрытием 70 на 80. Таким образом обрабатывается 50 га за один цикл мониторинга в среднем в 4 цикла для смены аккумуляторов.

Третьим этапом планирования по оценке поврежденных лесонасаждений является создание более мелких и подробных карт местности, выставляя границы с возможными подъездными путями, а также отметкой опасных деревьев и других необходимых параметров.

Таким образом, полученные материалы помогают оценить размер ущерба и определить объем необходимых сил и средств для ликвидации последствий стихийных бедствий. В дальнейшем полученная информация используется для планирования мероприятий по использованию лесов, санитарно-оздоровительных, лесовосстановительных, противопожарных и иных мероприятий, направленных на скорейшую ликвидацию последствий поврежденных лесных насаждений, а также для составления необходимой документации в соответствии с действующим законодательством.

Это позволит повысить эффективность и безопасность освоения таких участков, а также обеспечить прогрессивные организационные меры по их транспортной доступности.

---

---

**III СЕКЦИЯ**

**ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ  
ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ  
НА ИХ ОСНОВЕ. ЦИФРОВЫЕ  
И ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

---

---

УДК 004.8

**ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В АНАЛИЗЕ ДАННЫХ  
С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ:  
ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА**

А.Д. БАРИЕВА

Казанский национальный исследовательский технический  
университет имени А. Н. Туполева – КАИ  
Казань, Россия

В последнее десятилетие мы наблюдаем значительный рост интереса к искусственному интеллекту (ИИ) и машинному обучению (МО) в различных сферах человеческой деятельности, включая обработку и анализ больших объемов данных. Одним из перспективных направлений применения ИИ является анализ данных, собранных с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), или, как их называют, дронов. Эти аппараты находят применение в самых разных областях — от сельского хозяйства до городского планирования и мониторинга окружающей среды.

Искусственный интеллект, особенно алгоритмы машинного обучения и глубокого обучения, играет ключевую роль в обработке и анализе данных, собранных БПЛА. Способность ИИ анализировать большие объемы данных в реальном времени позволяет выявлять закономерности и получать ценные выводы, недоступные при традиционных методах анализа.

При рассмотрении преимуществ использования ИИ в анализе данных с БПЛА можно выделить следующие:

- повышение эффективности и точности анализа данных — ИИ может обрабатывать огромные объемы данных быстрее и точнее, чем это было бы возможно при ручном анализе;
- автоматизация процессов — автоматизация сбора и анализа данных сокращает время на обработку и уменьшает вероятность ошибок;
- глубокий и многогранный анализ — использование алгоритмов глубокого обучения позволяет выявлять сложные закономерности и зависимости в данных, которые могут быть неочевидны при поверхностном анализе.

Примеры применения использования ИИ в анализе данных с БПЛА:

- сельское хозяйство — БПЛА собирают данные о состоянии посевов, которые анализируются ИИ для оптимизации урожайности и эффективного распределения ресурсов;
- мониторинг окружающей среды и природных катастроф — дроны, оснащенные датчиками для сбора разнообразных данных, в сочетании с алгоритмами ИИ, способны отслеживать изменения в окружающей среде и оперативно реагировать на природные катастрофы, предоставляя данные для принятия своевременных решений по эвакуации населения или смягчению последствий [1];
- городское планирование и управление — анализ данных с дронов помогает в управлении городскими проектами, включая мониторинг застройки, состояние дорожной инфраструктуры и планирование городских пространств. ИИ позволяет автоматизировать обработку данных и представлять детализированные аналитические отчеты, которые могут служить основой для стратегических решений в городском планировании;
- безопасность и надзор — БПЛА, оснащенные камерами высокого разрешения и другими сенсорами, могут использоваться для мониторинга общественной безопасности, наблюдения за перемещением людей и транспортных средств, а также для раннего обнаружения и предотвращения преступлений. ИИ обеспечивает быстрый анализ получаемых данных и может автоматически определять потенциальные угрозы или аномалии в поведении [2].

Применение ИИ к анализу данных с БПЛА сталкивается не только с технологическими, но и с этическими вызовами. Среди технологических проблем стоит отметить необходимость обработки огромных объемов данных в реальном времени и обеспечение высокой точности анализа. Эти задачи требуют значительных вычислительных ресурсов и разработки эффективных алгоритмов машинного обучения.

Этические вызовы связаны с приватностью данных и наблюдением. Важно гарантировать, что использование БПЛА и анализ данных

с их помощью не нарушает права человека и не приводит к необоснованному наблюдению за людьми без их согласия [3].

Разработка стандартов и регулирование использования этих технологий на законодательном уровне является ключевым аспектом для обеспечения этичного применения ИИ в анализе данных с БПЛА.

Развитие технологий ИИ для анализа данных с дронов требует совместных усилий ученых, инженеров, юристов и политиков. Создание международных стандартов и протоколов может помочь в устраниении рисков и неопределенности, связанных с этими технологиями. В дополнение, развитие образовательных программ и курсов, посвященных этике искусственного интеллекта и применению БПЛА, станет важным шагом в подготовке специалистов, осознающих как технологические, так и социальные аспекты своей работы.

Научное сообщество продолжает исследовать новые методы и алгоритмы ИИ, которые могут быть адаптированы для анализа данных с дронов, улучшая их точность и уменьшая время обработки. Прогресс в области искусственного интеллекта, такой как развитие нейронных сетей и алгоритмов машинного обучения, открывает новые возможности для более глубокого и многогранного анализа данных.

Важным аспектом является также развитие и интеграция систем реального времени для непосредственного анализа данных с БПЛА. Это позволит еще более оперативно реагировать на изменения в окружающей среде, быстро принимать решения в критических ситуациях и повышать эффективность мониторинга и управления.

В заключение, интеграция искусственного интеллекта в анализ данных с БПЛА открывает огромные возможности для науки, промышленности и общества в целом. Эти технологии способствуют повышению эффективности и точности анализа, позволяя принимать более обоснованные и своевременные решения. Однако успех этих инноваций будет зависеть от нашей способности справляться с техническими вызовами и разрабатывать эффективные меры по обеспечению этического использования и защиты приватности. Только через сбалансированный подход, включающий как инновации, так и ответственность, можно будет полностью реализовать потенциал ИИ в анализе данных с БПЛА, принося пользу всему человечеству.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Meier, P. (2015). Digital humanitarians: How big data is changing the face of humanitarian response. CRC Press.
2. Karpathy, A. (2017). Software 2.0 and the future of machine vision. Deep Learning for Computer Vision, 1(2), 34-56.

3. Finn, R.L., & Wright, D. (2012). Privacy, data protection and ethics for civil drone practice: A survey of industry, regulators and civil society organisations. *Computer Law & Security Review*, 28(4), 433-443.

УДК 681.783;528.7

**ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ  
ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

Е.А. ПРУС, Л.А. МИЦЕВИЧ, С.А. ЗАБАГОНСКИЙ

Государственное предприятие «Белгеодезия»

Минск, Беларусь

В настоящее время проблемы быстро развивающегося рынка малой авиации, дистанционно пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов (далее - БЛА), использования их как транспорта и обеспечения безопасности на земле и в воздухе при взлете, посадке, движении и в местах стоянок требуют комплексных решений и взаимодействия со многими структурами государственного управления. Необходимо одновременно учитывать географические, административные, социальные и экологические факторы, связанные с повышенной аромобильностью полетов БЛА в условиях городской среды.

Одной из главнейших задач в пилотируемой и беспилотной авиации является наличие точной информации о местоположении судна в воздушном пространстве при осуществлении взлета и посадки, в процессе движения и маневрирования. К сожалению, авиационные происшествия и катастрофы вертолетов, автожиров и других винтовых летательных аппаратов при столкновении с препятствиями на земле и в воздухе нередки. Одной из частых причин является опасное сближение с линиями электропередач. Такие препятствия должны быть маркированы либо нанесены на карту маршрута воздушного судна с указанием высоты относительно земли.

Стоит отметить, что в пилотируемой авиации этот вопрос все-таки контролируется человеком, который находится на борту и может повлиять на характеристики полета по ситуации или информации, которую он получил от диспетчера. В беспилотной авиации это задача оператора, который получает информацию с приборов БЛА.

Чаще всего в гражданской авиации при производстве работ специального назначения применяют БЛА с предустановленным спутниковым геодезическим приемником на борту. Такой модуль позволяет получить автономное решение расположения борта в пространстве с не-высокой точностью (10 и более метров).

Для повышения точности расположения БЛА в пространстве гораздо удобнее использовать сети постоянно действующих геодезических пунктов государства. В Республике Беларусь на протяжении нескольких лет успешно функционирует сеть постоянно действующих геодезических пунктов Спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь (далее – ССП Республики Беларусь), национальным оператором которой является государственное предприятие «Белгеодезия». На практике доказано – применение информации ССП Республики Беларусь значительно экономит время и материальные ресурсы на производство инженерных работ.

Однако стоит отметить вопрос каналов связи и процессы передачи информации. Сегодня в конструкцию большинства БЛА, реализуемых для инженерных работ, встроен только спутниковый геодезический приемник. Поправки от ССП Республики Беларусь поступают через GSM-модем, который установлен в пульт, и передаются через радиосвязь на борт БЛА. Конечно, такая конструкция позволяет минимизировать размеры и вес борта, но увеличивает риски. Под рисками подразумевается вероятность потери связи из-за наличия радиопомех в мелких и крупных городах, а также большого количества препятствий. Следовательно, растет вероятность небезопасных полетов в городской черте. Для уменьшения рисков при решении промышленных задач достаточно часто возникает необходимость проходить один и тот же маршрут дважды и более.

Для повышения точности определения пространственных координат беспилотных воздушных судов предлагается перенять опыт технологического обеспечения наземных и надводных беспилотных аппаратов. В конструкции таких аппаратов GNSS-приемник и GSM-модем встроены, маршрут и задание на них передается по 4G сети, технологии Wi-Fi, сетевым мостам 5G и кабельным интерфейсам. Таким образом, появляется возможность передачи и получения информации с исключением одного из каналов связи, а также исключение риска потери соединения. Оптимальным соединением на данный момент в Республике Беларусь является 4G соединение.

За счет такой схемы передачи информации борт БЛА автономно получает поправки от ССП Республики Беларусь, а оператор, ответственный за маршрут, также соединяется с воздушным судном по сети

интернет. Одновременно с этим, БЛА более точно позиционирует себя в воздушном пространстве и сокращает буферную зону (коридор), выделенную для осуществления маршрута.

При заданном эшелоне для БЛА до 100 метров увеличение точности соблюдения маршрута с 10 метров до 0,4 метров открывает большие возможности для реализации на практике различных производственных и гражданских задач: мониторинг сооружений электросетей и коммуникаций, геодезические и картографические работы, надзор за эксплуатацией зданий, доставка малогабаритных грузов и аэротакси.

В то же время появляется необходимость обеспечения контроля работоспособности и подтверждения заявленных точностных характеристик предустановленного GNSS оборудования на борту. Этот процесс может быть проведен в процессе прохождения метрологического контроля БЛА в аккредитованных лабораториях.

С целью определения и подтверждения точностных характеристик БЛА предлагается использовать аттестованный эталонный геопространственный полигон. Принцип действия полигона основан на передаче размера единицы длины полигона рабочим средствам измерений и сравнении полученных результатов с эталонными значениями соответствующих значений полигона. Он включает в себя сеть геодезических пунктов, закрепленных на местности центрами долговременной сохранности.

Оценка точности определения координат должна осуществляться после проведения аэрофотосъемки на территории полигона с применением поправок от ССТП Республики Беларусь и после проведения обработки данных, полученных в результате аэрофотосъемки БЛА в установленной системе координат с использованием программ обработки аэрофотосъемки фирмы-изготовителя.

В результате обработки рассчитываются координаты контрольных точек тестового полигона, полученные из материалов аэрофотосъемки контролируемого БЛА. Рассчитанные координаты сравниваются с действительными эталонными данными для вычисления средней квадратической погрешности определения точек земной поверхности. По результатам вычислений устанавливается степень пригодности БЛА для выполнения специализированных работ.

Таким образом, при своевременном контроле работоспособности и точностных характеристик БЛА и применением информации от ССТП Республики Беларусь при выполнении работ различного назначения появляется возможность обеспечивать безопасность полетов, получить информацию о нахождении судна в воздушном пространстве и улучшить конечный результат аэрофотосъемочных работ.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. О геодезической и картографической деятельности [Электронный ресурс]: Закон Респ. Беларусь, 13 декабря 2021 г. №132- З; принят Палатой представителей 09 ноября 2021 г.: одобр. Советом Респ. 29 ноября 2021 г // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024.

2. Об утверждении Положения о Единой системе навигационно-временного обеспечения Республики Беларусь [Электронный ресурс]: Постановление Совета Мин. Респ. Беларусь 15 мая 2012 г. № 440// ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. – Минск, 2024

3. Ямбаев Х.К. Геодезическое инструментоведение: Учебник для вузов / Х.К. Ямбаев – Москва: Академический Проект, 2020. – 583 с.

4. Карауш Е.А., Печерица Д.С. Государственный первичный эталон координат местоположения ГЭТ 218-2022: исследование метрологических характеристик / Е.А. Карауш, Д.С. Печерица – Измерительная техника, 2022-№11. – 3-8 с.

УДК 621.3.04

## **К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПЕЧАТНЫМ СТАТОРОМ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

А.П. БУЙВИД, А.А. РАДКЕВИЧ, С.А. ПАВЛЮКОВЕЦ,  
А.А. ВЕЛЬЧЕНКО

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

В настоящее время благодаря новейшим разработкам компонентов для электрических приводов, аккумуляторов, электрооборудования и систем управления, росту мощности электродвигателей, возможность применения электрического привода в летательных аппаратах становится все более реальной. Энергетическая эффективность и удельная мощность играют ключевую роль в определении того, является ли электрический привод подходящим вариантом для применения в авиации.

Вентильный двигатель с печатным статором без сердечника и без зубцов статора обладает такими преимуществами, как высокая плотность мощности и крутящего момента, отсутствие крутящего момента

сцепления, низкий уровень пульсаций, нулевые или минимальные потери в сердечнике, это все помогает повысить общую эффективность электропривода [1]. Поэтому, можно рассмотреть вентильный двигатель с печатным статором на постоянных магнитах без сердечника с осевым магнитным потоком и оценить возможность его применения для электрической тяги в беспилотных летательных аппаратах, а также рассмотреть особенности по проектированию и оценке производительности такого электрического привода.

Электрификация силовых установок летательных аппаратов традиционно предполагает создание тяги, создаваемой электродвигателем, приводящим в движение лопасти беспилотного летательного аппарата. Для достижения этой цели необходим электропривод с высокой мощностью и надежностью, малым весом и высокой энергоэффективностью. Наряду с этими условиями также важен низкий уровень шума, вибраций и жесткость системы, которые определяют идеальные характеристики электродвигателя.

Современные вентильные двигатели, в частности, с печатным статором при практическом применении показывают значения удельной мощности более 2,3 кВт/кг, что является подходящим для существующих беспилотных летательных аппаратов, требующих для взлёта 95% эффективности при активной массе менее 8 кг [2]. При этом стоит цель увеличения удельной мощности более 12 кВт/кг, поэтому требуется значительное увеличение удельной мощности.

Для достижения высокой плотности крутящего момента и КПД в 95% при пиковой мощности подходит вентильный двигатель с печатным статором на постоянных магнитах с осевым магнитным потоком. Конструкция безынерционного и сегментированного ротора характеризуется высокой производительностью при высокой плотности тока [3], которая требуется для взлета.

Электродвигатели с печатным статором с осевым магнитным потоком привлекают внимание в качестве подходящих вариантов для движителей беспилотных летательных аппаратов из-за высокой удельной мощности и энергоэффективности, достигаемых за счет особенной конструкции статора и исключающие использование сердечника в катушках статора, что способствует значительному уменьшению потерь на перемагничивание и, в свою очередь, обеспечивает снижения массы самого движителя.

В табл.1 представлен сравнительный обзор конструкций статора вентильных двигателей и связанных с ним показателей производительности [4].

Табл. 1. Конструктивные особенности статора вентильных электродвигателей [4]

№ п\п	Тип статора	Номинальная скорость, км/мин	Мощность, Вт
1	Без пазов с радиальным магнитным потоком	15	1000
2	Без сердечника с радиальным магнитным потоком	6	37
3	С разной толщиной дорожек печатной платы	25	16
4	Со спиральной обмоткой статора	1,8	11,2
5	С шестиугольной обмоткой статора	0,375	0,4
6	С концентрической обмоткой статора	7,5	0,28
7	С волновой обмоткой статора	3	0,18

Приведенные в табл. 1 конструкции статора электродвигателей работают с использованием многожильного провода, литцевого провода и спиральных, шестиграных и волновых топологий обмоток статора с определенным диапазоном мощности от 0,3 до 2,3 кВт/кг. В приведенной выше таблице 1, конструкция статора с осевым магнитным потоком без сердечника более привлекательна благодаря своей модульной конструкции и высокой целостности [4].

Вентильные двигатели без сердечника и без пазов с печатным статором могут быть спроектированы таким образом, чтобы иметь широкий диапазон номинальной мощности, варьирующийся в несколько МВт. Однако двигатели без сердечника обычно имеют значительно меньшую индуктивность, чем двигатели с сердечником, что приводит к более низким максимальным скоростям. В то же время двигатели с меньшей индуктивностью требуют более низких напряжений на клеммах для работы с заданной угловой скоростью. При этом с целью обеспечения постоянной мощности для требуемого дополнительного диапазона скоростей возможна реализация таких методов, как относительное вращение диска статора в качестве способа уменьшения потокосцепления или использование управляемого каскада повышения постоянного тока на входе электропривода и ослабление тока [4].

Анализ существующих разновидностей конструкций вентильных электроприводов с печатным статором показывает реальную перспективу их применения для приведения в движение лопастей беспилотных летательных аппаратов. С учётом требований, предъявляемых к масогабаритным и энергетическим показателям электрооборудования беспилотных летательных аппаратов, двигатели с печатным статором с осевым магнитным потоком без сердечника с различными типами обмоток статора отличаются высокой удельной мощностью и высокой плотностью крутящего момента, а также имеют КПД, достигающий отметки 95 %, что позволяет их использовать в летательных аппаратах небольшой грузоподъёмности.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Taran, N. Waved: A coreless axial flux PM motor for drive systems with constant power operation. / N. Taran, V. Rallabandi, D. M. Ionel. // 2019 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC). – 2019. – P. 1–6.
2. Talebi, D. Electromagnetic Design Characterization of a Dual Rotor Axial Flux Motor for Electric Aircraft. / D. Talebi, M. C. Gardner, S. V. San-karraman, A. Daniar, H. A. Toliyat. // 2021 IEEE International Electric Machines & Drives Conference (IEMDC), Hartford, CT, USA. – 2021. – P. 1–8. DOI:10.1109/IEMDC47953.2021.9449611.
3. Taran, N. Evaluating the effects of electric and magnetic loading on the performance of single- and double-Rotor axial-flux PM machines. / N. Taran, G. Heins, V. Rallabandi, D. Patterson, D. M. Ionel. // IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 56, no. 4. – Jul.-Aug. 2020. – P. 3488–3497.
4. Lawhorn, D. On the design of coreless permanent magnet machines for electric aircraft propulsion. / D. Lawhorn, P. Han, D. Lewis, Y. Chulaee, D. M. Ionel. // 2021 IEEE Transportation Electrification Conference & Expo (ITEC). – IEEE, 2021. – P. 278–283.

УДК 621.785

## **ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

**В.С. ВАСИЛЮК, Е.С. КРИВЧЕНЯ**

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

В эпоху быстрого технологического развития беспилотные аппараты становятся все более востребованными в различных сферах, включая авиацию, морскую навигацию, сельское хозяйство, транспорт и многое другое. Инновационные технологии играют ключевую роль в разработке и производстве таких устройств, открывая новые возможности и решая сложные задачи. В этой статье будут рассмотрены, какие вызовы и перспективы существуют в интеграции инновационных технологий в процесс проектирования и производства беспилотных аппаратов.

Тема интеграции инновационных технологий в проектировании и производстве беспилотных аппаратов является актуальной и на сегодняшний день по нескольким причинам. Во-первых, с ростом автоматизации и цифровизации в различных сферах деятельности, включая транспорт, сельское хозяйство, мониторинг окружающей среды и т.д., спрос на беспилотные аппараты продолжает расти. Эти устройства предлагают широкий спектр преимуществ, таких как повышение производительности, снижение затрат, улучшение безопасности и оптимизация процессов. Во-вторых, беспилотные аппараты играют все более важную роль в решении сложных задач, таких как доставка грузов, мониторинг состояния окружающей среды, обеспечение безопасности и т. д. Инновационные технологии в этой области позволяют создавать более эффективные и функциональные устройства, способные решать эти задачи более эффективно и точно. Также, интеграция инновационных технологий в проектировании и производстве беспилотных аппаратов имеет стратегическое значение для различных стран, включая Беларусь. Это направление развития помогает странам расширять свои возможности в области высоких технологий, создавать новые рабочие места, стимулировать экономический рост и повышать свою конкурентоспособность на мировом рынке. Однако, разработка и производство таких устройств сопряжены с рядом вызовов и сложностей.

Справляясь с этими вызовами и используя возможности новых технологий, мы можем создать более эффективные, безопасные и производительные беспилотные аппараты, которые будут играть все более важную роль в различных областях человеческой деятельности.

Один из основных вызовов – это сложность системы беспилотных аппаратов. Включая в себя комплексные аспекты, такие как навигация, управление, обнаружение и избежание препятствий, а также автономные функции, разработка таких систем требует применения передовых инновационных технологий и инженерных решений. Безопасность также является критическим аспектом при разработке и производстве беспилотных аппаратов. Надежное функционирование системы и минимизация рисков аварий являются ключевыми задачами, для решения которых необходимо внедрение передовых технологий в области безопасности.

Существующее законодательство и регулирование также оказывают влияние на процесс разработки и производства беспилотных аппаратов. Инновационные технологии должны соответствовать законодательным требованиям и стандартам безопасности, что требует постоянного обновления и адаптации.

Однако, несмотря на эти вызовы, интеграция инновационных технологий в проектировании и производстве беспилотных аппаратов открывает широкие перспективы для развития. Улучшение производительности,

расширение возможностей, а также снижение затрат – это лишь некоторые из преимуществ, которые могут быть достигнуты благодаря инновациям в этой области.

В контексте Республики Беларусь, развитие инновационных технологий в области беспилотных аппаратов является стратегически важным направлением. Правительство активно поддерживает инновационные инициативы, предоставляя финансовую поддержку и льготы для развития индустрии. Развитие кадрового потенциала и создание условий для инноваций в этой области становится приоритетом для страны. Таким образом, интеграция инновационных технологий в проектировании и производстве беспилотных аппаратов представляет собой сложный, но перспективный процесс, который требует совместных усилий со стороны инженеров, научных исследователей, предпринимателей и правительственные структуры для достижения успеха и внедрения на практике.

УДК

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ  
ДЛЯ ОЦЕНКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФИЛЯ КРЫЛА В ЗАВИСИМОСТИ  
ОТ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЫЛКА**

Е.В. ГАЗИЗОВА, К.К. ИСМАИЛОВ

Томский государственный университет  
Томск, Россия

**Введение.** Сегодня в условиях растущего интереса к беспилотным авиационным системам возникает необходимость в ускорении процессов их проектирования. Предложенная в настоящей работе аппроксимирующая модель позволит ускорить процесс проектирования и оптимизации крыльев. Быстрая оценка аэродинамических характеристик профиля крыла позволит сократить время и затраты на создание прототипов и проведение экспериментов в аэродинамических трубах. Кроме того, такая модель может быть использована для оптимизации работы систем автоматического управления полетом, что повысит безопасность и эффективность выполнения полета.

**Постановка задачи и метод решения.** Рассматривается двумерная аэродинамика профиля крыла NACA2412, оснащенного поворотным

закрылком, в условиях дозвукового стационарного течения при стандартной атмосфере ГОСТ 4401-81. Ширина закрыла 20% хорды ( $b$ ) и его шарнир располагается вблизи верхней обшивки крыла. Целью исследования является определение зависимостей аэродинамических коэффициентов профиля от угла вывода закрылка в широком диапазоне рабочих режимов аэродинамики.

Начало системы координат помещено в точку  $0.25b$ . В рассматриваемых задачах приняты следующие допущения:

$$b = 0.1 \div 0.5 \text{ м};$$

$$U = 5 \div 30 \text{ м/с};$$

$$h = 0 \div 5000 \text{ м};$$

$$\nu = 1.4607 \cdot 10^{-5} \div 2.2110 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с},$$

$$\rho = 1.225 \div 0.736 \text{ кг/м}^3,$$

где  $b$  – длина хорды;  $U$ ,  $h$  – скорость и высота полета;  $\nu$ ,  $\rho$  – вязкость и плотность воздуха. Тогда диапазон чисел Рейнольдса, характеризующий режимы обтекания:

$$Re = 3 \cdot 10^4 \div 10^6.$$

Аэродинамика профиля крыла описывается уравнениями Навье-Стокса, осредненных по Рейнольдсу, и замыкаются  $k-\omega$  SST моделью турбулентности. Схема расчетной области и границы показаны на рис. 1. На поверхности профиля крыла скорость потока равна нулю, исходя из условия прилипания:

**Г1:**  $\vec{U} = 0$ ;  $\frac{\partial p}{\partial n} = 0$ ;  $k$  и  $\omega$  – пристеночные функции. На входе в расчетную область задано начальное распределение скорости:

**Г2:**  $\vec{u} = (U; 0; 0)$ ;  $\frac{\partial p}{\partial n} = 0$ ;  $k = const$  и  $\omega = const$ . На нижней и верхней границах расчетной области задано условие симметрии:

**Г3, Г4:**  $\frac{\partial}{\partial n}(u, p, k, \omega) = 0$ . На выходной границе расчетной области задано мягкое граничное условие:

$$\text{Г5: } p = const; \frac{\partial}{\partial n}(u, k, \omega) = 0.$$

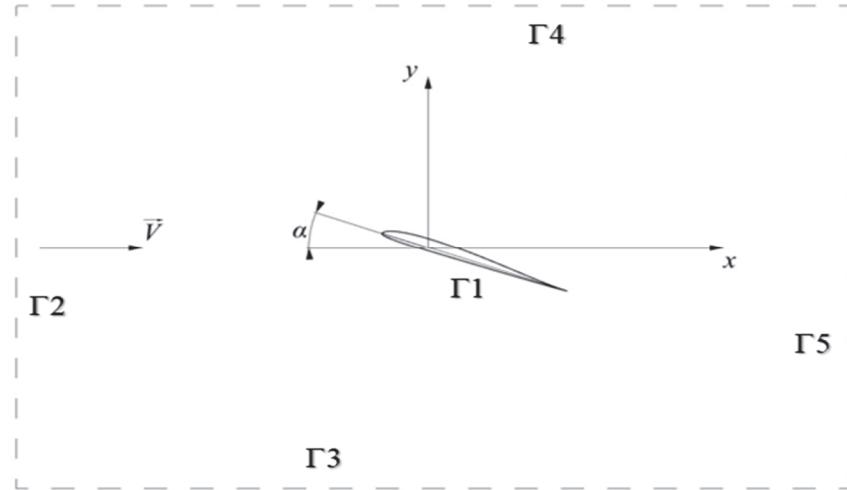


Рис.1. Расчетная область

Коэффициент подъемной силы  $c_y$  для профиля крыла с выведенным закрылком будет определяться в следующей форме:

$$c_y = c_y^a (\alpha - \alpha_0) + f(\phi), \quad (1)$$

где  $c_y^a$  – коэффициент роста подъемной силы,  $f(\phi)$  – искомая функция, отражающая влияние закрылка в зависимости от угла его вывода  $\phi$ .

Расчеты проводились с использованием CloudCFD – облачной системы проведения газодинамических расчетов [1]. Система основана на пакете OpenFOAM, поэтому использовался стационарный решатель SIMPLE, второй порядок схем по пространству и второй порядок схем конвективных слагаемых. Схематически расчетная сетка имеет тип С (рис. 2), она очень точно описывает геометрию рассматриваемых профилей и пограничный слой.

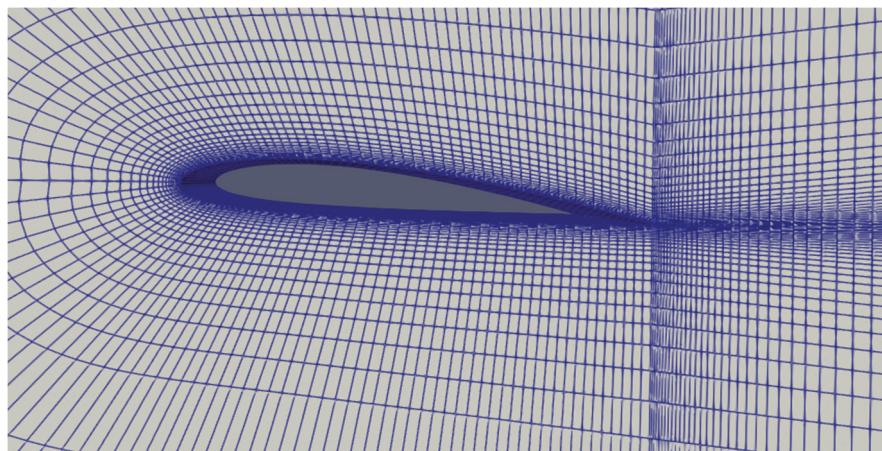


Рис.2. Пример расчетной сетки.

**Результаты расчетов.** По результатам параметрического исследования получены 1038 расчетных кейсов для чисел Рейнольдса;  $3 \cdot 10^4$ ,  $5 \cdot 10^4$ ,  $7.5 \cdot 10^4$ ,  $10^5$ ,  $2 \cdot 10^5$ ,  $5 \cdot 10^5$ ,  $10^6$ ; углов вывода закрылка  $\Phi$ :  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ; и углов атаки  $\alpha$  в диапазоне от  $-5^\circ$  до  $15^\circ$ .

Было определено, что с ростом числа Рейнольдса наблюдается незначительное увеличение коэффициента подъемной силы – увеличение коэффициента роста  $C_y^a$ , сдвиг максимума в сторону больших углов атаки (рис. 3); также уменьшается коэффициент сопротивления (рис. 4), что хорошо согласовывается с теорией аэродинамики крыльев – с ростом числа Рейнольдса уменьшается толщина пограничного слоя, увеличивается площадь, омываемая скоростным потоком.

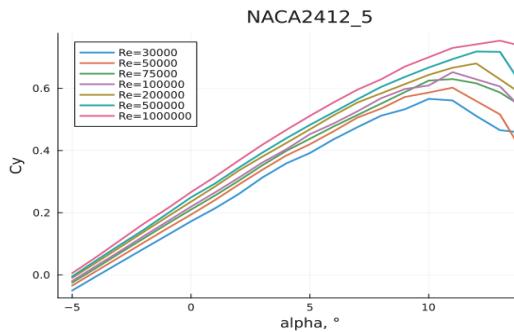


Рис.3. Коэффициент подъемной силы в для  $\Phi = 5$

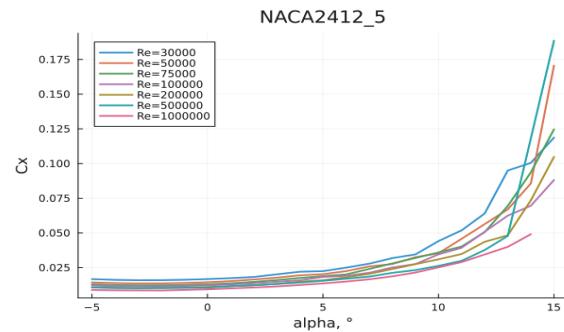


Рис.4. Коэффициент силы сопротивления для  $\Phi = 5$

При выводе закрылка на малых углах  $\Phi$  наблюдается практически плоскопараллельный сдвиг кривой коэффициентов подъемной силы и момента пропорционально  $\Phi$  (кривизне профиля) (рис. 5 и рис. 6), и незначительное увеличение коэффициента сопротивления (рис. 7). Наблюдается линейная зависимость коэффициента подъемной силы от угла вывода закрылка  $\Phi$  (рис. 8).

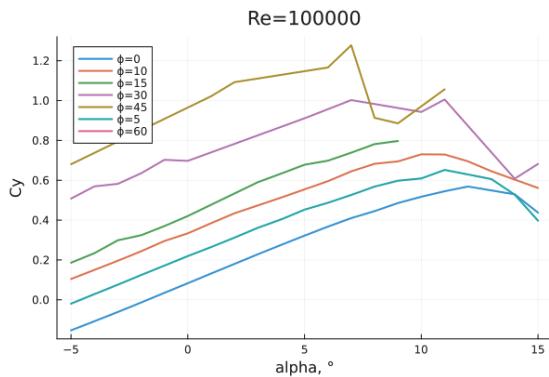


Рис.5. Коэффициент подъемной силы разных  $\Phi$ ,  $Re = 10^5$

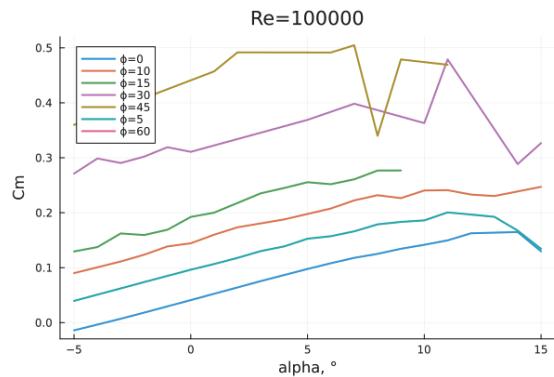


Рис.6. Коэффициент момента для разных  $\Phi$   $Re = 10^5$

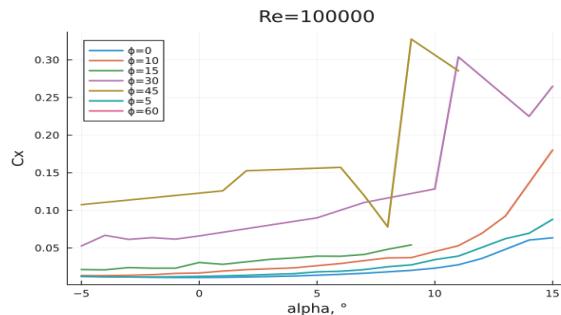


Рис.7. Коэффициент силы сопротивления для разных  $\Phi$ ,  $Re = 10^5$

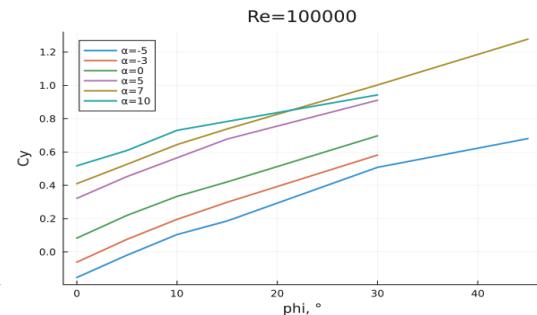


Рис.8. Коэффициент подъемной силы в зависимости от  $\Phi$  для некоторых  $\alpha$ ,  $Re = 10^5$

Анализ полученных расчетных данных показал, что аппроксимирующая модель возможна, и ее можно будет использовать не только при проектировании крыльев БПЛА. Форма аппроксимирующей модели позволит внедрить ее в систему управления БПЛА, симуляторы полетов. Однако сейчас расчетных точек недостаточно для точного определения аппроксимирующей модели, поэтому планируется дальнейшее исследование этого вопроса в том числе и на другие профили крыльев.

## ЛИТЕРАТУРА

1. CloudCFD – облачная платформа для решения газодинамических задач [Электронный ресурс]. URL: <http://cloudcfd.ru>

УДК 629.7.054.07

# МАЛОГАБАРИТНЫЙ ГИРОПОЛУКОМПАС С АНАЛИТИЧЕСКОЙ АЗИМУТАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ДЛЯ БПЛА САМОЛЁТНОГО ТИПА

Р.И. ГИЛЕМХАНОВ

Казанский национальный исследовательский технический  
университет имени А. Н. Туполева – КАИ  
Казань, Россия

В статье рассматривается построение гирополукомпаса с аналитической азимутальной коррекцией для беспилотного летательного аппарата самолётного типа, отличительной чертой которого является габаритные размеры и повышение точности компенсации влияния вертикальной

составляющей угловой скорости вращения Земли и дрейфа от остаточного небаланса.

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА), воздушное судно, выполняющее полёт с целевой нагрузкой без пилота на борту. Предназначен для использования в военных и гражданских целях.

Типы БПЛА согласно их конструкционным особенностям [1]:

1. Самолётные БПЛА с неподвижным крылом - отличаются большой дальностью действия и высокой длительностью полёта, поэтому большинство средних и тяжёлых БПЛА представляют собой именно беспилотники самолётного типа с классической аэродинамической схемой оперения, например, воздушная мишень «Дань».

2. Беспилотные вертолёты - обладают высоким быстродействием и хорошей стабилизацией курса. Минусами являются их сложная аэrodинамическая конструкция и большие размеры ведущего винта, выходящие за габариты самого БПЛА.

3. Мультикоптеры - безусловным достоинством является их относительно низкая стоимость, возможность вертикального взлёта с любой неподготовленной площадки и способность зависания над наземным объектом. Главными же недостатками являются низкая скорость, ограниченный радиус действия, недостаточная грузоподъёмность и короткое время полёта.

4. БПЛА с гибридной конструкцией - такой БПЛА имеет преимущества вертикального взлёта за счёт наличия четырёх дополнительных двигателей, расположенных под плоскостью крыла и одновременно он может развивать серьёзную скорость в полёте благодаря аэродинамической схеме самолётного типа.

Для самолётного БПЛА в качестве курсового прибора предлагается использовать гирополукомпас (ГПК).

ГПК является гироскопическим навигационным прибором, облегчающим полёт летательного аппарата вдоль выбранного направления и совершение разворотов на заданные углы.

Для уменьшения погрешностей, вызванных вредными моментами и вращением Земли вокруг своей оси, в ГПК применяется два вида коррекции: азимутальная и горизонтальная коррекции.

Азимутальная коррекция (АК) компенсирует влияние вертикальной составляющей вращения Земли  $\omega_v = \Omega_z \sin\phi$ , зависящей от широты  $\phi$  места летательного аппарата.

Систему АК можно осуществить четырьмя способами [3]: моментная АК - за счет прецессии ротора системного датчика угла (СДУ) курса в направлении  $\omega_v$ ; кинематическая внутренняя АК - за счет

вращения статора СДУ курса в направлении  $-\omega_v$ ; кинематическая внешняя АК - за счет вращения в направлении  $-\omega_v$ ; статора дифференциального сельсина или СКТ в блоке согласования, которые подключены к СДУ, а так же аналитическая АК [2].

Недостатком первых трёх систем АК является громоздкость конструкции (наличие датчика моментов по оси подвеса гироузла или привода вращения статора системного датчика угла) и пониженная точность формирования момента АК и как следствие введение компенсации  $\omega_v$  с погрешностью.

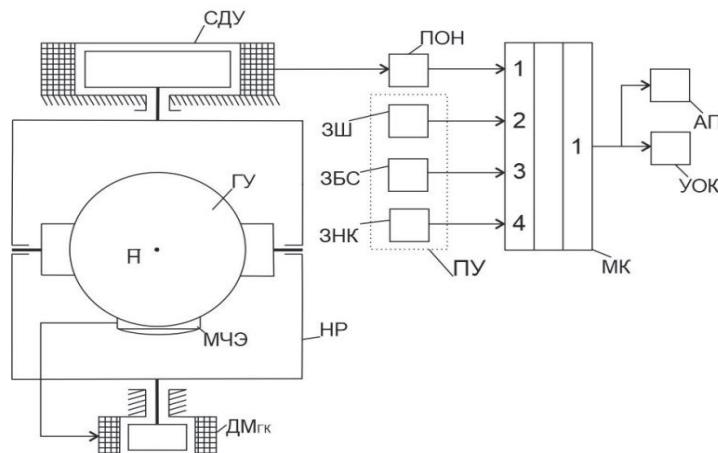


Рис.1. Структурно-кинематическая схема гирополукомпаса с аналитической азимутальной коррекции

Аналитическая азимутальная коррекция формируется программно (рис.1) в микроконтроллере (МК) путём обработки сигналов статора СДУ, прошедшего преобразование в двоичный код в преобразователе аналог-код (например, в ПОН - преобразователь отношений напряжений, если СДУ является СКТ), задатчика широты ЗШ, расположенного в пульте управления ПУ, которые соответственно подключены на первый и второй входные порты МК. Установка начального ортодромического курса осуществляется задатчиком начального курса ЗНК, подключённым на четвёртый входной порт МК. Компенсация постоянной составляющей небаланса осуществляется задатчиком балансировочного сигнала ЗБС, подключённого на третий входной порт МК. Указатель ортодромического курса УОК подключен к выходному порту МК для проверки работы ГПК (находится в наземном пульте), сигнал с которого поступает в автопилот (АП) БПЛА.

Поясним один цикл работы МК. После включения ГПК и набора гиромотором номинальных оборотов, опрашивается преобразователь

ПОН. При этом показание СДУ  $\Psi_c(t_0)$  записывается в заданную ячейку памяти оперативного запоминающего устройства (ОЗУ).

Так как ротор СДУ стабилизирован гироскопом, то вертикальная составляющая вращения Земли вокруг своей оси создаёт методическую погрешность в измерении курсового угла. Для её компенсации достаточно вычислить угол поворота, соответствующий этой угловой скорости в зависимости от широты  $\phi$

$$\int_{t_i}^{t_{i+1}} \Omega_3 \sin \phi(t_i) \cdot dt = \Omega_3 \sin \phi(t_i)(t_{i+1} - t_i) = \Omega_3 \sin \phi(t_i) \cdot \Delta T,$$

где  $\Delta T = t_{i+1} - t_i$  – шаг вычислительного цикла. При этом  $\Omega_3 = 7,29 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$  записана в ОЗУ как константа.

После приведения ГПК в рабочее состояние СДУ выдаст произвольное значение угла ортодромического курса. Чтобы в полете можно было пользоваться ГПК, следует выставить значение стояночного курса БПЛА. Для этого необходимо воспользоваться задатчиком начального курса ЗНК, на котором будет сформировано дополнительное значение для показаний системного датчика угла СДУ в виде добавки  $\Delta \psi_{3k}$

$$\Delta \psi_{3k} = \psi_3(t_0) - \psi_c(t_0),$$

где  $\psi_3(t_0)$  – стояночный курс БПЛА,  $\psi_c(t_0)$  – показание СДУ.

Для компенсации влияния остаточного небаланса (производится во время регламентных работ – процесс калибровки) необходимо с задатчика балансировочного сигнала ЗБС подать сигнал на проведение калибровки. В результате работы определяется систематическая составляющая угловой скорости дрейфа по формуле:

$$\omega_{dp}^c = \frac{\psi_{mk}(T_k) - \psi_{mk}(T_h)}{T_k - T_h},$$

где  $\psi_{mk}(T_h)$ ,  $\psi_{mk}(T_k)$  – показание УОК в начале и в конце процесса калибровки, которые записываются в заданные ячейки ОЗУ;  $T_h, T_k$  – время начала и окончания процесса калибровки, которые записываются в заданные ячейки ОЗУ.

При этом, если  $\psi_{mk}(T_k) - \psi_{mk}(T_h) > 0$ , то  $\omega_{dp}^c < 0$  и, если  $\psi_{mk}(T_k) - \psi_{mk}(T_h) < 0$ , то  $\omega_{dp}^c > 0$ .

Таким образом, показание указателя микроконтроллера будет определяться по формуле

$$\Psi_{\text{МК}}(t_i) = \Psi_c(t_i) - \int_{t_i}^{t_{i+1}} \Omega_3 \sin \varphi(t_i) \cdot dt + \int_{t_i}^{t_{i+1}} \omega_{\text{дп}}^c \cdot dt + \Delta \Psi_{\text{зк}},$$

В которой учтены все компоненты, влияющие на точность формирования ортодромического курса.

**Заключение.** 1. Разработана оригинальная схема аналитической АК ГПК, упрощающая его конструкцию и повышающая точность определения курсового угла.

2. Предложена методика калибровки дрейфа от небаланса.
3. Составлена блок-схема работы МК в соответствии с предложенными формулами.
4. ГПК с предложенной аналитической АК можно использовать в системе управления в курсовом канале БПЛА типа «Дань».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Крамарь В.А. Беспилотные летательные аппараты, их электромагнитная стойкость и математические модели систем стабилизации / В. А. Крамарь. – НИЦ ИНФРА-М, 2024 – 183 с.
2. Пат. 2799738 Российской Федерации, МПК G01C 19/54 (2006.01), СПК G01C 19/54 (2023.05). Гирополукомпас с аналитической азимутальной коррекцией / Кривошеев С. В., Стрелков А.Ю., Гилемханов Р.И.; заявитель и патентообладатель "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ". – №2023112849; заявл. 18.05.2023; опубл. 11.07.2023, Бюл. №20. – 9 с.: ил.
3. Кривошеев С.В. Курсовые системы / С.В. Кривошеев. – КНИТУ КАИ им. А.Н. Туполева. – Казань, 2015. - 59 с.

УДК 629.7.02

## АВТОМАТИЗАЦИЯ НАМОТКИ ГОЛОВНОГО ОБТЕКАТЕЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Г.В. СЫРОВОЙ, Т.В. ПОБЕДА, В.А. ПЕРЕВОЗЧИКОВ  
Луганский государственный университет имени Владимира Даля  
Луганск, Россия

Важным этапом в моделировании многослойных конструкций элементов летательных аппаратов (ЛА), изготавливаемых методом намотки из волокнистых композиционных материалов (КМ), является

разработка математической модели процесса армирования путем укладки композиционной ленты на поверхность оправки, на основе чего оценивается возможность реализации конкретной схемы армирования и получения требуемых свойств изделия. От точности разработки этой модели во многом зависит точность расчета параметров процесса намотки, расчет управляющей программы для намоточного оборудования с ЧПУ [1].

В настоящее время существует три метода расчета армированных многослойных корпусов из волокнистых КМ: первый метод основан на традиционных способах расчета конструкций из изотропных материалов, во втором методе связующее вещество не является несущим элементом конструкции, вследствие чего армированная оболочка рассматривается как нитевая оболочка. В третьем методе рассматривается "ленточная" модель, основанная на том предположении, что геометрические характеристики поверхности и параметры армирования в зависимости от внешней формы оправки изменяются в процессе намотки не только вдоль траектории армирования, но и по ширине ленты [2].

Головной обтекатель для летательного аппарата представляет собой сложную многослойную конструкцию с большими размерными перепадами по диаметру, поэтому его продолжают изготавливать выкладкой ручным способом. Следовательно, разработка управляющей программы для автоматизации процесса изготовления головного обтекателя малогабаритного летательного аппарата является актуальной задачей.

Цель данной работы состоит в автоматизации процесса изготовления головного обтекателя из волокнистого композиционного материала на основе совершенствования управляющей программы для намотки.

При моделировании технологического процесса намотки, принимаем "нитянную" модель укладки армирующего материала и расчета параметров этого процесса. На основе этой модели рассчитываются все параметры процесса намотки корпуса лентой конечной ширины для оправки, изготовленной по внутреннему контуру изделия. Для получения внешнего теоретического контура головного обтекателя летательного аппарата (рис. 1) часто требуется коррекция формы, при которой теоретическая поверхность преобразовывается в поверхность оправки, что приводит к существенному возрастанию объема перерабатываемой информации.

Этот недостаток устраняется посредством объемного моделирования укладки ленты, учитывающей изменения геометрических характеристик различных нитей, волокон ленты при их укладке на поверхность армирования в различных слоях многослойной конструкции и обеспечивающей получение требуемой внешней формы.



Рис. 1. Головной обтекатель летательного аппарата

В общем случае расчет управляющей программы для реализации спиральной намотки сложнопрофильных малогабаритных корпусов состоит из следующих этапов:

1. Подготовка, обработка геометрических данных о наматываемом корпусе и получение математической модели его внутренней поверхности.
2. Анализ возможности применения метода автоматизированной намотки.
3. Расчет траектории укладки теоретического витка армирующего материала (АМ).
4. Расчет перемещений рабочих органов намоточного станка (НС) – определение теоретического витка управляющей намоточной программы (УНП).
5. Разработка и корректировка УНП с учетом структурно-технических параметров – определение технологического витка АМ.
6. Подготовка УНП в формате ЧПУ НС.

Исходя из опыта изготовления изделий сложной формы методом намотки, можно сделать вывод, что для намотки достаточно трех координат: вращения оправки  $\phi$ ; продольного перемещения раскладчика нити (РН) X, параллельного оси вращения и поперечного движения РН Y, перпендикулярного оси вращения.

Экспериментальные работы показали, что при намотке лентой шириной менее 5-10 мм (для изделий диаметром до 50-135 мм) АМ можно качественно уложить на поверхность оправки, используя трехкоординатный НС и систему пропиточно-формующего тракта с раскладчиком нити определенного диаметра. При этом технологически намотку проводим сразу двух обтекателей (рис.2).

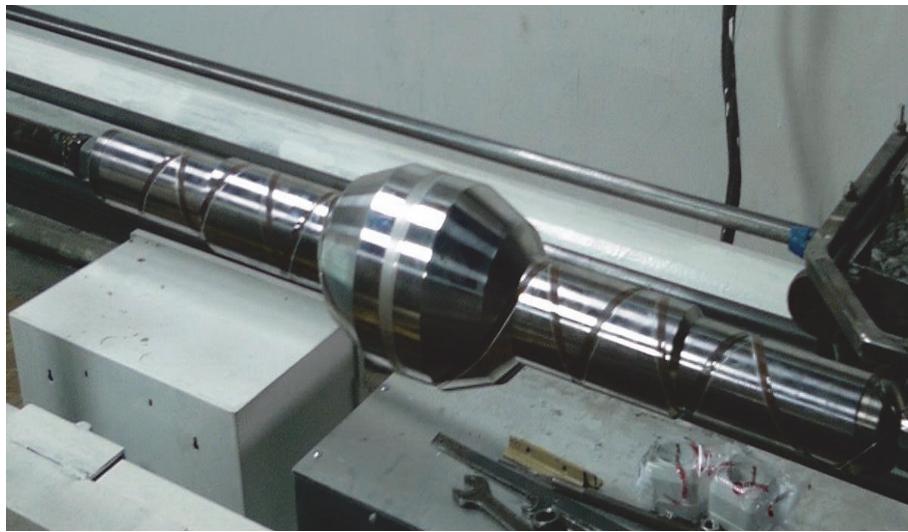


Рис.2. Процесс намотки обтекателей летательного аппарата

Поэтому при трехкоординатной намотки необходимую величину рабочего хода ( $L$ ) раскладчика нити по продольной оси для головного обтекателя предварительно может быть определена как (1):

$$L_{из} = \frac{D_{max} \cdot \sqrt{(4A^2 - D_{max}^2) \cdot (D_{max}^2 - D_{min}^2)}}{D_{min}} + L_{из} \quad (1)$$

где  $L_{из}$  – длина наматываемого изделия;  $D_{max}$  – максимальный диаметр изделия;  $D_{min}$  – минимальный диаметр изделия;  $A$  – расстояние от оси вращения до раскладчика нити.

Последний параметр ( $A$ ) необходимо выбирать как можно меньше. Следуя полученным экспериментальным данным, выбираем его равным (2):

$$A = \frac{D_{max}}{2} + t + (0,5 \dots 1) \cdot d_{фн} \quad (2)$$

где  $d_{фн}$  – диаметр фильеры раскладчика нити;  $t$  – толщина стенки оболочки.

Окончательное значение величины продольного хода раскладчика нити для выбранного НС определяются только после разработки управляющей намоточной программы первого технологического витка.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маринин, В.И. Алгоритм построения опорной сети линий укладки нити на поверхности сложной формы [Текст] / В.И. Маринин, Д.Н. Князев, С.М. Журихин // «Композиционные материалы в промышленности» материалы двадцать шестой международной конференции и выставки 29 мая – 2 июня 2006 г. - Ялта, 2006. – С.213-225.

2. Сыровой, Г.В. Моделирование намотки сложнопрофильных малогабаритных корпусов летательных аппаратов из полимерных композитных материалов / Г.В. Сыровой // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов: сб. науч. тр. нац. аэрокосм. ун-та им. Н.Е. Жуковского «ХАИ». – Х., 2013. - Вып. 1 (73). – С. 33–39.

УДК 533.65.013.622

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ**

А.Ю. ГОРБУКОВА

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

В наше время беспилотные авиационные системы стали неотъемлемой частью жизни, а их основная единица – беспилотные летательные аппараты (БПЛА) – используются во многих составляющих сферах общества, как гражданской, так и отечественной. Беспилотный летательный аппарат (БПЛА) – это летательный аппарат, который не имеет на борту пилота (человека-оператора), использует аэродинамические силы для обеспечения подъемной силы, может летать автономно или управляться дистанционно; может быть одноразовым или восстанавливаемым и нести гражданскую или летальную полезную нагрузку [1]. Наибольшую часть БПЛА в современном мире составляют беспилотные самолёты, дроны и квадрокоптеры.

Тенденции развития и совершенствования авиационной беспилотной техники тесно связаны с продолжением процессов структурной перестройки промышленности, национальными приоритетами развития науки и техники, конъюнктурой мирового рынка. Предпосылки этих изменений – глобализация экономики, процессы слияния и взаимосвязей в отрасли, развитие информационных технологий [2].

Производство БПЛА относится к наукоемким технологиям, каждая компания имеет свою технологию изготовления агрегатов. На данный момент во всех производственных компаниях беспилотных летательных аппаратов выделяют следующие типичные этапы: проектирование, изготовление и тестирование имитационной модели, создание физической модели (самого БПЛА) и проведение эксплуатационных

испытаний с дополнительными корректировками в конструкции при необходимости [2]. Только после успешного завершения последнего этапа компания может запустить серийный выпуск аппаратов.

К настоящему моменту существует уже большое количество компаний, производящих беспилотные летательные аппараты. Их можно подразделить на сферы использования, и в каждой сфере найдётся свой лидер производства. Например, лидером в производстве летательных аппаратов для фото- и видеосъёмки является китайская компания DJI, а в производстве летательных аппаратов для картографической съёмки – компания Microdrones (их дроны оснащены технологией LiDAR) [3]. Даже в сфере транспорта и доставки уже используются БПЛА, и лидером в производстве таких аппаратов недавно стала американская компания Amazon.

Компания DJI доминирует в индустрии дронов с долей рынка 74,3%. Это имеет смысл, поскольку китайский технологический гигант активно совершенствует свои технологии и расширяет линейку продуктов с момента своего создания в 2006 году [3]. У DJI есть дроны как потребительского, так и корпоративного уровня, среди которых самые популярные модели – это Mavic Air 2 и Phantom 4 Pro V2.0. Данные аппараты обладают камерами с высоким разрешением и скоростью затвора до 60 кадров в секунду, а также эти дроны обладают высокой продолжительностью полёта – около 30 минут.

Беспилотные летательные аппараты подвергаются неоднократным тестированиям, так как зачастую функционируют в неблагоприятных условиях. Внешние (частая смена погоды, большое количество пыли, высокая влажность) и внутренние (высокие нагрузки и трение сопряженных деталей) факторы приводят к быстрому износу узлов. В связи с этим производители БПЛА совершенствуют методы увеличения срока службы своих изделий.

Современные тенденции в области проектирования и производства беспилотных летательных аппаратов все больше сосредотачиваются на улучшении их автономности и эффективности. С развитием искусственного интеллекта (ИИ) возможности беспилотных дронов становятся все более широкими. Это позволяет им выполнять более сложные задачи, такие как автономные полеты в условиях ограниченной видимости или в труднодоступных местах.

Например, в Соединённых Штатах Америки создание беспилотных летательных аппаратов с искусственным интеллектом осуществляется по программе Skyborg [4]. В рамках данной программы разрабатывается искусственный интеллект для управления военными беспилотными летательными аппаратами. БПЛА будет обладать полноценным

ИИ, что обеспечит ему возможность в бою решать разные задачи, приспосабливаясь к изменяющейся обстановке. Программа Skyborg реализуется сразу в нескольких направлениях, включая создание дронов. Искусственный интеллект будет прокладывать оптимальный курс, обеспечивать автономные взлет и посадку беспилотного летательного аппарата.

В Китайской Народной Республике развитие искусственного интеллекта является стратегическим приоритетом. Китайская промышленность лидирует среди мировых разработок в области ИИ. Именно поэтому китайские беспилотные летательные аппараты превосходят своих конкурентов. К примеру, китайская авиастроительная корпорация Chengdu Aircraft Industry Group уже активно внедряет искусственный интеллект в свои боевые беспилотные самолёты Wing Loong, которые могут идентифицировать цель и сами принимают стратегические (боевые) решения.

Таким образом, одной из ключевых перспектив в проектировании и производстве беспилотных летательных аппаратов является развитие системы управления и навигации, в том числе с помощью искусственного интеллекта. С появлением новых технологий, таких как машинное обучение и нейронные сети, беспилотные аппараты становятся способными к самообучению и постоянному совершенствованию своих навыков. Это позволяет им адаптироваться к различным условиям и быстро реагировать на изменения в окружающей среде. Другим важным направлением развития в выбранной нами теме является увеличение гибкости и масштабируемости производства беспилотных летательных аппаратов. С ростом спроса на такие устройства крупные компании-производители (DL, Microdrones и так далее) все активнее внедряют автоматизированные производственные процессы и роботизированные системы сборки. Это позволяет им сократить затраты на производство и увеличить объем выпускаемой продукции, что способствует дальнейшему развитию рынка беспилотных технологий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов Ю.Л., ред. Беспилотные летательные аппараты: состояние и тенденции развития. Москва, ЛА Варяг, 2004, 176 с.
2. Бадеха В.А., ред. Беспилотные авиационные системы. Современное состояние и опыт применения. Москва, Пере, 2014, 207 с.
3. 100 лучших производителей дронов в 2023 году [Электронный ресурс] – Доступ: <https://dzen.ru/a/ZJA-D9HJf3DXBltL>
4. BBC США работает над беспилотником с элементами ИИ под названием Skyborg [Электронный ресурс] – Доступ: <https://habr.com/ru/company/madrobots/blog/445116/>

УДК 621.921.34

## КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТВЁРДОГО СПЛАВА С ДОБАВЛЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРНОГО ИМПАКТНОГО АЛМАЗА

И.Е. ГРИГОРЬЕВ<sup>1</sup>, Н.А. СВИДУНОВИЧ<sup>1</sup>, В.Т. СЕНЮТЬ<sup>2</sup>,  
И.В. ВАЛЬКОВИЧ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственных технологический университет

<sup>2</sup>Объединённый институт машиностроения НАН Беларусь  
Минск, Беларусь

Современное машиностроение характеризуется сложными условиями эксплуатации деталей машин и инструментов, связанными с высоким уровнем действующих напряжений, вибрациями, широким температурным интервалом, агрессивными средами и т. п. Поэтому необходимо соблюдение особых требований к материалам трущихся поверхностей по обеспечению надежности и ресурса работы, что во многом зависит от износостойкости материалов.

Неотъемлемой частью современного производства является способность имеющейся станочной и инструментальной базы производить эффективную механическую обработку. При этом зачастую речь идёт об труднообрабатываемых и высокопрочных конструкционных материалах, объём использования которых постоянно растёт. В таком случае можно говорить об особом значении развития и совершенствования технологий механической обработки. В частности, об улучшении технологических показателей обрабатывающего инструмента из сверхтвёрдого материала.

Повышение физико-механических свойств и производительности механической обработки лезвийного инструмента на основе сверхтвёрдого материала можно достичь за счёт перехода к нанометровому диапазону структурных составляющих [1].

Использование наноструктурированных импактных алмазов [2] позволило совместить достоинства нано- и микроструктурных природных и синтетических алмазов. Это привело к увеличению износостойкости и производительности инструмента для абразивной обработки хрупких неметаллических материалов [3, 4], камнеобработки [5], карбida кремния [5, 6].

Целью работы является изучение износостойкости лезвийного инструмента со вставками из сверхтвёрдых композиционных материалов,

содержащие наноструктурированные импактные алмазы, предназначенного для механической обработки сплавов на основе меди и алюминия.

Обработка результатов испытаний проводилась методом определения зависимости объёмного износа резца от пути резания. В первую очередь определяется путь резания  $L$  при точении по формуле:

$$L = \frac{\pi D n Q}{10^6}, \text{ км},$$

где  $D$  – диаметр обрабатываемого изделия, мм;  $n$  – частота вращения шпинделя, об/мин;  $Q$  – время обработки, мин.

Далее необходимо определить относительный износ режущего инструмента  $U_0$  по формуле:

$$U_0 = \frac{\Delta M}{L \gamma}, \text{ мм}^3/\text{км},$$

где  $\Delta M$  – весовой износ режущего инструмента, мг;  $\gamma$  – плотность материала режущей вставки инструмента, мг/мм<sup>3</sup>.

Рассматриваем геометрию износа резца, рис. 1.

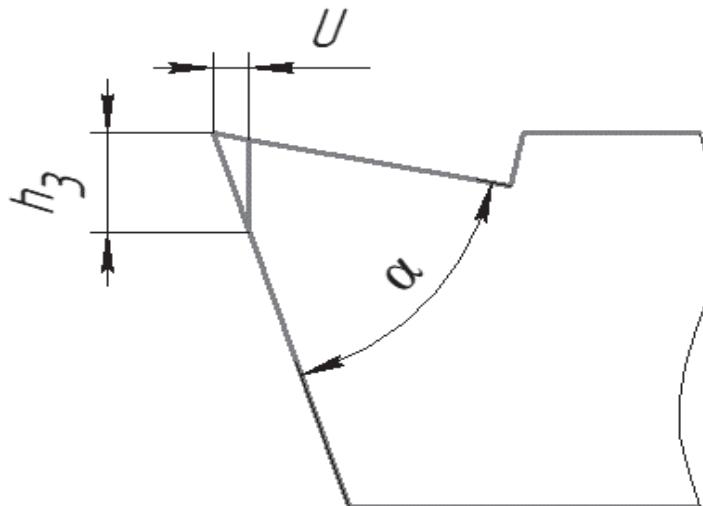


Рис. 1. Параметры износа резца

Отсюда ширина площадки износа  $h_3$ :

$$h_3 = \frac{U_0}{\operatorname{tg} \alpha}, \text{ мм},$$

где  $\alpha$  – задний угол резца (угол заострения), град.

Испытания лезвийного инструмента проводились на участке синтеза сверхтвёрдых материалов ОИМ НАН Беларусь на токарно-винторезном станке ГС-526У.

При испытании использовалась заготовки из латуни (марка ЛС 59-1 по ГОСТ 15527-2004) диаметром 62 мм и алюминиевого литейного сплава АК-7 по ГОСТ 1583-93 диаметром 35 мм. Режим резания для латунного/алюминиевого образцов включал частоту вращения шпинделя в 1200/1000 об/мин, подачу – 0,2 мм/об и глубину резания 0,5 мм.

Режущие элементы созданные и подготовленные на базе участка сверхтвёрдых материалов ОИМ НАН Беларуси, имеют следующие составы:

1. Импактный алмаз – 60 об.%, карбид кремния – остальное.
2. Импактный алмаз – 60 об.%, кубический нитрид бора – остальное.
3. Сверхтвёрдый композиционный материал с 80 мас.% кубического нитрида бора.
4. «Белбор» с 95 об.% кубического нитрида бора.
5. Сплавки марки ВК-8 (ГОСТ 3882-74).
6. Сплав марки ВК-8 (ГОСТ 3882-74) с 12,5 об.% импактного алмаза (фракция 100/80 мкм).
7. Сплав марки ВК-8 (ГОСТ 3882-74) с 6,25 об.% импактного алмаза (фракция 100/80 мкм).

На основании фактического замеренной величины износа получаем следующую диаграмму, рис. 2.

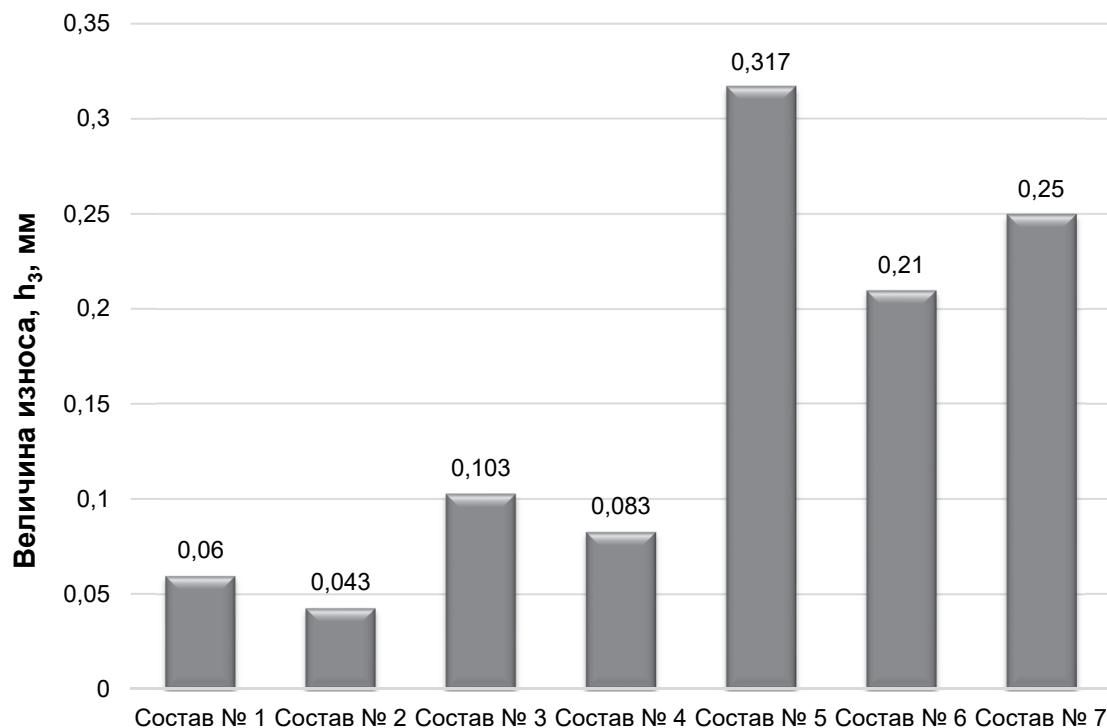


Рис. 2. Зависимость величины износа от состава резцов  
при обработке алюминиевой заготовки

Таким образом экспериментально показано, что использование резцов на основе наноструктурированного импактного алмаза, либо содержащих импактный алмаз, позволяет осуществлять лезвийную обработку изделий с ударом без разрушения режущей кромки резцов, что является важным преимуществом разработанных керамических и металлокерамических инструментальных материалов по сравнению с другими типами композитов, используемыми в лезвийном инструменте.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Витязь, П. А. Наноструктурные композиционные материалы инструментального назначения на основе кубического нитрида бора / П. А. Витязь, В. Т. Сенють, В. И. Жорник // Перспективные материалы и технологии: в 2 т. / А. В. Алифанов [и др.]; под ред. В. В. Клубовича. – Витебск: УО «ВГТУ», 2017. – Т. 2. – Гл. 14. – С. 254–277.
2. Impact diamonds: Types, properties, and uses / V. Afanasiev [et al.] // Proc. of 14th Int. Congress on Applied Mineralogy (ICAM-2019), Belgorod, 24–27 Sept. 2019. –Belgorod: V. G. Shukhov Belgorod State Technological University, 2019. – Р. 179–182.
3. Витязь, П.А. Синтез наноструктурного алмаз-лонсдейлитного инструментального композита для абразивной обработки / П.А. Витязь, В.Т. Сенють, В.И. Жорник, И.В. Валькович, А.М. Парницкий, С.А., Ковалева, В.П. Афанаьев //Актуальные вопросы машиноведения: Сборник научных трудов ОИМ НАН Беларуси. – Вып. 8. –2019. – С. 352–356.
4. Шелег, В.К. Композиционный материал на основе наноструктурированных импактных алмазов для абразивной обработки / В.К. Шелег, В.И. Жорник, В.Т. Сенють, С.А. Ковалева, Н.С. Хомич // Машиностроение. Респ. межвед. сб. науч. тр. – 2020. – Вып. 32. – С. 71–79.
5. Dyachkova, L.N. Influence of diamond-lonsdaleite abrasive additives on the structure and properties of reactional SiC ceramics / L.N. Dyachkova, A.Ph. Ilyushchanka, V.A. Osipov, D.V.Babura / Diamante. Application & Technologia, 2021. – Р.33–41
6. Сенють, В.Т. Исследование влияния состава спеченных композитов «твердый сплав ВК-8–импактный алмаз» на их износостойкость / В.Т. Сенють, П.А. Витязь, В.И. Жорник, И.В. Валькович, Т.И. Пинчук, В.П Афанаьев // Актуальные вопросы машиноведения: Сборник научных трудов ОИМ НАН Беларуси. – Вып. 11. –2022. – С. 339–345.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ КОПТЕРА С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Г.Н. ДЬЯКОВА, Д.Д. ЕВТИХОВА

Белорусский государственный университет  
Минск, Беларусь

Появление беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) привело к появлению новых возможностей, а также к уменьшению трудоёмкости в той или иной сфере деятельности, например, в кинематографе и видеосъёмке БПЛА используют в качестве съёмки с воздуха, в геодезии и картографии они позволяют создавать карты рельефа с минимальными временными и финансовыми затратами, в поисковых операциях БПЛА позволяют обнаруживать людей в экстремальных погодных условиях и т.д.

Ключевая проблема всех беспилотников заключается в небольшом времени эксплуатации, связанная с использованием аккумуляторов с низкой ёмкостью и относительно высоком энергопотреблении. Исходя из этого перед инженерами стоит задача снижения веса конструкции, а также разработки системы механической рекуперации энергии или создания рекуперативных режимов работы электроники в аппарате.

Целью данной работы является оценка возможности изготовления облегченных конструктивных узлов коптера с помощью аддитивных технологий.

Квадрокоптер относится к классу авиамоделей, управляется дистанционно, чаще всего с пульта или со смартфона. В воздухе квадрокоптер держится за счет четырех винтов, крутящихся в разных направлениях. Основным отличием авиамодели и БПЛА является то, что управление полетом возможно только при условии визуального контакта с ним. Время полета таких моделей не превышает 20–30 минут и сильно зависит от погодных условий (ветер, дождь, лесистая местность).

В рамках выполнения работы предложена конструкция конструкция основных элементов корпуса коптера, в частности рама, лучи и посадочные ножки для последующего их изготовления методом послойного наплавления материала (FDM-технология – процесс аддитивного производства, который основан на синтезе изделия по заранее построенной цифровой модели из полимерного или композиционного материала).

Самым распространённым вариантом для любительских коптеров является рама Х. Конструкция представляет собой небольшой прямоугольный или квадратный корпус, состоящий из двух частей – верхней

и нижней. Вся электроника устанавливается в центре полости образующихся при соединении верхней и нижней частей корпуса, в таком случае вес распределен равномерно и коптер становится более маневренным, а лучи располагаются по диагонали. Для возможности их замены в случае поломки, разъединяют общую раму и извлекают лучи.

Для улучшения аэродинамических свойств корпус имеет сглаженную каплевидную форму с отсутствием острых углов.

В большинстве моделей части корпуса собираются при помощи соединения «шип-паз» или небольших самонарезающих винтов. В проектируемом квадрокоптере данные детали соединяются с помощью винтов и шайб. По краям корпуса спроектированы «плечи», которые соединяются с лучом.

На рис. 1 представлен вид печатаемых деталей квадрокоптера. Габариты конструкции в сборе 225 мм × 225 мм × 40 мм.

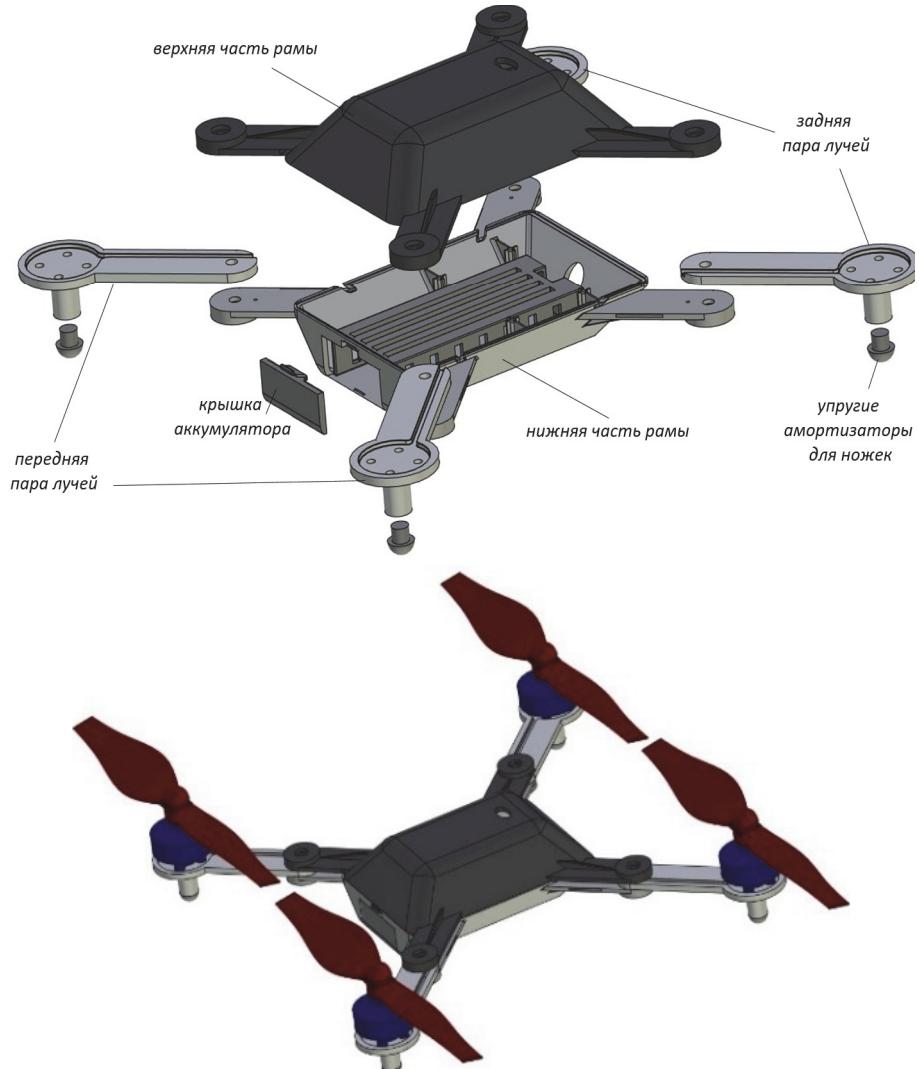


Рис. 1. Корпус квадрокоптера

Луч и посадочная ножка представляют собой единую деталь, на которую устанавливается лопасть. Для увеличения жесткости и прочности лучей в конструкцию включены ребра жесткости. Для фиксации лучей в определенном положении используется соединение в виде выступающей полусферы и паза. Луч крепится в паз, образованный двумя крышками при помощи винта M4 и гайки. Подобная схема крепления лучей имеет ряд преимуществ, например, предотвращение возможности открытия крышки во время полета коптера или при его транспортировке, также в случае поломки лучей есть возможность быстрой замены детали. Из недостатков отмечается появление вибрации при работе мотора, что может ухудшить полет.

Для изготовления деталей коптера использовали филамент Aerotex от FILAMENTARNO (РФ) – вспенивающийся композиционный материал на основе SAN-пластика (сополимер стирола и акрилонитрила). В качестве наполнителя используется углеродное волокно. Распределение волокон – хаотическое с длиной элементарного волокна 100–500 мкм и диаметром 5 мкм.

Характерной особенностью угленаполненного филамента на основе SAN-пластика является его лёгкость, что связано с наличием микроскопических пор в его структуре. Изделие, напечатанное из данного материала, имеет минимальную анизотропию свойств. Благодаря вспениванию полимера при нагреве во время печати, поверхность наносимого слоя весьма развитая, что увеличивает площадь контакта с расплавом полимера при нанесении следующего слоя [2].

Для изделий, изготовленных из данного материала, можно применять механическую постобработку: сверление, резание, шлифование, также к изделиям применима покраска.

Печать деталей производили на 3D-принтере Anycubic 4Max PRO, с использованием сопла диаметром 0,4 мм. Перед печатью материал подвергался сушке (6 часов при 80°C). Все детали печатались со 100% заполнением объема.

На рис. 2 представлена модель квадрокоптера в собранном виде с напечатанными узлами и примерным расположением винтов. Общий вес напечатанных узлов 90 гр.



Рис. 2. Напечатанные детали корпуса квадрокоптера

Таким образом, можно сделать вывод, что аддитивные технологии могут конкурировать с классическими во многих отраслях производства, в том числе и в авиастроении. Также стоит отметить, что аддитивные технологии, позволяют быстро заменить сломанные детали на новые, подстраиваться под индивидуальные желания заказчиков, уменьшать вес конечного изделия с сохранением прочностных характеристик за счет использования специальных материалов, а также правильного подбора параметров технологического процесса.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Жолтиков, А. А. Анизотропия свойств образцов, полученных методом FDM-печати из угленаполненного SAN / А. А. Жолтиков // 72-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов : тезисы докладов, 12-23 апреля 2021 г., Минск : в 4 ч. Ч. 2. - Минск : БГТУ, 2021. – С. 198.

УДК 681.513.5.01

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БПЛА НА СТЕНДЕ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

**И.А. ВОЛКОВ, В.И. ГАРКУШЕНКО**

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева – КАИ  
Казань, Россия

Для повышения точности стабилизации режимов полета БПЛА самолетного типа используются различные нелинейные законы управления. Наиболее простыми для реализации являются ПИД-регуляторы с нелинейными функциями под интегралом от сигнала рассогласования, что позволяет регулятору адаптироваться к изменению режима полета. В связи с работой [1] предложен эффективный частотный способ синтеза законов стабилизации автопилота с нелинейной функцией под интегралом от сигнала рассогласования по высоте, при котором обеспечивается абсолютная устойчивость в канале продольного движения БПЛА. Стремление уменьшить время изменения высоты полета приводит к росту угла тангажа и угла атаки, поэтому для предотвращения выхода на критические углы атаки и снижения нормальной перегрузки необходимо

ограничивать угол атаки. Ограничение угла атаки может быть реализовано различными способами, например, с помощью алгебраического селектора, переключающего управление между регулятором угла тангажа и регулятором угла атаки, благодаря чему обеспечивается необходимая точность ограничения угла атаки и плавные переходные процессы при переключении каналов [2]. Для упрощения закона управления в работе [1] ограничение угла атаки в алгебраическом селекторе реализовано переключение трех сигналов управления: номинального сигнала от автопилота продольного движения и двух сигналов с блока ограничения угла атаки без измерения угла атаки. Аналогично осуществляется управление боковым движением БПЛА с ограничением угла крена.

Как показывает моделирование с помощью указанных законов управления удается обеспечить высокую точность стабилизации режимов полета по рельефу местности [3].

**Полунатурное моделирования САУ БПЛА.** Для автоматизации процесса проектирования БПЛА используются различные вычислительные пакеты. На кафедре «Автоматика и управления» КНИТУ-КАИ для исследовательских и учебных целей используется стенд полунатурного моделирования систем ориентации и автоматического управления летательным аппаратом (СПМ), созданный на базе ОКБ им. Симонова. Стенд позволяет осуществлять полунатурное моделирование алгоритмов и отработку логики управления ЛА на различных режимах полета, используя при этом виртуальную модель самолета и физические исполнительные механизмы аэродинамических поверхностей.

Аппаратный состав стенда включает в себя:

- ПЭВМ №1 с математической моделью ЛА;
- ПЭВМ №2 с моделью системы управления;
- ПЭВМ №3 с программой визуализации;
- усилитель привода (УПР);
- цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП);
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- исполнительные механизмы (ИМ);
- нагрузочные стенды;
- сетевой концентратор Ethernet;

Структурная схема соединения элементов аппаратного состава стенда представлена на рис. 1.

Моделирование на пилотажных стендах и тренажерах требует организации сетевого обмена для использования (распределения) вычислительных мощностей нескольких персональных компьютеров.

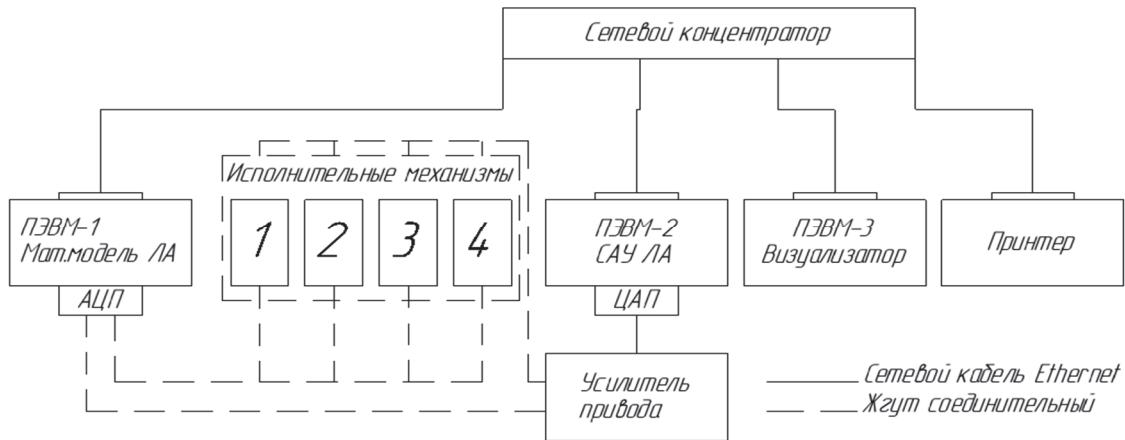


Рис.1. Структурная схема СПМ.

Для этой цели в состав СПМ включено 4 блока сетевого обмена по протоколу User Datagram Protocol (UDP):

1. Блок упаковки данных перед отправкой по сети.
2. Блок отправки данных по сети.
3. Блок приема данных из сети.
4. Блок распаковки данных, принимаемых из сети.

На ПЭВМ 1 реализуется математическая модель пространственного движения летательного аппарата, которая состоит из следующих основных подсистем:

- «Математическая модель самолета»;
- «Обратная связь с САУ»;
- «Профиль полета»;
- Блок настройки начальных условий, предназначенных для интегрирования уравнений движения.
- Блок показателя реального времени;
- Блок синхронизации реального и модельного времени;
- Блоки «Упаковка данных перед отправкой по сети» и «Отправка данных по сети по UDP».

Математическая модель ЛА формирует набор значений, показаний датчиков первичной информации, соответствующих текущему положению ЛА в пространстве. В процессе работы системы, напряжение обратной связи с исполнительных механизмов ( $U_{oc}$ ), проходя последовательно через блок усилителя привода, АЦП и блок приема данных с АЦП, передается на ПЭВМ-1. Величина  $U_{oc}$  характеризует отклонение элеронов, руля направления и руля высоты. Информация с датчиков первичной информации поступает по локальной сети в ПЭВМ 2 и ПЭВМ 3.

ПЭВМ – 2 включает в себя Математическая модель системы управления, которая содержит следующие блоки:

- «Блок задания режимов полета», предназначенный для настройки профиля полета;

- Подсистему «Реальный привод», осуществляющий учет балансировочного отклонения рулей и перевод величин отклонения рулей из градусной меры в волты;

- Блок приема необходимых для САУ пилотажных данных и навигационных параметров из сети от ПЭВМ – 1;

- Блок отправки необходимых для визуализации и регистрации данных по сети, на ПЭВМ – 3;

- Блок отправки сигналов на ЦАП. Этот блок осуществляет выдачу управляющих сигналов с ПЭВМ – 2 (САУ) на исполнительные механизмы через плату ЦАП и усилителя привода. Далее сигнал с рулевых машинок через плату АЦП поступает на ПЭВМ – 1 (математическая модель движения ЛА).

На ПЭВМ – 3 осуществляется визуализация и документирование результатов моделирования. В процессе моделирования можно наблюдать движения ЛА в виртуальной реальности («Блок визуализации»). Также в процессе моделирования можно отслеживать изменение пилотажно-навигационных параметров.

Стенд полунатурного моделирования используется для написания курсовых и выпускных квалификационных работ в рамках направления подготовки «Управление в технических системах» бакалавриата и магистратуры.

В рамках образовательного процесса предполагается включить стенд полунатурного моделирования для решения следующих учебных и научно-исследовательских задач:

- Синтез интегрального нелинейного закона управления: разработка автопилота продольного и бокового движения ЛА (включая блоки ограничения по углу атаки и по крену);

- Разработка алгоритмов движения ЛА по рельефу местности;

- Синтез нейро -нечеткого управления для сохранения заданного профиля полета в условиях изменения параметров ЛА;

- Оценивание полезного сигнала при наличии ветровых возмущений в виде случайного процесса с известными статистическими характеристиками;

- Комплексирование сигналов с измерителей высоты полета (в частности, барометрических высотомеров и радиовысотомеров).

Таким образом, стенд полунатурного моделирования позволяет исследовать различные законы управления, расширяет возможности образовательного процесса по изучению беспилотных летательных аппаратов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Гаркушенко В.И., Виноградов С.С. Повышение качества управления продольным движением самолета // Изв. вузов Авиационная техника. 2016. № 4. С. 46–51.
2. Петунин В.И., Неугодникова Л.М. Метод построения систем автоматического управления с ограничением предельных параметров летательных аппаратов // Изв. вузов. Авиационная техника. 2015. № 3. С. 28–34.
3. Бирюков Н.Б., Волков И.А. Алгоритм формирования программной траектории движения летательного аппарата по рельефу местности // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Сборник материалов VII Международной научно-практической конференции, посвященной Дню космонавтики (12-16 апреля 2021г. Красноярск). Том 2. Красноярск. 2021. С. 106-108.

УДК 681.772

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ БПЛА НА ОСНОВЕ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ И КАМЕР ПОЛНОГО НЕБА**

А.В. КОНОШОНКИН<sup>1,2</sup>, А.Е. БАБИНОВИЧ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Томский государственный университет

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН  
Томск, Россия

В настоящее время раннее обнаружение небольших беспилотных летательных аппаратов пассивными методами – это острая актуальная проблема. Обнаружение небольшого беспилотного летательного аппарата при помощи камер полного неба требует большой разрешающей способности камеры, что технически невозможно. В докладе предлагается вариант решения данной проблемы с использованием триангуляционного метода на основе нескольких разнесенных камер полного неба, с использованием опыта сотрудников ИОА СО РАН [1, 2].

Основная сложность применения камер для раннего обнаружения малогабаритных летательных аппаратов связана с их малой разрешающей способностью. Иными словами, на ранних этапах обнаружения БПЛА на изображении камеры видна лишь малая точка (см. рис. 1,

объект справа) размером в один-два пикселя, что не позволяет классифицировать данный объект и принять решение является ли летящий объект птицей, БПЛА или крупным летательным объектом. Классический метод решения данной проблемной ситуации требует использования телескопических объективов с большим увеличением, что позволяет визуально опознать объект. Однако они не могут охватывать все небо, что делает их малоэффективными.



Рис. 1. Визуальное изображение двух летающих объектов: БПЛА слева и неопознанный объект справа.

Схематичное изображение проблемной ситуации представлено на рис. 2. Когда одна камера видит объект размером в 1 пиксель, без информации о расстоянии до него не удается выяснить его истинный размер.

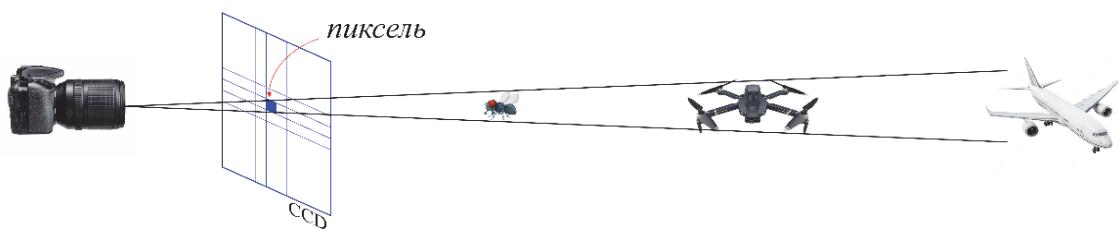


Рис. 2. Проблема дифференциации объекта размером в 1 пиксель на камере (CCD), в зависимости от расстояния до объекта.

Невозможность определить расстояние до объекта на основе изображения с одной камеры также не позволяет определить его абсолютную скорость перемещения  $v$ , поскольку камера позволяет определить

только одно угловое перемещение  $\alpha$  (см. рис. 3). Все это не позволяет классифицировать данный объект и принять своевременное решение.

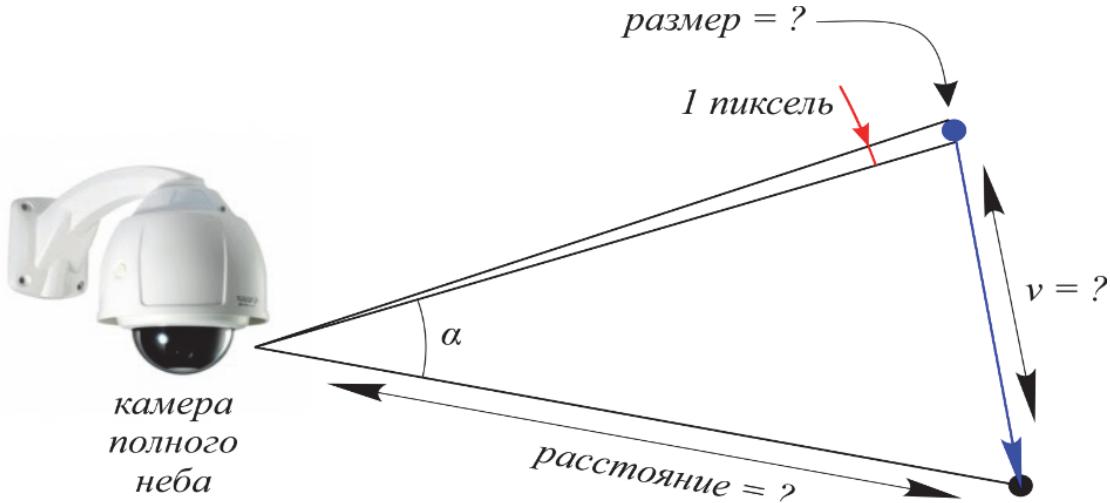


Рис. 3. Схема наблюдения одной камерой

Использование нескольких разнесенных камер полного неба позволяет с использованием алгоритмов триангуляции определить расстояние до объекта  $a$ , следовательно, и его скорость перемещения, и истинный размер.

В совокупности с информацией о визуальном образе объекта это позволит классифицировать летящий объект на значительно больших расстояниях, что является критичным для принятия своевременных решений.

Математически задача выглядит следующим образом. Наличие второй (и более камер) увеличивает количество известных данных (помечены на рис. 4 красным цветом) и задача становится решаемой. Сначала по расстоянию между камерами  $L$  (которое предполагается равным нескольким сотням метров) и двум известным углам  $\alpha_1 + \alpha_2$  и  $\beta_2$  методом триангуляции определяется *расстояние 1* до объекта. Затем по известному *расстоянию 1* и угловому перемещению  $\alpha_1$  удается определить скорость движения объекта  $v$ . В целом этих двух величин уже достаточно для классификации летящего объекта и принятия решения, однако информация о расстоянии также позволяет оценить реальный размер объекта размером даже в один пиксель как произведение углового размера объекта на расстояние.

Как следствие это приводит к увеличению дальности обнаружения БПЛА в несколько раз, что является критичным для принятия своевременных решений.

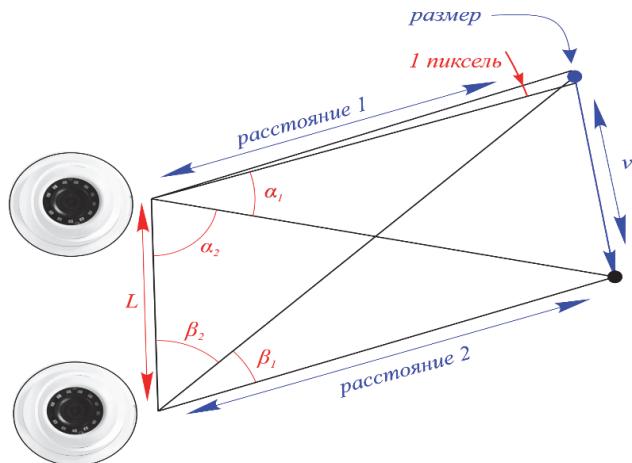


Рис. 4. Наблюдение двумя камерами и триангуляционный алгоритм

Испытание системы проводились на основе двух систем, собранных на базе портативного компьютера Raspberry PI-4 и камеры RPI-HQ-CAMERA с сенсором 12,3 мегапикселя Sony IMX477R. Внешний вид системы представлен на рис. 5.

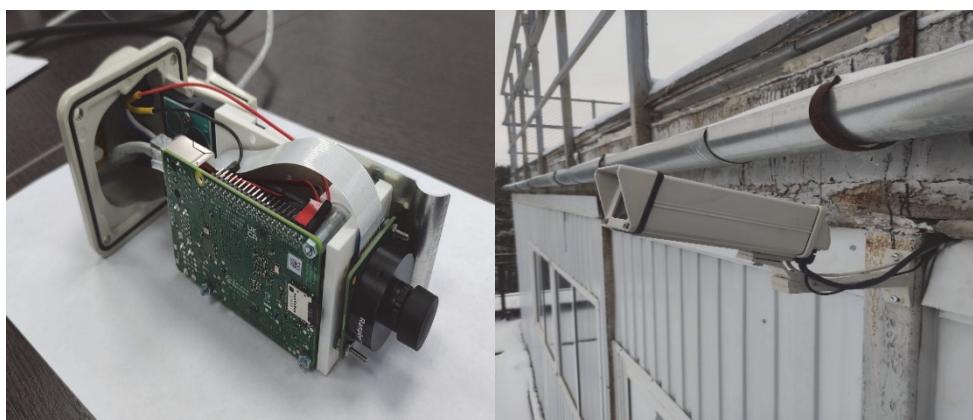


Рис. 4. Внешний вид конструкции камеры и смонтированного испытательного модуля

## ЛИТЕРАТУРА

1. Konoshonkin A.V., Nasonov S.V., Galileyskii V.P., Kustova N.V., Borovoii A.G., Kokhanenko G.P., Balin Yu. S., Kokarev D.V., Elizarov A.I., Morozov A.M. Retrieving the microphysical properties of ice clouds from simultaneous observations by a lidar and an all-sky camera // Proceedings of SPIE. – 2016. – V.10035. – P.10033O.
2. Морозов А. М., Галилейский В. П., Елизаров А. И., Кокарев Д. В. Наблюдение зеркального отражения освещенной подстилающей поверхности облачным слоем из ледяных пластинок. // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – Т. 30, № 01. – С. 88-92.

## ГИРОПОЛУКОМПАС С АНАЛИТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ КАРДАНОВОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ БПЛА САМОЛЁТНОГО ТИПА

О.А. КУДРЯШОВ

Казанский национальный исследовательский технический  
университет имени А. Н. Туполева – КАИ  
Казань, Россия

В статье рассматривается построение аналитической компенсации кардановой погрешности гирополукомпаса для беспилотного летательного аппарата самолётного типа, отличительной чертой которого является достаточные габаритные размеры и масса. Повышение точности компенсации кардановой погрешности обеспечивается путём коррекции сигнала системного датчика (СДУ) угла курса гирополукомпаса (ГПК), с использованием сигналов штатного оборудования: датчиков угловой скорости по нормальной и поперечной осям и датчика угла крена гировертикали.

ГПК является гироскопическим навигационным прибором, обеспечивающим по сигналу СДУ полёт летательного аппарата вдоль выбранного направления и совершение разворотов на заданные углы.

Однако при разворотах, которые происходят с креном, ось наружной рамы ГПК, на которой установлен СДУ, отклоняется от местной вертикали, что приводит к возникновению методической погрешности в измерении углов разворота в азимуте [1]. Погрешность носит геометрический характер, является проявлением свойства карданного подвеса, называется кардановой погрешностью (КП) и определяется по формуле

$$\Delta\psi = \psi - \arctg(\cos\gamma \cdot \operatorname{tg}\psi),$$

где  $\psi, \gamma$  – углы курса и крена соответственно;  $\Delta\psi$  – кардановая погрешность.

Существует устройства компенсации кардановой погрешности, когда ГПК осью подвеса наружной рамы устанавливают либо в одноосный, либо в двухосный подвес, которые играют роль следящих систем, корректируемых по сигналам гировертикали [2]. Недостатком данной схемы компенсации является громоздкость ГПК и увеличение массы, что нежелательно для применения на БПЛА. Применяются такие устройства на самолетах.

Для БПЛА самолётной схемы в качестве курсового прибора предлагаются использовать ГПК, в котором вместо электромеханической следящей системы применена аналитическая компенсация кардановой погрешности с использованием сигналов датчиков, которые входят в систему автоматического управления БПЛА [3].

Для применения такой схемы ГПК может подойти, например, воздушная мишень «Дань» [4].

Аналитический метод компенсации КП позволяет упростить конструкцию ГПУ при сохранении точности работы. На рис.1 приведена блок-схема устройства.

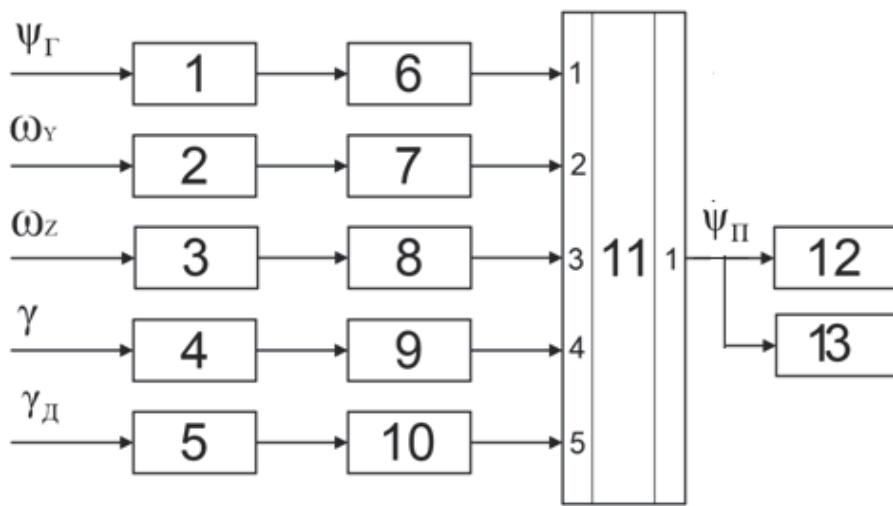


Рис.1. Блок-схема устройства

ГПК 1 не имеет следящей системы для компенсации КП, поэтому СДУ курса измеряет угол поворота летательного аппарата  $\Psi_G$  вокруг нормальной оси. Штатные датчики угловых скоростей: 2 и 3 измеряют угловые скорости  $\omega_Y$  и  $\omega_Z$  вокруг нормальной и поперечной осей. СДУ крена гировертикали 4 измеряет крен  $\gamma$  летательного аппарата. Задатчик допустимого угла крена 5 ограничивает непосредственное использование сигнала СДУ гирополукомпаса 1 при разворотах летательного аппарата. Для преобразования измеренных сигналов в двоичный код служат преобразователи аналог-код  $6 \div 10$ . При этом преобразователь 6 является специальным (ПОН – преобразователь отношений напряжений), так как преобразует сигнал СКТ, а преобразователи  $7 \div 10$  являются преобразователями сигналов постоянного напряжения в двоичный код. Информацию об угле поворота летательного аппарата в горизонтальной плоскости  $\Psi_P$  микроконтроллер 11 выводит на указатель 12 (при настройке) и автопилот 13 курсового канала (в полете).

На рис.2 изображены системы координат: связанная жёстко с БПЛА, и земная горизонтальная система координат, поясняющие формирование алгоритма компенсации КП, приведённого ниже.

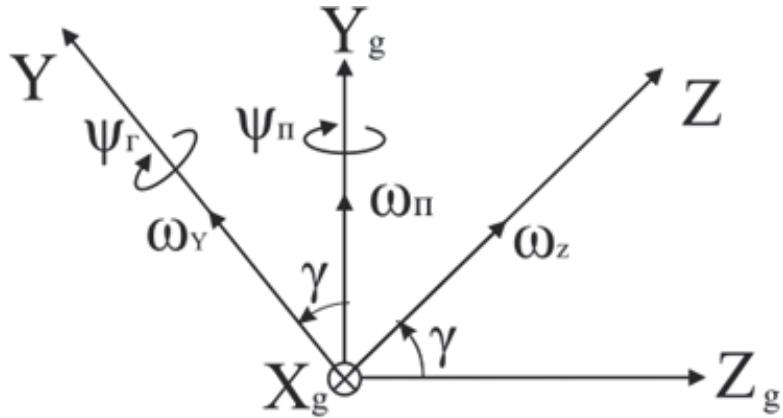


Рис.2. Системы координат

$Y_g$  – ось местной вертикали;  $X_g Z_g$  – плоскость местного горизонта;  $Y$  – нормальная ось БПЛА;  $Z$  – поперечная ось БПЛА.

Идея аналитического способа компенсации КП состоит в следующем: до определенного момента времени, который определяется допустимым креном  $\gamma_d$ , значение угла поворота определяется сигналом СДУ, а при превышении БПЛА  $\gamma_d$  угол поворота будет определяться по специальному алгоритму

$$\Psi_\pi = \begin{cases} \Psi_\Gamma, & \text{если } |\gamma| \leq \gamma_d; \\ \Psi_\Gamma(t_0) - \int_{t_0}^t \omega_\pi dt, & \text{если } |\gamma| > \gamma_d, \end{cases}$$

где  $\Psi_\Gamma$  – текущий угол поворота, измеряемый относительно нормальной оси летательного аппарата СДУ ГПК;  $\Psi_\Gamma(t_0)$  – угол поворота, измеряемый относительно нормальной оси, на момент выполнения условия  $|\gamma| > \gamma_d$  с ГПК;  $\gamma, \gamma_d$  – действительный и допустимый углы крена;  $\omega_\pi = \omega_Y \cos \gamma + \omega_Z \sin \gamma$  – угловая скорость поворота вокруг местной вертикали, формируемая по сигналам двух датчиков угловых скоростей.

Так как разворот происходит непродолжительное время, обычно десятки секунд, то за счет операции интегрирования накопится незначительная погрешность, которая будет намного меньше кардановой погрешности.

При этом для прямолинейного горизонтального полета, когда  $\gamma \leq \gamma_d$ , угол поворота (угол отклонения от заданного направления) определяется как сигнал системного датчика курса гирополукомпаса

$$\Psi_{\Pi} = \Psi_{\Gamma},$$

а при развороте, когда  $\gamma > \gamma_d$ , угол поворота определяется как сигнал СДУ курса ГПК на момент входа в разворот, просуммированный с приращением угла.

$$\Psi_{\Pi} = \Psi_{\Gamma}(t_0) - \int_{t_0}^t (\omega_Y \cos \gamma + \omega_Z \sin \gamma) dt.$$

Предлагаемое устройство позволяет упростить схему компенсации КП, заменив широко применяемую следящую систему с дополнительной рамой, электронной системой с микроконтроллером, входными сигналами которого являются сигналы штатных датчиков летательного аппарата.

Заключение:

1. Разработана оригинальная схема аналитической компенсации кардановой погрешности ГПК, упрощающая его конструкцию и повышающая точность определения курсового угла при разворотах.
2. В соответствии с предложенным алгоритмом составлена блок-схема программы работы МК.
4. ГПК с предложенной аналитической АК можно использовать в системе управления в курсовом канале БПЛА типа «Дань».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Данилин В.П. Гирокопические приборы / Москва: Высшая школа, 1965. – 534 с.
2. Кривошеев С.В. Курсовые системы / С.В. Кривошеев. КНИТУ КАИ им. А.Н. Туполева. – Казань, 2015. – 59 с.
3. Патент № 2805425 Российской Федерации, МПК G01C 19/00 способ измерения угла поворота летательного аппарата в горизонтальной плоскости: № 2023112817: заявл. 18.05.2023. опубл. 11.07.2023/ Кривошеев С. В., Стрелков А.Ю., Кудряшов О.А., Карпов И.А., заявитель "Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ".
4. БПЛА – мишень «Дань». Российская авиация. Режим доступа: <http://aviarup.ru/aviamuseum/aviatsiya/rf/bpla/bpla-mishen-dan/>

УДК 621.98

**ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ  
НА ПРИМЕРЕ ИНКРЕМЕНТНОЙ ФОРМОВКИ  
И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕСПИЛОТНЫХ  
АППАРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ**

В.В. МИРОНЕНКО, М.В. ЛАВРЕНТЬЕВА

Иркутский национальный исследовательский

технический университет

Иркутск, Россия

Роботизированные технологии в производстве беспилотных аппаратов представляют собой современный подход к автоматизации производственных процессов, который охватывает широкий спектр технических решений для эффективного создания беспилотных аппаратов. Они включают в себя использование роботов, автоматизированных систем и искусственного интеллекта для оптимизации производственных операций. Одним из ключевых инновационных методов, входящих в арсенал роботизированных технологий, является инкрементная формовка (Single Point Incremental Forming) [1,2,3]. Инкрементная формовка позволяет создавать сложные трехмерные детали с высокой точностью и гибкостью, что делает его привлекательным для применения в производстве беспилотных аппаратов. Связь между роботизированными технологиями и инкрементной формовкой заключается в том, что роботизированные системы могут быть использованы для автоматизации процесса инкрементной формовки. Роботы могут управлять инструментами точечной формовки с высокой точностью и скоростью, что повышает эффективность производства и качество создаваемых деталей. Таким образом, рассмотрение взаимодействия роботизированных технологий и инкрементной формовки становится ключевым аспектом доклада по теме "Применение роботизированных технологий в производстве беспилотных аппаратов на примере инкрементной формовки и цифровизации производства беспилотных аппаратов с применением машинного зрения".

Single Point Incremental Forming (SPIF) – это метод инкрементной формовки, при котором металлическая заготовка деформируется с помощью единственной точки контакта с инструментом. В процессе SPIF инструмент перемещается по поверхности заготовки, постепенно формируя желаемую геометрию детали путем накопления деформации [4,5].

Применение метода SPIF в производстве беспилотных аппаратов предоставляет ряд преимуществ [6,7]:

1. Гибкость процесса: возможность изготовления деталей с сложной геометрией без необходимости изготовления сложных пресс-форм.
2. Экономия времени и материала: процесс SPIF обеспечивает более эффективное использование материала и сокращает время подготовки к производству.
3. Высокая точность: метод SPIF позволяет достичь высокой точности в изготовлении деталей для беспилотных аппаратов.

Примеры успешного применения Single Point Incremental Forming в индустрии беспилотных аппаратов:

1. Изготовление корпусов дронов: Применение SPIF для создания легких и прочных корпусов дронов с оптимальной аэродинамикой.
2. Производство деталей автопилотов: Использование SPIF для изготовления деталей автопилотов с высокой точностью и минимальными затратами материала.
3. Создание крепежных элементов: Применение SPIF для производства крепежных элементов и кожухов, обеспечивающих надежность и легкость конструкции беспилотных аппаратов.

Работализированные технологии, такие как инкрементная формовка и цифровизация с применением машинного зрения, играют ключевую роль в производстве беспилотных аппаратов. Основные преимущества использования этих технологий включают:

1. Гибкость и эффективность производства: возможность быстрого реагирования на изменения конструкции и производственных процессов.
2. Экономия времени и материалов: сокращение времени подготовки к производству и оптимизация использования материалов.
3. Высокая точность и качество изготовления: обеспечение высокой точности и надежности деталей для беспилотных аппаратов.

Будущее применения инкрементной формовки и цифровизации с машинным зрением в отрасли беспилотных аппаратов обещает быть перспективным и инновационным. Некоторые из перспектив включают:

1. Дальнейшее совершенствование процессов инкрементной формовки для увеличения производительности и точности изготовления.
2. Интеграция машинного зрения для автоматизации процессов контроля качества и улучшения точности изготовления деталей.
3. Развитие цифровизации производства для создания цифровых двойников беспилотных аппаратов и оптимизации производственных циклов.

Таким образом, дальнейшее развитие и применение инкрементной формовки и цифровизации с машинным зрением в отрасли беспилотных аппаратов открывает новые возможности для улучшения производственных процессов, повышения качества изделий и снижения затрат, что способствует развитию индустрии беспилотных аппаратов в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Effect of Step Size on the Formability of Al/Cu Bimetallic Sheets in Single Point Incremental Sheet Forming / K. Żaba, S. Puchlerska, Ł. Kuczek [et al.] // Materials. – 2023. – Vol. 16, No. 1. – P. 367. – DOI 10.3390/ma16010367
2. Prediction of ductile damage and fracture in the single- and multi-stage incremental hole-flanging processes using a new damage accumulation law / S. E. Seyyedi, H. Gorji, M. J. Mirnia, M. Bakhshi-Jooybari // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2022. – Vol. 119, No. 7-8. – P. 4757-4780. – DOI 10.1007/s00170-021-08638-3.
3. Betaieb, E. Calibration of kinematic hardening parameters on sheet metal with a Computer Numerical Control machine / E. Betaieb, L. Duchêne, A. M. Habraken // International Journal of Material Forming. – 2022. – Vol. 15, No. 5. – P. 1-17. – DOI 10.1007/s12289-022-01714-3.
4. Bishnoi, P. Experimental Studies on Geometrical Accuracy During Single-Point Incremental Forming of Inconel 625 Superalloy / P. Bishnoi, P. Chandra // Journal of Advanced Manufacturing Systems. – 2022. – Vol. 21, No. 04. – P. 837-850. – DOI 10.1142/s0219686722500317.
5. Песин, А. М. Основы инкрементальной листовой формовки металлов и сплавов / А. М. Песин, Д. О. Пустовойтов. – Магнитогорск: Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2021. – 145 с. – ISBN 978-5-9967-2449-9.
6. Кривошеин, В. А. Перспективы использования технологий инкрементальной формовки в современном производстве / В.А. Кривошеин, А.А. Анцифиров, Ю.В. Майстров // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2014. – № 11(656). – С. 84-89.
7. Сухомлинов, Л.Г. Инкрементальная геометрически нелинейная безмоментная конечноэлементная модель пластического формоизменения листовых металлов под действием жестких инструментов / Л. Г. Сухомлинов, В. К. Петров // Известия МГТУ МАМИ. – 2009. – № 2(8). – С. 241-247.

УДК 629.735

## **ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА**

А.В. МАКСИМЦОВА, Г.А. ВЕЛИЧКО, О.И. КАРПОВИЧ  
Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

В настоящее время в сельском хозяйстве возникает необходимость мониторинга обширных посевных площадей, перенос грузов на дальние дистанции, а также обработку полей химическими веществами и удобрениями, что, порой, с поверхности земли сделать весьма затруднительно. Также необходимо производить съемку местности и анализ полученных данных, при чрезвычайных ситуациях необходимо производить поиск людей, тушение пожаров и др.

Для решения данных задач используется различная наземная техника, инструменты и приборы, находящиеся на земле. Однако, производить все операции в данных условиях весьма затруднительно, так как это требует больших затрат времени на преодоление различных географических препятствий в виде изменений рельефа, природных объектов и др. Решением данной проблемы могут стать специализированные беспилотные летательные аппараты (БЛА). Чтобы обеспечить большую эффективность полета требуется уменьшить массу изделий, входящих в состав конструкций. Также необходимо соблюдать требования относительно механических свойств, которыми должен обладать готовый аппарат. С этой целью в конструкциях несущих систем БЛА широко применяют композиционные материалы.

На данный момент существуют БЛА разных типов, отличающиеся по конструкции, размерам, грузоподъемности и другим параметрам. Элементы конструкции, чаще всего, представляют собой детали простой формы, что позволяет применять стандартизованные изделия в качестве деталей для сборки. По этой причине для изготовления БЛА закупают стандартизованные элементы. В существующих конструкциях рам БЛА мультироторного типа используются импортные материалы и комплектующие, в том числе и элементы несущей системы. В тоже время в Республике Беларусь имеется необходимая база и технологические процессы для изготовления всех необходимых элементов несущей системы БЛА, в том числе из композиционных материалов.

Для получения элементов несущей системы беспилотного летательного аппарата используют различные методы, в том числе: контактное

формование, горячее прессование, намотка, вакуумная инфузия и др. Применяя методы, распространенные на предприятиях, такие как вакуумная инфузия и формование эластичной диафрагмой [1, 2], можно осуществить импортозамещение стандартных деталей.

Для изготовления элементов несущей системы БЛА из композиционных материалов необходимо изменить конструкцию стандартизованных деталей таким образом, чтобы обеспечить оптимальные механические характеристики и оптимальные значения параметров технологического процесса.

В результате проведенного аналитического обзора в качестве аналога выбран БЛА мультироторного типа марки DJ Agros MG 1P (рис. 1(а)). Элементы несущей системы (трубки, пластины и т.п) данного БЛА выполнены из композита на основе углеродной ткани и импортируются. Конструкция несущих элементов модернизирована с учетом возможности изготовления на предприятиях РБ и снижения себестоимости изготовления. Модернизированная конструкция несущих элементов БЛА показана на рис. 1 (б).

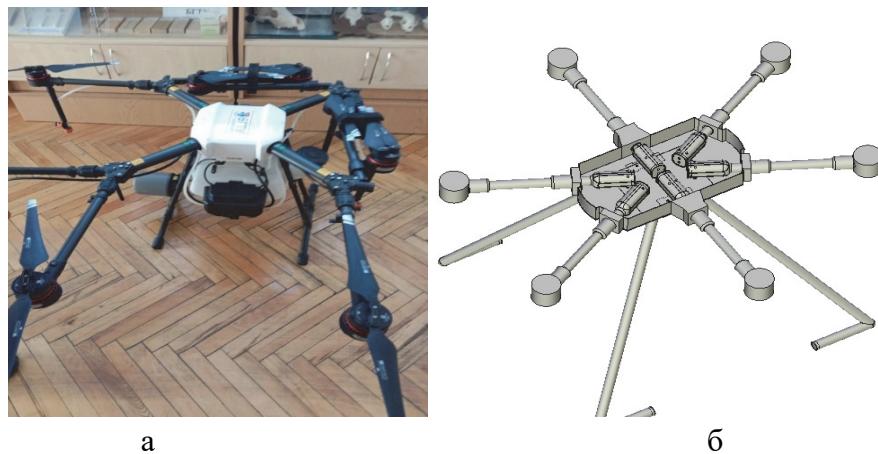


Рис. 1. Конструкция беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа:  
а) – конструкция изделия-аналога; б) – модернизированная конструкция

В качестве технологий для получения элементов несущей системы выбраны вакуумная инфузия и формование эластичной диафрагмой. В качестве материалов для получения изделий выбраны эпоксидное связующее, в состав которого входит эпоксидная смола, марки LR285, отвердитель, марки LH285, и углеродная ткань, марки CW200. [3–5].

Определены технологические характеристики связующего на основе смолы LR 285 (вязкость, время гелеобразования), исследована кинетика отверждения связующего. Для определения вязкости использовали метод падающего шарика. На рис. 2 показаны зависимости вязкости и времени гелеобразования от температуры.

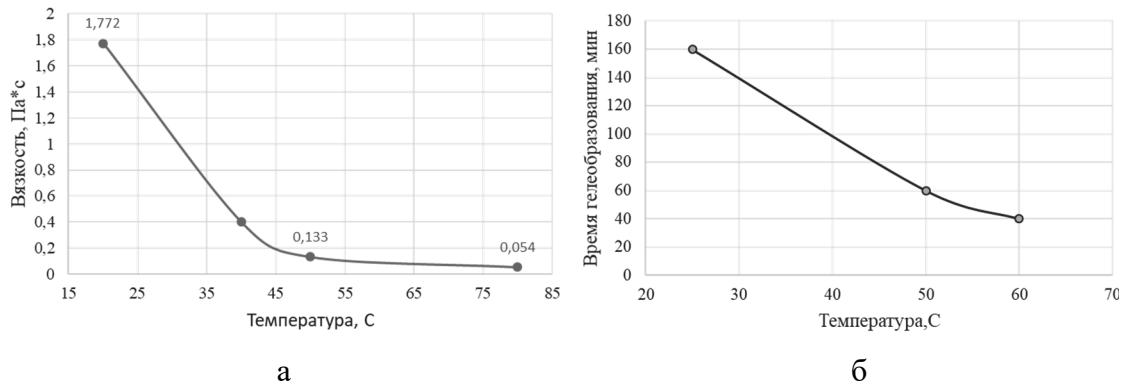


Рис. 2. Зависимости вязкости (а) и времени гелеобразования (б) от температуры

Из рис. 2 (а) следует, что по критерию вязкости связующее может быть использовано для метода вакуумной инфузии.

Установлено, что температура отверждения образцов эпоксидного связующего в состав которого входит эпоксидная смола, марки LR285 и отвердитель марки LH285 в пропорции 100:40 масс.ч., влияет на скорость и качество отверждения, причем при температуре 80 °С происходит бурная экзотермическая реакция отверждения. Скорость отверждения оптимальна при температуре 40-50 °С.

Используя полученные данные по вязкости связующего, рассчитывали время пропитки волокнистого слоя из углеродной ткани CW200 по формуле [6]:

$$t = \frac{(Cn \cdot h_0)^2}{2K_e \cdot \frac{\Delta P}{\mu}}$$

где –  $h_0$  – характерный размер (м),  $K_e$  – коэффициент проницаемости слоя наполнителя,  $\Delta P$  – разность давлений (Па),  $\mu$  - вязкость (Па·с),  $t$  – время (с),  $Cn$  – степень пропитки.

Для элемента «Крестовина» получили расчетное время пропитки около 6 с.

Таким образом, проведенный аналитический обзор показал актуальность исследований, направленных на изучение технологии получения элементов несущей системы БЛА, а также технологических, физико-механических свойств материалов, применяемых для получения изделий авиационного назначения. Показана перспективность применения методов вакуумной инфузии и формования эластичной диафрагмой для получения элементов несущей системы беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа из композиционных материалов на основе эпоксидного связующего и углеродной ткани.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Вакуумная инфузия – технология изготовления [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://composite.ru/tehnologii/infusion1/> – Дата доступа 26.09.2023.
2. Углеродная ткань [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://e-plastic.ru/slovar/f/formovaniua\\_c\\_elactichnoi\\_diafragmoi/](https://e-plastic.ru/slovar/f/formovaniua_c_elactichnoi_diafragmoi/) – Дата доступа 02.04.2024.
3. Эпоксидное связующее Т20-60 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://itecma.ru/products/svyazuyushchie/do-80/45/> – Дата доступа 10.03.2024.
4. Эпоксидное связующее LR285 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://carbonstudio.ru/item/epoksidnaya-smola-lg-285-grm-systems/> – Дата доступа 02.04.2024.
5. Углеродная ткань [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://tech.carbonstudio.ru/product/roving> // – Дата доступа 02.04.2024.
6. Ставров В.П. Механика композиционных материалов : учеб. пособие для студентов специальностей «Конструирование и производство изделий из композиционных материалов», «Оборудование и технологии высокоеффективных процессов обработки материалов» / В. П. Ставров. – Минск: БГТУ, 2008. – 262 с.

УДК 629.7.054.07

## **ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОЕКТРИРОВАНИЯ ТРЕХОСНОГО ИНДИКАТОРНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА ДЛЯ БПЛА**

**Р.В. ФОМИН, Д.Р. МУЛЛАГАЛИЕВ**

Казанский национальный исследовательский технический  
университет имени А.Н. Туполева – КАИ  
Казань, Россия

**Назначение.** Трехосный индикаторный гиростабилизатор (ТИГС) широко применяется для построения систем ориентации и навигации самолетов, вертолетов и БПЛА с продолжительным временем полета. Полезной нагрузкой ТИГС являются три акселерометра, расположенные на его платформе и выдающие сигналы на вычислитель инерциальной навигационной системы (ИНС), а также три датчика углов, расположенные по осям подвеса платформы, которые выдают сигналы по углам

кrena, тангажа и курса объекта. На БПЛА ТИГС применяется также для стабилизации оптико-электронных устройств, например, видеокамеры.

**Классификация БПЛА.** БПЛА классифицируются по следующим критериям: габаритные размеры, время продолжительности полета, высоте полета, а также по конструктивным признакам и сфере действия.

**Классификация БПЛА [1].** По габаритным размерам: сверхлёгкие (до 5 кг), лёгкие (до 200 кг), средние (до 1000 кг) и тяжелые (свыше 1000 кг); по продолжительности полёта: малые (до 1 ч.), средние (до 10 ч.) и большие (свыше 10 ч.); по высоте полета: низковысотные (до 1000 м), средневысотные (до 10000 м) и высотные (до 15000-20000 м); по конструктивным признакам: самолетные и вертолетные схемы; по сфере применения: гражданские, военные и научные.

Исходя из точностных характеристик и габаритных размеров ТИГС, наиболее подходящим объектом для его применения может служить БПЛА самолетной схемы типа «Альтиус», который относится к тяжелым [4]. В докладе рассматривается системное проектирование контуров стабилизации ТИГС [2], построенных на основе динамически настраиваемых гироскопов [3].

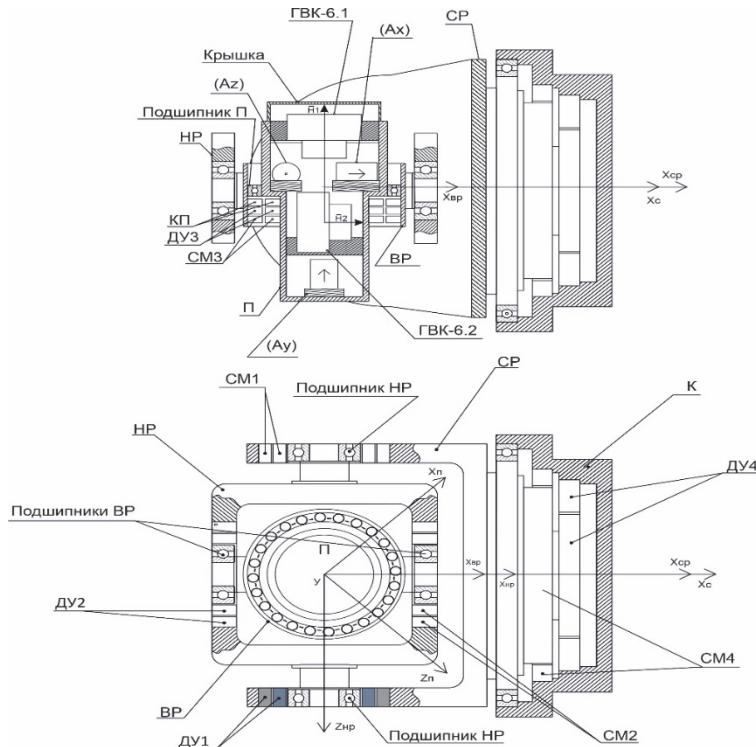


Рис. 1. Эскиз конструкции ТИГС:

П – платформа с акселерометрами  $A_x$ ,  $A_y$ ,  $A_z$  (типа А-15) и гироскопами ГВК-6.1, ГВК-6.2; СР, НР, ВР – рамы следящая, наружная, внутренняя;

$\text{ДУ}_i$  – датчики угла системные;  $\text{СМ}_i$  – стабилизирующие моторы безредукторные серии ДМ; КП – координатный преобразователь.

В соответствии с рис.1 ТИГС представляет электромеханическую схему, состоящую из четырех следящих систем (СС), в которой для горизонтальных и азимутальной осей стабилизации чувствительными элементами (ЧЭ) являются динамически настраиваемые гироскопы ГВК-6.1 и ГВК-6.2, а по оси подвеса следящей рамы ЧЭ служит  $\Delta U_2$ , расположенный по оси подвеса внутренней рамки.

### Структурные схемы контуров стабилизации и управления, представленных в электро-кинематической схеме

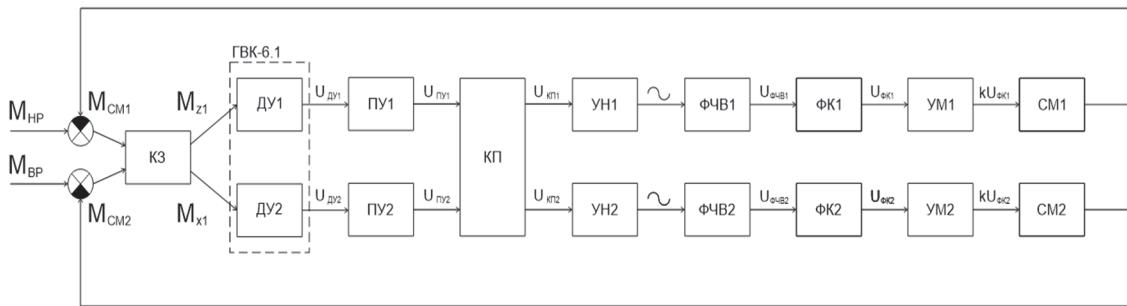


Рис. 2. Структурная схема контура индикаторной стабилизации горизонтальных каналов

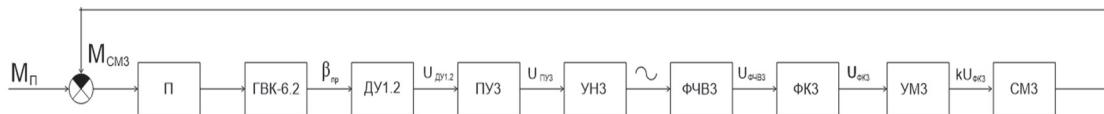


Рис. 3. Структурная схема контура индикторной стабилизации азимутального канала

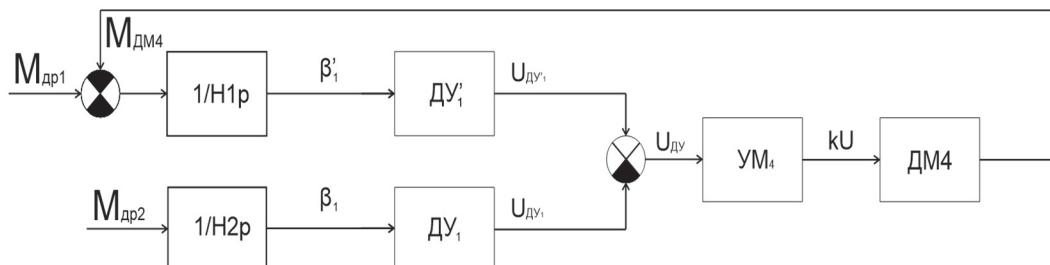


Рис. 4. Структурная схема контура электрического арретирования кинетических моментов гироскопов

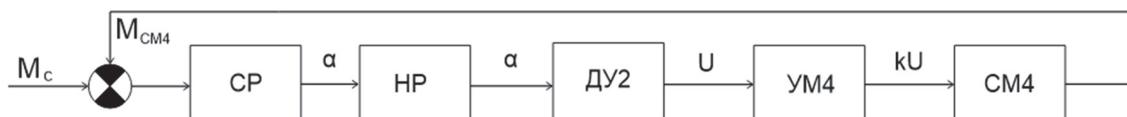


Рис. 5. Структурная схема контура следящей рамы платформы

КЗ – кинематическое звено;  $\Delta Y_i$  – датчики угла;  $CM_i$  – стабилизирующие моторы;  $PY_i$  – предварительные усилители напряжения; КП – координатный преобразователь;  $UN_i$  – усилители напряжения;  $UM_i$  – усилители мощности;  $FVB_i$  – фазочувствительные выпрямители;  $FK_i$  – фильтры коррекции;  $1/p$  – оператор интегрирования;  $M_{HP}$ ,  $M_{VP}$ ,  $M_{CP}$  – возмущающие моменты по соответствующим осям подвеса рамок;  $M_{DP1}$ ,  $M_{DP2}$  – моменты дрейфа гироскопов;  $\bar{H}_1$ ,  $\bar{H}_2$  – кинетические моменты гироскопов;  $\alpha$  – угол неперпендикулярности плоскостью СР и осью  $Y$  платформы;  $\beta_1$ ,  $\beta'_1$  – углы отклонения  $\bar{H}_1$  и  $\bar{H}_2$ .

Последовательность системного проектирования: 1. Разработка электро-кинематической схемы с пояснением четырех контуров индикаторной стабилизации (КИС) и четырех контуров управления положением платформы с акселерометрами. 2. Эскизное проектирование ТИГС – разрамотка 3D модели, которую также используют для расчета моментов инерции относительно осей подвеса. 3. Расчет возмущающих моментов по осям подвеса и статистический расчет КИС. 4. Составление математической модели и динамический синтез КИС. 5. Моделирование в условиях действия возмущений.

### **Заключение:**

1. Используя 3D моделирование составлен эскиз конструкции и определены моменты инерции подвижных частей для динамического синтеза.

2. Проведен синтез азимутального канала индикаторной стабилизации платформы, который подробно будет рассмотрен в докладе.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. В.С. Моисеев. Прикладная теория управления беспилотными летательными аппаратами: монография. – Казань: ГБУ «Республиканский центр мониторинга качества образования». Изд-во РИО ГБУ «РЦМКО», 2013 – 768 с.;
2. Индикаторные гироскопические платформы / [А.Д. Александров, Е.А. Правоторов, В.Ф. Рафельсон, М.П. Фельдман]. Под ред. А.Д. Александрова. Москва: Машиностроение, 1979 – 239с.;
3. Г.М. Виноградов, С.В. Кривошеев. Динамические настраиваемые гироскопы: учебное пособие. – Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2008 – 128с.
4. БПЛА – разведывательно-ударный «Альтиус». Российская авиация. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Альтиус>

УДК 629.7

## РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ICNS ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ В ВОЗДУШНОЕ ПРОСТРАНСТВО

А.И. ЛИСТОПАД, О.Н. СКРЫПНИК

Белорусская государственная академия авиации  
Минск, Беларусь

Одна из характерных особенностей развития мировой авиационной транспортной системы состоит в бурном развитии беспилотной авиации, ее интеграции в общее с пилотируемойaviацией воздушное пространство (ВП) при безусловном сохранении и даже повышении уровня безопасности полетов. Основным инструментом интеграции беспилотных воздушных судов (БВС) в общее ВП является совершенствование системы организации воздушного движения на основе технологий CNS (Communication, Navigation, Surveillance) и в рамках концепции навигации, основанной на характеристиках (Performance Based Navigation, PBN) [1]. При этом сами технологии и инфраструктура средств CNS должны совершенствоваться, обеспечивая совместимость и высокую эффективность для новых пользователей ВП. С этой целью ведутся разработки интегрированной iCNS, в которой расширение возможностей связи, навигации и наблюдения базируется на использовании технологий сотовой связи 4G/5G, доступных при полетах на малых высотах.

Основные цели проектов iCNS включают:

предоставление расширенных услуг, обширного сбора оперативных данных и эффективного обмена информацией между поставщиками услуг и пользователями ВП (с особым акцентом на БВС и авиацию общего назначения (АОН));

рационализацию и оптимизацию использования спектра частот;

улучшение доступа АОН к аэропортам и ВП;

обеспечение доступа к аэропортам для новых пользователей, например системы городской аромобильности (UAM), и реализацию автономных операций БВС и UAM в ВП;

повышение устойчивости функций CNS и быстрый переход на новые технологии.

В первую очередь, проекты направлены на повышение безопасности, киберзащищенности, эффективности и надежности будущих систем управления воздушным движением (УВД). Основная цель разработок заключается в создании взаимодействия между существующими органами УВД и технологиями UTM (Unmanned Traffic Management),

которые будут обеспечивать безопасность совместных полетов пилотируемых и беспилотных воздушных судов.

Ключевая особенность iCNS заключается в использовании сотовых сетей (4G и 5G) в качестве дополнения к существующим технологиям и архитектуре CNS в среде ATM/UTM, с особым акцентом на операции АОН и БВС (рис.1).

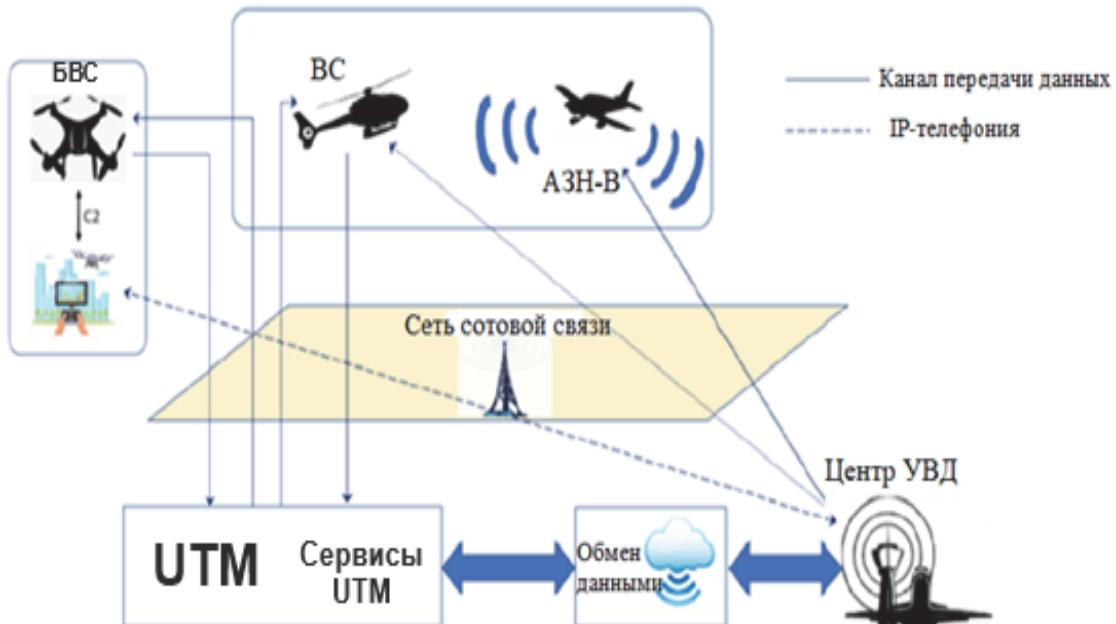


Рис. 1. Архитектура iCNS

Для реализации принципов PBN в iCNS возможны два решения: использование общедоступных сотовых сетей 4G/5G для поддержки полетов на малых высотах и использование выделенной сети 5G для поддержки сложных операций [2]. Такой подход обусловлен различными требованиями к предъявляемым характеристикам связи, наблюдения, навигации и точности выдерживания траекторий объектов.

В Беларусь главным поставщиком ИТ-инфраструктуры является компания beCloud. Провайдер оказывает услуги на базе опорной сети для Единой сети передачи данных и Республиканского центра обработки данных, основываясь на лучших мировых практиках [3]. Одним из основных продуктов beCloud является проект по внедрению сети LTE Advanced pro, которая относится к технологии 4G, обладающая более высокой скоростью передачи данных. На начало 2024 года LTE могли использовать 98,9% населения Беларусь.

На сегодняшний день покрытие сетью 4G обеспечено практически во всех районах страны. Используются три частотных диапазона базовых станций (БС): 800 МГц, 1800 МГц и 2600 МГц. Диапазон 800 МГц

имеет больший радиус действия, именно поэтому в этом диапазоне разворачиваются сети в сельской местности. В большинстве населенных пунктов применяется диапазон 1800 МГц. Такой диапазон позволяет обеспечить баланс между радиусом действия и проникающей способностью. Диапазон 2600 МГц используется в г. Минске и областных центрах. Он обладает улучшенной пропускной способностью, тем самым увеличивает скорость передачи данных до 25 Мбит/с.

В целом по стране в частотном диапазоне 1800 МГц работают 1860 базовых станций beCloud, MTC и Life, 520 станций A1, а общее количество БС в Беларусь уже превышает 3000. По высоте они подразделяются на вышки, мачты и башни. Наиболее подходящими с точки зрения развития iCNS являются башенные конструкции, поскольку дальность действия у таких БС, зависящая от высоты поднятия антенны, будет больше (табл.1). Поэтому развертывание сети БС типа «башня» будет более предпочтительно для пользователей БС и АОН в сельской местности и удаленных районах. Однако высотные сооружения могут создать препятствия на пути следования ВС.

Табл. 1. Зависимость дальности действия (км) системы от высоты полета и поднятия антенны

Высота полета/высота антенны	Стандартная вышка (29 м)	Мачты, высота до 70 м	Башни, высота до 100 м
50	51	63	70
100	63	75	82
150	72	85	91
200	80	92	99

Также следует учитывать, что на фактическую скорость приема и передачи данных будут влиять условия распространения радиоволн, особенность рельефа местности, метеоусловия, технические характеристики используемых устройств и загруженность сети.

Измерения сетей LTE, проведенные в 2021 г. в рамках одного из проектов, подтвердили, что сеть мобильной связи общего пользования в современных типичных конфигурациях в целом достаточно надежна (сопоставима с производительностью на земле) на высоте около 100 метров. Однако, на больших высотах вероятность возникновения помех выше, что приводит к ухудшению качества сигнала.

Организация и контроль за воздушным движением БС предполагает обмен большими объемами информации, поэтому предпочтительной для использования является сеть 5G, которая обладает высокой гибкостью и в дальнейшем может быть адаптирована для конкретного региона, если потребуется дополнительная мощность.

С функциональной точки зрения, сеть предоставляет возможность использования различной полосы пропускания в зависимости от спектра. Сети 5G могут обслуживать несколько сотен пользователей одновременно, однако требования к ее доступности и пропускной способности зависят от количества работающих устройств.

В проектах iCNS помимо классической сотовой связи беспроводная сеть сможет обеспечить групповое общение. При таком способе информации будет передана группе пользователей, которая может быть определена полустатически. Это повысит ситуационную осведомленность и снизит риск возникновения опасных ситуаций. Также рассматривается возможность использования сетей сотовой связи для организации линии связи СЗ между оператором БВС и диспетчером УВД. Одно из предложений — использовать VoIP, который также может быть реализован сетью беспроводной связи.

В некоторых проектах для обеспечения максимальной скорости обмена данными предлагается создание выделенной сети 5G. Однако такое решение требует больших финансовых затрат. Выделенные сети могут быть только локальными и применяться в районах с большой интенсивностью полетов. Поэтому на данный момент сети 4G/5G рассматриваются как единственный вариант, при котором технология сотовой связи потенциально могла бы использоваться в глобальных масштабах. К тому же в 2028-2030 годах планируется внедрение шестого поколения мобильной связи, в котором будет осуществлен переход от гигагерцового к терагерцовому диапазону. Благодаря этому зоны покрытия сети 6G расширяются в десятки раз, а скорость передачи данных, по существующим прогнозам, будет около 1Тбит/с.

Сотовые технологии помогут удовлетворить потребности пользователей ВП, осуществляющие полеты на малых высотах (прежде всего БВС и АОН), так как использующая их бортовая аппаратура обладает небольшим весом, низким энергопотреблением, невысокой стоимостью, а каналы связи имеют более высокую пропускную способность по сравнению с каналами CNS.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Системы CNS/ATM: учеб. пособие / Сост. В.А. Казаков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Ульяновск: УВАУ ГА, 2008. - 103 с.
2. FACT Project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://fact.itu.edu.tr/#>. – Дата доступа: 17.03.2024.
3. BeCloud – официальный сайт провайдера облачных решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://becloud.by/>. – Дата доступа: 20.03.2024.

## АНАЛИЗ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ МОЛНИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ

А.О. РОМАНОВА

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева  
Казань, Россия

**Введение.** Прямое воздействие разряда молнии на обшивку беспилотного летательного аппарата (БЛА) может оказаться причиной нарушения работоспособности объекта в случае отсутствия системы молниезащиты [1].

Для повышения устойчивости к разряду молнии БЛА используются дорогостоящие испытательные установки, применяемые для выявления избирательности молнии, а также моделирование воздействия молнии на летательный аппарат.

Преимуществом средств компьютерного моделирования является значительное сокращение временных и финансовых затрат.

Целью данной работы является разработка методики анализа избирательности молнии при ее воздействии на БЛА на основе компьютерного моделирования.

**Метод определения мест крепления канала молнии.** В качестве метода определения областей начального крепления канала молнии рассматривается метод катящейся сферы. Данный метод широко применяется для оценки молниезащиты зданий [2].

Суть метода заключается в следующем: сфера, имеющая заданный радиус, прокатывается по всему объекту. Во время ее прокатывания определяются области, в которых сфера соприкасается с поверхностью объекта. Данные области считаются опасными зонами, в которых вероятно крепление канала молнии. Области, в которых не было зафиксировано соприкосновение поверхности объекта со сферой за все время ее прокатывания, являются безопасными зонами. В случае применения данного метода для оценки молниезащиты наземных сооружений на основе полученных результатов выполняется установка молниеприемников в зонах, в которых вероятно крепление канала молнии [2, 3].

В методе за радиус сферы принимается «радиус стягивания», который рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{\text{сф}} = 10 \cdot I^{0,65},$$

где  $R_{\text{сф}}$  – радиус катящейся сферы (м),  $I$  – пиковое значение тока первого короткого удара молнии (кА) [2].

В отношении молниезащиты зданий и сооружений в стандартах Международной электротехнической комиссии установлено соответствие между уровнем молниезащиты и радиусом сферы [2].

Для случая расчета радиуса катящейся сферы для БЛА, имеется мало данных о пиковом значении тока первого короткого удара молнии. В связи с этим, при отсутствии данных об амплитуде тока молнии для определения ее значения предлагается использовать среднестатистическое распределение амплитуды тока молнии на основе модели, предложенной Комягиным С.В. (рис. 1) [4].

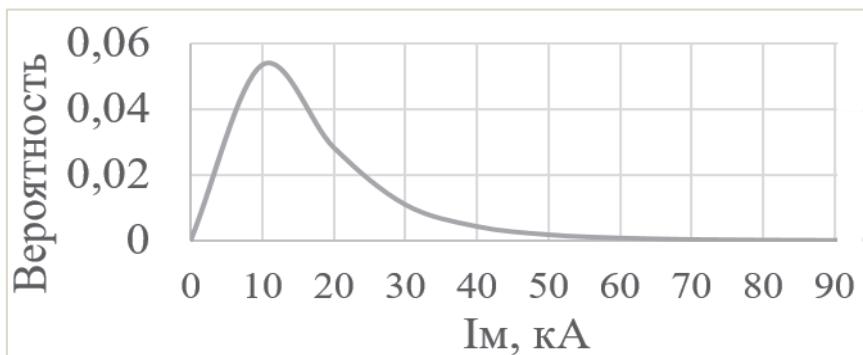


Рис. 1. Среднестатистическое распределение амплитуды тока молнии

Для ужесточения требований по молниезащите рекомендуется выбирать наименьшее возможное значение амплитуды тока молнии. Данная рекомендация связана с зависимостью площади опасных зон на БЛА от радиуса катящейся сферы. Чем меньше радиус катящейся сферы, тем большую часть поверхности БЛА будут занимать области, в которых возможно начальное крепление канала молнии.

Таким образом, с помощью метода катящейся сферы можно определить безопасные и опасные зоны летательного аппарата.

**Определение мест крепления канала молнии на БЛА методом катящейся сферы.** На рис. 2 представлены результаты прокатывания сферы, радиус которой равен 39 м, по БЛА.

Синим цветом отмечены безопасные зоны. Желтым цветом отмечены вероятные места крепления канала молнии. В связи с тем, что площади зон крепления канала молнии на представленной модели БЛА достаточно небольшие для графического отображения на общем плане, места крепления канала молнии отмечены красными маркерами.

Таким образом, местами возможного крепления канала молнии являются лопасти, нос, корма, киль, передняя антенна и задняя опорная нога.

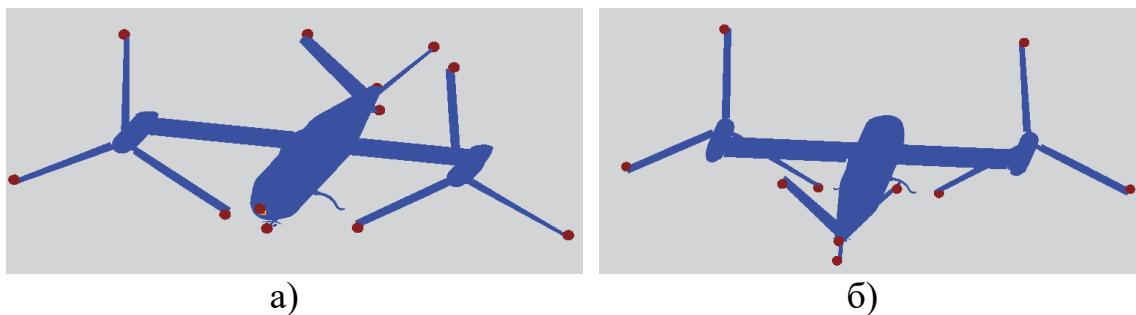


Рис. 2. Области крепления канала молнии при радиусе сферы, равном 39 м (а – вид спереди; б – вид сзади)

### Выводы:

1. Для определения возможных мест крепления канала молнии в данной работе предложено использование метода катящейся сферы для значительного сокращения временных и финансовых затрат.
2. Представлены результаты, полученные методом катящейся сферы, для БЛА.
3. Результаты по определению мест начального крепления канала молнии сильно зависят от радиуса сферы, следовательно, стоит рассмотреть вопрос подбора радиуса сферы более подробно.
4. Для получения точной оценки применимости метода катящейся сферы требуется сравнение результатов, полученных данным методом, с результатами физических испытаний летательного аппарата на избирательность молнии.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Базелян Э.М., Райзер Ю.П. Физика молнии и молниезащиты. М.: Физматлит, 2001. 320 с.
2. ГОСТ Р 59789-2021. Защита зданий и сооружений от повреждений и защита людей и животных от электротравматизма
3. Мещеряков В.Е. Компьютерное моделирование системы молниезащиты на объектах энергетики // Материалы VII ежегодной научной сессии аспирантов и молодых ученых – Вологда: ВоГУ, 2013. – Т. 1: Технические науки. – 370 с.
4. Комягин С.И. Электромагнитная стойкость беспилотных летательных аппаратов. Т.2: Методология решения проблемы. – М.: URSS, 2019. – 320 с.

УДК 539.3/.4; 678.8

## ОСОБЕННОСТИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФОТООТВЕРЖДАЕМЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ПРИМЕРЕ КЛЕЯ NORLAND 61

А.П. САЗАНКОВ

Институт механики металлополимерных систем  
имени В.А. Белого НАН Беларуси  
Гомель, Беларусь

**Введение.** Модуль упругости и предел прочности — важнейшие характеристики конструкционных пластиков, широко применяемых в беспилотных летательных аппаратах [1]. В этой связи к механическим характеристикам полимерных связующих и клеевых материалов предъявляются достаточно высокие требования, что выражается в периодическом входном контроле для оценки их пригодности после продолжительных сроков хранения.

В частности, в данной работе исследовалась фотоотверждаемая оптически прозрачный полимерный клей Norland 61 (далее – NOA 61) [2], используемый для быстрого соединения деталей аппаратуры БПЛА. Для оценки степени деградации механических свойств при длительном хранении целесообразно проведение контрольного испытания на одноосное растяжение образцов тонкой пленки, полученной путем фотополимеризации клея. Такого рода испытания регламентируются ГОСТ 14236 [3], а определение модуля упругости и предела прочности производится по ГОСТ 9550 [4] и ASTM D2095°[5].

**Цель работы:** определение степени деградации деформационно-прочностных свойств фотоотверждаемого клеевого материала в процессе хранения.

**Используемые методы и материалы.** Для изготовления образцов при оценке степени деградации свойств клея NOA 61 предварительно получали пленочную заготовку. Смолу выливали в установленную по уровню кювету из фторопласта и производили двухэтапную полимеризацию под действием УФ излучения с длиной волны 365°нм с учетом рекомендаций [2]. В качестве источника излучения использовалась УФ камера с лампой OSRAM ULTRA-VITALUX UVA/UVB. Низкая адгезия клея к фторопласту облегчала отделение пленочной заготовки от кюветы.

Из полученной пленочной заготовки в виде диска диаметром 100 мм вырезались полоски шириной 8 мм с ровными и гладкими кромками без заузбин и других видимых дефектов согласно требованиям ГОСТ 14236 [2]

по обеспечению одноосного напряженного состояния образцов при испытании на статическое растяжение.

Определение модуля упругости и предела прочности отверженного клея NOA 61 производилось на универсальной испытательной машине Instron 5567 (Великобритания). Условия проведения механических испытаний: температура воздуха 23 °C, относительная влажность воздуха 50 %, давление 750 мм рт. ст.; скорость нагружения  $V$  задавалась 1 мм/мин и 10 мм/мин соответственно.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Определение модуля упругости производилось на начальном участке диаграммы деформирования (рис. 1) посредством навесного экстензометра контактного типа с базой измерения 25 мм. Модуль упругости клея NOA 61 согласно техническим данным [2] составляет 150 000 psi = 1034,21 МПа = 1,03 ГПа.

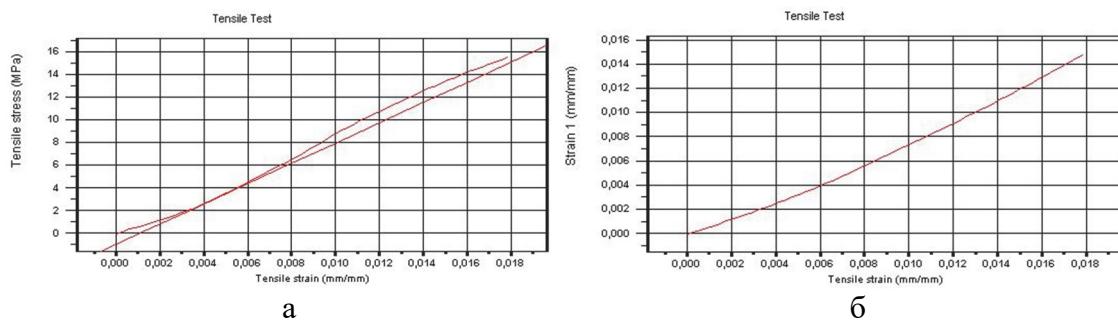


Рис. 1. Зависимости «напряжение – деформация» (а) и «деформация Strain1 (экстензометр) – деформация» (б) образца № 1-1 NOA 61

Результаты испытаний по определению прочности клеевого материала NOA 61 показаны на рис. 2.

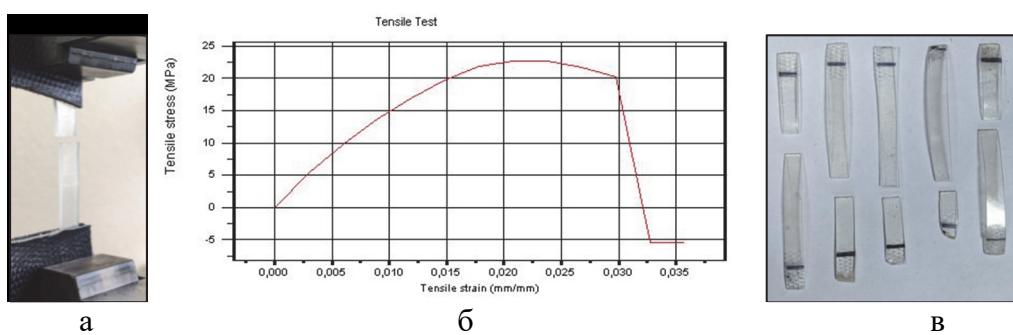


Рис. 3. Способ установки образца (а), диаграмма деформирования (б) и характер разрушения материала NOA 61 (в)

Ввиду небольшого отклонения образцов от плоскости, обусловленного внутренними напряжениями, возникающими при УФ-полимеризации, производилось их трехкратное нагружение.

В табл. 1 приведены значения модуля упругости, определенные при трехкратном нагружении каждого образца по перемещениям подвижной траверсы машины Instron 5567  $E^l$  и посредством навесного экстензометра  $E^e$ , дающего более точный результат.

Табл. 1 – Значения модуля упругости и предела прочности полимера NOA°61 при растяжении

№ обр.	$E^l$ , ГПа	$E^e$ , ГПа	№ обр.	$\sigma_p$ , МПа	$E^l$ , ГПа
1-1	1,04	1,05	1	22,72	1,16
1-2	1,12	1,21	2	28,34	1,67*
1-3	1,22	1,25	3	27,14	1,34
Среднее	1,13	1,17	4	24,05	1,20
Ср. откл.	0,09	0,11	5	37,22*	1,67*
2-1	1,25	1,40	Среднее	27,89	1,41
2-2	1,33	1,67	Ср. откл.	5,69	0,25
2-3	1,43	1,60			
Среднее	1,34	1,56			
Ср. откл.	0,09	0,14			

Можно заметить близкое совпадение результатов измерения *модуля упругости* по перемещениям подвижной траверсы машины Instron 5567 ( $E^l$ ) и посредством навесного экстензометра ( $E^e$ ), например, для образца № 1-1, равных 1,04 ГПа и  $E^e = 1,05$  ГПа соответственно.

При первом нагружении значения модуля упругости NOA 61  $E^l$  (образец № 1-1) весьма близко соответствует его справочному значению 150 000 psi (1,03 ГПа) [2]. Более высокие значения модуля упругости, полученные при последующих нагружениях, очевидно, обусловлены постепенным выравниванием образцов и эффектом ориентационного упрочнения. В целом, средние значения модуля упругости NOA 61 не менее показателя 1,03 ГПа, представленного в технической информации. Также установлено, что полученные средние значения предела прочности  $\sigma_p$  существенно превышают регламентированный показатель 3000 psi = 20,68 МПа [2].

**Заключение.** На образцах, изготовленных с использованием УФ-полимеризации, определены модуль упругости и предел прочности при растяжении отверженного клея NOA 61. При первом нагружении значения модуля упругости  $E^l = 1,04$  ГПа весьма близко соответствует справочному значению 1,03 ГПа. Более высокие значения модулей упругости, полученные при последующих нагружениях, очевидно, обусловлены постепенным выравниванием образцов и эффектом ориентационного упрочнения.

В целом, средние значения модуля отверженного клея NOA 61 превышают нормативное значение 1,03 ГПа. Предел прочности при растяжении равен 27,89 МПа, что значительно выше нормативного предела прочности 20,68 МПа.

Таким образом, установленная в ходе проведенных испытаний степень деградации механических свойств полимерного клеевого материала NOA 61 после длительного хранения позволяет его использовать для изготовления узлов беспилотных летательных аппаратов.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1 Путилина П.М., Куцевич К.Е., Исаев А.Ю. Полимерные композиционные материалы на основе углеродных и стеклянных волокон для изготовления деталей беспилотных летательных аппаратов и перспективы их развития // Труды ВИАМ. – 2023. – № 8 (126) . – С. 85-99 DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-8-85-99.

2 Норланд 61 (Norland Optical Adhesive 61 (NOA 61)) : информация. – 2018. – 1 с.

3 ГОСТ 14236-81. Пленки полимерные. Метод испытания на растяжение. – М. : Издательство стандартов, 1981. – 10 с.

4 ГОСТ 9550-81. Пластмассы: методы определения модуля упругости при растяжении, сжатии и изгибе. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 8 с.

5 ASTM D2095-96(2015). Standard Test Method for Tensile Strength of Adhesives by Means of Bar and Rod Specimens. – US: ASTM International, 2015. – 3 p.

УДК 629.733.34

## **КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ПРИВЯЗНОГО АЭРОСТАТА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РЕТРАНСЛЯЦИИ СВЯЗИ**

М.А. СКВОРЦОВА, И.Н. АБДУЛЛИН, Д.Д. ПАНКРАТОВ  
Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А.Н. Туполева – КАИ  
Казань, Россия

На сегодняшний день во всем мире нашли широкое применение в различных сферах жизни беспилотные авиационные системы (БАС).

Беспилотная авиационная система – это комплекс взаимосвязанных элементов, включающий в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов (БВС), средства обеспечения взлета и посадки, средства управления полетом одного или нескольких БВС и контроля за полетом одного или нескольких БВС.

По типу несущей системы в горизонтальном полете беспилотные воздушные судна можно разделить на несколько групп: БВС самолетного типа; БВС вертолетного типа; БВС мультикоптерного типа; БВС – автожир; БВС – на реактивной тяге.

Каждая из них имеет свои преимущества и недостатки. Например, БВС самолетного типа обладают высокой скоростью и грузоподъемностью, при этом они должны поддерживать постоянное движение вперед, чтобы сохранять высоту. Вследствие этого БВС самолетного типа не могут быть использованы для ряда задач, таких как мониторинг местности. Беспилотные воздушные судна вертолетного типа, напротив, обладают ограниченной степенью мобильности и переносимого веса, но в то же время способны осуществлять движение в любом направлении, а также оставаться в одной точке в течение длительного промежутка времени. Таким образом, выбор БВС зависит от цели применения, например, транспортные работы, аэрофотосъемка, воздушное патрулирование и наблюдение, поисково-спасательные работы и т.д.

Среди различных сфер применения беспилотных воздушных судов их использование в качестве ретрансляторов в системах беспроводной коммуникации является одним из важнейших. Системы связи, использующие БВС, обладают ключевым преимуществом – в отличие от наземных систем ретрансляции сигналов, их функционирование не может быть затруднено затенением городской или горной местностью или повреждением инфраструктуры связи, вызванным природными катастрофами.

Основным недостатком автономных беспилотных воздушных судов является ограниченное время функционирования, связанное с малым ресурсом аккумуляторов БВС, оснащенных электрическими двигателями, или в случае использования двигателей внутреннего сгорания с ограниченным запасом топлива. В связи с этим такие летательные аппараты (ЛА) не могут быть эффективно использованы в системах, где требуется длительное время функционирования, например, в системах управления безопасностью и охраны от террористических угроз критически важных объектов (атомных станций, аэропортов, протяженных мостов, участков границ и т.д.).

Длительное функционирование могут обеспечивать привязные высотные беспилотные платформы, в которых электропитание двигателей и аппаратуры полезной нагрузки осуществляется от наземных источников энергии. К таким ЛА можно отнести аэростаты.

Аэростат – это летательный аппарат легче воздуха, принцип действия которого основан на законе Архимеда.

Различают следующие виды аэростатов: привязные; свободнолетящие; аэростаты с двигателем – дирижабли.

Главным достоинством аэростата является способность пребывать в воздухе в течение длительного времени – полет длится дни или даже недели. В это время аппарат может оставаться на месте, лететь по ветру или даже выполнять некоторые маневры, перестраиваясь из одного воздушного течения в другое. Именно по этой причине аэростаты преимущественно используются для наблюдения с воздуха. Кроме того, аэростат может работать из любого места, ведь ему не требуется взлетно-посадочная полоса как для самолета.

Полеты на ЛА легче воздуха базируются преимущественно на аэростатическом способе создания подъемной силы и, отчасти, – на аэродинамическом. Для создания аэростатической (архимедовой) подъемной силы энергия не нужна, что позволяет отнести аэростаты к самым энергетически экономичным летательным аппаратам.

Целью данной работы является разработка концептуального проекта привязного аэростата, предназначенного для ретрансляции связи.

На рис. 1 изображен эскиз проектируемого привязного аэростата, состоящего из: оболочки, оперения, гондолы, ретранслятора связи, та-келажа, лебедки.

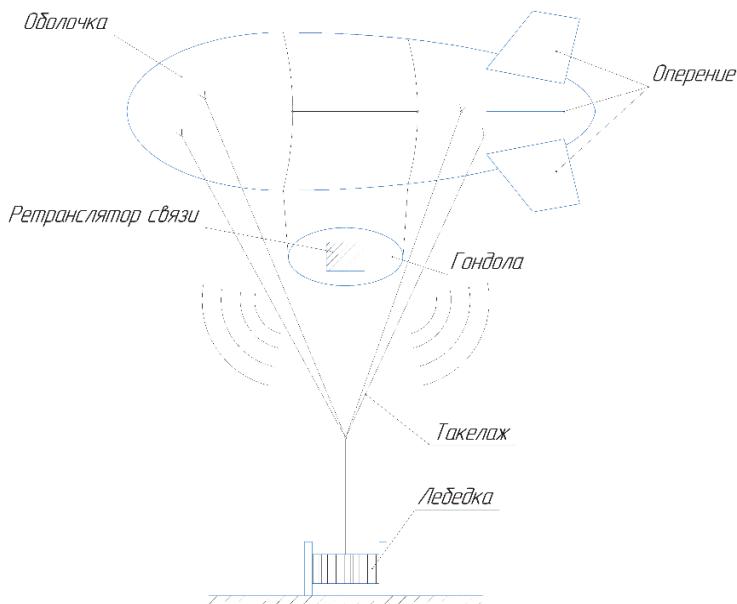


Рис. 1. Эскиз привязного аэростата

В качестве основных исходных данных задается масса коммерческой нагрузки  $m_{ком} = 5$  кг. Дополнительно необходимо задать следующие проектные параметры (табл. 1).

Табл. 1. Исходные данные

Уравнение меридионального обвода корпуса аэростата	Для носовой части: $y = \frac{D}{2 \cdot a_1} \cdot \sqrt{a_1^2 - x^2}$
Удлинение корпуса аэростата	$\lambda = 3$
Относительный объем баллонетов	$\bar{U}_{\text{бал}} = 0,6$
Количество баллонетов	$n_{\text{бал}} = 1$
Относительная площадь оперения	$\bar{S}_{\text{оп}} = 0,061$
Количество стабилизаторов хвостового оперения	$n_{\text{ст}} = 4$
Высота крейсерского полета	$h = 500 \text{ м}$
Плотность несущего газа	$\rho_{He} = 0,17847 \text{ кг/м}^3$
Тип корпуса аэростата	Мягкий

На основе вышеперечисленных параметров рассчитываем геометрические характеристики корпуса ЛА, значения которых приведены в табл. 2.

Табл. 2. Геометрические характеристики корпуса привязного аэростата

Параметр	Обозначение	Значение
Объем	$U, \text{ м}^3$	12
Диаметр миделева сечения	$D, \text{ м}$	1,9695
Длина	$L, \text{ м}$	5,9085
Площадь омываемой поверхности	$S_{\text{ом.об}}, \text{ м}^2$	29,0972
Расположение оперения	$L_{\text{ст}}, \text{ м}$	5,4857
Высота оперения	$b, \text{ м}$	0,6855
Площадь руля	$S_p, \text{ м}^2$	0,2014
Площадь стабилизатора	$S_{\text{ст}}, \text{ м}^2$	0,5792
Корневая хорда стабилизатора	$C_{0\text{ст}}, \text{ м}$	1301,0000
Концевая хорда стабилизатора	$C_{k\text{ст}}, \text{ м}$	740,2690

В трехмерном виде геометрический облик проектируемого аэростата будет выглядеть следующим образом (рис. 2):

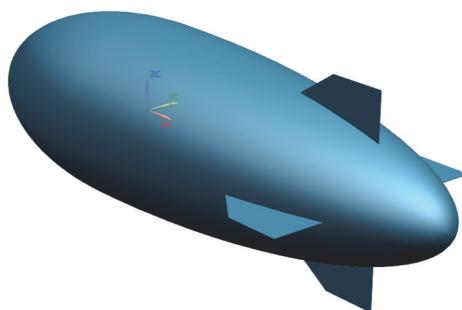


Рис. 2. Трехмерное изображение геометрического облика привязного аэростата

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кирилин А.Н. Дирижабли – Москва: МАИ-Принт, 2013. – 415 с.: ил., портр., табл., цв. ил., портр.; 24 см.; ISBN 978-5-7035-2314-8
2. Фомина Н.Н. Атлас форм корпусов дирижаблей – Москва: издво и тип. Центр. аэро-гидродинамич. ин-та им. проф. Н. Е. Жуковского, 1935. - Обл., 70, [2] с., 2 вкл. л. табл.: черт.; 26x18 см. - (Труды Центрального аэрогидродинамического института имени профессора Н.Е. Жуковского/ НКТП СССР. Глав. упр. авиац. пром-сти; Вып. 238).
3. Rajkumar S. Pant A methodology for determination of baseline specifications of a non-rigid airship
4. Rajkumar S. Pant Conceptual Approach for Design, Fabrication and Testing of Indoor Remotely Controlled Airship

УДК 004.925.84

## 3D-СКАНИРОВАНИЕ И РЕИНЖИНИРИНГ ЛОПАСТЕЙ БПЛА

В.Е. СМЕЯН, Г.Н. ДЬЯКОВА

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

Реинжиниринг (реверс-инжиниринг, reverse-engineering) – процесс создания 3D-объекта по уже готовому образцу с использованием технологий 3D-сканирования.

Метод обратного проектирования применим для любой сферы промышленности и широко используется в машиностроительной, аэрокосмической, судостроительной и других областях производства. Он особенно актуален в случае необходимости ремонта вышедших из строя детали или узла сложной формы при отсутствии чертежей от завода-изготовителя.

Принципиальную схему обратного проектирования (рис. 1) с использованием 3D-сканера можно изобразить следующим образом: 3D-сканирование физического объекта, перевод полученного облака точек в полигональную 3D-модель (STL-модель), обработка модели в специальном программном обеспечении для перевода в CAD-модель.

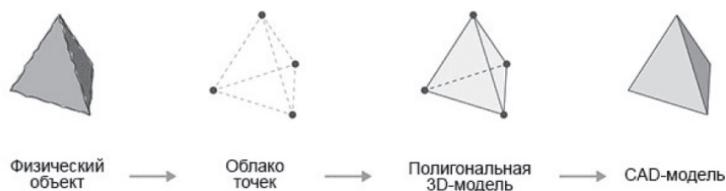


Рис. 1. Процесс обратного проектирования [1]

Целью данной работы являлось восстановление поврежденной в следствие эксплуатации лопасти октокоптера DJI\_Agras\_MG-1P (рис. 2), а также в дальнейшем ее изготовление методом аддитивного синтеза.



Рис. 2. Повреждения исходной детали

Трехмерное сканирование дает возможность получить сложнопрофильную объемную модель исследуемого объекта. 3D-сканер оцифровывает предмет, что позволяет ускорить процесс получения его математической модели для последующей печати на 3D-принтере [2].

Так как поверхность лопасти не однотонна и имеет блики, то перед сканированием на деталь наносили матирующее средство и метки, по которым в дальнейшем можно произвести сшивку сканов в случае отказа или некорректности работы автоматической сшивки. В качестве матирующего средства использовали специальный самоисчезающий спрей.

Сканирование производилось с помощью оптического 3D-сканера SHINING EinScan Pro 2X с разрешением сканирования 200 микрон и точностью 40 микрон. Процесс осуществляли в автоматическом режиме с использованием поворотного столика. Деталь сканировалась под углом поочередно с разных сторон, количество сканов для данной лопасти составило 26.

Обработка результатов сканирования осуществляется в программном обеспечении (ПО) EXScan Pro\_v4, при этом сканы (облако точек каждой отсканированной стороны), полученные за один процесс сканирования программа совмещает автоматически в группу. Последующие группы сканов, полученные позднее, объединяются вручную (по ранее установленным меткам), после чего, при удовлетворительном результате, можно создать полигональную модель или, в нашем случае, выгрузить данные как группу уже совмещенных сканов.

Для дальнейшей обработки полученных сканов использовали ПО Geomagic Design X. Реверсивный инжиниринг проводился способом создания твердотельной модели по имеющемуся облаку точек, то есть «перерисовкой» математической модели.

В первую очередь в ПО производится их дополнительная обработка группы сканов: глобальное совмещение, создание единой сетки,

восстановление (автозаполнение) некоторых отверстий. Готовая сетка автоматически разбивается на стандартные области, например, плоскость, цилиндр и др. для последующего упрощения выбора элементов модели при ее «перерисовке». Полученные области также можно редактировать, объединяя или наоборот разбивая их между собой.

Геометрия лопасти представляет собой две сложные пересекающиеся поверхности и место крепления в виде цилиндра с отверстием. Дальнейший процесс построения твердотельной модели происходит с использованием стандартных функций CAD-программ, но эскизы каждой поверхности строят на основе полученной сетки, избегая область деформированной трещины, и поочередно отсекаются от ранее созданного твердого тела.

На рис. 3 представлена результат реконструкции поврежденного участка лопасти.

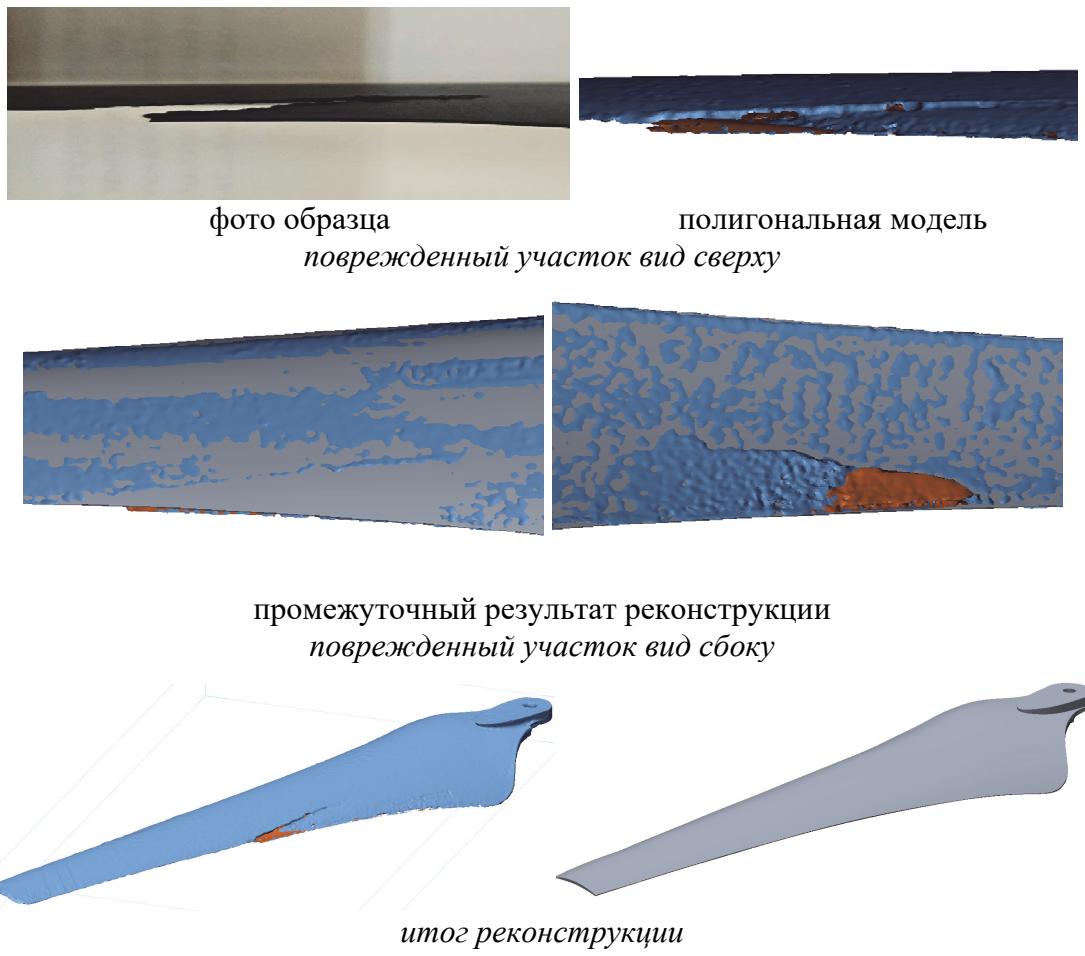


Рис. 3. Реконструкция области трещины

Обязательным этапом обратного проектирования является анализ построения – оценка отклонений построенной модели от эталона

(сетки). Результат анализа выводится на экран в виде цветовой карты изделия (рис.4). Максимальный и минимальный пороги отклонений по умолчанию установлены равными 1 мм. В данном случае допускаемая погрешность модели не более  $\pm 0,1$  мм.

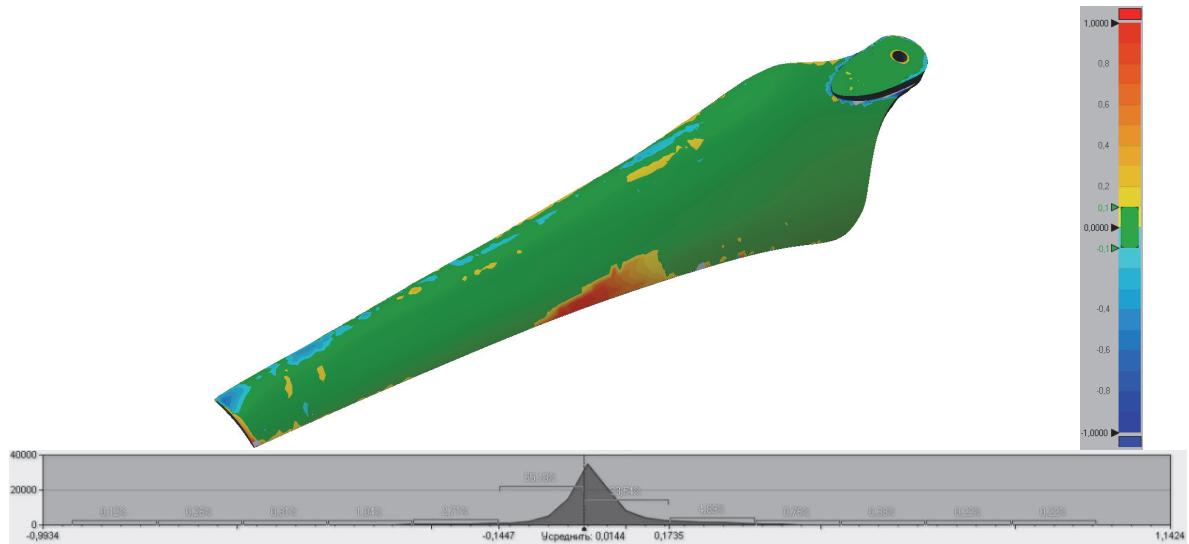


Рис. 4. Цветовая карта изделия

Из цветовой карты видно, что отклонения детали не превышают  $\pm 0,1$  мм, за исключением поднутрений в отверстии, что связано с падающими тенями сканов данной области. Также на цветовой карте объекта выделяется область трещины. Она отображается с отклонением  $\pm 1$  мм, так как имела деформацию в виде изгиба в одну сторону. В результате реверса данный дефект полностью устранен и поверхность имеет ровное строение.

Область отверстия достраивали с учетом размеров образца эталона путем прямых замеров с помощью штангенциркуля.

Таким образом, можно сделать вывод о перспективности использования 3D-сканирования для выполнения реверс-инжиниринга в программах для автоматизированного CAD-моделирования. Формат данных сканирования позволяет импортировать их в любое ПО для дальнейшей доработки. Возможности технологий 3D-сканирования позволяет сэкономить время на проектировании CAD-модели с нуля, поскольку полученные данные обладают высокой точностью и детализацией.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Как 3D-сканеры используют в реверс-инжиниринге / URL: <https://globatek.ru/3d-wiki/revers-engineering> (дата доступа: 02.04.2024).

2. Дьякова Г. Н., Смеян В. Е., Кордикова Е. И. 3D-сканирование и последующее изготовление анатомических моделей методами аддитивных технологий // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2023. № 1 (265). С. 15–20. DOI: 10.52065/2520-2669-2023-265-1-2.

УДК 621.22.018.8: 621.317.79: 681.14

## **СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПРИВОДОВ ПРОПЕЛЛЕРОВ БПЛА В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ**

М.Ю. ЩЕГЛОВ, Д.Е. ЛУНГУ

Казанский национальный исследовательский технический  
университет им. А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)  
Казань, Россия

С целью исследования приемистости и управляемости приводов пропеллеров БПЛА, формирования оптимальных законов управления, а также, решения задач стандартизации и сертификации данных устройств, актуальной является задача определения частоты вращения приводов пропеллеров БПЛА в лабораторных условиях с фиксацией переходных процессов по данному параметру.

Первичный сигнал может быть легко получен, например, от микрофонного датчика, расположенного рядом с вращающимся пропеллером, или с уже встроенного в некоторые электроприводы датчика Холла – с последующим преобразованием в периодические импульсные сигналы и преобразованием их параметров электронно-счётными средствами. Однако основной проблемой решения подобных задач является противоречие между временем, выделенным на измерение, которое не должно быть большим по соображениям фиксации частоты именно в переходных режимах, самой измеряемой частотой и требуемой точностью измерения. Так, например, если требуется циклически проводить измерения частоты вращения пропеллера за 0,1 с (10 отсчётов в секунду), а сама измеряемая частота составляет 200 Гц, то подсчитанные за 0,1 с всего 20 импульсов методом непосредственного счёта дадут погрешность  $\pm 5\%$ , поскольку в зависимости от взаимного расположения измеряемых импульсов относительно начала и конца интервала измерения, реально их может уместиться и 19 и 21.

Данная проблема в цифровой измерительной технике известна и решается давно, существуют не только статьи и монографии, но и учебники, в которых описаны различные способы и устройства, например, /1/. Вновь классифицировать их нет необходимости в рамках данной статьи, можно указать лишь на два обстоятельства.

1. Высокая точность существующих эталонов времени и частоты (прежде всего кварцевых генераторов – до  $10^{-8}$  относительных единиц, и меньше), а также, высокая частота тактового генератора и большая ёмкость счётчиков, позволяют с высокой точностью фиксировать временные параметры исследуемых импульсов.

2. Начало, и окончание интервала времени измерения не могут быть синхронизированы с фронтами исследуемого сигнала.

Исходя из этого представляется наиболее эффективным очевидный способ определения средней частоты  $f_x$  исследуемого сигнала за заданное время  $T_u$  измерения, суть которого поясняет рис. 1, на котором отображён входной сигнал после преобразования в прямоугольные импульсы  $U_{\text{вх}}$ .

В качестве примера, близкого к крайнему случаю, здесь отображена ситуация, когда за время измерения  $T_u$  умещается только два целых периода входного сигнала, соответственно, число попавших передних фронтов импульсов  $U_{\text{вх}}$  равно трём,  $N = 3$ . Для меньших  $N$  данный способ измерения теряет смысл.

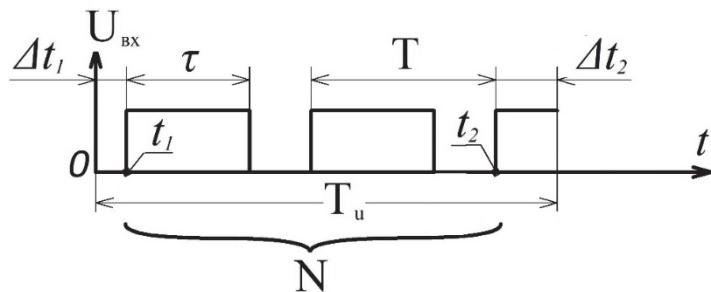


Рис. 1. Временная диаграмма входного импульсного сигнала в наложении на интервал измерения

Здесь отображается промежуток времени только однократного измерения от нуля до  $T_u$ , в течение которого ведётся фиксация величин, необходимых для определения средней за время  $T_u$  частоты  $f_x$ . Очевидно, что наряду с  $N$  и заданным  $T_u$ , это  $\Delta t_1$  (время от начала измерения  $t = 0$  до момента появления первого переднего фронта импульса  $U_{\text{вх}}$ ) и  $\Delta t_2$  (время от последнего на интервале измерения переднего фронта импульса  $U_{\text{вх}}$  до конца интервала измерения  $T_u$ ). Видим, что если данные величины определены, то искомая величина определяется соотношением

$$f_x = \frac{(N - 1)}{T_u - \Delta t_1 - \Delta t_2 + \delta t}$$

где  $\delta t$  – инструментальная погрешность определения временных параметров знаменателя ( $N$  как целочисленное значение определяется счётом, соответственно не имеет погрешности).

С учётом современного уровня развития электронной импульсной и цифровой техники задача фиксации моментов времени по рис. 1 с получением необходимых величин и их счётом с последующим вычислением искомой величины по приведённой зависимости на аппаратном и программном уровнях достаточно просто решается с помощью микроконтроллеров, содержащих аналоговые и цифровые входы и выходы и терминал для ввода и отображения данных.

Таким образом, может быть предложена структурно-функциональная схема для исследования частоты вращения приводов пропеллеров БПЛА в переходных режимах, представленная на рис. 2

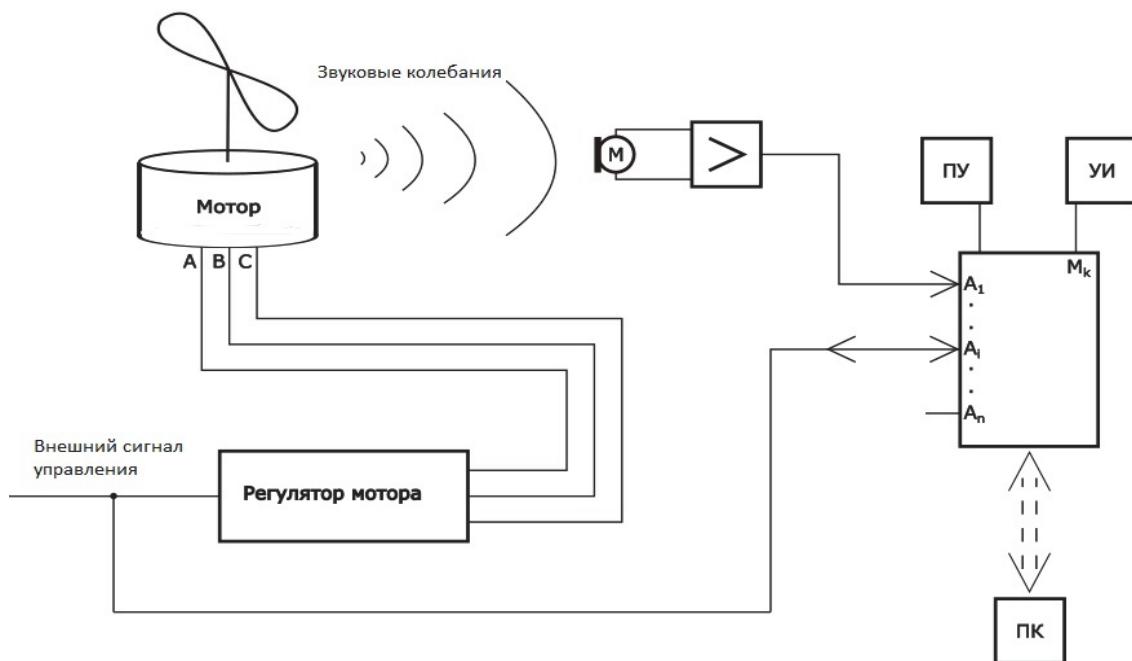


Рис. 2. Структурно-функциональная схема для исследования частоты вращения приводов пропеллеров БПЛА

В неё входят:

- мотор с пропеллером и электронным регулятором;
- датчик частоты вращения – в данном случае, например, микрофон М с предварительным усилителем;
- микроконтроллер МК с аналоговыми входами-выходами  $A_1 \dots A_n$ , пультом управления ПУ и устройством индикации УИ.

Кроме того, в системе может быть применён персональный компьютер ПК, соединённый с микроконтроллером МК по отдельной интерфейсной линии, например, через порт USB.

Система работает следующим образом.

При вращении пропеллера мотора периодические звуковые колебания улавливаются микрофонным датчиком М и после предварительного усиления поступают на аналоговый вход  $A_1$  микроконтроллера МК. Последний заранее запрограммирован с клавиатуры пульта ПУ либо другим способом, реализуя следующие действия. Он формирует из входного микрофонного сигнала импульсы  $U_{\text{вх}}$  в соответствии с рис. 1, фиксирует соответствующие моменты времени и оцифровывает необходимые параметры, квантую временные промежутки внутренними тактовыми импульсами достаточно высокой частотой  $f_t$ . Затем осуществляет вычисление по приведённой формуле и выводит результат на устройство индикации УИ. При этом временной интервал формируется как целое число периодов тактовых импульсов, тогда погрешность квантования временных интервалов не превысит длительности двух тактовых импульсов, т.е. в приведённом выше соотношении

$$\delta t \leq \frac{2}{f_t}$$

Программа измерения частоты  $f_x$  в микроконтроллере зациклена, т.е. начиная со следующего такта процесс измерения повторяется, и через новый промежуток времени  $T_u$  результат обновляется, позволяя таким образом фиксировать изменения исследуемой частоты вращения, в том числе, в переходных режимах.

Управление мотором через регулятор может осуществляться как от внешнего сигнала управления, так и от микроконтроллера М – через аналоговый двунаправленный вывод  $A_i$ . В последнем случае формирование, обработка и передача сигналов управления мотором осуществляется по отдельной подпрограмме, записанной в микроконтроллер М. Применение персонального компьютера ПК даёт дополнительные возможности управления и обработки.

Правомочность предложенных в данной статье технических решений подтверждена результатами моделирования. Можно показать теоретически и это также подтверждено моделированием, что уже при тактовой частоте счёта временных параметров  $f_t = 1 \text{ МГц}$  входные частоты от 100 до 1000 Гц при  $T_u = 0,1 \text{ с}$  (цикличность измерений 10 Гц), будут измерены с погрешностью не более 0,02 Гц.

Таким образом, предложенный в данной работе стенд, позволяет исследовать характеристики широкого класса моторов, применяемых в БПЛА, с целью их нормирования и улучшения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ермолов Р.С. Цифровые частотомеры, “ЭНЕРГИЯ”, Ленинградское отделение, 1973 152 с. с ил.

УДК 621.3 + 629.735.4+ 739.826

## СТУДЕНТЫ И ВОЛОНТЁРЫ: ОПЫТ ИННОВАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ВЫПУСКА МАЛЫХ ПАРТИЙ БПЛА В РАМКАХ СТУДЕНЧЕСКОГО КБ

М.Ю. ЩЕГЛОВ<sup>1</sup>, А.И. СУСТАВОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ)

Казань, Россия

<sup>2</sup>Центр помощи Новороссии «Матрёшка»  
Екатеринбург, Россия

В настоящее время БПЛА приобретают стремительное и повсеместное распространение в различных сферах деятельности человека. Одно из важнейших современных применений БПЛА – обеспечение безопасности. Особое значение они имеют на новых территориях в Новороссии, где наблюдение, а также доставка небольших грузов становятся вопросом жизни и смерти сотен и тысяч людей и жизнеспособности целых территорий.

При этом востребованность в готовых к эксплуатации МБПЛА в России также стремительно растёт. И, пожалуй, одной из главных проблем сейчас в деле освоения их производства и наладки является недостаток специализированных организаций и специалистов как по разработке (конфигурированию), так и сборке, отладке, программированию, и т.п. И речь сейчас не об инженерах и технологах, могущих создавать подобную технику и участвовать в наладке отечественного производства, это, видимо, дело лишь ближайшего будущего. Чтобы это стало возможным необходим практический опыт, приобретённый ещё со студенческой скамьи будущими специалистами в возможно более массовом порядке.

В связи с этим в Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А. Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ) силами студентов и преподавателей в рамках студенческого КБ организовано обучение, сборка и отладка МБПЛА из готовых комплектующих.

Действительно, большая часть массово востребованных малоразмерных БПЛА (МБПЛА) могут быть сконфигурированы и собраны из комплектующих, производство которых освоено в Китайской Народной Республике – КНР, рынок ими хорошо и пока с запасом обеспечен, китайские производства имеют высокий потенциал роста. Но ключевой вопрос организации сборки и отладки в рамках студенческого КБ – поставка самих комплектующих и последующее применение готовых изделий.

В то же время в стране сейчас сформировались волонтёрские движения помощи Новороссии. И люди в них зачастую занимаются не только продуктами питания, плетением маскировочных сетей и вязанием тёплых вещей, но и помощью технической – сборки прицепов для транспортировки раненых и до сложной современной техники, включая «дроны», ретрансляторы и т.п. Таковым движением является созданный в 2022 г. под Казанью Центр народной помощи Новороссии «Матрёшка», в настоящее время насчитывающий до трёх тысяч участников не только из Республики Татарстан, но и по всей России. Их особенность в том, что руководители и актив данной организации организуют доставку и лично сопровождают собранные грузы до заданного пункта, аккуратно ведут учёт и отчётность, что важно в сложившихся условиях.

В результате инновационного взаимодействия КНИТУ-КАИ и Центра «Матрёшка», уже собраны первые МБПЛА, состоялась отправка по назначению.

В данное время Центр «Матрёшка» осуществляет сбор средств на новую более крупную партию комплектующих для сборки, наладки и испытаний МБПЛА в КНИТУ-КАИ для дальнейшей отправки в Новороссию.

В связи с данной инновацией появляются благотворители – выпускники КНИТУ-КАИ, пожелавшие оплатить поставку комплектующих МБПЛА в студенческое КБ, дабы поддержать благое начинание в своей альма-матер и помочь общему делу страны.

Необходимо выделить эффект образовательного значения. Не секрет, что добавить, что очень часто (прежде всего из-за регулярного драконовского сокращения часов аудиторной работы) выпускники технических вузов не умеют держать в руках отвёртку, паяльник, читать чертежи, а не то, что их создавать. В данном случае этот недостаток значительно компенсируется. И кроме того, студенческая жизнь в лабораториях оживляется, ребята, участвующие в общем деле, живо обсуждают технические проблемы, разбирают схемы и документацию,

выступают с тематическими докладами на семинарах, после которых разворачиваются дискуссии.

В настоящее время на базе Военного учебного центра КНИТУ-КАИ с целью формирования дополнительных компетенций данного направления разворачивается обучение его студентов управлению квадрокоптерами на реальном полигоне.

В целом итогом всей описанной работы является повышение качества образования за счёт его практической направленности, упрочение взаимодействия вуза с общественными благотворительными организациями, и, наконец, реальная помощь государству, людям. Этот результат усиливается личной мотивацией, нравственными чувствами студентов о том, что они оказывают реальную помощь людям и Родине, что было для студентов нашей страны традиционно важным.

УДК 004.896

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С КАМЕР**

А.А. СУХОБОКОВ, Н.В. ВОЮШ

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) стали неотъемлемой частью многих сфер деятельности: наблюдение за окружающей средой, агрокультуру, промышленные работы и других. Одним из ключевых элементов эксплуатирования БПЛА в данных сферах являются камеры, предназначенные для сбора данных. Полученные данные требуют обработки, которой в основном занимается человек. Обычные программные алгоритмы плохо справляются с данной задачей, имея ограничения по точности определения, быстродействию. Также отсутствует возможность распознавания в различных природных условиях окружающей среды. Для качественного анализа такая обработка должна происходить в реальном времени с целью быстрого определения местоположения окружающих объектов, препятствий и из получаемых данных свой путь перемещения. Решением проблемы может являться повышение производительности алгоритмов, но это приводит к увеличению габаритов вычислительного устройства. Другое возможное решение данной задачи состоит в разработке и применении проблемно-ориентированной

нейронной сети. Их использование в системах управления БПЛА дает возможность не только автоматически решать задачи принятия решений о наилучшем поведении роботов в непрерывно и непредсказуемо изменяющихся природных условиях, но и создать модели восприятия сенсорной информации об окружающей среде.

Одним из ключевых преимуществ нейронных сетей в обработке данных является способность к автоматическому извлечению признаков из потока данных. Они могут обучаться на больших объемах данных и автоматически настраивать свою структуру для извлечения наиболее информативных признаков. Кроме того, нейронные сети могут обучаться на основе данных, собранных в различных по динамике условиях освещения и окружающей среды, что позволяет им адаптироваться к разнообразным непредсказуемым ситуациям и повышать точность обработки данных. Основываясь на описанных выше преимуществах, рассмотрим необходимые для эксплуатации БПЛА задачи.

Для решения задачи отслеживания обнаруженных объектов на видео, полученных с камер БПЛА, можно применить несколько методов. Эффективным для обработки информации в динамике реального времени будет использование свёрточных нейронных сетей. Они находят применение при работе с последовательностью изображений, отслеживании и обнаружении объекта на них. Свёрточные сети используют предобученные модели для обнаружения объектов с последующим отслеживанием их на каждом кадре видео.

Для автоматизации выбора траектории также важно точно определять дистанцию до обнаруженных объектов. Задача определения их пространственного положения решается использованием глубоких нейронных сетей. Их можно использовать для оценки дистанции до объекта, а именно предсказания расстояния до обнаруженных объектов. Искомая длина является задачей регрессии, где нейронная сеть обучается на входных изображениях и соответствующих им дистанциях до объектов и при получении изображения, на основе полученной базы данных зависимостей оценивает расстояние.

Таким образом, использование нейронных сетей для обработки данных с камер дает возможность автоматизировать процесс управления БПЛА и минимизировать вмешательство человека. Развитие нейросетей в вопросах обработки данных, в том числе изображений позволит беспилотным аппаратам выполнять намного более сложные задачи. Способность нейронных сетей к автоматическому определению зависимостей и адаптации к различным условиям делает их идеальным выбором для использования в БПЛА связанных с промышленной, агрокультурной сферами деятельности.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ю.В. Чернухин, Ю.С. Доленко, П.А. Бутов. Бионические подходы к обработке сенсорной информации в нейросетевых системах управления интеллектуальных мобильных роботов / Ю.В. Чернухин, Ю.С. Доленко, П.А. Бутов. – Известия ЮФУ. Технические науки, 2012. – 193 с.

УДК 629.735

### **УПРАВЛЕНИЕ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОДВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТ**

А.П. ГЕРМАНОВИЧ, В.П. ЩЕКЛЕИНА, Т.А. ГРИШКОВ  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь

Покраска многоэтажных зданий представляет собой сложную задачу, которая включает в себя ряд проблем, доступ к высоким уровням здания может быть трудным и потенциально опасным для рабочих. Использование дронов может помочь решить эти проблемы. Дроны могут без проблем летать около зданий на необходимой высоте, обеспечивая безопасный и эффективный способ покраски. Они могут быть запрограммированы для выполнения точных и сложных движений, что может позволить наносить изображения на фасады зданий тем самым декорируя их. Однако для реализации подобного дрона нужно обеспечить точное и стабильное позиционирование рабочего прибора для нанесения краски.

Основная сложность с подвесным оборудованием, установленным на БПЛА, связана с вибрацией, вызванной двигателями и наклонами (тангаж, рысканье, крен), которые выполняет аппарат для полетов и стабилизации положения при зависании. Эту проблему можно решить с помощью трехосного стабилизатора, который сейчас широко используется, в частности, для стабилизации камеры. Однако на положение дрона влияет не только его собственное перемещение, но и внешние факторы (например, ветер). Есть ряд ситуаций, в которых такое смещение критично. Одной из таких задач является окрашивание зданий с помощью дрона. Чтобы предотвратить отклонения, необходимо к

угловой добавить ещё линейную стабилизацию. Для решения этой проблемы можно использовать стабилизатор, основанный на кинематике платформы Стюарда. Это позволит стабилизировать подвесное оборудование по всем осям.

Принцип работы стабилизатора основывается на платформе Стюарта, которая является типом параллельного манипулятора и использует октаэдральную конфигурацию стоек. Этот механизм имеет шесть независимых ног на шарнирных соединениях и шесть степеней свободы, что обеспечивает максимальную мобильность. Длины ног можно регулировать, изменяя таким образом ориентацию платформы, или в нашем случае рабочего инструмента дрона. Согласование фактического положения платформы с заданным является обратной кинематической задачей и для выбранного механизма имеет единственное и простое решение. Такое решение позволяет достичь эффективной стабилизации и позиционирования. Помимо проектирования стабилизатора с механической точки зрения, стоит задача реализации программной части, которая включает в себя создание алгоритма работы.

Стабилизатор, основанный на платформе Стюарта, имеет ряд уникальных характеристик. Этот тип платформы позволяет перемещать рабочий орган в шести направлениях: поперечное, продольное и вертикальное перемещение (по осям x, y, z) и три вращения вокруг этих осей (тангаж, крен и рыскание). Основу механизма составляет параллельная конструкция, где шесть приводов работают совместно для управления движениями верхней платформы. Это обеспечивает стабильность и точность перемещений. Двенадцать шарниров используются для соединения приводов с платформами, обеспечивая гибкость в движениях и возможность осуществления широкого диапазона перемещений. Непосредственное движение обеспечивается за счет шести опор, способных изменять свою длину. Это могут быть как линейные приводы, приводимые в движение гидравликой, пневматикой или электромоторами, так и рычажные приводы. Возможность изменения длин ног позволяет варьировать ориентацию платформы. В контексте прямой кинематической задачи, где для заданных длин ног определяется положение и ориентация платформы, возможны до 40 различных решений. Однако в случае обратной кинематической задачи, при которой необходимо определить длины ног по заданному положению и ориентации платформы, существует простое решение [1].

В дополнение к вышеизложенному, платформа Стюарта имеет ещё одну характеристику. Все тяжелые элементы, такие как приводы, находятся на нижней платформе, что позволяет максимально уменьшить вес

верхней. В обычных условиях это позволяет снизить инерцию и увеличить скорость перемещения верхней платформы. В контексте дрона для покраски зданий эта особенность становится ключевой, поскольку рабочее оборудование должно выходить за пределы габаритов дрона, чтобы иметь возможность окрашивать стену на близком расстоянии [2]. Это приводит к смещению центра тяжести к центру дрона, что является положительной особенностью, а в случае, если использовался тяжелому стабилизатору, основанному на стандартной кинематике промышленных роботов, это смещение был бы в сторону рабочего органа и оно что может стать критическим. Кроме того, такие стабилизаторы могут вызвать колебания дрона из-за большой инерции, что недопустимо при полете рядом со стенами. Данных проблем лишена платформа Стюарта. Еще одной особенностью является то, что все приводы расположены на расстоянии друг от друга. Это позволит воздуху проходить через стабилизатор и не оказывать значительного давления на дрон.

Ввиду всех уникальных характеристик данной платформы её применение в роли стабилизатора для краскопульта представляется наиболее подходящим. Стабилизация по шести осям позволяет осуществлять перемещение в шести направлениях. Это в свою очередь обеспечивает возможность более точного контроля над положением стабилизатора в пространстве и компенсации неточности позиционирования дрона. Такой уровень точности особенно важен при выполнении задач покраски при полёте вблизи стены во время покраски зданий. Стабилизация по шести осям позволяет более эффективно компенсировать внешние воздействия, поддерживая более стабильное положение стабилизатора независимо от характера внешних воздействий на дрона. Кроме того, эта система позволяет перемещать стабилизируемое тело независимо от дрона, что позволяет управлять им, не меняя положение дрона, благодаря чему его полет становится более стабильным. Это снижает вероятность возникновения неожиданных ситуаций, таких как потеря контроля или аварийные ситуации.

Другим важным аспектом задачи окрашивания зданий является определение положения рабочего инструмента относительно уже окрашенной поверхности, а если наносится изображение, то относительно уже нарисованного рисунка. Это можно осуществить с помощью камеры и технологии компьютерного зрения.

Контроль над стабилизатором осуществляется с помощью программного кода. Для определения положения манипулятора и последующей коррекции его координат применяется камера, ориентированная

на верхнюю платформу стабилизатора и стену. Чтобы камера могла определить положение манипулятора, используется технология позиционирования ArUco-маркеры.

Этот подход включает использование специализированных черно-белых маркеров с уникальным изображением, которые прикреплены к частям стабилизатора для определения их местоположения с помощью технологии компьютерного зрения. Алгоритм изучает их расположение относительно камеры, оценивает их местоположение и сравнивает его с необходимым. Затем алгоритм корректирует положение рабочего устройства робота, изменяя положение стабилизатора [3]. ArUco-маркеры также применяются для определения местоположения самого дрона. На стене размещаются маркеры, которые позволяют задать нулевую точку относительно которой и будет строить свою систему координат дрон. За основу для позиционирования дрона могут выступать края стен, окна и другие объекты, находящиеся на стене. Кроме того, компьютерное зрение позволяет использовать уже нанесённое изображение или окрашенную поверхность для определения фактического положения. Таким образом, данные о местоположении дрона собираются как с самой стены, так и с полетного контроллера, что позволяет избежать накопления ошибок, вызванных не идеальными условиями работы устройства.

Для качественной покраски фасадов многоэтажных зданий следует использовать шести осевой стабилизатор. Применение платформы Стюарда для этих целей позволяет получить ряд преимуществ перед обычными концепциями манипуляторов. В частности, расположение приводов стабилизатора вдали от непосредственно стабилизируемой части, что смещает центр тяжести к центру дрона. Также для качественного нанесения изображений на стену необходимо реализовать машинное зрение, которое будет опираться на фактическое положение дрона относительно стены и расположение рабочего органа, расположенного на стабилизаторе относительно стены и изображения на нём.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Stewart, D. (1965). A Platform with Six Degrees of Freedom. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 180(15), 371-386.
2. Johnson, A. "Stewart Platform Applications in Aerial Systems." International Conference on Unmanned Vehicles, 2020.
3. Siciliano, B., & Khatib, O. (2016). Springer Handbook of Robotics. Springer.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕТА КВАДРОКОПТЕРА С НЕЛИНЕЙНЫМ МОДЕЛЬНО-ПРОГНОЗИРУЮЩИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Ф.Н. ФАХРЕТДИНОВА

Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ  
Казань, Россия

Квадрокоптеры широко используются для самых разных гражданских и военных целей благодаря их низкой стоимости, высокой маневренности, свойствам вертикального взлета и посадки, небольшим размерам и возможности зависания. В последние годы стал очевиден тот факт, что многие люди предпочитают вращающиеся беспилотные летательные аппараты во многих областях, таких как фотосъемка, поиск и спасение, аварийное реагирование и это показывает, что управление квадрокоптерами по-прежнему остается одной из актуальных тем. Нелинейная, многовариантная, связанная и недоуправляемая динамика квадрокоптеров делает их моделирование и управление сложной конструкторской задачей.

Рассмотрим квадрокоптер (рис. 1) и опишем его математическую модель.

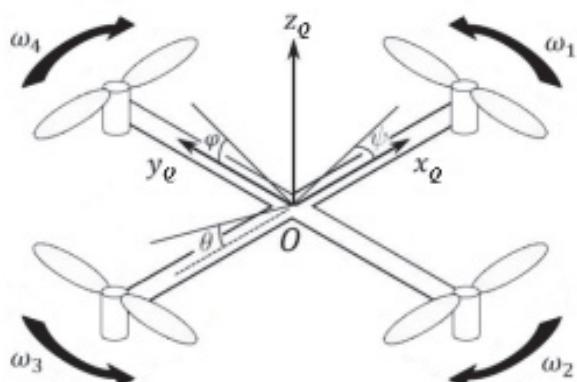


Рис. 1 Модель квадрокоптера

Примем следующие допущения: квадрокоптер симметричен относительно осей  $x$  и  $y$ , рама квадрокоптера и его винты абсолютно жесткие, каждый двигатель располагается на конце стержня, тяга, создаваемая каждым винтом, перпендикулярна плоскости  $x-y$ .

Для описания состояния рассматриваемого аппарата используются следующие векторы:

$$\xi = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \eta = \begin{bmatrix} \varphi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}, k = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $\xi$  – вектор, описывающий линейное положение квадрокоптера в инерциальной системе координат  $Oxyz$ ,  $\eta$  – вектор, описывающий угловое положение квадрокоптера,  $k$  – вектор состояния, полностью описывающий положение и ориентацию квадрокоптера в инерциальной системе координат. Линейные и угловые скорости квадрокоптера в подвижной системе координат заданы следующими векторами:

$$V_Q = \begin{bmatrix} V_{Qx} \\ V_{Qy} \\ V_{Qz} \end{bmatrix}, v = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $V_Q$  – вектор линейных скоростей относительно подвижной СК  $Ox_Qy_Qz_Q$ ,  $V_{Qx}$  – линейная скорость по оси  $x_Q$ ,  $V_{Qy}$  – линейная скорость по оси  $y_Q$ ,  $V_{Qz}$  – линейная скорость по оси  $z_Q$ ,  $v$  – вектор угловых скоростей относительно подвижной системы координат,  $p$  – угловая скорость по оси  $x_Q$ ,  $q$  – угловая скорость по оси  $y_Q$ ,  $r$  – угловая скорость по оси  $z_Q$ .

Матрица  $R$  преобразования координат из подвижной системы координат в инерциальную представляет собой последовательное перемножение матриц перехода по каждой координате:

$$R = R_z \cdot R_y \cdot R_x, \quad (3)$$

где,  $R_z$  – матрица поворота по оси  $z$ ,  $R_y$  – матрица поворота по оси  $y$ ,  $R_x$  – матрица поворота по оси  $x$ :

Связь между линейными скоростями в инерциальной и связанной с квадрокоптером системе координат определяется выражением:

$$\dot{\xi} = RV_Q, \quad (6)$$

Преобразование угловых скоростей из инерциальной системы координат в подвижную, связанную с квадрокоптером, производится с помощью матрицы  $W$ , обратный же переход из подвижной системы координат в неподвижную, связанную с землей, производится с помощью матрицы  $W^{-1}$ .

$$W = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -s_\theta \\ 0 & c_\varphi & s_\varphi c_\theta \\ 0 & -s_\varphi & c_\varphi c_\theta \end{bmatrix}, W^{-1} = \begin{bmatrix} 1 & s_\varphi t_\theta & c_\varphi t_\theta \\ 0 & c_\varphi & -s_\varphi \\ 0 & \frac{s_\varphi}{c_\theta} & \frac{c_\varphi}{c_\theta} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

$$\mathbf{v} = W\dot{\eta}, \dot{\eta} = W^{-1}\mathbf{v}, \quad (8)$$

где  $t_x = \operatorname{tg} x$ .

Квадрокоптер, как описываемый объект управления имеет шесть степеней свободы. Будем предполагать, что квадрокоптер имеет симметричную структуру. Тогда тензор инерции имеет вид:

$$J = \begin{bmatrix} J_x & 0 & 0 \\ 0 & J_y & 0 \\ 0 & 0 & J_z \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где  $J$  – тензор инерции квадрокоптера,  $J_x$  – момент инерции квадрокоптера по оси  $x_Q$ ,  $J_y$  – момент инерции квадрокоптера по оси  $y_Q$ ,  $J_z$  – момент инерции квадрокоптера по оси  $z_Q$ .

Пропеллеры квадрокоптера, совершая вращения с угловыми скоростями  $\omega_i$  ( $i = \overline{1,4}$ ), создают силы тяги  $F_i$ , направленные по осям вращения (рис. 2). Упрощенные выражения для силы тяги и вращающего момента имеют следующий вид:

$$\begin{cases} F_i = k\omega_i^2, \\ \tau_i = b\omega_i^2 + J_m\dot{\omega}_i, \end{cases} i = \overline{1,4}, \quad (10)$$

где  $J_m$  – момент инерции мотора,  $k$  – коэффициент подъемной силы,  $b$  – коэффициент трения. Вектор вращающих моментов  $\tau_Q$  содержит вращающие моменты по всем трем углам Эйлера ( $\tau_\varphi, \tau_\theta, \tau_\psi$ ).

$$F = \sum_{i=1}^4 F_i = k \sum_{i=1}^4 \omega_i^2 = k(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2), F_Q = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ F \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$\tau_Q = \begin{bmatrix} \tau_\varphi \\ \tau_\theta \\ \tau_\psi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} kl_r(\omega_4^2 - \omega_2^2) \\ kl_r(\omega_3^2 - \omega_1^2) \\ b(-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2) \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где  $\omega_i$  – скорость вращения  $i$ -го винта, рад/с;  $l_r$  – расстояние от центра масс до оси вращения пропеллера, м;  $k$  и  $b$  экспериментально определяемые постоянные.

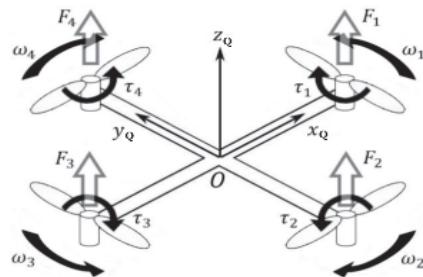


Рис. 2. Силы и крутящие моменты, действующие на квадрокоптер

Для описания динамики квадрокоптера как твердого тела используются уравнения Ньютона-Эйлера. В связанной системе координат для описания динамики квадрокоптера используются уравнение вида:

$$M(\dot{V}_Q + v \times V_Q) = R^T G + F_Q, \quad (13)$$

где  $M$  – масса всего квадрокоптера,  $M\dot{V}_Q$  – сила, необходимая для ускорения квадрокоптера,  $v \times MV_Q$  – центробежная сила,  $R^T G$  – гравитационная сила. В инерциальной системе координат центробежные силы равны нулю. Таким образом, только направление и сила тяги, а также сила тяжести влияют на ускорение квадрокоптера:

$$M\ddot{\xi} = G + RF_Q$$

В связанной системе координат уравнения углового движения квадрокоптера имеют вид

$$J\dot{v} + v \times (Jv) = \tau_Q, \quad (14)$$

где  $J\dot{v}$  – угловое инерционное ускорение,  $v \times (Jv)$  – центростремительная сила,  $\tau_Q$  – внешний момент сил. Принимая углы достаточно малыми, запишем:

$$\begin{bmatrix} \ddot{\phi} \\ \ddot{\theta} \\ \ddot{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(J_y - J_z)\dot{\theta}\dot{\psi}}{J_x} + \frac{\tau_\phi}{J_x} \\ \frac{(J_z - J_x)\dot{\phi}\dot{\psi}}{J_y} + \frac{\tau_\theta}{J_y} \\ \frac{(J_x - J_y)\dot{\phi}\dot{\theta}}{J_z} + \frac{\tau_\psi}{J_z} \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Запишем выражения для тяги и моментов (11), (12):

$$\tau_\phi = kl_r(\omega_4^2 - \omega_2^2), \quad (16)$$

$$\tau_\theta = kl_r(\omega_3^2 - \omega_1^2), \quad (17)$$

$$\tau_\psi = b(-\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 + \omega_4^2), \quad (18)$$

$$F = k(\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2), \quad (19)$$

где  $\omega_i$  – скорость вращения  $i$ -го винта, рад/с;  $k$  и  $b$  экспериментально определяемые постоянные.

Также на квадрокоптер действует сила тяжести:

$$F_g = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -Mg \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Эту систему необходимо дополнить силой аэродинамического сопротивления. В итоге математическая модель квадрокоптера приобретает следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \ddot{x} = \frac{F}{M} (c_\varphi s_\theta c_\psi + s_\varphi s_\psi) - A_x \dot{x} \\ \ddot{y} = \frac{F}{M} (c_\varphi s_\theta s_\psi - s_\varphi c_\psi) - A_y \dot{y} \\ \ddot{z} = \frac{F}{M} c_\varphi c_\theta - g - A_z \dot{z} \\ \ddot{\varphi} = \frac{(J_y - J_z)\dot{\theta}\dot{\psi}}{J_x} + \frac{\tau_\varphi}{J_x} \\ \ddot{\theta} = \frac{(J_z - J_x)\dot{\varphi}\dot{\psi}}{J_y} + \frac{\tau_\theta}{J_y} \\ \ddot{\psi} = \frac{(J_x - J_y)\dot{\varphi}\dot{\theta}}{J_z} + \frac{\tau_\psi}{J_z} \end{array} \right. \quad (21)$$

В качестве закона управления квадрокоптером используется нелинейное модельное прогнозирующее управление, полученное в результате минимизации следующего критерия:

$$\min_{u,x} \int_0^T \left( \|x(t) - x_{ref}\|^2 + \|u(t) - u_{ref}\|^2 \right) dt, \quad (22)$$

при ограничениях  $\dot{x} = f(x, u)$ ,  $u(t) \in U$ ,  $x(0) = x(t_0)$ ,  
где  $\|\cdot\|$  - евклидова норма,  $x(t)$ ,  $u(t)$  – векторы состояния и управления,  
 $x_{ref}$ ,  $u_{ref}$  – состояние и целевое управление квадрокоптера на желаемой траектории,  $f$  – нелинейная вектор-функция, описывающая правые части дифференциальных уравнений,  $U$  – множество допустимых управлений. Оптимизационная задача (22) решается на каждом временном шаге в соответствии с методологией прогнозирующего управления. Проведенные расчеты показали достаточно хорошую робастность и эффективность предложенных алгоритмов.

УДК 681.5

## СИНТЕЗ ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ КВАДРОКОПТЕРА

А.И. ХАФИЗОВ

Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н. Туполева–КАИ  
Казань, Россия

В данном исследовании освещается проблема эффективного управления квадрокоптером при наличии возмущений и неопределенностей. Для ее решения предлагается использовать прогностическую

модель, способную предсказывать будущее состояние системы на основе текущего состояния и входных данных. Однако экспериментальные результаты указывают на недостаточную стабильность и робастность предложенного подхода в изменчивой внешней среде.

**Введение.** Квадрокоптеры - это беспилотные летательные аппараты с четырьмя пропеллерами, позволяющими им маневрировать в воздухе. Они применяются в аэрофотосъемке, поисково-спасательных операциях и научных исследованиях благодаря своей маневренности и экономичности. Управление квадрокоптером сложно из-за нелинейности его модели. Разработка эффективных методов управления квадрокоптером остается актуальной исследовательской темой.

В последние годы метод модельного прогнозирующего управления (МПУ) стал широко используемым благодаря его способности оптимизировать закон управления с учетом различных ограничений. Основная идея МПУ заключается в решении задачи оптимизации на каждом этапе управления с учетом текущего состояния системы и заранее заданных ограничений на управление и состояние. Это позволяет достичь оптимального управления квадрокоптером даже в переменных условиях окружающей среды, таких как порывы ветра и другие факторы.

Для применения МПУ в управлении квадрокоптером необходимо разработать модель динамики квадрокоптера и установить ограничения на управление и состояние системы, что представляет собой нетривиальную задачу. Использование метода модельного прогнозирующего управления обеспечивает более точное и эффективное управление, что делает его ценным для решения сложных задач и миссий.

**Математическая модель квадрокоптера.** Математическая модель квадрокоптера описывает его движение и ориентацию в трехмерном пространстве через систему дифференциальных уравнений. Уравнения модели могут быть представлены следующим образом [1]:

1. Уравнения движения:

$$\dot{x} = V \cos(\theta) \cos(\psi)$$

$$\dot{y} = V \cos(\theta) \sin(\psi)$$

$$\dot{z} = V \sin(\theta)$$

2. Уравнения динамики:

$$\dot{V} = g - \frac{T}{m} \sin(\theta)$$

$$\dot{\phi} = p + q \sin(\phi) \tan(\theta) + r \cos(\phi) \tan(\theta)$$

$$\dot{\theta} = q \cos(\phi) - r \sin(\phi)$$

$$\dot{\psi} = \frac{q \sin(\phi)}{\cos(\theta)} + \frac{r \cos(\phi)}{\cos(\theta)}$$

### 3. Уравнения управления:

$$T = k_f (\omega_1^2 + \omega_2^2 + \omega_3^2 + \omega_4^2)$$

$$M_1 = k_M (\omega_1^2 - \omega_3^2)$$

$$M_2 = k_M (\omega_2^2 - \omega_4^2)$$

$$M_3 = k_M (\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 - \omega_4^2) \cdot d$$

$$M_4 = k_M (\omega_1^2 + \omega_2^2 - \omega_3^2 - \omega_4^2) \cdot d$$

Здесь  $x, y, z$  - координаты квадрокоптера,  $V$  - скорость,  $\phi, \theta, \psi$  - углы ориентации,  $g$  - ускорение свободного падения,  $m$  - масса,  $T$  - тяга,  $M_i$  - моменты,  $\omega_i$  - скорость вращения пропеллеров,  $k_F$  и  $k_M$  - коэффициенты,  $d$  - расстояние от центра квадрокоптера до пропеллера,  $p, q, r$  - компоненты угловой скорости.

Математическая модель квадрокоптера описывает его движение и ориентацию в трехмерном пространстве, а также взаимосвязь тяги и момента с скоростью вращения пропеллеров. Чтобы использовать эту модель для управления квадрокоптером, необходимо линеаризовать уравнения в рабочей точке. Это включает определение этой точки, вычисление параметров тяги и момента для каждого пропеллера, а также матриц Якоби для уравнений движения и ориентации. Полученная система уравнений используется для определения оптимальной последовательности управляемых действий для заданной траектории полета. Такой подход позволяет эффективно управлять квадрокоптером в различных условиях.

**Робастное управление с прогнозирующей моделью.** Робастное управление с прогнозирующей моделью (РУПМ) представляет собой эффективный подход к управлению квадрокоптерами, обеспечивающий точное позиционирование и ориентацию объекта управления. РУПМ использует математическую модель системы для прогнозирования будущего поведения квадрокоптера и генерации оптимальных управляемых действий [2]. Этот метод управления преимущественно ценен за учет динамических ограничений и нелинейности системы.

Для управления квадрокоптером с помощью РУПМ используется модель движения, включающая параметры положения, скорости, ускорения, ориентации, угловых скоростей, а также управляющие воздействия, такие как сила и момент. Применение РУПМ позволяет эффективно управлять сложными, нелинейными и динамически изменяющимися системами.

РУПМ уже успешно применяется в таких отраслях, как аэрокосмическая, автомобильная, химическая и робототехника, благодаря своей способности обеспечивать точное позиционирование, управление скоростью и направлением движения квадрокоптера, а также эффективное использование энергии [2].

Основным преимуществом РУПМ является его способность эффективно управлять системами с неопределенностью в модели динамики и возмущениями. Он основан на стохастическом подходе к оптимизации, что позволяет решать задачу управления не только на основе точной математической модели системы, но и с учетом вероятностных оценок неопределенности системы [4]. Таким образом, РУПМ обеспечивает более точное управление квадрокоптером при выполнении сложных маневров и в различных условиях работы, таких как порывы ветра. Затем оптимизатор выбирает последовательность управляющих воздействий, которая минимизирует выходные ошибки и удовлетворяет заданным ограничениям в условиях неопределенности [3].

В целом, применение РУПМ для управления квадрокоптерами позволяет достичь более точного и надежного управления, даже при наличии возмущений и неопределенности в модели динамики квадрокоптера.

**Результаты моделирования.** Желаемую траекторию можно определить следующим образом:

$$\begin{aligned}x(t) &= 6 \times \sin(t / 3), \\y(t) &= -6 \times \sin(t / 3) \times \cos(t / 3), \\z(t) &= 6 \times \cos(t / 3),\end{aligned}$$

Моделирование квадрокоптера с учетом воздействия возмущений с применением линеаризованного робастного МПУ:

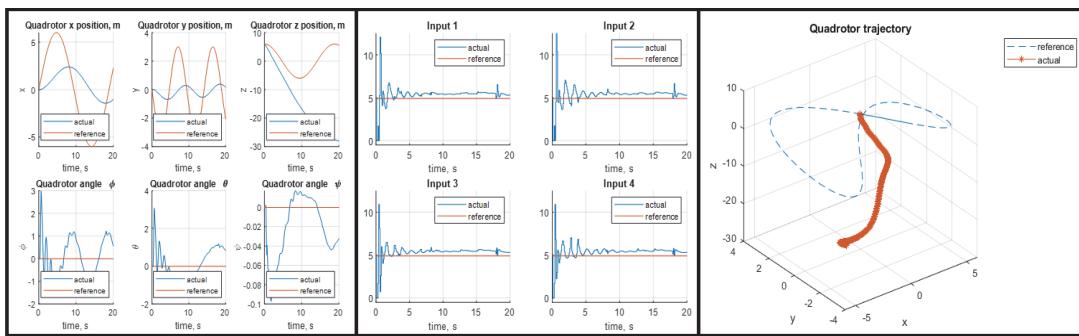


Рис. 1. Динамика состояния, управления и траектории полета при воздействии возмущений на трехмерную модель дрона [5]

Решение неудовлетворительное из-за слишком короткого горизонта прогнозирования ( $N = 3$ ). Для улучшения решения можно увеличить значение  $N$ , но это приводит к значительному увеличению

времени вычислений. Например, при  $N = 4$  время вычислений достигает нескольких часов, при этом качество решения остается недостаточным [5]. Эти результаты были получены с использованием программы MATLAB.

В заключение, следует отметить, что текущий контроллер РМПУ еще не обеспечивает стабилизацию квадрокоптера на заданной траектории. Однако в будущем дрон сможет точно следовать заданной траектории благодаря методу проб и ошибок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Akinola Alexander Dada, “Modelling, Simulation, and Implementation of Linear Control for Asymmetric Multirotor UAV,” Ph.D. dissertation, the university of Sheffield, Sheffield, pp.11- 29, 2020,
2. Kostas A., Papachristos C., Slegwart R., Tzes A. Robust model predictive flight control of unmanned rotorcrafts // Journal of Intelligent Robotic Systems, 81(3), pp. 443-469, 2016,
3. Loefberg, J., “Minimax approaches to robust model predictive control,” Ph.D. dissertation, Linkoping University, Linkoping, Sweden, 2003,
4. Degtyarev G. L., Faizutdinov R. N., Spiridonov I. O. Multiobjective Robust Controller Synthesis for Nonlinear Mechanical System, Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie, 2018, vol. 19, no. 11, pp. 691–698. DOI: 10.17587/mau.19.691-698,
5. Хафизов А.И. Робастное модельное прогнозирующее управление движением квадрокоптера: магистерская диссертация, КНИТУ-КАИ, Казань, 2021.

УДК 678.7.095.26:773.92:528.837

## ФОТОПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В.Б. ХОДЕР, Е.И. КОРДИКОВА, М.А. ЛУКША

Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Беларусь

Современное общество использует беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в военной сфере, медицине, логистике (доставка и определение маршрута), при аварийно-спасательных работах, строительстве и

архитектуре, кинопроизводстве и средствах массовой информации (СМИ), сельском хозяйстве и других областях. Применение в различных отраслях требует гибких подходов в производстве, использующих обширный спектр материалов.

Основными критериями оценки используемых при производстве узлов БПЛА технологий и материалов выступают требования жесткости, упругости, прочности, плотности, технологичности, в том числе затраты на изготовление [1]. Данные критерии определяют эффективность производства, точность и безошибочность полета, грузоподъемность, невидимость, маневренность и прочие условные характеристики БПЛА.

При проектировании элементов БПЛА применяют два основных подхода: с уклоном на прочность и долговечность или быструю заменяемость и легкость конструкции. При этом производства БПЛА является мелкосерийным с высокой степенью индивидуализации под запросы потенциальных потребителей с возможностью изменения отдельных конструкторских или дизайнерских решений для улучшения технических характеристик. Классические технологии с применением композиционных материалов являются основой прочности и долговечности конструкций, обуславливают высокую стоимость при штучном производстве БПЛА.

Аддитивные технологии являются высокоэффективным методом изготовления изделий различного назначения и позволяет снизить затраты при производстве БПЛА и применять оба подхода проектирования в зависимости от требований к функциональности готового летательного аппарата. Подвижность методов с возможностью изменения формы и размеров элементов конструкции на любом этапе производства, расширение вариативности форм и структуры отдельных частей БПЛА позволяет обходить множество ограничений и создавать оптимальные и эффективные конструкции для каждой из представленных задач.

Аддитивные технологии позволяют производить конечные детали без оснастки, что присуще традиционным технологиям, благодаря чему скорость производства и рентабельность продукции повышается.

В производстве БПЛА хотя и имеется опыт практического применения аддитивных технологий, но эффективное использование методов крайне ограничено. Основной проблемой большинства методов аддитивного синтеза является слоистость структуры, которая под воздействием потоков воздуха, нагрузок и постоянных колебаний приводит к расслаиванию и последующему нарушению стабильности и прочности БПЛА.

Технологии фотополимеризации в ванне позволяют получить изделия с возможностью реализации практически изотропных структур, из-за особенности прохождения процессов отверждения. Взаимное

проникновение и образование связей между макромолекулами в слоях в процессе печати и постобработки в УФ лучах позволяют достигнуть повышения свойств до 40% по сравнению с «зеленой» деталью. Возможности дополнительной термообработки для некоторых фотополимеризующихся составов также позволяют изменить упруго-прочностные характеристики.

При этом послойная фотополимеризация позволяет получить сложные формы без значительного применения поддерживающих структур, которые могут оказывать влияние на обтекаемость элементов БПЛА.

Методы фотополимеризации в ванне позволяют получить более сложные формы с полой или ячеистой структурой, топологически оптимизированной для получения наименьшего веса, правильного распределения колебаний, уравновешенности конструкции во всех направлениях и минимизации повреждений внутренних комплектующих, за счет поглощения ударной энергии.

В качестве материалов для фотополимерной печати могут применяться стандартные смолы со средними показателями прочности и ударопрочности. Перспективным направлением является использование наполненных систем, как уже имеющихся на рынке в подразделе инженерных смол, так и разрабатываемых с применением различных видов твердых наполнителей [2].

Анализ имеющихся на рынке и возможных к применению в производстве элементов БПЛА инженерных материалов представлен в таблице 1. При этом в качестве оценочного параметра использовался критерий производительности  $K_{СУМ}$ , определяемый как суммарный весовой коэффициент критериев (от 1 до 5 баллов) [1]:

$$K_1 = E^{1/2} / \rho \text{ — максимальная жесткость при минимальном весе;}$$

$$K_2 = \sigma^{2/3} / \rho \text{ — максимальная прочность при минимальном весе;}$$

$$K_3 = KC / \rho \text{ — максимальная ударная прочность при минимальном весе (повышение усталостной долговечности).}$$

Исходя из представленного анализа материалов, наиболее эффективным с точки зрения показателей прочности является материал HARZ Labs Industrial Rigid Black. Однако при производстве в качестве дополнительного критерия оценки следует учитывать стоимость конечного изделия и весовой коэффициент критериев, которые зависят от назначения и требований проектируемому БПЛА.

Одним из примеров печати элементов дрона методом проекционной масочной стереолитографии (DLP) является производство дрона Fvp Freestyle командой Craft Chanel, корпус которого напечатал из фотополимерной смолы UltraCraft Reflex PAU10.

Табл.1. Инженерные материалы для трехмерной печати элементов БПЛА методами фотополимеризации в ванне

Материал	Стоимость, дол. США./кг	Критерии производительности			
		$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_{\text{сум}}$
UltraPrint-Performance PAR30	100	1	1	5	7
Ultracur3D® RG 35	140	3	4	2	8
HARZ Labs Industrial Rigid Black	130	2	5	2	9
Creality Standard Rigid	40	1	3	1	5
Accura Xtreme White 200	340	3	2	4	8
Shenzhen Kings KS908C	320	3	1	4	8
WeNext CV-UV 9400	270	3	1	4	8
Formlabs Rigid 10K Resin	230	5	1	1	7
Black ABS-like Resin TOP31B	90	3	2	2	7
Somos Taurus	240	2	1	3	6
YG H-3001	280	3	2	2	8

SLA-печать также уже достаточно долго применяется в области прототипирования и разработки функциональных элементов. Инжиниринговая компания Marble использовала фотополимерную смолу Formlabs Grey V2 для прототипирования макета и печати съемных элементов при разработке дрона-квадрокоптера Marble MRB-1 [3]. При разработке беспилотного летательного аппарата Zelator для печати корпуса использовалась наполненная смола, которая позволила ему выдерживать суровые условия окружающей среды при транспортировке грузов на далекие расстояния [4].

Генераторный квадрокоптер-дрон спасатель X VEIN благодаря трехмерной печати оптимизирован для оказания помощи при стихийных бедствиях, имеет усиленную раму и защитные кожухи для пропеллеров. Применение трехмерной печати при его производстве позволило использовать сложные геометрические формы и достичь высоких скоростей с оптимизированными параметрами прочности и веса [5].

Кроме того, исследование с печатью новой разработанной лопасти со сложной геометрией методом фотополимеризации в ванне инженерам компании Formlabs позволила снизить производимый шум и повысить скорость вращения [6].

Проведенный анализ информационных источников по теме позволяет сделать вывод о возможности и целесообразности применения аддитивных технологий методом фотополимеризации в ванне в производстве БПЛА. Трехмерная печать помогает рядовым пользователям,

тестировщикам, гонщикам и другим специалистам различной направленности оптимизировать процесс проектирования, обучения специалистов, быстрого ремонта и восстановления элементов БПЛА.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Altaie A.I., Doos Q.M. Material Selection for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) Wings Using Ashby Indices Integrated with Grey Relation Analysis Approach Based on Weighted Entropy for Ranking // Journal of Engineering. 2023. Iss. 7. Vol. 29. P. 189–200.
2. Ходер В. Б., Кордикова Е. И., Дьякова Г. Н. Наполненные фотополимерные композиции для 3D-печати методом стереолитографии (обзор) // Труды БГТУ: Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2022. № 1 (253). С.27–32.
3. 3D Printed Drones Take to the Skies// Formlabs. URL: <https://formlabs.com/> (date of access: 26.03.2024).
4. Domestic 3D printed UAV has been declared the best cargo drone of the future. URL: <https://3d-expo.ru/> (date of access: 26.03.2024).
5. Japanese makers generatively design and 3D print X VEIN drone for disaster response. URL: <https://www.voxelmatters.com/> (date of access: 26.03.2024).
6. 3D Printed Drone Toroidal Propellers vs Regular Propellers. URL: <https://formlabs.com/> (date of access: 26.03.2024).

УДК 004.415.25

## БЕСПИЛОТНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ АППАРАТЫ В АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВ

В.Н. ШУТЬ, И.С. ТУЗ, А.А. СИДОРЕНКО  
Брестский государственный технический университет  
Брест, Беларусь

Роботы – это физические агенты, которые выполняют поставленные перед ними задачи, проводя манипуляции в физическом мире. На данный момент все большую перспективность приобретает мобильная робототехника – область робототехники, где роботы автономны и способны самостоятельно выполнять широкий спектр различных задач. Существует большое количество подходов к управлению роботами и

робототехническими системами, наиболее перспективным является интеллектуальное управление [1].

Интеллектуальное управление — высшая ступень управления в теории автоматического управления после программного и адаптивного. Оно основано на применении методов искусственного интеллекта.

На данный момент существует большое множество различных средств моделирования мобильных роботов. Большое разнообразие дает много положительных моментов, однако и порождает следующие не решенные проблемы:

- каждый отдельный инструмент моделирования мобильных роботов направлен на решение своего определенного класса задач, универсальных решений нет;

- различные инструменты предъявляют различные требования к построению моделей мобильных роботов;

- большая часть работ направлена на доработку конкретных недостатков существующих средств моделирования;

- отсутствуют хорошо описанные методики применения различных средств моделирования в разработке прототипов мобильных роботов и анализа достоверности моделей.

В последние годы наблюдается рост интереса среди ученых и производителей автотранспорта к беспилотным транспортным средствам [2], способным перемещаться по дорогам без участия человека. Особое место в развитии беспилотного транспорта занимают так называемые беспилотные тележки. Они уже сейчас используются в складских помещениях, заводских цехах, в некоторых крупных портах для автономного перемещения грузов. Перспектива их применения довольно широка: подвоз комплектующих со склада на сборочный участок, отвоз готовых изделий от металлообрабатывающих станков на промежуточный склад хранения и т.д.

Беспилотная тележка (AGV - Automatic guided vechicle) - транспортер с электроприводом, предназначенный для перемещения грузов. Тележка автоматическая, а это значит, что для ее обслуживания не нужен отдельный оператор - тележки двигаются по заданной траектории в автономном режиме без участия человека.

Беспилотные тележки разделяются на два типа: с компьютерным зрением и без него. Разработка транспорта первого типа довольно затратная и в плане рабочего персонала, и в плане денег. Сами тележки имеют программное обеспечение, в которое входит нейросеть, вычисляющая траекторию пути и обеспечивающая безопасность окружающих.

Беспилотная тележка снабжена всеми необходимыми системами и элементами безопасности, может эксплуатироваться на вредных или опасных производствах, местах скопления людей и других двигающихся тележек.

В зависимости от типа беспилотная тележка работает:

1. буксиром, перевозя другие тележки;
2. перевозчиком, поднимая и перевозя на себе грузы (стеллажи, палетты и тд).

Основные направления работы:

1. движение по предварительно определенной траектории различной формы, включая развлечения;
2. поддержание постоянной скорости в случае сопровождения конвейера или других объектов;
3. остановка и продолжение движения, как в заранее определенных позициях, так и "по требованию" оператора;
4. загрузка и разгрузка перевозимых компонентов;
5. беспроводная связь с другими тележками или центральным терминалом для создания сети тележек, движущихся без участия людей;
6. картографирование неподвижных препятствий для проезда на минимальном расстоянии;
7. распознавание перемещающихся препятствий, ожидание их исчезновения и продолжение работы.

В структуру, автоматически управляемой тележки, входят:

1. блок привода, с двумя независимыми электромоторами, обеспечивающими тягу и поворот на маршруте следования;
2. блок энергообеспечения, содержащий набор герметичных, необслуживаемых аккумуляторов (разрешены для применения в помещениях, где находятся люди, не требуют специальной комнаты для зарядки);
3. блок управления с программируемым контроллером, отвечающий за процесс движения;
4. система безопасности и оповещения, включающая в себя свето-звуковую сигнализацию при движении и сертифицированный ультразвуковой дальномер;
5. система навигации, позволяющая реализовать движение по заданной траектории;
6. пульт управления.

Использование этих систем позволяет беспилотной тележке следовать по заданному маршруту, включая развлечения и повороты, контролировать препятствия на пути следования, останавливаться при их наличии и продолжать движение при первой возможности.

Беспилотная тележка имеет четыре колеса - два, из которых ведущие, остальные поддерживающие (рис.1). Поддерживающие колеса врашаются на 360 градусов, чтобы в случае чего тележка могла развернуться вокруг своей оси и продолжить движение без сторонней помощи. Также тележка имеет три типа датчиков. Индуктивные и инфракрасные

датчики, расположенные в самом низу тележки, считывают траекторию магнитной ленты или чёрной линии. Датчики, расположенные впереди автоматического транспорта, должны предотвращать любое столкновение с препятствием, поэтому применяются ультразвуковые датчики расстояния. Все сигналы, получаемые датчиками, обрабатываются контроллером, который вырабатывает управляющий сигнал для драйверов привода.

Беспилотная тележка следует по предварительно определенной траектории. Старт движения может осуществляться по нажатию кнопки или событию: начало смены, прибытие груза, сигнал оператора.

Три варианта определение маршрута беспилотной тележкой:

1. по металлической ленте - наклеивается на пол, не мешает, легко создавать развилики, остановки и повороты. При таком режиме работают индуктивные датчики, которые выдают сигнал при наличии магнитного поля;

2. по чёрной линии – дешёвый способ, но при перестройке маршрута придётся стирать линию. При таком режиме работают ИК-датчики (датчики чёрной линии), которые работают по принципу отражения инфракрасного луча от поверхности пола;

3. комбинированный режим – на пол наклеивается металлическая лента и покрывается чёрным матовым лаком. Более дорогой способ, однако самый надёжный. При этом режиме работают одновременно два типа датчиков.

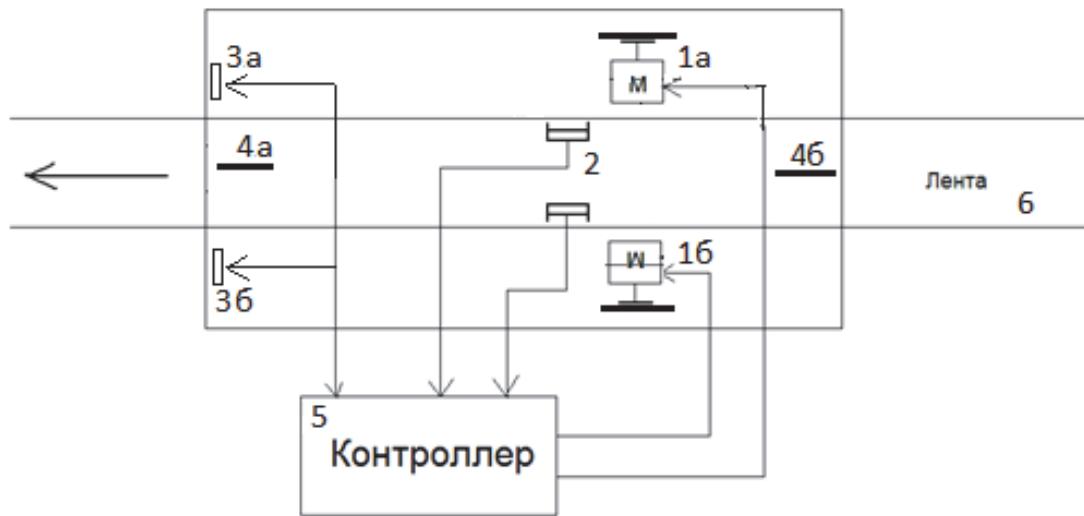


Рис. 1. Структура беспилотной тележки

*1<sub>a</sub>, 1<sub>б</sub>* – ведущие мотор-колеса; 2 – система навигации, состоящая из индукционных и инфракрасных датчиков; 3<sub>a</sub>, 3<sub>б</sub> – ультразвуковые датчики системы безопасности; 4<sub>a</sub>, 4<sub>б</sub> – поддерживающие поворотные колеса; 5 – блок управления(контроллер); 6 – металлическая лента

В настоящее время использование беспилотных транспортных систем является важным фактором в автоматизации различных производств. Использование таких систем позволит увеличить прибыль и ускорить транспортировку грузов на предприятии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Юревич, Е.И. Основы робототехники. – 2 –е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.
2. Шуть, В.Н. Интеллектуальные робототехнические транспортные системы /В.Н.Шуть, Л.Персиа -Брест: Издательство УО «БрГТУ», 2017.-230с.- ISBN 978-985-6744-41-2.

УДК 004.415.25

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕЛЕЖЕК В ПРОИЗВОДСТВЕ

Е.В. ШВЕЦОВА, А.Л. МИХНЯЕВ, В.Н. КУЗЬМИЧ  
Брестский государственный технический университет  
Брест, Беларусь

Беспилотные транспортные средства (БТС) в последние два десятилетия занимают существенную нишу в технологическом развитии общества [1]. Разработаны беспилотные автомобили, которые в нынешнее время проходят тестирование на автомагистралях. В Британии, Сингапуре и Китае разрешены перевозки пассажиров такими транспортными средствами. Крупнейшая пивоваренная компания AB InBev начала использовать беспилотные грузовики.

Беспилотные тележки разделяются на два типа: с компьютерным зрением и без него. Разработка транспорта первого типа довольно затратная и в плане рабочего персонала, и в плане денег. Сами тележки имеют в себе программное обеспечение, в которое входит нейросеть, вычисляющая траекторию пути и обеспечивающая безопасность окружающих.

В качестве примера рассмотрим японскую фирму OMRON [2], которая известна как раз выпуском продукции первого типа (рис.1).



Рис.1. Беспилотная тележка OMRON LD 90

Российская компания 3Д-Технологии.Ру [3] представила разработку AGV – Automatic Guided Vehicle (рис.2), которая очень хорошо зарекомендовала себя в промышленном производстве в качестве оптимизации затрат на персонал.



Рис. 2. Беспилотная тележка AGV от 3-Д Технологии

Более дешевым аналогом БТС является тележка японской автомобильной компании Toyota – TAE050[4]. TAE050 движется по траектории, которую задает наклеенная на пол магнитная лента, а для выполнения специальных команд она считывает метки с помощью датчика (рис.3).

Также известна Германская компания SSI SCHÄFER [4] с разработкой беспилотной тележки Weasel (рис.5). Движение данный аппарат осуществляет по заранее намеченной траектории в виде черно-белой линии на полу.



Рис.3. Беспилотная тележка Toyota TAE050

Рассмотрим использование БТС на промышленных предприятиях. Автопилоты соединяют зону хранения товаров (складское помещение) и производственные линии, тем самым, автоматизируя процесс ручного перевоза продукции или использования для этих целей транспортеров. Возможна смешанная транспортировка, к примеру, с сотрудником склада. БТС могут использоваться на линиях с различным уровнем автоматизации и на линиях с меняющимися условиями перевозки продукции. Помимо повышения культуры производства улучшается его рентабельность.



Рис.4. Беспилотная тележка Weasel

К основным преимуществам использования беспилотных транспортных средств в промышленности относиться:

- 1) Повышение безопасности работы (отсутствие оператора за пультом управления практически полностью исключает травматизм рабочих);
- 2) Сокращение кадровых ресурсов (сокращение сотрудников предприятия сопутствует повышению прибыли предприятия и снижению стоимости продукции);

- 3) Эффективность работы (БТС способна работать без перерывов);
- 4) Повышение гибкости транспортировки (маршрут БТС можно менять в зависимости от загруженности предприятия).

Как и в любой технологии, БТС также имеют и недостатки. Рассмотрим эти недостатки:

- 1) Низкая скорость передвижения;
- 2) Зависимость от условий на месте эксплуатации БТС (влажность, температура и т.д.).
- 3) Зависимость от скорости Интернета (нужно всегда учитывать тот факт, что на базовом уровне большинство беспилотников использует для позиционирования и других функций интерактивные сервисы);

Беспилотная тележка снабжена всеми необходимыми системами и элементами безопасности, может эксплуатироваться на вредных или опасных производствах, местах скопления людей и других двигающихся тележек.

В зависимости от типа, беспилотная тележка работает:

- 1) буксиром, перевозя другие тележки,
- 2) перевозчиком, поднимая и перевозя грузы (паллеты и т.д.).

Варианты применения автоматически управляемых тележек:

- 1) в логистике. Для сбора и доставки грузов от места разгрузки деталей до места сортировки или хранения;
- 2) в автомобилестроении. AGV поддерживают производство и служат базой для мобильной сборочной линии;
- 3) на складах (основной перевозчик грузов от места хранения к пункту выдачи);
- 4) в военной отрасли, автоматические тележки осуществляют операции разминирования, разведки, картографирования;
- 5) на опасных или вредных для человека производствах.

Эффективным будет использование БТС в мясоживом производстве [6-8]. Этот аспект использования беспилотных тележек недостаточно освещен в специальной литературе по мясоживому производству, но он пока отсутствует там, хотя замена многочисленных конвейеров и транспортеров могла бы привести к повышению культуры производства и снижению себестоимости выпускаемой продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1.Шуть В.Н., Персиа Лука. Интеллектуальные робототехнические транспортные системы /В.Н.Шуть, Л.Персиа -Брест: Издательство УО «БрГТУ», 2017.-230с.- ISBN 978-985-6744-41-2.

2. OMRON LD 60/90 «Полностью автономные мобильные роботы»: <https://industrial.omron.ru/ru/products/ld-60-90>

3. 3DTехнологии «Автоматически управляемые тележки»: <http://agvrobot.ru>
4. Toyota «Lean transportation with new AGC from Toyota Material Handling»: <https://clck.ru/VPs5Q>
5. SSI SCHAEFER: <https://www.ssi-schaefer.com/en-us>
6. Н. У. Ляшук, В. Н. Шуть, Е. В. Василюк, И. С. Николайчик, В. Р. Лазарук // Транспортировка продукции на технологических линиях мясожировых производств// Мясная индустрия. – 2021. – № 11. – С. 8–12.
7. В. Н. Шуть, Е. В. Василюк // Интеллектуальная грузовая беспилотная тележка // Проблемы безопасности на транспорте : Материалы 12 международной конференции, посвященной 160-летию белорусской железной дороги, Гомель, 24 – 25 ноября. 2022 г. В 2 ч / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Бел. ж. д, Белорус. гос ун-т трансп ; Под общ. ред.: Ю. И. Кулаженко. – Гомель: БелГУТ, 2022. – С. 89–90.
8. Н. У. Ляшук, В. Н. Шуть, Е. В. Василюк, А. О. Заречный, А. Л. Михняев, Д. В. Крупко, Е. В. Швецова // Применение беспилотных транспортных тележек в технологических линиях мясожировых производств// Мясные технологии. – 2022. – № 10. – С. 42–46.

УДК 629.576

## **АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ БЕСПИЛОТНОГО СУДНА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ**

Д.А. ШИЛИН, П.А. ЛАЗАРЕВА

Казанский национальный исследовательский  
технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ  
Казань, Россия

Беспилотные суда на воздушной подушке (БСВП) обладают способностью плавно скользить по различным поверхностям, включая землю, воду, лед и болотистую местность [1]. Универсальность и маневренность БСВП делают их идеальными для широкого спектра применений в различных областях. Они могут использоваться для пограничного патрулирования, прибрежного наблюдения, поисково-спасательных операций и доставки грузов в отдаленные районы. Поэтому разработка БСВП становится мировой тенденцией [2].

Суда на воздушной подушке используют принцип создания избыточного давления воздуха под днищем корпуса и не имеют контакта с

поверхностью, над которой они движутся. Избыточное давление создается специализированными воздухонагнетателями.

В данной работе представлены результаты испытаний экспериментальной конструкции БСВП, в результате которых были получены мощностные характеристики устойчивого отрыва и значения потребной мощности для статической тяги винта.

Для получения характеристик статической тяги винта был спроектирован стенд тяги (рис. 1), исходя из следующих требований:

- расстояние от винта до “земли” не менее 1 диаметра винта,
- “затенение” винта должно быть минимальным,
- перемещение двигателя с винтом в процессе работы должно быть не более 20мм,
- двигатель с винтом должны с минимальным трением ходить по направляющим,
- масса двигателя с винтом (и др. элементов крепления) должна быть учтена при измерении тяги и не искажать результата,
- должна быть возможность точного задания оборотов винта и/или их фиксирования.

Проведена серия из 6 испытаний для получения значений статической тяги и других характеристик двух винтов диаметром 11 и 12 дюймов, соответственно.

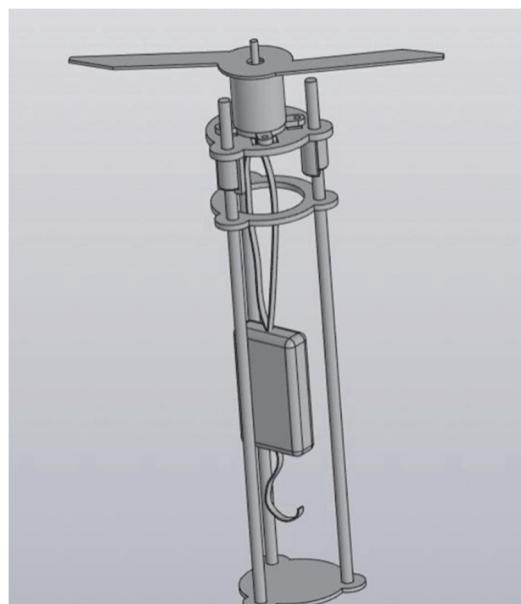


Рис. 1. Трехмерная модель испытательного стенда статической тяги винта

В результате проведенных испытаний получены однозначные зависимости, связывающие частоту оборотов винта с его статической тягой и потребной мощностью (рис. 2).

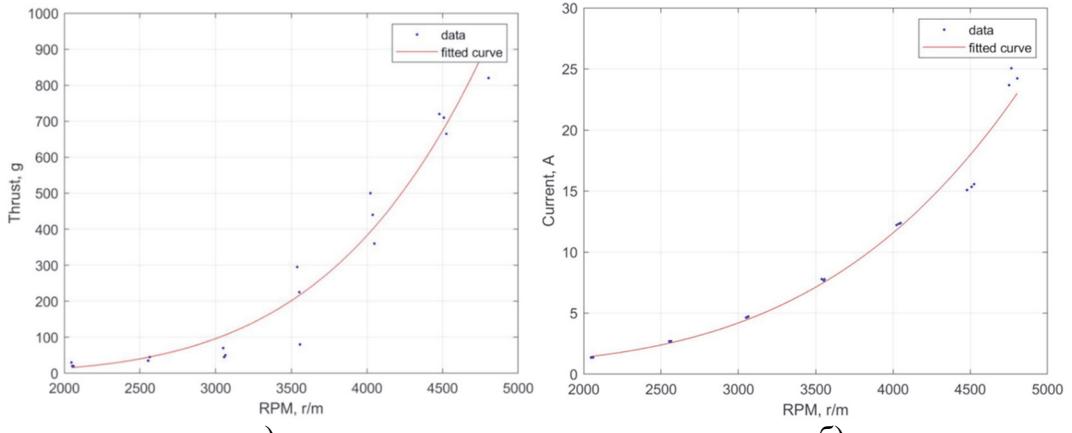


Рис. 2 Графики зависимости а) статической тяги винтов и б) тока от частоты вращения винта диаметром 11 дюймов

Также была спроектирована трехмерная модель судна на воздушной подушке с мягкой оболочкой (рис. 3) и создан макет судна с использованием тех же опорных двигателя, винта, аккумулятора и регулятора оборотов, на котором проводились тесты статической тяги (рис. 4). Масса всей конструкции (без учета проводов, аккумулятора и регулятора) составила 630 г. По результатам экспериментов был выбран винт диаметром 11 дюймов.



Рис. 3. Трехмерная модель БСВП



Рис. 4. Макет БСВП

Были проведены испытания тяги “на отрыв” с последующей фиксацией частоты оборотов, тока и напряжения на двигателе. Повторные испытания были проведены с утяжелением на 140гр для получения второй опорной точки (рис. 5). Проведен сравнительный анализ тяги БСВП и стенда для тех же значений частоты вращения. Полученные данные свидетельствуют о пятикратном увеличении тяги БСВП по сравнению со стендом за счет конструкции оболочки аппарата. При этом, потребление тока и мощности осталось практически неизменным. Небольшую невязку можно принять за погрешность эксперимента.

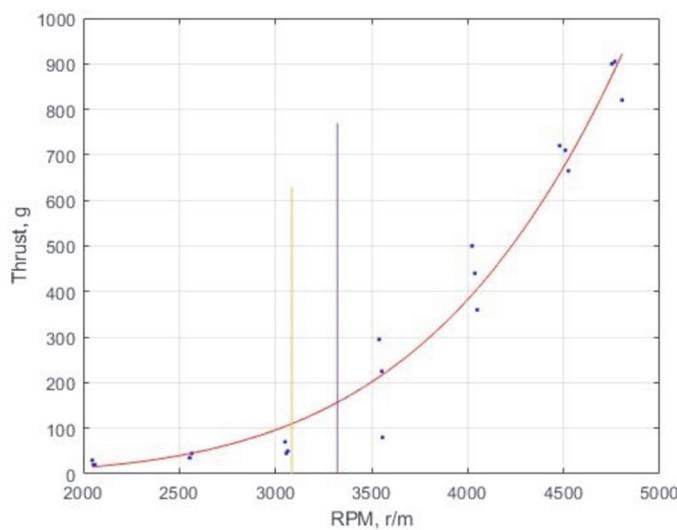


Рис. 5. Сравнение тяги макета БСВП и стенда без утяжеления (желтый) и с утяжелением (фиолетовый)

Таким образом, в результате проведенной работы создан стенд статической тяги и макет беспилотного судна на воздушной подушке, проведены испытания и получены статические мощностные и тяговые характеристики винта и макета БСВП для устойчивого отрыва от земли судна массой 630 г и с дополнительным грузом 140 г. Получены сравнительные характеристики потребной мощности для статической тяги винта и судна на воздушной подушке с тем же винтом для масс 630 и 770 г.

Согласно полученным данным, получено пятикратное снижение потребной мощности для висения судна в сравнении со статической тягой винта. Дальнейшая работа по созданию беспилотного судна на воздушной подушке будет включать экспериментальную оценку зависимости потребной мощности висения в зависимости от высоты и площади контакта с землей, оценку практической скорости истечения потока (давление на землю) в зависимости от площади контакта с землей и высоты полета. После проведения данных работ возможно начало проектирования опытного образца БСВП.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Ganesan, S. Design and Development of Unmanned Hovercraft / S. Ganesan, B. Esakki // International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences. – 2019. – №4. – pp. 1180-1195.
2. Anushree Kirthika, A.M. Design of an unmanned hovercraft / A.M. Anushree Kirthika, R. Jagan // International Journal of Computer Engineering In Research Trends. – 2017. – №4. – pp. 190-194.

УДК 623.746

## **АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА В СЛОЖНОМ ОКРУЖЕНИИ**

**Я.О. КОЗЛОВ**

Московский государственный университет  
им. М. В. Ломоносова  
Москва, Россия

### **Введение**

- Определение местоположения:  
GPS, LiDAR\*, 3D-камеры
- Избегание препятствий: 3D-  
камеры, LiDAR



- LiDAR (Light Detection and Ranging) - это технология зондирования, использующая лазерный свет для измерения расстояний до объектов и создания трехмерных карт окружающей среды.

### **Задача:**

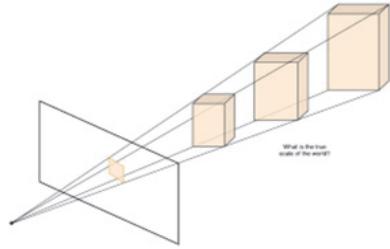
Создание системы автономной ориентации в ограниченном пространстве с составлением карты местности только с использованием 1 камеры.

В чем сложность?

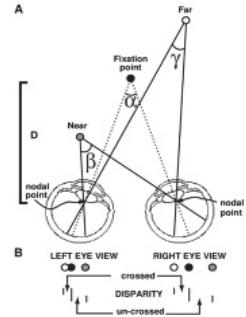
- Ограниченный набор сенсоров
- Закрытое помещение
  - Близость препятствий
  - Переменчивые условия
- Ограничены вычислительные мощности



## Монокулярное зрение



Без сравнительной перспективы, которую обеспечивают две камеры, оценка расстояний и создание пространственной карты становится значительно сложнее.



## Возможные решения:

- Извлечение признаков из серии изображений (VSLAM).
- Вероятностная CNN(convolutional neural network) для монокулярного прогнозирования глубины и обхода препятствий.
  - Расстояние до детектируемых объектов
  - Построение карты глубины
- Использованием параллакса движения, связанного с перемещением камеры.

## Извлечение признаков из серии изображений

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) = I(x, y, t) \quad (1)$$

$$I(x + dx, y + dy, t + dt) \approx I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt \quad (2)$$

$$\frac{\partial I}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{dy}{dt} = -\frac{\partial I}{\partial t} \quad (3)$$

$$(I_x \quad I_y) \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = -I_t \quad (4)$$

$$(I_x \quad I_y)_k \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = -I_{tk}, \quad k = 1, \dots, w^2 \quad (5)$$

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} (I_x, I_y)_1 \\ \vdots \\ (I_x, I_y)_{w^2} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} (I_t)_1 \\ \vdots \\ (I_t)_{w^2} \end{pmatrix} \quad (6)$$

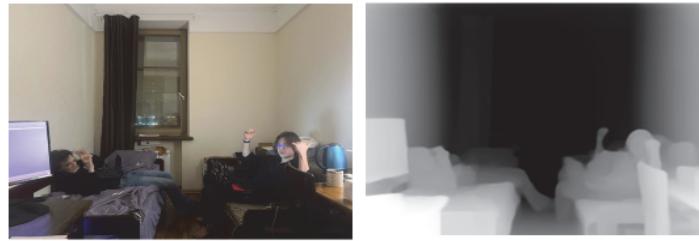
$$\mathbf{A} \begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = -\mathbf{b} \quad (7)$$

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix}^* = -(\mathbf{A}^\top \mathbf{A})^{-1} \mathbf{A}^\top \mathbf{b} \quad (8)$$

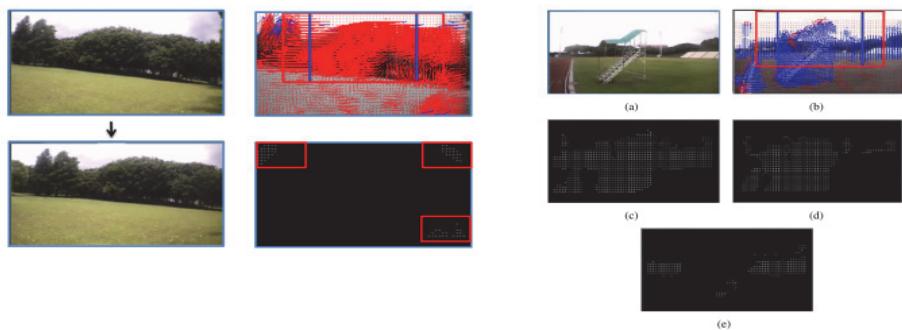
Если величина векторов оптического потока в области изображения меньше заданного порога, то в направлении прямой видимости препятствий нет.

## CNN карта глубины

- MegaDepth
- T2Net
- Midas

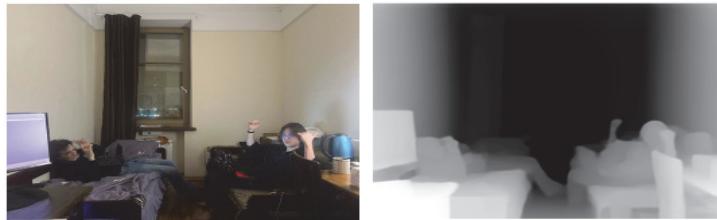


## Извлечение признаков из серии изображений



## CNN карта глубины

- MegaDepth
- T2Net
- Midas



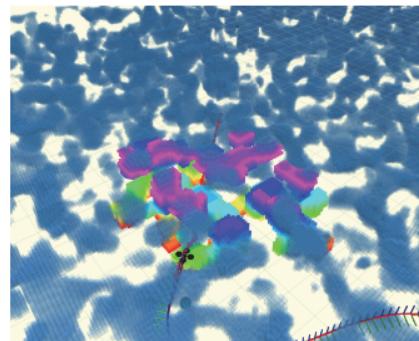
## Построение карты местности



## EGO-Planner: Ключ к Динамичному Планированию Пути

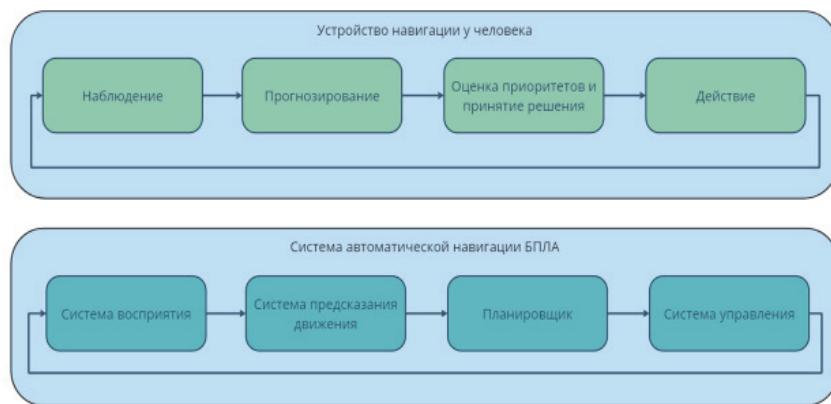
Алгоритм планирования пути в сложных, динамически изменяющихся средах. в реальном времени для беспилотников.

- Мгновенно изменяет траекторию пути при изменении среды
- Вычисляет наиболее эффективный маршрут
- Интегрирован с картой глубины



• X. Zhou, Z. Wang, H. Ye, C. Xu и F. Gao EGO-Planner: An ESDF-Free Gradient-Based Local Planner for Quadrotors // IEEE Robotics and Automation Letters, vol. 6, no. 2, pp. 478-485, 2021

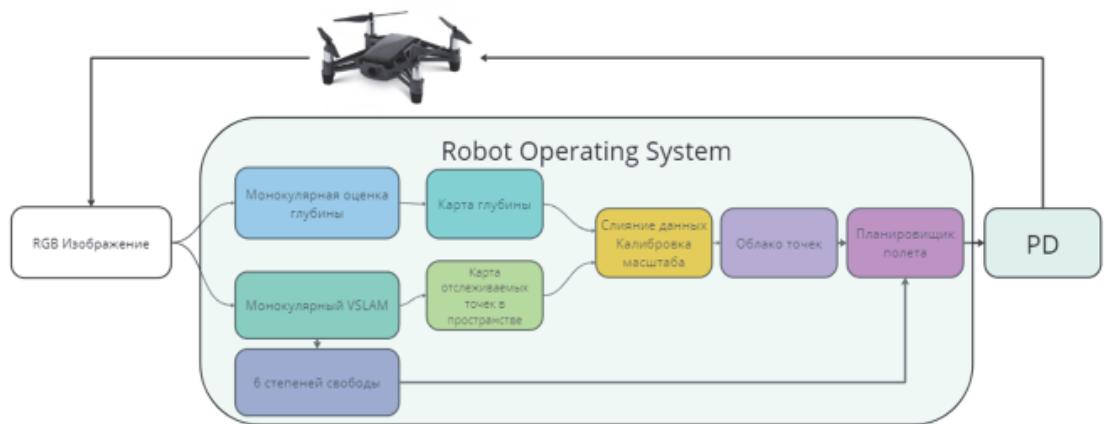
## Общая схема решения



## Общая схема решения



## Реализованная схема решения



---

# **СОДЕРЖАНИЕ**

---

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ .....	III
<b>ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО ПРЕДСЕДАТЕЛЯ СОВЕТА РЕСПУБЛИКИНАЦИОНАЛЬНОГО СОБРАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ Н.И. КОЧАНОВОЙ .....</b>	III
<b>ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО ГОСУДАРСТВЕННОГО СЕКРЕТАРЯ СОВЕТА БЕЗОПАСНОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ А.Г. ВОЛЬФОВИЧА .....</b>	IV
<b>ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО ЗАМЕСТИТЕЛЯ ПРЕМЬЕР-МИНИСТРА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ П.А. ПАРХОМЧИКА .....</b>	VI
<b>ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО МИНИСТРА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ А.А. КУЛИКА.....</b>	VIII
<b>ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО МИНИСТРА ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ А.И. ИВАНЦА .....</b>	X
<b>ВОЙТОВ И.В. БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ – ВАЖНЕЙШИЙ ЭЛЕМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ БЕЛАРУСИ.....</b>	XII
<b>I СЕКЦИЯ. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ: ТНПА, ПОЛЕТЫ, СЪЕМКА, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ПОДВЕСНО-ГО ОБОРУДОВАНИЯ, ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ.....</b>	1
<i>Казаков Б.В., Баев Н.Н., Прибылев С.В. ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ.....</i>	1
<i>Бариева А.Д. ОБСЛУЖИВАНИЕ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: ЛУЧШИЕ ПРАКТИКИ И ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ .....</i>	4

<i>Сазонов А.А., Курлович П.С. ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ НА ТЕРРИТОРИИ БЕЛАРУСИ .....</i>	7
<i>Шаблыко П.В., Хибиев А.К., Козловский Н.В. ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ПРОЦЕССЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА БЕЛОРУССКОЙ АНТАРКТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ .....</i>	11
<i>Ласточкин П.В., Кожевников А.Н., Истратова Е.Е. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ .....</i>	14
<i>Коваленко И.И., Копытков В.В. ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ НА ВОДАХ, НАВОДНЕНИЯХ, ПАВОДКАХ.....</i>	18
<i>Гуторов А.В. СИСТЕМА АКТИВНОЙ СТАБИЛИЗАЦИИ НАВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ БПЛА</i>	20
<i>Лосик А.В., Евсюк Л.А. ОСОБЕННОСТИ СЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ: ОБОРУДОВАНИЕ, ТЕХНИКИ И МЕТОДЫ.....</i>	23
<i>Щавлев А.А., Маркова И.С., Аниськов И.П. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАЛОГАБАРИТНОЙ БЕСПИЛОТНОЙ ВОЗДУШНОЙ ПЛАТФОРМЫ САМОЛЕТНОГО ТИПА С ЦЕЛЕВОЙ НАГРУЗКОЙ ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА АТМОСФЕРОЙ В ПЛАНЕТАРНОМ ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ</i>	24
<i>Шейников А.А., Малкин В.А., Иваницкий Л.А. ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ МАЛОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА .....</i>	27
<i>Салихов Д.Р., Мурзабулатов Б.С. ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ МЕДИЦИНСКИХ ДОСТАВОК И СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ .....</i>	31

<i>Котов П.М., Безмен Д.В., Коваленко И.И.</i> ТАКТИКА ПОИСКА ПОСТРАДАВШИХ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В МЧС .....	34
<i>Огородов А.С., Благов А.Е., Маханько А.А.</i> РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ТАКТИЧЕСКОГО ЗВЕНА .....	37
<i>Бабина С.В., Терентьев С.А.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОДОЛЬНЫМ И БОКОВЫМ ДВИЖЕНИЕМ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА САМОЛЕТНОГО ТИПА .....	41
<i>Журавлева К.С., Терентьев С.А.</i> АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОПИЛОТА ВЕРТОЛЁТА .....	45
<i>Былинцев А.Г.</i> КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ И ТЕРРИТОРИЙ НА БАЗЕ ЛЕТАЮЩЕГО КРЫЛА СО СПЕЦИАЛЬНЫМ БОРТОВЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ .....	49
<i>Луферов С.В., Филипович С.В., Хрибченко А.Н.</i> АВИАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ ОАО «ПЕЛЕНГ» .....	53
<i>Калач А.В., Сысоева Т.П.</i> ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ В ИНТЕРЕСАХ МЧС РОССИИ .....	56
<i>Терентьев С.А., Тищенко В.А.</i> АЛГОРИТМЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ВЕРТОЛЕТА ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ .....	60
<i>Шило В.В., Безмен Д.В., Коваленко И.И.</i> ТУШЕНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПРИ ПОМОЩИ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В МЧС .....	64
<i>Чадин Ю.М., Марунченко Л.Ю., Костюшин К.В., Петров Д.С., Юстус А.В.</i> РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БАС ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ СБРОСА ХЛАДАГЕНТА ПРИ ТУШЕНИИ ПОЖАРОВ .....	66
<i>Швед Я.А.</i> ЗАКОНОДАТЕЛЬСТВО В СФЕРЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ .....	70

<i>Янковская А.В., Сахаров А.В.</i> РОЛЬ ГРАЖДАНСКО-ПАТРИОТИЧЕСКОГО ВОСПИТАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ ГОТОВНОСТИ УЧАЩИХСЯ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ БПЛА В ЦЕЛЯХ ОБЩЕСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ .....	71
<i>Каменев М.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ОСНАЩЕНИЯ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ И ЛАБОРАТОРИЙ ИЗУЧЕНИЯ БАС .....	75
<i>Голобурдин Н.В.</i> ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫХ БПЛА ДЛЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ, ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ .....	75
<i>Лобза К.О.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ БВС .....	76
<i>Лобза К.О.</i> ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ОБУЧЕНИИ РАЗРАБОТКЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ БВС ...	77
<b>II СЕКЦИЯ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ....</b>	<b>78</b>
<i>Войтов И.В., Пушкин С.А., Толкач И.В., Звягинцев В.Б.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	78
<i>Смолярко Е.О.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА И ИЗУЧЕНИЯ ЖИВОТНОГО МИРА НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ	80
<i>Киндеев А.Л., Сазонов А.А., Князев И.С., Рауш А.А.</i> ПРОГНОЗНОЕ ПОЧВЕННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ПО ДАННЫМ ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ГС “ЗАПАДНАЯ БЕРЕЗИНА”) .....	84
<i>Ефименко Г.А., Мухина М.Ю.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСНОМ, СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ДРУГИХ ОТРАСЛЯХ .....	88
<i>Пригодич Л.В., Лапицкая А.М.</i> ИНТЕГРАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	90
<i>Кривченя Е.С., Василюк В.С.</i> ЦИФРОВИЗАЦИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	91
<i>Забавников Т.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В ЛОГИСТИКЕ.....	93

<i>Камчатов И.Д.</i> АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ (БПЛА) В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	97
<i>Ярославцева О.М.</i> ОБЗОР РАЗРАБОТОК ЦЕНТРА «БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ». КОМПЛЕКС НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ПОЖАРАМИ ЛЕСНЫХ МАССИВОВ .....	99
<i>Овчарова Н.В., Пестунов И.А., Силантьева М.М.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА ПРИ ОЦЕНКЕ АРЕАЛА РЕСУРСНОГО ВИДА (ХМЕЛЯ ОБЫКНОВЕННОГО) И АГРОЦЕНОЗОВ АЛТАЙСКОГО КРАЯ (РОССИЯ).....	103
<i>Поляков А.Ю., Скрыпник О.Н.</i> ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАБОТ .....	106
<i>Войтов И.В., Комаров М.А., Дубина А.В.</i> МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОЗДУХА ПРИ ПОМОЩИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ С МОБИЛЬНЫМИ ГАЗОАНАЛИЗАТОРАМИ .....	111
<i>Печенев Е.В., Кацубо П.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ МОСТОВОГО ПЕРЕХОДА .....	115
<i>Сантоцкий Д.Р.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В ГЕОЛОГИИ .....	117
<i>Рыжсов Я.А.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ЛЕСНЫХ ПОЛОС И МОНИТОРИНГА РИСКА ПРОНИКНОВЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЗОНЫ ЛИНЕЙНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ .....	119
<i>Абдуллин И.Н., Лэй Р.А., Посмыгаев И.С</i> ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ДЛЯ ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ВНЕСЕНИЯ ТРИХОГРАММЫ.....	123
<i>Волкова В.В., Лихота В.Ю.</i> ВЫЯВЛЕНИЕ ПРЕДПОСЫЛОК СОЗДАНИЯ ОБЪЕКТОВ ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЫ (ЭКОПАРКОВ) НА МЕЖСЕЛЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С ПОМОЩЬЮ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ .....	127

<i>Ковриго О.В. АДАПТИВНАЯ К ФОНОЦЕЛЕВОЙ ОБСТАНОВКЕ ПРОГРАММНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ НА БЕСПИЛОТНОМ ЛЕТАТЕЛЬНОМ АППАРАТЕ В УСЛОВИЯХ ТУРБУЛЕНТНОСТИ АТМОСФЕРЫ .....</i>	131
<i>Сурчилов Д.Н., Тарасов Е.И., Шарафутдинов А.А. РАЗРАБОТКА И КОНСТРУИРОВАНИЕ БПЛА ДЛЯ ДОСТАВКИ МАЛОМЕРНЫХ ГРУЗОВ АГРОТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ .....</i>	134
<i>Тарабуев Н.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ</i>	137
<i>Фруль Е.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ LIDAR ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ</i>	140
<i>Яновский А.А. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ УБОРОЧНОЙ ПОТЕРИ УРОЖАЯ ЗЕРНОВЫХ ОТ ПОЛЕГАНИЯ.....</i>	143
<i>Петровская А. А., Евкович И. А., Беляков А. А. МОНИТОРИНГ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....</i>	147
<b>III СЕКЦИЯ. ПОЛИМЕРНЫЕ КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ НА ИХ ОСНОВЕ. ЦИФРОВЫЕ И ОПТИКОЭЛЕКТРОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ .....</b>	150
<i>Бариева А.Д. ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В АНАЛИЗЕ ДАННЫХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: ВОЗМОЖНОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА.....</i>	150
<i>Прус Е.А., Мицевич Л.А., Забагонский С.А. ПРИМЕНЕНИЕ СПУТНИКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ .....</i>	153
<i>Буйвид А.П., Радкевич А.А., Павлюковец С.А., Вельченко А.А. К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕНТИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ПЕЧАТНЫМ СТАТОРОМ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....</i>	153

<i>Василюк В.С., Кривченя Е.С. ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ: СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ.....</i>	159
<i>Газизова Е.В., Исмаилов К.К. ОПРЕДЕЛЕНИЕ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФИЛЯ КРЫЛА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЗАКРЫЛКА</i>	161
<i>Гилемханов Р.И. МАЛОГАБАРИТНЫЙ ГИРОПОЛУКОМПАС С АНАЛИТИЧЕСКОЙ АЗИМУТАЛЬНОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ДЛЯ БПЛА САМОЛЁТНОГО ТИПА .....</i>	165
<i>Сыровой Г.В., Победа Т.В., Перевозчиков В.А. АВТОМАТИЗАЦИЯ НАМОТКИ ГОЛОВНОГО ОБТЕКАТЕЛЯ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА.....</i>	169
<i>Горбукова А.Ю. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ .....</i>	173
<i>Григорьев И.Е., Свидунович Н.А., Сенють В.Т., Валькович И.В. КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ТВЁРДОГО СПЛАВА С ДОБАВЛЕНИЕМ НАНОСТРУКТУРНОГО ИМПАКТНОГО АЛМАЗА .....</i>	176
<i>Дьякова Г.Н., Евтихова Д.Д. ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ УЗЛОВ КОПТЕРА С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ.....</i>	180
<i>Волков И.А., Гаркушенко В.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ БПЛА НА СТЕНДЕ ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....</i>	183
<i>Коношонкин А.В., Бабинович А.Е. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ БПЛА НА ОСНОВЕ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ АЛГОРИТМОВ И КАМЕР ПОЛНОГО НЕБА .....</i>	187
<i>Кудряшов О.А. ГИРОПОЛУКОМПАС С АНАЛИТИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИЕЙ КАРДАНОВОЙ ПОГРЕШНОСТИ ДЛЯ БПЛА САМОЛЁТНОГО ТИПА .....</i>	191
<i>Мироненко В.В., Лаврентьева М.В. ПРИМЕНЕНИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ НА ПРИМЕРЕ ИНКРЕМЕНТНОЙ ФОРМОВКИ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ</i>	195

<i>Максимцова А.В., Величко Г.А., Карпович О.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА.....	198
<i>Фомин Р.В., Муллагалиев Д.Р.</i> ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ И ПРОЕКТРИРОВАНИЯ ТРЕХОСНОГО ИНДИКАТОРНОГО ГИРОСТАБИЛИЗАТОРА ДЛЯ БПЛА	201
<i>Листопад А.И., Скрыпник О.Н.</i> РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ICNS ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ БЕСПИЛОТНОЙ АВИАЦИИ В ВОЗДУШНОЕ ПРОСТРАНСТВО .....	205
<i>Романова А.О.</i> АНАЛИЗ ИЗБИРАТЕЛЬНОСТИ МОЛНИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА БЕСПИЛОТНЫЙ ЛЕТАТЕЛЬНЫЙ АППАРАТ .....	209
<i>Сазанков А.П.</i> ОСОБЕННОСТИ ВХОДНОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФОТООТВЕРЖДАЕМЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА ПРИМЕРЕ КЛЕЯ NORLAND 61 .....	212
<i>Скворцова М.А., Абдуллин И.Н., Панкратов Д.Д.</i> КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ ПРИВЯЗНОГО АЭРОСТАТА, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ РЕТРАНСЛЯЦИИ СВЯЗИ .....	215
<i>Смейн В.Е., Дьякова Г.Н.</i> 3D-СКАНИРОВАНИЕ И РЕИНЖИНИРИНГ ЛОПАСТЕЙ БПЛА .....	219
<i>Щеглов М.Ю., Лунгу Д.Е.</i> СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ПРИВОДОВ ПРОПЕЛЛЕРОВ БПЛА В ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМАХ .....	223
<i>Щеглов М.Ю., Сустанова А.И.</i> СТУДЕНТЫ И ВОЛОНТЕРЫ: ОПЫТ ИННОВАЦИОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ВЫПУСКА МАЛЫХ ПАРТИЙ БПЛА В РАМКАХ СТУДЕНЧЕСКОГО КБ.....	227
<i>Сухобоков А.А., Воюш Н.В.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ С КАМЕР .....	229
<i>Германович А.П., Щеклеина В.П., Гришков Т.А.</i> УПРАВЛЕНИЕ И СТАБИЛИЗАЦИЯ ПОДВЕСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА .....	231
<i>Фахретдинова Ф.Н.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕТА КВАДРОКОПТЕРА С НЕЛИНЕЙНЫМ МОДЕЛЬНО-ПРОГНОЗИРУЮЩИМ РЕГУЛЯТОРОМ .....	235

<i>Хафизов А.И.</i> СИНТЕЗ ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ КВАДРОКОПТЕРА .....	239
<i>Ходер В.Б., Кордикова Е.И., Лукиша М.А.</i> ФОТОПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ .....	243
<i>Шуть В.Н., Туз И.С., Сидоренко А.А.</i> БЕСПИЛОТНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ АППАРАТЫ В АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВ .....	247
<i>Швецова Е.В., Михняев А.Л., Кузьмич В.Н.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕЛЕЖЕК В ПРОИЗВОДСТВЕ.....	251
<i>Шилин Д.А., Лазарева П.А.</i> АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО СОЗДАНИЮ БЕСПИЛОТНОГО СУДНА НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ .....	255
<i>Козлов В.Я.</i> АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БПЛА В СЛОЖНОМ ОКРУЖЕНИИ.....	259

---

---

Научное издание

## **БЕСПИЛОТНЫЕ АППАРАТЫ**

Сборник статей  
МЕЖДУНАРОДНОГО МОЛОДЕЖНОГО ФОРУМА  
«БПЛА – 2024»

В авторской редакции

Компьютерная верстка  
*Е.В. Ильченко, В.А. Маркушевская, Е.А. Матейко*

Подписано в печать 19.04.2024. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 17,09. Уч.-изд. л. 18,16.  
Тираж 250 экз. Заказ 82.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
УО «Белорусский государственный технологический университет». Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/227 от 20.03.2014. Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.