

Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет»



«БПЛА – 2025»

Сборник статей II Международного форума по беспилотным аппаратам

Минск, 30 сентября – 02 октября 2025

В 2-х частях
Часть 1



Минск 2025

УДК 005.745:629.735.33.052-52
ББК 39.52я43

Беспилотные аппараты «БПЛА – 2025» : сб. ст. II Междунар. форума по беспилотным аппаратам, Минск, 30 сентября – 2 октября 2025 г. / Белорус. гос. технол. ун-т ; отв. за изд. И. В. Войтов. – Минск : БГТУ, 2025 : в 2 ч. – 226 с. – Ч. 1. ISBN 978-985-897-298-1.

В издании представлены научные статьи, освещающие вопросы применения в различных сферах экономики беспилотных летательных аппаратов, создания систем их управления, особенностей конструирования БПЛА и материалов для их производства.

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);

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

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

ГУНДИЛОВИЧ Николай Николаевич, директор Института повышения квалификации и переподготовки кадров БГТУ, кандидат технических наук;

КУИС Дмитрий Валерьевич, заведующий кафедрой материаловедения и проектирования технических систем, кандидат технических наук, доцент

ISBN 978-985-897-298-1 (Ч. 1) © УО «Белорусский государственный технологический университет», 2025
ISBN 978-985-897-299-8

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

В.М. КАРАНКЕВИЧ

Заместитель Премьер-министра Республики Беларусь

Уважаемые участники и гости форума!

От имени Правительства Республики Беларусь и от себя лично приветствую вас на открытии II Международного форума по беспилотным аппаратам.

Проведение такого масштабного мероприятия в нашей стране уже во второй раз подтверждает высокую значимость использования беспилотных систем в различных отраслях экономики.

Сегодня беспилотные технологии стали одним из ключевых драйверов научно-технического прогресса, мощным инструментом для модернизации экономики и укрепления национальной безопасности. Сфера их применения постоянно расширяется и включает высокоточное земледелие, мониторинг состояния лесов и водоемов, картографию, обеспечение безопасности на различных объектах и иное. Эффективное внедрение беспилотных технологий напрямую влияет на конкурентоспособность наших предприятий, обеспечивает технологический суверенитет республики.

Беларусь обладает значительным научным и производственным потенциалом в сфере беспилотных аппаратов. Сильная инженерная школа, развитый сектор информационных технологий и имеющиеся промышленные компетенции создают прочную основу для разработки и производства современных беспилотных систем.

Государство уделяет пристальное внимание поддержке этого стратегически важного направления. Наша задача - создать условия для подготовки кадров, проведения научных исследований, опытно-конструкторских работ и вывода инновационной продукции на внутренний и внешние рынки. Уже сегодня наши университеты осуществляют подготовку конструкторов, инженеров, операторов и иных высококвалифицированных специалистов для проектирования, производства и эксплуатации беспилотных аппаратов.

Уверен, что нынешний форум станет авторитетной площадкой для открытого диалога, обмена передовым опытом и выработки совместных решений.

Желаю всем участникам форума плодотворной работы, интересных дискуссий, свежих идей и успешного воплощения намеченных планов.

ИНТЕГРАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ В ОБЛАСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

И.В. ВОЙТОВ

От имени Белорусского государственного технологического университета (БГТУ) приветствую всех вас на сегодняшнем значимом мероприятии!

Сегодня БГТУ является одним из ведущих университетов Республики Беларусь, базовой организацией СНГ по образованию в области лесного хозяйства и лесной промышленности, опорным университетом Высоких технологий Союзного государства Республики Беларусь и Российской Федерации. Университет включает 8 факультетов, 48 кафедр, 35 филиалов-кафедр на производствах, 5 филиалов-колледжей, 2 учебно-опытных лесхоза, 1 институт, а также другие образовательные и научно-исследовательские структуры.

БГТУ первым на территории Республики Беларусь внедрил и сертифицировал систему менеджмента качества на соответствие СТБ ISO 9001-2009 в Национальной системе подтверждения соответствия Республики Беларусь и DIN EN ISO 9001:2008 в немецкой системе аккредитации DAkkS. Университет аккредитован в качестве научной организации.

В современных условиях рассматриваемая проблематика приобретает особую значимость для международного сообщества. Форум выступает в качестве площадки для решения приоритетных задач в сфере беспилотных технологий.

В рамках форума будут рассмотрены актуальные вопросы, связанные с производством и эксплуатацией беспилотных летательных аппаратов; специалисты смогут обменяться опытом между собой, обсудить перспективные направления развития беспилотной техники; ознакомиться с разработками инновационной продукции, представленной предприятиями-разработчиками и поставщиками беспилотных аппаратов.

От имени организационного комитета выражаю искреннюю признательность участникам форума за проявленный интерес и активное участие в работе нашего мероприятия. Особую благодарность выражаем экспонентам выставки за демонстрацию передовых разработок и технологий, а также всем спикерам за интересную тематику заявленных докладов.

Ваше присутствие и профессиональный вклад сделают форум и выставку по-настоящему значимыми и продуктивными. В форуме принимают участие более 180 ученых и специалистов в области БПЛА, свыше

80 студентов, магистрантов и аспирантов, а также учащиеся инженерных классов – будущие абитуриенты инженерных специальностей.

Приветствуем на форуме представителей Российской Федерации, Республики Татарстан, Объединенных Арабских Эмиратов, Китайской Народной Республики, Республики Узбекистан, Республики Союз Мьянма и др.

Создание и развитие в Республике Беларусь 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 10 лет создало спрос многих сфер экономики на использование беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) в своей деятельности. Это и логично, поскольку применение БПЛА 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 востребован на мировом рынке и характеризуется высокой добавленной стоимостью.

В настоящее время БПЛА широко применяются во многих отраслях промышленности:

в области лесного хозяйства:

посадка семян, мониторинг состояния взрослых деревьев, безопасная лесозаготовка, картографирование 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, отслеживание преступников, поисково-спасательные операции, обнаружение чрезвычайной ситуации; в области проведения научных исследований картографирование, 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

инвентаризации 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 Белорусском государственном технологическом университете с 2025 года осуществляется подготовка специалистов по специальности специального высшего образования «Проектирование и технология беспилотной техники» с присвоением квалификации «Инженер. Технолог».

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 направления 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 составляет 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. 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.

Существенным признаком новизны новой специальности является изменение базовой подготовки специалиста, в компетенции которой входит 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» осуществляется во взаимодействии организациями и предприятиями по выпуску беспилотной техники, научных учреждений и учреждений образования, использующих соответствующие технологии. Выпускникам данной специальности будет присваиваться квалификация «Инженер. Технолог». Выпускники указанной специальности будут способны к профессиональной деятельности на различных предприятиях Республики Беларусь, среди которых РУП «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов»; ООО «КБ Беспилотные вертолёт»; ОАО «Пеленг»; Китайско-Белорусское СЗАО «Авиационные технологии и комплексы»; ОАО «558-й авиационный ремонтный завод»; ОАО «Оршанский авиаремонтный завод»; НПООО «ОКБ ТСП»; унитарное предприятие «НТЦ «ЛЭМТ» БелОМО»; Научно-производственная компания ООО «КВАНД ИС»; ОАО «Минский завод гражданской авиации №407»; ОАО «Агат – системы управления»; КБ «Дисплей»; УП «Завод СВТ» и др.

Основные направления профессиональной деятельности в данном направлении следующие: разработка, оптимизация и производство изделий из полимерных композиционных материалов с учётом их конструктивных особенностей и условий эксплуатации для различных отраслей промышленности; проектирование технологических процессов, создание конструкторской и технологической документации, компьютерное моделирование, испытания и внедрение новых изделий в производство.

Университетами-партнерами БГТУ в области беспилотных технологий являются:

Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ);

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» (МАИ);

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королева (Самарский университет);

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет) (МГТУ им. Н.Э. Баумана);

Казанский (Приволжский) федеральный университет (КФУ);

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП);

МИРЭА – Российский технологический университет (РТУ МИРЭА).

В 2025 году при поддержке Министерства образования Республики Беларусь на базе военной кафедры БГТУ создан учебный класс подготовки операторов БПЛА, оснащенный современным оборудованием, позволяющим осуществлять обучение с использованием симуляторов, и закрытой полетной зоной БПЛА.

На базе учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» планируется создание Центра компетенций «Химические, биофармацевтические и лесоинженерные технологии» (далее – Центр).

Структура Центра будет включать шесть отделов: отдел химических и нефтегазохимических технологий, композиционных и энергонасыщенных материалов, и цифровизации, отдел беспилотных и авиакосмических технологий и искусственного интеллекта, отдел многофункционального эколого-ориентированного лесопользования и др.

Источниками финансирования Центра планируются средства республиканского бюджета, а также предприятий и организаций, в интересах которых формируется соответствующий отдел.

С Центральным аэрогидродинамическим институтом имени профессора Н. Е. Жуковского (Московская обл. г. Жуковский) достигнута

договоренность о разработке учебной лаборатории исследований и сертификации для беспилотной и пилотируемой техники с использованием следующих стендов:

- стенд «Аэротруба» – для испытания натуральных и полунатурных моделей беспилотных воздушных судов и их составных частей в потоке аэродинамической трубы с возможностью обучения специалистов по проектированию беспилотных воздушных судов;

- стенд «Прочность» – аппаратно-программный комплекс для статических и ресурсных прочностных испытаний конструкций беспилотных воздушных судов;

- стенд «НК» – программно-аппаратный комплекс для бесконтактного производственного контроля геометрии, повреждений и дефектов в композитных материалах.

На базе Института повышения квалификации и переподготовки БГТУ с 2019 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 беспилотных технологий. С 2019 г. по настоящее время на базе БГТУ подготовку прошли более 600 операторов БПЛА.

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

БГТУ располагает более 30 БПЛА, 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 компании DJI и другие.

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

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.

В рамках международного сотрудничества реализован проект «Образовательная среда для дронов», что позволило БГТУ развивать образовательные и научные направления в области эксплуатации БПЛА и обработки информации, полученной с них.

В университете созданы и функционируют порядка 50 структурных научных подразделений, в том числе:

8 отраслевых лабораторий;

18 испытательных лабораторий и центров, аккредитованных подразделений;

10 субъектов инновационной структуры.

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.

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

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

Дроны в цифрах:

2019 г. – на базе БГТУ начаты первые в стране испытания эффективности БПЛА 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 БПЛА;

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

0 мг/м³ – 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 БПЛА;

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

2025 г. – начато обучение студентов по специальности специального высшего образования «Проектирование и технология беспилотных авиационных комплексов».

В БГТУ запланировано начать подготовку специалистов в области проектирования, технологии конструирования авиастроения (самолето- и вертолетостроения, ракетостроения) в рамках Сетевого университета высоких технологий Союзного государства совместно с Казанским (Приволжским) федеральным университетом, Московским авиационным институтом (национальный исследовательский университет), Самарским национальным исследовательским университетом имени академика С.П. Королева, Ижевским государственным университетом им. М.Т. Калашникова. Ранее подготовка специалистов по данному направлению в Республике Беларусь не осуществлялась, что привело к отсутствию высококвалифицированных кадров, обладающих необходимыми компетенциями. Срок обучения по данной специальности составит 5 лет, квалификация выпускника: Инженер. Конструктор. Степень: Магистр.

В дальнейшем университет будет развивать направления в области малой авиации и наноспутников.

БГТУ приглашает профильные предприятия и организации в области беспилотных технологий принять участие в создании совместных научно-исследовательских лабораторий в области беспилотных технологий; открытию филиалов кафедр на предприятиях; организации отраслевых лабораторий.

Университет значительное внимание уделяет учебно-методической работе: ежеквартально в БГТУ издается дайджест в области беспилотных технологий, изданы учебные пособия и справочники для подготовки специалистов в области беспилотных технологий.

Результатом нашего сегодняшнего мероприятия станут следующие научно-технические проекты:

- 1) взаимодействие в области научно-технической и инновационной деятельности, включая реализацию совместных проектов по линии Союзного государства;
- 2) подписание соглашений о сотрудничестве БГТУ с предприятиями и организациями в области беспилотных технологий;
- 3) обмен опытом в сфере беспилотных технологий;
- 4) развитие образовательного сотрудничества с университетами Российской Федерации, Республики Татарстан, Объединенных Арабских Эмиратов, Китайской Народной Республики, Республики Узбекистан, Республики Союз Мьянма 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, Татарстан, Узбекистана, Китая и других стран по обсуждаемым вопросам.

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

Ю.А. МАКУШИН

Руководитель Представительства Россотрудничества в Республике Беларусь,
советник Посольства Российской Федерации в Республике Беларусь

Уважаемые коллеги, участники форума!

Приветствую вас всех на нашем ежегодном форуме, посвященном вопросам развития беспилотных систем. Сегодня мы собрались вместе, чтобы обсудить перспективы и достижения в области беспилотных технологий, рассмотреть проблемы и пути их решения, обменяться опытом и предложить новые идеи.

За последние годы роль беспилотных аппаратов в нашей повседневной жизни существенно возросла. Их применение становится всё шире и охватывает практически все сферы человеческой деятельности. Можно остановиться подробнее на некоторых ключевых направлениях гражданского использования БПЛА:

- агропромышленность: беспилотники позволяют оптимизировать сельскохозяйственное производство путем мониторинга состояния посевов, анализа почвы, борьбы с вредителями и сорняками, повышения урожайности и эффективности земледелия;

- геодезия и картография: использование дронов значительно упрощает процессы съемки местности, составления топографических планов и схем, позволяя оперативно получать точные данные для проектирования инфраструктуры и управления ресурсами;

- экология и мониторинг окружающей среды: благодаря беспилотникам осуществляется контроль над состоянием природных ресурсов, выявление загрязнений и чрезвычайных ситуаций, обеспечение экологической безопасности и сохранение биоразнообразия;

- транспортировка грузов: дроны активно внедряются в логистику, обеспечивая быструю доставку товаров и медицинских препаратов даже в труднодоступные районы;

- строительство и архитектура: применение беспилотных устройств позволяет быстро и точно оценивать состояние объектов строительства, проводить инспекции сооружений и анализировать строительные площадки;

- средства массовой информации и киноиндустрия: Услуга воздушной съёмки востребована как в медиа-пространстве, так и в создании художественных фильмов, сериалов и рекламных роликов.

Особо хотелось бы отметить важность тесного взаимодействия между нашими странами в сфере беспилотных технологий. Беларусь

обладает значительным потенциалом в разработке и производстве компонентов для беспилотных систем, таких как датчики, системы навигации, программное обеспечение и др. Совместные проекты позволили бы нам эффективно интегрировать лучшие инженерные решения обеих стран, в т.ч. путем создания совместных научно-технических центров и образовательных программ подготовки специалистов.

Таким образом, именно взаимовыгодное партнерство и интеграция усилий наших государств станут залогом успешного продвижения беспилотных технологий на мировом рынке, укрепляя технологический суверенитет и экономическое благополучие наших народов.

Развитие беспилотных систем открывает широкие возможности для научных исследований и образовательного процесса. Современные технологии требуют квалифицированных кадров, обладающих глубокими знаниями и навыками работы с высокотехнологичным оборудованием. Поэтому глубокое и качественное обучение студентов и молодых специалистов, безусловно, является приоритетной задачей. Именно молодые специалисты приносят свежие идеи, инновационные подходы и креативные решения в индустрию беспилотных систем. Они способны адаптироваться к новым технологиям быстрее старшего поколения, осваивать передовые методы разработки и внедрения современных решений. Привлечение молодёжи способствует созданию конкурентоспособности и устойчивости рынка беспилотных технологий Союзного государства на международном уровне. Объединяя усилия учёных, инженеров, преподавателей и представителей бизнеса, мы можем обеспечить успешное внедрение новых разработок и создание конкурентоспособных продуктов мирового уровня.

В заключение хотел бы поблагодарить БГТУ, его ректора Игоря Витальевича Войтова за огромный вклад в организацию и проведение этого форума, а также за усилия по реализации совместных российско-белорусских проектов и формированию единого образовательного и научного пространства Союзного государства России и Беларуси.

Желаю всем участникам конструктивного диалога, продуктивных дискуссий и формирования перспективных проектов, направленных на дальнейшее развитие беспилотных технологий в наших братских странах.

ПРИВЕТСТВЕННЫЙ АДРЕС УЧАСТНИКАМ II МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА ПО БЕСПИЛОТНЫМ АППАРАТАМ.

Д.А. ПАНТУС

Председатель Государственного военно-промышленного комитета
Республики Беларусь

Государственный военно-промышленный комитет приветствует вас в стенах одного из ведущих вузов нашей страны – Белорусского государственного технологического университета.

Второй Международный форум по беспилотным аппаратам открывает новую страницу в развитии научно-технического сотрудничества наших стран в области критически важных технологий двойного назначения. За год, прошедший с момента первого форума, отрасль беспилотных систем продемонстрировала впечатляющую динамику развития, подтвердив правильность стратегических приоритетов, определенных научным сообществом и промышленностью нашей страны.

Проведение здесь, в Минске, такого масштабного международного форума – это знаковое событие, которое красноречиво говорит о том, что Республика Беларусь не только следует современным тенденциям в области высоких технологий, но и активно формирует их.

Белорусский государственный технологический университет как площадка проведения форума символизирует неразрывную связь фундаментальной науки с практическими потребностями обеспечения национальной безопасности и технологического суверенитета.

За последние годы университет достиг значительных результатов в подготовке высококвалифицированных специалистов для оборонного сектора экономики. Реализуя совместные образовательные программы с ведущими оборонными предприятиями, входящими в систему Государственного военно-промышленного комитета, университет обеспечивает целевую подготовку кадров по таким специализированным профилям как: «Химическая технология энергонасыщенных материалов» и «Проектирование и технология беспилотных авиационных комплексов». Модель целевой подготовки специалистов с участием предприятий-заказчиков обеспечивает высокое качество подготовки кадров и сокращает адаптационный период молодых специалистов на предприятиях.

Развитие беспилотных технологий находится на этапе перехода от экспериментальных разработок к массовому производству и практическому применению. Страны, способные обеспечить технологическую независимость в этой сфере, получают значительные преимущества в обеспечении национальной безопасности и в экономическом развитии.

Особую ценность форуму придает его международный статус. В современных условиях как никогда важны неразрывные связи между государствами, открытый диалог ученых, конструкторов и промышленников. Объединение наших интеллектуальных и производственных ресурсов — это залог создания прорывных технологий и выхода на новые рынки.

Полагаю, что настоящий форум определит стратегические направления развития беспилотных технологий на период до 2030 года и сформирует механизмы их реализации в рамках существующих интеграционных объединений. Консолидация научно-технического потенциала в области беспилотных систем создаст основу для обеспечения коллективной безопасности и технологического суверенитета региона в условиях возрастающих глобальных вызовов.

Желаю всем продуктивной работы, новых открытий, перспективных решений и, конечно, приятных впечатлений от пребывания в гостеприимной белорусской столице.

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЭШЕЛОННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ УГРОЗ БПЛА

А.П. ШКАДАРЕВИЧ, А.В. КОСЕНОК

Научно-производственное унитарное предприятие
«Научно-технический центр «ЛЭМТ» БелОМО»,
Минск, Беларусь

За последние 15 лет технологический уровень беспилотных аппаратов (воздушных, наземных, водных) многократно вырос: увеличилось не только количество разработок, но и число направлений, разновидностей, видов беспилотных средств, так же, как и спектр решаемых задач – профессиональных, бытовых, тактических. В частности, ускорение разработок новых типов БПЛА, увеличение объемов производства и снижение стоимости готовых изделий привели к все более активному их применению как в ходе боевых действий в современных конфликтах, так и в террористической активности, что во многом изменило подходы к построению инфраструктуры безопасности объектов. Появление новых типов БПЛА, принципов управления и способов обеспечения передачи данных приводит к разработке новых технологий и средств противодействия, что в свою очередь ведет к адаптации конструкций и тактики применения. Использование одной технологии обеспечения безопасности в современных реалиях не способно в полной мере решить задачу по защите от угроз БПЛА. Именно поэтому разработка многоэшелонной защиты с применением дублирующих и замещающих технологий является наиболее тактически и экономически верным способом построения инфраструктуры безопасности. В настоящем докладе будут рассмотрены ключевые технологии защиты от воздушных беспилотных аппаратов на примере разработок унитарного предприятия «НТЦ «ЛЭМТ».

Построение многоэшелонной защиты объектов от угроз БПЛА следует из нескольких ключевых принципов:

- обеспечение устойчивого контроля за положением потенциальной угрозы во всем диапазоне работы средств поражения и даже за его пределами (с помощью средств радиолокации и оптико-электронной аппаратуры);

- одновременное сопряжение зон поражения как минимум двух различных средств обеспечения безопасности – соблюдение принципа дублирования как для возможности альтернативного противодействия

(в случае вариативности угроз и низкой эффективности одной из применяемых технологий), так и в целях снижения нагрузки на одно конкретное средство (уменьшение риска подавления средства безопасности количеством целей);

- учет специфики конкретного объекта (объект гражданской либо военной инфраструктуры), ландшафта, расположения инфраструктурных элементов и коммуникаций, систем энергообеспечения и связи, режимов функционирования объекта, наличия других средств обеспечения безопасности;

- оптимальность построения инфраструктуры с учетом стратегического значения объекта, а также технологической и экономической целесообразности использования выбранного набора средств обеспечения безопасности.

На рисунке 1 коротко продемонстрирован пример схемы многоэшелонной защиты, реализованной на объекте гражданской инфраструктуры с учетом зон поражения различных типов средств.

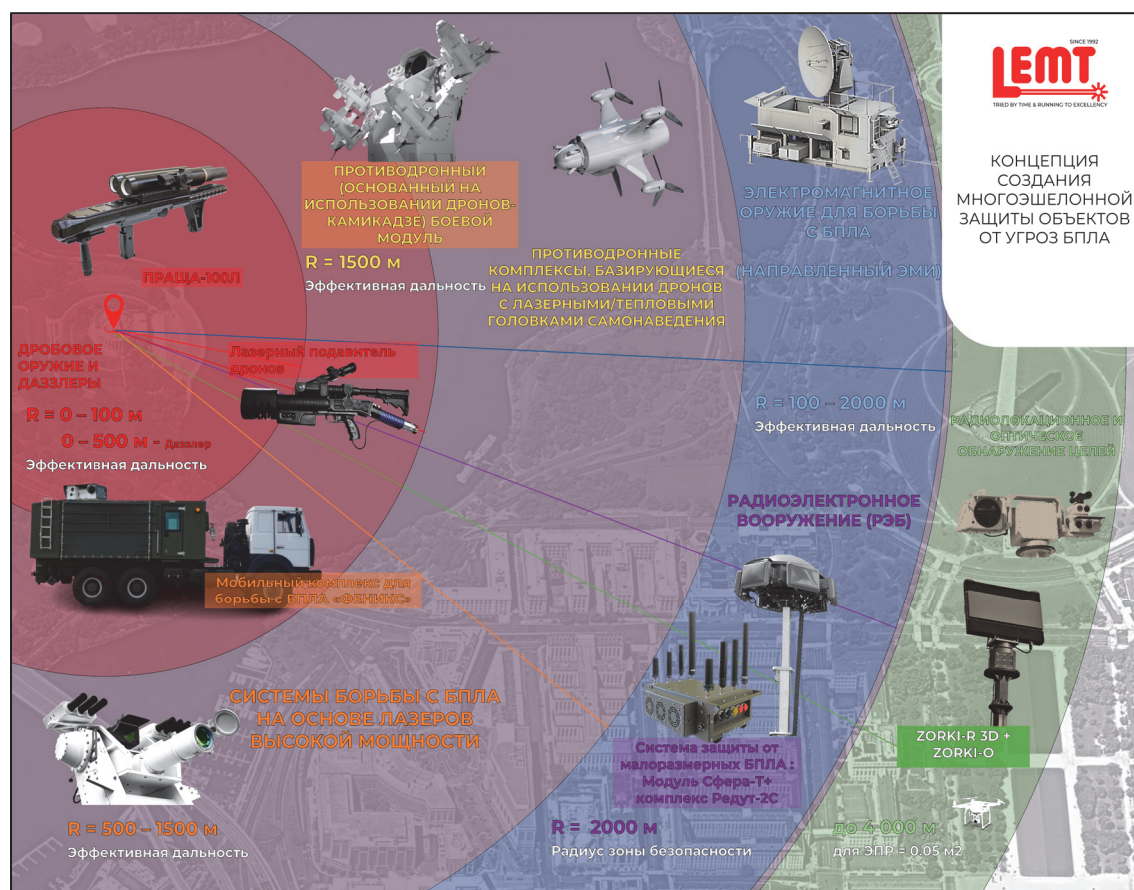


Рис. 1. Пример схемы расположения различных типов средств обеспечения безопасности от угроз БПЛА (производство, разработка и интеграция – «НТЦ «ЛЭМТ»)

Вся площадь объекта должна помещаться в зонах сканирования радиолокационных и оптико-электронных систем наблюдения с обеспечением возможности точного определения координат потенциальных угроз (БПЛА различного типа) в реальном времени, а также наличия потоковой визуальной информации (трансляция с телевизионного и тепловизионного каналов для возможности точной идентификации типа БПЛА). Данные задачи обеспечиваются работой радаров X-диапазона ZORKI-R 3D и оптико-электронных модулей ZORKI-O в различных конфигурациях. Модули способны обнаруживать объекты типа «мало-размерный БПЛА» (ЭПР = 0,05 м², аналоги DJI Mavic) на дальностях до 4000 метров. Размещение модулей требует тщательного учета геометрии ландшафта, расположения крупных строений, возможных слепых зон радара и оптико-электронного модуля, режимов работы систем связи и систем РЭБ. Отдельные элементы комплексов (радар, оптико-электронный модуль либо его каналы) находят применение в других средствах безопасности, обеспечивая возможность обнаружения целей и точного наведения.

Системы радиоэлектронного вооружения также являются необходимым элементом защиты, поскольку они в состоянии определить типы БПЛА, работающие на определенных частотах, а также поставить помехи, препятствующие управлению и передаче данных с дронов. Однако в последнее время все чаще применяются БПЛА, устойчивые к воздействию систем РЭБ – управляемые по волоконному кабелю, либо работающие в широком диапазоне частот с возможностью оперативного переключения либо дублирования принимаемых / испускаемых сигналов, не говоря о полностью автономных либо полностью пассивных устройствах. Устранение угрозы от таких БПЛА возможно только средствами физического уничтожения.

Одним из таких средств является электромагнитное вооружение. Принцип использования направленного электромагнитного импульса является перспективной военной технологией, которая в состоянии обеспечивать выведение из строя широкого спектра оборудования, поскольку воздействие ведется на электронные компоненты, которые в обязательном порядке присутствуют сегодня в любых видах техники (транспортные средства, системы наблюдения и разведки, пилотируемая и беспилотная авиация и др.). Установка для борьбы с БПЛА использует мощную антенну, способную поражать одновременно несколько дронов, находящихся в радиусе поражения, на дистанциях до 2000 метров. При всей перспективности, на текущий момент технология является весьма дорогостоящей и требующей наличия обеспечивающей инфраструктуры (мощного источника электроэнергии), а также лимитированной в использовании требованиями безопасности (для предотвращения ущерба

инфраструктуре и электронным устройствам, находящимся в зоне применения электромагнитной установки). Исследования и разработки по данной тематике продолжаются.

Другой технологией поражения БПЛА, представляющих потенциальную угрозу, являются лазеры высокой мощности. На сегодняшний день, НТЦ «ЛЭМТ» в интересах Госкомвоенпрома и МО РФ разработало лазерный комплекс по борьбе с БПЛА «ШАФРАН». В основе комплекса – волоконный лазер с выходной мощностью в 10 кВт, оптико-электронная система обнаружения, сопровождения и прицеливания, радиолокатор для первичного целеуказания. Система в состоянии обеспечить поражение малоразмерных БПЛА на дальностях до 1500 метров, на сопровождение и уничтожение одного дрона при воздействии на уязвимые элементы конструкции (электродвигатели, пропеллеры) требуется не более 5 секунд. Альтернативным средством противодействия меньших габаритных размеров является лазерное ружье – устройство с выходной мощностью до 2 кВт, выполненное в формате индивидуального оружия (само ружье в комплекте с лазерным источником, источником питания, системой охлаждения) для поражения и выведения из строя оптико-электронных систем БПЛА, что лишает дрон возможности точного наведения по оптическим каналам, и, как следствие, препятствует эффективному выполнению разведывательных и диверсионных задач.

В качестве индивидуального средства защиты от БПЛА с малым радиусом воздействия применяется и комплекс «ПРАЩА-100Л» - средство кинетического поражения, основанного на использовании одноразового боеприпаса с большим количеством поражающих элементов для создания осыпи диаметром 1-1,2 метра и достаточной кинетической энергией для нанесения ущерба конструкции БПЛА на дальностях до 100 метров. В разработке – управляемый модуль с боекомплектом из нескольких таких боеприпасов для автоматизированного обеспечения безопасности транспортных средств и других дорогостоящих комплексов.

Одним из наиболее перспективных направлений разработок для обеспечения защиты от угроз БПЛА являются дроны-перехватчики – БПЛА, предназначенные для поиска, обнаружения и устранения других БПЛА посредством физического контакта (таран, дистанционный подрыв, применение ловчей сети, размещение стрелковых систем – дробовых зарядов, метательного вещества для нарушения работы электродвигателей и др.). Данное направление характеризуется широким применением технологий ИИ для обеспечения распознавания, захвата и сопровождения быстро движущихся малоразмерных целей, малой дальностью применения, потенциальной дешевизной расходных средств (дрон-перехватчик, как правило, проектируется с меньшими затратами, чем дрон-цель).

НТЦ «ЛЭМТ» ведет проработку нескольких концепций дрона-перехватчика для возможности применения как для защиты военных, так и гражданских объектов.

В настоящем докладе упомянуты ключевые компетенции НТЦ «ЛЭМТ» в разработке средств защиты от угроз БПЛА, однако, как было указано ранее, создание полноценной эффективной инфраструктуры безопасности подразумевает комбинирование множества средств и решений. Каждый объект, требующий защиты, прорабатывается индивидуально – общепринятой методологии решения таких задач в настоящий момент не существует. Дальнейший прогресс развития средств защиты, как и самих БПЛА, будет определять характер реализации будущих инфраструктурных проектов.

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА БАС: МОДЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

Р.Н. МИННИХАНОВ

доктор технических наук, президент Академии наук РТ,
государственное научное бюджетное учреждение «Академия наук
Республики Татарстан», Казань, Республика Татарстан

Республики Татарстан является федеральным научно — производственным центром по беспилотным авиационным системам с диверсифицированной структурой экономики и известными промышленными предприятиями городов Казани, Иннополиса, Елабуги и Альметьевска.

Она занимает стратегически значимую позицию в национальной системе научно-производственных центров по беспилотным авиационным системам — этот статус официально подтверждён с декабря 2024 года приказом Минпромторга России.

Это не только признание федерального уровня, но и важная отправная точка для построения единой отраслевой экосистемы, которую мы развиваем в партнёрстве: региональные органы власти - Академия наук Республики Татарстан - ведущие вузы и промышленные предприятия. Это работа осуществляется в рамках реализации программы «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан» [1].

Стратегическая модель успеха обеспечивается через 8 ключевых драйверов, на которых строится национальный проект по развитию БАС в Татарстане.

Движущей силой всех изменений является команда профессионалов и единомышленников. Мы собрали консорциум учёных, инженеров, управленцев, представителей бизнеса и стартап-сообщества, объединив усилия Академии наук, ведущих вузов, предприятий и молодых специалистов.

2-й драйвер — это кадры для новой отрасли. В регионе выстроена вертикаль подготовки кадров: инженерные классы и «Кванториумы» в школах, современные колледжи СПО, отраслевые магистратуры и практико-ориентированные курсы в вузах, акселерация специалистов и программы «Передовые инженерные школы» и «Приоритет-2035». В эту систему входят летние школы и профильные инженерные смены, специализированные центры подготовки, такие, как Школа главного конструктора и Школа главного технолога, модули по БАС, встроенные в программы подготовки бакалавров, специалистов, магистров, аспирантов инженерных вузов республики, программы академических обменов

в системе дополнительного профессионального образования. Такой подход позволяет быстро реагировать на запросы рынка и технологий и формировать кадровый резерв для индустрии БАС.

Сформирован отраслевой заказ на подготовку кадров до 2030 года – он составляет более 32 тысяч человек; обучение востребованным специальностям в сфере БАС уже прошли 1,5 тысяч человек. Ядром федерального проекта «Кадры для БАС» является платформа «Цифровой реестр кадров БАС», которая отвечает на вопросы: каков объективный спрос на кадры в отрасли, каковы актуальные требования к подготовке специалистов на всех уровнях образования. Авторы — разработчики цифровой платформы — ученые университета «Иннополис» Республики Татарстан. С 1 октября 2025 года проект стартует в федеральном пространстве и становится маршрутизатором для принятия взвешенных решений в кадровой сфере.

3-й драйвер развития отрасли – эффективная система управления. В республике создана Правительственная комиссия по реализации национального проекта БАС, куда вошли все заинтересованные министерства, ведомства и предприятия.

Принята программа «Развитие беспилотных авиационных систем в Республике Татарстан на период до 2035 года» и Дорожные карты по ее реализации по 5 ключевым направлениям (Спрос, Производство, Инфраструктура, Кадры, Перспективные технологии).

Функционирует республиканский Оперативный штаб, открывающий небо эксплуатантам. На сегодняшний день республика занимает 3 место по числу полетных часов в Российской Федерации. Эта работа осуществляется в соответствии с Указом Президента Республики Татарстан от 25 ноября 2022 г. N УП-813 «Об использовании беспилотных воздушных судов на территории Республики Татарстан» [2].

В научно — производственном центре БАС идет напряженная работа по определению его функциональной и производственной специализации. НПЦ фактически должен превратиться в институт развития отрасли, объединяющий науку, образование, промышленность и стартапы. Это координационный центр испытаний новых технологий, реализации крупных научно-производственных проектов, предоставляющий резидентам доступ к федеральным мерам поддержки и акселерационным программам. Уже сейчас в состав НПЦ вошли:

- испытательная лаборатория КНИТУ-КАИ, оказывающая максимальный спектр услуг в области испытаний, исследований продукции и материалов, прочности и надежности летательных аппаратов;

- авиационный учебный центр, осуществляющий подготовку внешних пилотов гражданской авиации беспилотного воздушного судна по программам подготовки, утвержденных Росавиацией.

За счет федеральных и республиканских средств НПЦ будет оснащен современным оборудованием для создания, сертификации и серийного производства линейки беспилотных судов. Начато строительство инфраструктурного комплекса площадью более 8 тыс. м². Он станет ядром отраслевого роста и площадкой для испытаний новых технологий.

5-й драйвер - сильные игроки отрасли. Несомненно, сильной стороной Татарстана является высокоразвитая промышленная база. Лидеры татарстанской промышленности – компании Татнефть, Камаз, Сибур, ICL, Зеленодольский судостроительный завод, особые экономические зоны «Алабуга» и «Иннополис» – активно включились в производство разнородных беспилотных систем (воздух-земля-вода), стимулируют развитие рынков беспилотия, строят инфраструктуру.

Это ключевые рыночные драйверы роста (КАМАЗ — беспилотных грузовиков и сервисов, Татнефть — внедрения дронов в промышленность и логистику, Яндекс и Иннополис — цифровых решений, Алабуга — беспилотных авиационных систем и испытательных полигонов). Они задают рынку новые стандарты через проекты городской мобильности и сценарии применения БАС. Сегодня команда Татарстана (бизнес совместно с региональными органами власти) проработала свыше 100 сценариев применения БАС, из которых 30 определены для нашего региона как наиболее оптимальные.

Один из таких перспективных сценариев – развитие городской аэрологистики, связывающей все крупные города республики: Казань – Иннополис – Елабуга – Альметьевск. В проекте заинтересованы крупные компании. В перспективе проект свяжет всю беспилотную инфраструктуру республики в единый транспортный беспилотный коридор.

На сегодняшний день в регионе функционирует современная инфраструктура, состоящая из аэропортов, аэродромов, вертолетных площадок, тестовых полигонов. В городе Иннополисе действует экспериментально-правовой режим (ЭПР). Это мощный драйвер для применения БАС в реальном секторе экономики. Для дальнейшего развития необходимо строительство объектов специализированной инфраструктуры: дронопортов с зарядными станциями, тестовых полигонов, дооснащение сети вертолетных площадок и аэродромов под эксплуатацию БАС, расширение ЭПР.

7 драйвер реализации Национального проекта в республике - наука и научно-технологический потенциал. Татарстан опирается на мощный научно-технологический задел. Казанский национальный исследовательский технический университет, Казанский федеральный университет, Иннополис и Энергоуниверситет ведут передовые исследования в сферах новых материалов, химии, ИТ, автоматизации, космосе. Создаются перспективные решения в сфере искусственного интеллекта, в системах цифрового моделирования.

8 драйвер - популяризация беспилотных технологий. Важно не только производить и внедрять, но и формировать культуру восприятия технологий беспилотия среди населения — через фестивали, чемпионаты дронов, образовательные марафоны, инфомедиа и публичные мероприятия. Это стимулирует интерес молодёжи, вовлекает будущих инженеров и создает позитивную среду для инноваций.

Таким образом, комплексная работа по 8 драйверам позволяет Татарстану формировать устойчивую, управляемую, стремительно развивающуюся отрасль беспилотных авиационных систем. Всё это — вклад команды единомышленников, развитых институтов, сильных игроков, науки, инфраструктуры и массовой поддержки среди жителей.

Татарстан открыт для кооперации, новых идей и совместной работы над технологическим будущим Союзного государства России и Беларуси.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 27.12.2022 № 1429 «Об утверждении государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан».

2. Указ Президента Республики Татарстан от 25 ноября 2022 г. N УП-813 «Об использовании беспилотных воздушных судов на территории Республики Татарстан».

ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО

А. Н. АЛЕКСЕЙЧИК
директора United Vehicle Robotics (UVR)

Уважаемые участники форума, дорогие коллеги и гости!

Я рад приветствовать вас на этом значимом событии, посвященном беспилотным системам — технологии, которая стремительно меняет наш мир и открывает новые горизонты в самых разных сферах. Беспилотники уже давно перестали быть лишь предметом научной фантастики; они становятся неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, от логистики и сельского хозяйства до медицины и охраны окружающей среды.

Сегодня мы собрались здесь, чтобы обсудить не только достижения, но и задачи, стоящие перед нашей отраслью. Как обеспечить безопасность и надежность беспилотных систем? Какие этические и правовые аспекты необходимо учитывать при их внедрении? Как мы можем использовать эти технологии для решения глобальных проблем, таких как изменение климата и продовольственная безопасность?

Я уверен, что каждый из вас внесет свой уникальный вклад в наши обсуждения. Мы сможем объединить усилия, чтобы максимально эффективно использовать потенциал беспилотных решений, и я рад возможности представить вам разработки нашего предприятия - команды энтузиастов «ЮВР», а также услышать и ознакомиться с вашими идеями и решениями в области беспилотной авиации.

Давайте сделаем этот форум площадкой для открытого диалога и сотрудничества, чтобы вместе двигаться к светлому будущему, где технологии служат на благо человечества.

Компания «ЮВР» с 2017 года создает ряд продуктов и различные виды сервиса на основе беспилотных аппаратов в рамках единой концепции: сохранение высокой скорости выполнения задач, расширение эксплуатационных возможностей, исключение человеческого фактора и риска для человека, при этом эффективно по затратам для потребителя. Реализация данной концепции позволяет не просто создать уникальный продукт, а в первую очередь, обеспечить скачок в ценности для потребителя при адекватном уровне издержек.

В 2019 году, нашими специалистами был успешно переоборудован пилотируемый гражданский вертолет Ка-26 в беспилотную авиационную систему “COMBO”, максимальный взлетный вес – 3250 килограмм, вес полезной нагрузки – 700 килограмм. В тот момент, данная разработка была признана самым мощным гражданским дроном-вертолетом в мире.

В настоящее время, несколько бортов беспилотной авиационной системы «COMBO» успешно эксплуатируются у наших заказчиков.

В 2021 году мы представили рынку многоцелевой беспилотный электрический вертолет Электрон 7, предназначенный для решения разнообразных задач в различных сферах экономики и для государственных служб. Максимальный взлетный вес – 29 килограмм, максимальный вес полезной нагрузки – 7 килограмм, полетное время до 120 минут.). Также, Электрон 7 прошел полный комплекс летных испытаний в соответствии с сертификатом типа.

В данный момент, в производстве находится беспилотная авиационная система аналогичного класса «Сунница», но с гибридной силовой установкой двухцилиндровым двигателем, мощностью 5 киловатт – что значительно повышает летные характеристики, таким образом, полезная нагрузка увеличилась до 10 кг, а время полета составило 4 часа. В разработке также находится аксиальный электромотор, проводятся расчеты и оптимизация лопастей несущего винта.

В том-же 2021 году, команда «ЮБР» подняла в воздух беспилотную авиационную систему «Sakavik» - многофункциональный дрон-вертолет с максимальной взлетной массой 500 килограмм, из которых полезная нагрузка – может достигать 180 килограмм.

К данному дрону разработана и успешно испытана аппаратура для проведения авиахим работ и система пожаротушения, состоящая из 4 капсул с пожаротушающей смесью по 25 литров.

2022 год стал знаковым для нашего предприятия, так как мы получили Сертификат разработчика беспилотных авиационных комплексов.

В прошлом году, мы совершили прорыв - взлетел первый на постсоветском пространстве беспилотный вертолёт с максимальной взлётной массой 3700 килограмм, результат переоборудования в беспилотное воздушное судно серийного гражданского пилотируемого вертолёта Ми-2. На таком борту полезная нагрузка достигает 800 килограмм. Наше предприятие получает большое количество запросов на беспилотную систему на базе Ми-8, прогнозируемая максимальная взлётная масса составит 12000 килограмм – мы готовимся к реализации такого проекта.

Продолжая тему поступающих запросов от эксплуатантов и заказчиков, мы, как предприятие-разработчик столкнулись со следующими задачами, которые требуют от нас внедрения новых технологий, алгоритмов, инженерных решений:

1. Разработка системы автономной воздушной навигации (SLAM Simultaneous Localization and Mapping). SLAM технология позволит дронам определять своё местоположение в пространстве и строить карту окружающей среды в реальном времени, что гарантирует безопасное

завершение полетного задания, даже если будут сбои в спутниковой системе навигации.

2. Надежная связь.

Государственный комитет по радиочастотам выделил «ЮВР» двухдиапазонный канал связи 960-1020 Мегагерц. Нашими специалистами был разработан собственный канал связи под эти условия, скорость которого составляет 57,6 Килобит в секунду, дальность 90 километров (два канала шириной 5 мегагерц с дуплексным разносом в 40 мегагерц).

Касательно надежности канала управления - мы располагаем собственной направленной радиоантенной со следящим устройством.

3. Очаги возгорания и тушение пожаров.

Мы проводим научные исследования и работы для получения алгоритмов, которые смогут на ранней стадии определить очаги возгорания.

4. Обнаружение и идентификация опасных взрывчатых веществ.

В настоящее время, на планете Земля установлено 120-130 миллионов противопехотных мин. Ежемесячно, в мире подрывается 500-800 человек, преимущественно – дети. С учетом современных темпов и жизненного уклада, опыта и технологий, потребуется 1000 лет и 100 миллиардов долларов США для разминирования.

Данная тема является особенно острой. Использование беспилотных систем в области обнаружения опасных материалов и взрывчатых веществ повысит эффективность проведения операций и минимизирует риски для людей.

В завершение своего доклада, хочу выразить искреннюю благодарность организаторам форума – Ректору Университета, Войтову Игорю Витальевичу и всему коллективу Белорусского государственного технологического университета. Ваши усилия по созданию платформы для обмена знаниями и идеями в столь важной и актуальной области, как беспилотные технологии, неоценимы.

Также, хочу поблагодарить Государственный Военно-промышленный комитет за создание условий для благоприятного и эффективного развития отрасли беспилотной авиации на территории Республики Беларусь.

Мы все понимаем, насколько быстро развиваются технологии, и как важно идти в ногу со временем. Благодаря таким Форумам, сегодня, мы можем услышать мнения ведущих экспертов, обсудить инновационные решения и наладить новые контакты, которые, безусловно, приведут к плодотворному сотрудничеству в будущем. Благодарю за внимание!

РАЗВИТИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Ю.Ф. ЯЦЫНА

Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов»
Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

Уважаемые участники II Международного форума по беспилотным аппаратам «БПЛА-2025»!

Сегодня едва ли найдется в мире скептик, который сомневается в том, что современные беспилотные авиационные комплексы (БАК) являются одним из наиболее перспективных направлений развития авиации и представляют собой наукоемкую, высокотехнологичную и инновационную область деятельности человечества.

В мире данное направление развитие техники выделилось в отдельную сферу деятельности, которая влияет на развитие практически всех отраслей народного хозяйства, а в Республике Беларусь – получило свое развитие в создании современных образцов беспилотных систем и ряда предприятий, занимающихся их разработкой и производством. В Приоритетных направлениях развития научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2026-2030 годы, утвержденных Указом Президента Республики Беларусь от 01.04.2025 № 135, роботостроение и беспилотные системы отмечено как приоритетное направление развития страны.

Для системного развития отрасли БАК значительным шагом стала разработка в соответствии с поручением Президента Республики Беларусь от 21.10.2024 № 10/124-1172-дсп П1286 проектов таких документов стратегического уровня, как «Стратегия развития беспилотных систем на период до 2035 года» (далее – Стратегия) и «Комплексная программа развития беспилотных систем на период до 2030 года». В данных программных документах содержатся положения, определяющие формирование и развитие в Республике Беларусь компетенций и перспективного облика беспилотных систем (БС) на период до 2035 года, создание инфраструктуры отрасли БС, в том числе для безопасного применения БС в имеющейся инфраструктуре. Стратегия направлена на производственное, технологическое, научное и кадровое обеспечение национальных приоритетов Республики Беларусь в сфере БС и ориентирована на ее развитие по следующим направлениям:

- организация разработки и производства, включая комплексную программу разработки через НИОК(Т)Р;
- подготовка профильных кадров;
- развитие инфраструктуры и безопасность использования БС;
- стандартизация, оценка соответствия и нормативно-правовое обеспечение производства и применения БС.

Очевидно, масштаб и объем решаемых проблем и задач в данной сфере деятельности охватывается практической потребностью не только в системном походе, но и в наличии необходимых для этого сил и средств.

В рамках реализации направлений развития и применения БАК планируется:

- разработка алгоритмов искусственного интеллекта с использованием методов полунатурного моделирования и машинного обучения;

- внедрение информационных технологий виртуальной и дополненной реальности, перспективных платформ управления, облачных технологий, технологий распознавания образов и компьютерного зрения, рой беспилотных летательных аппаратов (далее – БЛА);

- обеспечение автономности и безопасного полета БЛА;

- совершенствование сенсорных систем;

- интернет вещей (IoT), в том числе электросвязь «дронов» с различными коммуникационными и мобильными сетями систем в режиме реального времени;

- развитие коммуникационных технологий 5G и выше;

- использование спутниковых систем связи, систем точного позиционирования Республики Беларусь;

- совершенствование картографического и навигационного обеспечения функционирования БЛА;

- энергетические инновации, в том числе создание перспективных эффективных источников энергии повышенного заряда, альтернативных источников энергии (источников солнечной энергии, водородных топливных элементов) для электропитания БЛА;

- миниатюризация и улучшение аэродинамических свойств БЛА, внедрение материалов нового поколения;

- развитие традиционных технологий двигателестроения, энергосбережения и машиностроения для использования в БЛА.

Важными особенностями развития БАК в Республике Беларусь являются:

- локализация в стране производства основных функциональных составных частей, комплектующих изделий и материалов для составных частей БАК;

- развитие имеющихся отечественных производственных центров (центров компетенций) в интересах развития БАК, а также гармоничное формирование на территориальном уровне специализированных сервисов по представлению услуг посредством БАК и др.

- стимулирование спроса на отечественные БЛА с учетом опыта и стандартов Международных организаций;

- разработка, стандартизация и серийное производство востребованных в Республике Беларусь БАК, а также их составных частей и комплектующих изделий;

- развитие инфраструктуры для испытаний и применения БАК.

Основными направлениями деятельности по развитию инфраструктуры для БАК является в первую очередь создание обслуживаемых аэродромов и испытательных площадок для БЛА вблизи предприятий разработчиков и производителей.

В Стратегии для систематизации требований к различным типам БЛА приведена их классификация и для наглядности на рис. 1 представлены образцы БЛА, разработанные и серийно производимые РУП «Научно-производственный центр многофункциональных беспилотных комплексов» НАН Беларуси (далее – Предприятие).

Авиационный (воздушный) класс БЛА подразделяется на следующие подклассы – наименование БЛА, выпускаемых Предприятием:

1.1 БЛА короткой дистанции (радиус действия до 10 км):

- БЛА мультироторного типа («коптер») - БЛА «Гексакоптер»;
- БЛА-самолетного типа - БЛА «Наблюдатель ПБ»;
- БЛА-вертолетного типа;
- Аэростаты (привязной) - «AST-2022».

1.2 БЛА ближнего действия (радиус действия до 25 км):

- БЛА-мультироторного типа («коптер»);
- БЛА-самолетного типа - БЛА «Е-50»;
- БЛА-вертолетного типа;
- БЛА типа VTOL.

1.3 БЛА малой дальности (радиус действия от 25 до 50 км):

- БЛА-мультироторного типа («коптер»);
- БЛА-самолетного типа - БЛА «Бусел», БЛА «Р-50»;
- БЛА-вертолетного типа;
- БЛА типа VTOL.

1.4 БЛА средней дальности (радиус действия 50 - 100 км):

- БЛА-мультироторного типа («коптер»);
- БЛА-самолетного типа - БЛА «МБ-30»;
- БЛА-вертолетного типа;
- БЛА типа VTOL;
- БЛА типа Дирижабль - БЛА «Дирижабль ЭМ».

1.5 БЛА большой дальности (радиус действия более 100 км):

- БЛА-мультироторного типа («коптер»);
- БЛА-самолетного типа - БЛА «Буревестник»;
- БЛА-вертолетного типа;
- БЛА типа VTOL - БЛА «Орел»;
- БЛА типа Дирижабль.

Таким образом, реализация в полной мере разработанных «Стратегии развития беспилотных систем на период до 2035 года» и «Комплексной программы развития беспилотных систем на период до 2030 года» позволит обеспечить:

производственные, технологические, научные и кадровые возможности реализации национальных приоритетов Республики Беларусь в сфере беспилотных систем;

развитие инфраструктуры и безопасность использования беспилотных систем;

развитие законодательной базы для безопасного применения беспилотных систем.

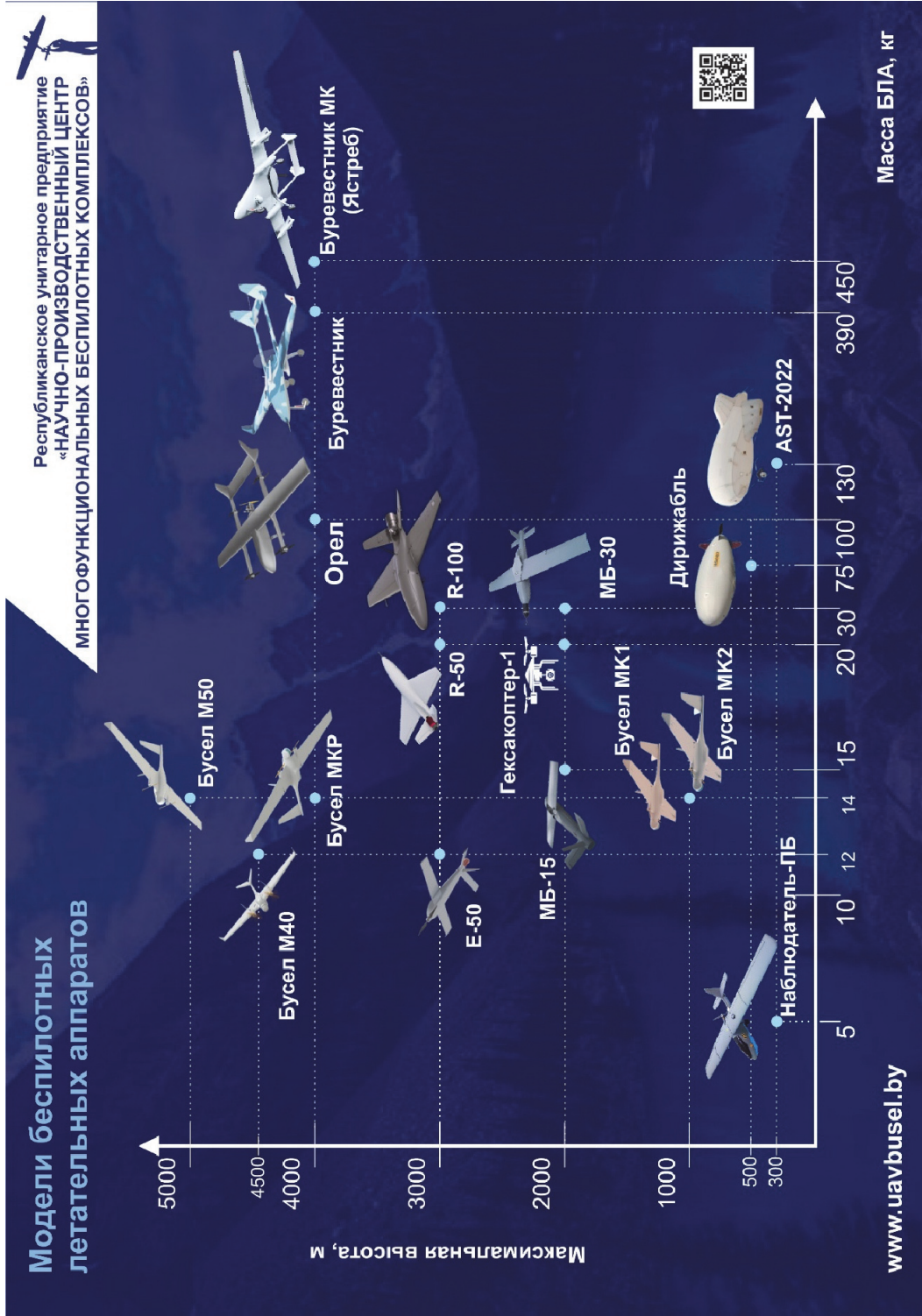


Рисунок 1 – Основная продукция Предприятия

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АЭРОСЪЕМОЧНЫХ СИСТЕМ В ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

С.А. ЗАБАГОНСКИЙ

Государственное предприятие «Белгеодезия»
Минск, Беларусь

1 Применение беспилотных аэросъемочных систем в топографо-геодезической отрасли.

Стремительное развитие беспилотных аэросъемочных систем (БАС = БПЛА + геодезическое навигационное + аэросъемочное оборудование) стало мощным катализатором прогресса для топографо-геодезической и многих смежных инженерных отраслей. Сегодня БПЛА — это не просто летательные аппараты, а сложные аэросъемочные комплексы, которые коренным образом изменили подходы к сбору и анализу пространственных данных.

2 Основу современных беспилотных технологий топографической аэросъемки составляют три ключевых метода:

1. Фотограмметрия является основным и наиболее бюджетным методом. БАС на основе воздушных судов самолетного и роторного типа позволяют получать тысячи перекрывающихся снимков, а специальное программное обеспечение строит по ним точные ортофотопланы, 3D-модели местности и объектов.

2. Лазерное сканирование (LiDAR) — более продвинутая, однако и более дорогая технология. Лидар, установленный на дроне, позволяет получать сверхточные облака точек и цифровые модели рельефа, буквально «видя» сквозь растительность, что критически важно для проектирования в лесистой местности и обеспечения мониторинга деформаций таких объектов как мосты, взлетно-посадочные полосы и т.п.

3. Высокоточное позиционирование (RTK/PPK) обеспечивает сантиметровую точность получения координат. Это устраняет необходимость в плотной сети наземных опорных точек, значительно ускоряя процесс любой съемки и обработки.

3 Области применения данных, полученных с помощью БАС, охватывают многие сферы хозяйственной деятельности государства. Они используются в топографо-геодезическом производстве для создания (обновления) государственных топографических карт, планов населенных пунктов, создания цифровых моделей местности и рельефа (ЦММ и ЦМР), землеустроительных и кадастровых работах, в архитектуре и градостроительстве, для мониторинга объектов энергетики, лесоустройстве и точном земледелии. Отдельно стоит отметить роль БПЛА в обеспечении безопасности, например, при аэронавигации или для поддержки деятельности в чрезвычайных ситуациях.

4 Особое внимание необходимо уделять безопасности полетов. Как известно «безопасность полетов начинается на земле». Высокоточные геодезические данные позволяют проектировать безопасные маршруты и зоны для БПЛА как воздушных судов.

5 Для защиты пилотируемой авиации ведется активная работа по созданию и актуализации **базы данных вертикальных препятствий** (зданий, труб, вышек).

6 Мониторинг таких опасных объектов, как растущие терриконы горнодобывающей промышленности, также эффективно осуществляется с помощью дронов.

7 В 2022-2024 годах в Беларуси с помощью БАС была проведена аэросъемка **119 населенных пунктов** Беларуси общей площадью около 1530 км². По ее результатам были построены стереомодели с точностью измерений **5–10 см**.

8-9 БАС успешно решают и узкоспециализированные инженерные задачи, такие как оценка препятствий для прохождения сигнала спутниковой связи или точное определение координат опор линий электропередач.

10 Вопрос точности и достоверности данных является фундаментальным. В соответствии с законодательством об обеспечении единства средств измерений геодезическая и картографическая деятельность относится к области законодательной метрологии. Следовательно, вся создаваемая конечная продукция (ортофотопланы, ЦМР, ЦММ, топографические карты, инженерные планы и т.д.) должна создаваться с помощью инструментов, прошедших метрологическую аттестацию. И БАС в данном случае не являются исключением.

Для выполнения испытательных полетов БАС с различной полезной нагрузкой специалистами предприятия разработан, создан и внесен в государственный реестр средств измерений эталонный геопространственный полигон «Логойский», отвечающий всем требованиям нормативных документов.

11 Полигон будет использоваться для целей определения параметров бортового навигационного и съемочного оборудования, а также для оценки точности цифровых моделей, полученных в том числе на основе материалов аэрокосмической оптической съемки и лазерного сканирования.

Заключение. Таким образом, беспилотные аэросъемочные системы доказали свою эффективность как универсальный и высокоточный инструмент. Они не только автоматизируют традиционные процессы, но и открывают возможности для решения принципиально новых задач, обеспечивая безопасность, точность и оперативность в топографо-геодезической отрасли и за ее пределами.

О СФЕРАХ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

С. А. ДУБНИЦКИЙ

Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды
Республики Беларусь

В Минприроды, его территориальных органах и подчиненных государственных организациях беспилотные системы (далее – БЛА) применяются в рамках проведения:

1. контрольных мероприятий:

- на промышленных и внутрихозяйственных карьерах, обеспечивая высокоточное картографирование и мониторинг объектов открытых горных разработок;
- для установления несанкционированного размещения отходов, фиксации мест произрастания инвазивных растений;
- для обследования производственных объектов на предмет сопоставления источников выбросов загрязняющих веществ;
- для обследования полигонов твердых коммунальных отходов, очистных сооружений;

2. научных исследований:

- для проведения измерений на поверхностных водных объектах, расположенных в труднодоступных местах, выполнение аэрофото-съемки, измерения с их помощью площади поверхности воды водного объекта и т.д. - применение БЛА позволяет повысить оперативность и качество проведения рекогносцировочных исследований на уровне международных практик и стандартов при выполнении научно-исследовательских работ;
- для учетов крупных копытных (зубр, лошадь Пржевальского), скопления водоплавающих на водоемах, поиск гнезд водно-болотных птиц (цапли, бакланы, лебеди).

Для решения поставленных задач Минприроды используются БЛА DJI Matrice 350 RTK, DJI Phantom 4 Pro Plus, DJI Phantom 4 RTK, DJI Mavic 2 Pro.

Использование БЛА позволяет значительно снизить затраты времени на проведение обследования объектов, особенно труднодоступных. Где трудно дойти, проще подлететь.

Облегчает предварительный поиск мест с возможными нарушениями куда необходимо добраться и провести необходимые мероприятия, зафиксировать правонарушения надлежащим образом.

Позволяет получить более целостную и полную картину по изучаемому вопросу для принятия последующих решений.

О перспективах и задачах по использованию беспилотных систем.

Использование беспилотных летательных средств является перспективным инструментом для проведения контрольно-надзорной деятельности, облета территорий, мониторинга экосистем, сбора данных о состоянии растительности, животного мира и воды, аэрообследования труднодоступных территорий, для выявления случаев браконьерства, незаконной вырубки лесов или загрязнения, проведения картографирования местности и анализа изменений в экосистемах, а также для оценки последствий стихийных бедствий или антропогенных влияний., планировании природоохранных мероприятий, а также в научных исследованиях.

БЛА развиваются очень высокими темпами. Полагаем достаточно перспективным направлением использование модели БЛА с тепловизором и мультиспектральной камерой для получения детальной информации об объектах, которая недоступна обычным камерам, в том числе для выявления и оценки нефтяных разливов на поверхности воды, мониторинга состояния рек, озер и других водных объектов, анализа последствий стихийных бедствий.

Учитывая значительную территориальную рассредоточенность объектов проведения замеров открытых горных выработок, на перспективу, Минприроды планируется приобретение дополнительных комплектов БЛА.

Перспективным направлением в области использования беспилотных систем является развитие технологий, связанных с увеличением времени полета и дальности связи, разработкой более легких и энергоэффективных квадрокоптеров, созданием более точных и надежных сенсоров, разработкой алгоритмов для автоматической обработки и анализа данных, улучшением систем навигации и позиционирования. Реализация данных технологий позволит значительно повысить эффективность мониторинга, изучения и управления природными ресурсами.

АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ ГРАЖДАНСКОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

В.В. ТРИЗНА

ЗАО «Техкомсофт», Минск, РБ

В настоящее время в соответствии с распоряжениями Президента Республики Беларусь, активно развивается промышленная база для производства компонентов для авиационной отрасли и строительства летательных аппаратов различного назначения. Особое внимание обращено на развитие беспилотных авиационных комплексов (БАК), включающих разработку малых беспилотных летательных аппаратов (БЛА), а так же БЛА взлётной массой до пяти тонн.

Несмотря на большие шаги, принятые за последние годы Государственные военно-промышленным комитетом Республики Беларусь и Департаментом по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь, направленные на создание сертификационной базы для проектирования и производства авиационной техники, существуют значительные перспективы создания собственного сертификационного органа РБ для прохождения процедур сертификации не только малых БЛА, но и гражданских пилотируемых летательных аппаратов самолётно-го и вертолётно-го типа массой до пяти тонн в рамках международных правил ИКАО.

Необходимость создания собственного сертификационного центра обуславливается активными разработками предприятиями Республики Беларусь (РБ) летательных аппаратов. Примерами могут служить продукция компании «КБ беспилотные вертолёты», российско-белорусский проект по созданию нового 19-ти местного турбовинтового самолёта «Освей», разработки летательных аппаратов Национальной академии наук РБ и другие частные инициативы.

В докладе приводится опыт организации в Республике Беларусь процесса прохождения процедур сертификации разработчика авиационной техники и гражданского летательного аппарата нормальной категории в соответствии с авиационными правилами часть 23.

Предприятие ЗАО «ТехКомСофт» разрабатывает и готовит на серийное производство летательный аппарат нормальной категории взлётной массой 2100кг. Самолёт представляет собой двухмоторный высокоплан с поршневыми двигателями и полезной нагрузкой до 700 кг. В разработке предусматривается пилотируемый вариант, вариант управления со станции наземного пилота, а так же управление автоматический беспилотный режим, включая взлёт и посадку.

Для получения сертификата типа гражданского летательного аппарата, в соответствии с действующими международными правилами, необходимо прохождение следующих основных сертификационных процедур:

- определение сертификационного органа для прохождения процедуры сертификации;
- сертификация разработчика авиационной техники;
- сертификация летательного аппарата на получение сертификата типа;
- сертификация производителя авиационной техники;
- сертификация поставщиков компонентов авиационной техники.

В соответствии с действующим Соглашением о гражданской авиации и использовании воздушного пространства от 1991 года, все полномочия по проведению процедур сертификации разработчика авиационной техники в Республике Беларусь делегированы Авиационному Регистру Межгосударственного Авиационного Комитета (АР МАК), взаимодействующему с национальным органом, а именно с Департаментом по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь. На данном этапе все процедуры понятны, описаны и позволяют при выполнении установленных требований сертифицироваться предприятию как разработчик гражданской авиационной техники. Однако актуальным является вопрос подбора кадров для реализации проекта.

В действующих образовательных программах научных учреждений РБ практически нет подготовки специалистов по разработке авиационной техники. Для формирования специалистов, предприятия вынуждены обращаться в образовательные учреждения других государств, например, Российской Федерации, для переквалификации уже существующих инженеров из смежных областей. Однако для создания школы, позволяющей обеспечивать постоянный рост квалификации и обеспечения кадровой потребности внутри нашей страны, необходима государственная поддержка для формирования образовательных программ подготовки новых кадров. В этом плане можно обратиться к опыту БГТУ, который мы, как промышленный партнёр, используем уже сейчас для подготовки своих специалистов. Опыт заключается в формировании совместных образовательных программ с ведущими ВУЗами авиастроения Российской Федерации. Предполагается использование существующих в Белорусском технологическом государственном университете (БГТУ) образовательных программ с включением авиационной специфики партнёров из Российской Федерации (РФ), что позволит в кратчайшие сроки создать собственную образовательную базу для авиационной промышленности.

Следующим этапом является сертификация летательного аппарата. В РБ директивным сертифицирующим органом является Департамент

по авиации РБ, а непосредственно сертификационным органом - АР МАК. Для сертификации гражданского летательного аппарата необходимо пройти процедуры сертификационных испытаний в соответствии с разработанным сертификационным базисом. Как правило, все процедуры сводятся к двум основным направлениям:

- проведение исследований в сертифицированных испытательных лабораториях и научно-исследовательских центрах;
- проведение лётных испытаний на лётно-испытательной станции (ЛИС).

В РБ в настоящий момент отсутствуют аккредитованные в гражданской авиации лаборатории и центры. Вследствие этого все испытания возможно пройти только в центрах РФ. Однако в республике есть многочисленные лаборатории, государственные и частные: в ВУЗах, государственных сертификационных органах по смежным промышленным направлениям, на государственных и частных предприятиях. При государственной поддержке, возможно создать систему, которая позволит на 80% осуществить процесс сертификации авиационной техники. Оставшиеся процедуры, имеющие авиационную специфику, возможно разработать с участием промышленных партнёров, имеющих интерес в развитии авиационной индустрии. Контакты БГТУ по взаимодействию с образовательными центрами в РФ и промышленными партнёрами в РБ показывает возможность реализации такого варианта создания центров с участием и сопровождением ведущих ВУЗов обеих стран. Таким образом, мы сможем развить в республике в перспективе собственный испытательный центр, что, в совокупности с образовательной базой, создаст основу для развития авиационной отрасли.

Один из важных моментов в разработке летательных аппаратов, это создание лётно-испытательного комплекса (ЛИС). В настоящий момент разработчик из РБ вынужден развивать собственную службу ЛИС, что неизбежно приведёт к большим финансовым затратам, или обращаться в государства, имеющие сертифицированные ЛИС. Однако, с существующей в РБ сохранённой индустрией ремонта и восстановления военной и гражданской техники, при принятии определённых решений и финансировании, возможно быстрое создание собственной ЛИС для гражданской авиации в РБ.

Одним из базовых вопросов является сертификация производителей авиационной техники. По существующей практике, компоненты для авиации, разрабатываемые и производимые в РБ, применяются в авиации или при распространении на производителя сертификата типа конкретного самолёта определённого разработчика, или поставляются как составные элементы готовых устройств. При этом количество компонентов,

поставляемых из РБ, может достигать до 80% от состава готового изделия. Отсутствие сертификационных центров в РБ не позволяет развивать коммерческий потенциал авиационной продукции из РБ, а при желании производителя из РБ сертифицироваться, заставляет его обращаться в сертификационные органы других стран. В настоящий момент Департамент по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь активно развивает вопросы, связанные с сертификацией производителя авиационной техники по сертификату типа. Необходимо и дальше при поддержке АР МАК продолжать процесс для организации в стране процедур получения сертификата производителя как комплектующих изделий, так и летательного аппарата в целом.

Из всего вышеприведенного следует, что в настоящий момент в РБ есть необходимость и возможность в ближайшие сроки при поддержке государства создать образовательную, испытательную и сертификационную базу для разработки и производства авиационной техники с активным привлечением уже действующих в стране процессов, взаимодействием специализированных образовательных учреждений из РФ и РБ. Привлечение промышленных партнёров, заинтересованных в производстве АТ, позволит организовать программу развития с наиболее важными на данный момент процессами.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЛА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛЕСНОГО ФОНДА ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ

С.А. ЖДАНОВИЧ

Государственное учреждение по защите
и мониторингу леса «БЕЛЛЕСОЗАЩИТА»,
аг. Ждановичи, Беларусь

Беспилотная малая авиация в последние годы широко проникла во все сферы хозяйственной деятельности. Лесное хозяйство – не исключение. Не один год в лесхозах республики применяются беспилотные летательные аппараты (БЛА) для обнаружения возгораний в лесах, усыхающих и поврежденных лесных насаждений, для оперативной оценки последствий массового повреждения лесного фонда неблагоприятными погодными явлениями (ветровалы и буреломы, снеголомы и др.).

Использование БЛА (агродронов) в защите растений в сельском хозяйстве также приобрело широкую популярность в мире. Причиной тому: высокая мобильность, низкая себестоимость обработок, существенное снижение вредного воздействия средств защиты растений на работников, возможность работы в сложных условиях, где проведение наземной обработки невозможно или затруднительно, сравнительно низкие временные и денежные затраты на подготовку операторов БЛА.

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

Планомерные опытные работы по испытаниям средств защиты растений с использованием БЛА на различных объектах лесного хозяйства Республики Беларусь начались в 2021 году в рамках взаимодействия научной отраслевой лаборатории защиты леса, созданной на базе кафедры лесозащиты и древесиноведения Белорусского государственного технологического университета, и государственного учреждения по защите и мониторингу леса «БЕЛЛЕСОЗАЩИТА» Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь. Это стало возможным в результате выделения Государственным комитетом по науке и технологиям

Республики Беларусь финансирования для материально-технического оснащения научной отраслевой лаборатории защиты леса, за счет которого был приобретен БЛА октокоптер DJI Agras MG-1P, а также благодаря одобрению научно-исследовательской работы по заданию «Разработать и внедрить технологию и регламенты применения средств защиты растений с использованием агродронов для проведения лесозащитных мероприятий в питомниках, лесных насаждениях и на лесосеменных плантациях» подпрограммы «Разработать и внедрить высокоэффективные технологии, методы и средства инвентаризации, воспроизводства и выращивания лесов, их охраны и защиты на основе устойчивого, экологически и социально ориентированного управления лесами, лесопользованием и охотничьим хозяйством» (подпрограммы «Повышение продуктивности и экологической устойчивости лесов Беларуси»), государственной научно-технической программы «Зеленые технологии ресурсопользования и экобезопасности», 2021-2025 гг., государственным заказчиком которой выступило Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь.

В рамках указанной НИР специалистами учреждения «БЕЛЛЕСОЗАЩИТА» и научной отраслевой лаборатории защиты леса проведены работы по оценке биологической эффективности средств защиты растений (фунгицидов, инсектицидов, биологического препарата) с использованием БЛА на различных объектах лесного хозяйства. Кроме того, исследования по применению препаратов с использованием БЛА в практике лесозащиты проводились в рамках выполнения и других НИР по заказу производителей средств защиты растений и организаций лесного хозяйства. Испытания средств защиты растений осуществлялись с использованием БЛА DJI Agras MG-1P. В качестве операторов БЛА выступали специалисты научной отраслевой лаборатории защиты леса, ООО «Хобби-Парк» и учреждения «БЕЛЛЕСОЗАЩИТА», обученные на право управления БЛА соответствующей категории. В 2025 году испытания инсектицида ТАНРЕК против большого соснового долгоносика проводились с использованием агродрона А60-Х, разработанного Китайско-Белорусским совместным закрытым акционерным обществом «Авиационные технологии и комплексы» с привлечением специалистов данной организации. Результаты проведенных исследований приводятся в таблице 1.

Таким образом, испытания средств защиты растений с использованием БЛА показали хорошие результаты в лесных питомниках, несомкнутых лесных культурах и в лесных насаждениях различного возраста и породного состава против болезней хвои и листьев, хвое- и листогрызущих вредителей, большого соснового долгоносика. Вместе с тем, проведенные нами испытания инсектицидов с использованием БЛА на лесосеменных плантациях хвойных пород для защиты их от скрытно живущих вредителей шишек и семян пока не дали значимых результатов. Это связано, по нашему мнению, с недостаточным расходом рабочей жидкости (50 л/га) выбранном для обработки данных объектов с использованием БЛА. Исследования в данном направлении планируется продолжить.

Табл. 1. Оценка биологической эффективности средств защиты растений, показавших наилучшие результаты с использованием БЛА, на различных объектах лесного хозяйства

Местонахождение	Испытанный препарат	Расход препарата / расход рабочей жидкости, л/га	Объект лесного хозяйства	Вредный организм	Биологическая эффективность, %
Негорельский учебно-опытный лесхоз (постоянный лесной питомник)	Фунгицид БАКЛЕР	0,35 / 20	Школьное отделение липы мелколистной	Пятнистости листьев	81,2
			Школьное отделение клена остролистного		80,7-92,4
Клецкий лесхоз (постоянный лесной питомник)			Посевное отделение дуба черешчатого	Мучнистая роса	100
Негорельский учебно-опытный лесхоз (постоянный лесной питомник)	Фунгицид РАЁК		Школьное отделение липы мелколистной	Пятнистости листьев	86,9
Клецкий лесхоз (постоянный лесной питомник)			Школьное отделение клена остролистного		83,5
Бобрыйский лесхоз (постоянный лесной питомник)			Посевное отделение дуба черешчатого	Мучнистая роса	71,1-79,4
	Фунгицид БАКЛЕР		Посевное отделение сосны обыкновенной	Болезни хвои	90,8
	Фунгицид РАЁК				73,8
Борисовский опытный лесхоз	Фунгицид АЛЬТО ТУРБО	0,5 / 15-35	Несомкнувшиеся лесные культуры сосны обыкновенной	Сосновый вертун	83,4
	Фунгицид БАКЛЕР	0,5 / 20			80,1
Ивацевичский опытный лесхоз	Биопрепарат БАКТОЦИД	3 / 25	Насаждения ивы и березы	Непарный шелкопряд	74,7-82,7
Бобрыйский лесхоз		5 / 50	Насаждение дуба (150 лет)	Листогрызщевредители с преобладанием зимней пяденицы	82,1
Любанский лесхоз			5 / 25	Насаждение ели (16 лет)	Обыкновенный еловый пилильщик
	Инсектицид ТАНРЕК	0,15 / 25	54,2		
Быховский лесхоз			0,4 / 50	Несомкнувшиеся лесные культуры ели европейской	Большой сосновый долгоносик
					81,6

По результатам проведенных нами испытаний в Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь, включены следующие средства защиты растений для их использования с БЛА на объектах лесного хозяйства:

- фунгициды БАКЛЕР и РАЁК для защиты лиственных пород от мучнистой росы и пятнистостей листьев в лесных питомниках и молодняках;
- фунгицид БАКЛЕР для защиты сосны от искривления побегов (соснового вертуна) в несомкнувшихся лесных культурах и молодняках;
- биопрепарат БАКТОЦИД для защиты лиственных насаждений от непарного шелкопряда, пядениц и других листогрызущих вредителей, а также для защиты еловых насаждений от обыкновенного елового пилильщика.

До конца 2025 года планируется государственная регистрация фунгицидов БАКЛЕР и РАЁК в части их применения с использованием БЛА для защиты хвойных пород от болезней хвои в питомниках и молодняках.

**УЧАСТНИКАМ И ОРГАНИЗАТОРАМ
II МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА ПО БЕСПИЛОТНЫМ
АППАРАТАМ «БПЛА – 2025»**

А.А. АЛЕКСАНДРОВ

Президент Ассоциации технических университетов,
президент МГТУ им. Н.Э. Баумана

Уважаемые коллеги!

От имени Совета Ассоциации технических университетов, Ученого Совета и ректората Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (национального исследовательского университета) примите сердечные поздравления и наилучшие пожелания в связи с открытием II Международного форума по беспилотным аппаратам «БПЛА – 2025».

Беспилотный летательный аппарат (БПЛА, БЛА, в разговорной речи беспилотник, дрон), известно, является собой летательный аппарат без экипажа на борту, который предназначен для управляемых или неуправляемых полетов; может дистанционно управляться из определенного места с земли, с борта другого воздушного судна или из космоса или быть запрограммированным и полностью автономным.

События последних лет способствовали мощному развитию во многих странах беспилотной техники широкого круга применения и решаемых задач, в том числе, в целом ряде вузов, входящих в состав Ассоциации технических университетов. Так, в МГТУ им. Н.Э. Баумана создан Центр компетенций беспилотных авиационных систем, целью которого стало развитие передовых технологических компетенций и продвижение инновационных научно исследовательских разработок для решения актуальных задач в области развития, разработки, производства, эксплуатации беспилотных авиационных систем. Самой высокой оценки в разработке БПЛА заслуживает деятельность Белорусского государственного технологического университета, ставшего инициатором и вдохновителем проходящих на его базе ежегодных международных форумов по беспилотным аппаратам.

Основной целью Вашего Форума является определение приоритетных направлений развития беспилотной авиации, обсуждение современного состояния, актуальных вопросов и перспективных направлений проектирования, технологии, применения искусственного интеллекта,

а также подготовку инженерных кадров в области разработки, производства и применения беспилотной техники, в том числе беспилотных летательных, наземных и водных аппаратов, наноспутников. Форум объединит представителей органов государственного управления, ведущих ученых, исследователей, преподавателей и практиков, работающих в области беспилотных технологий, предоставив уникальную платформу для обсуждения новейших достижений, обмена опытом, выявления проблемных вопросов и перспективных направлений научных исследований и технологических разработок в этой области.

Дорогие друзья! Желаем Вам успехов в Вашей работе! Доброго всем здоровья, счастья и благополучия! Творческих Вам свершений во всех Ваших делах и начинаниях, оптимальных жизненных траекториях!

ОПЫТ РАБОТЫ В СФЕРЕ БАС В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

С.С. ШУТКЕВИЧ, Н.А. САМСОНОВ

Группа компаний «Асопс»,
Минск, Беларусь

В последние годы в Республике Беларусь наблюдается активное развитие гражданского сектора беспилотных авиационных систем (БАС). Данный процесс обусловлен как мировыми тенденциями интеграции беспилотных технологий в различные сферы экономики и социальной жизни, так и необходимостью решения национальных задач в области сельского хозяйства, экологии, логистики, строительства, энергетики и мониторинга инфраструктуры.

Широкое внедрение БАС способствует повышению эффективности производственных процессов, снижению затрат и повышению уровня безопасности выполнения работ. В то же время динамичное развитие данного направления требует научного осмысления, систематизации опыта и анализа перспектив дальнейшего использования беспилотных технологий в гражданской сфере.

Группа компаний «Асопс», высокотехнологический международный холдинг, осуществляющий разработку, внедрение, сопровождение инновационных решений в различных секторах экономики. С 2019 года запущена интеграцию различных БАС в работу программно-аппаратных комплексов автоматизированной системы мониторинга и раннего обнаружения ландшафтных и лесных пожаров «Лесной Страж» и автоматизированной системы контроля и управления технологическими процессами сельскохозяйственных предприятий «Агрономика». Необходимость технологической унификации оборудования программно-аппаратных комплексов и создание новых и смежных инженерных задач привели к решению о создании собственных беспилотных авиационных систем, направленных на решение задач гражданско-отраслевого характера.

С целью создания центра компетенций в области БАС в Республике Беларусь, на базе с УО «Национальный детский технопарк» в г. Минск, с 2024 года создано и функционирует Молодёжное конструкторское бюро (МКБ) в котором:

- ведётся разработка, конструирование, прототипирование, испытания и мелкосерийное производство БАС; в том числе
- разработана линейка образовательных беспилотных воздушных судов (БВС), испытательного оборудования, стендов и комплектующих;

- проводятся технические и спортивные соревнования;
- проводится образовательная деятельность, в том числе разработка учебных программ и дополнительное образование;
- создана совместная команда учащихся, выступающая в категории «Летающая робототехника» на соревнованиях в Республике Беларусь и Российской Федерации.



Рисунок 1 – Участок разработки Молодёжного конструкторского бюро на базе с УО «Национальный детский технопарк» в г. Минск

Персоналом МКБ являются студенты ведущих технических вузов республики УО «БГТУ» и УО «БНТУ», с уже имеющимися кейсами распределения после окончания бакалавриата и под руководством специалистов Группы компаний «Асопс».

Для упорядочивания структуры мероприятий и соревнований в области БАС выделено три направления организации и развития:

- спортивное: спортивные соревнования (дрон-рейсинг, ремонта и обслуживание БАС и т.д.);
- служебно-прикладное: тактические дисциплины;
- образовательное: образовательные и инженерные соревнования, мастер-классы, курсы.

Для полноценности создаваемой инфраструктуры в 2024 году заключено Соглашение о сотрудничестве в сфере БАС с ДОСААФ Республики Беларусь. В рамках соглашения:

- Группой компаний «Асопс» создан центр подготовки спортсменов по дрон-рейсингу на базе Республиканского центра олимпийской подготовки «Стайки».
- Разработана специальная модель FPV-дрона для обучения в спортивных секциях ДОСААФ «Стрелец 260».
- Открыты 7 секций дрон-рейсинга ДОСААФ во всех областных центрах страны и г. Минске. С 2025 года 4 секции открыты в районных центрах.
- Собрана совместная спортивная команда ДОСААФ-Асопс по дрон-рейсингу. Команда приняла участие и завоевала медали в соревнованиях

в Республике Беларусь и Российской Федерации: Кубок ДОСААФ 2024 (г. Минск, Беларусь), Хитрая пчела 2024 (г. Береза, Беларусь), Архипелаг 2024 (г. Южно-Сахалинск, Российская Федерация), Чемпионат России 2024 (г. Тула, Российская Федерация), Кубок ДОСААФ 2025 (г. Москва, Российская Федерация), Этапы Чемпионата Республики Беларусь 2025.



Рисунок 2 – Совместная спортивная команда ДОСААФ-Асопс на соревнованиях Международного форума БАС «Архипелаг – 2024» в г. Южно-Сахалинск

ЛИТЕРАТУРА

1. Белорусское телеграфное агентство (БЕЛТА) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belta.by/president/view/kakovy-perspektivy-belorusskih-bespilotnikov-i-pochemu-lukashenko-udeljaet-im-bolshoe-vnimanie-549012-2023/> – Дата доступа: 10.09.2025.
2. Официальный ресурс Министерства образования Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://edu.gov.by/news/v-belarusi-budut-sozdany-molodezhnye-konstruktorskie-byuro/> – Дата доступа: 10.09.2025.
3. УО «Национальный детский технопарк» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ndtp.by/2024/07/17/14785/> – Дата доступа: 10.09.2025.

ОТРАСЛЬ ГРАЖДАНСКИХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ. ПРОБЛЕМЫ СТАНОВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Ю.Н. ТИХАН

Ведущий специалист КБ «Беспилотные летательные аппараты»

Одним из мировых трендов современного этапа экономического и технологического развития является расширение сферы применения беспилотных систем в жизнедеятельности человека, общества, государства.

Наиболее быстрыми темпами развивается сегмент беспилотных авиационных систем.

Общая характеристика мирового рынка коммерческих БЛА: объем; доходность; сегментация; основные тенденции.

Опыт государственного регулирования беспилотной авиации в мире (США, Китай, Евросоюз).

Краткая характеристика состояния сферы в Российской Федерации (государственное регулирование, производство, применение).

Текущее состояние отрасли гражданской беспилотной авиации в Республике Беларусь.

Существующие проблемы и риски (геополитические, правовые, технологические, финансовые, социальные).

Основные меры по развитию отрасли гражданской беспилотной авиации:

совершенствование системы государственного управления сферой гражданских БЛА (определение государственного органа (создание нового органа), на который возложены функции по государственному регулированию отрасли гражданских беспилотных систем, формирование институциональной среды разработки, производства и применения БЛА);

формирование рынка оказания услуг с применением технологий беспилотных систем (управление спросом, создание специализированных центров оказания услуг и запуск сервиса Единого оператора);

подготовка кадров для отрасли беспилотной авиации (мониторинг рынка труда, адаптация образовательных стандартов и программ, создание Образовательного центра).

Прогнозируемые точки роста (отрасли экономики и виды работ, имеющие существенный коммерческий потенциал).

Практические шаги группы компаний UAVHELI по развитию отрасли гражданских беспилотных систем

ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА В КОММЕРЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ: ИНТЕГРИРОВАННАЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ЭКОСИСТЕМА

М.В. КАМЕНЕВ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Рынок союзного государства Беларуси и России коммерческих БПЛА растет на 60%+ год. Ожидается, что к 2028 году его объем превысит 3 млрд белорусских руб.

Основные барьеры, сдерживающие развитие данного рынка - несовершенство регулирования (запреты на полеты), неразвитость инфраструктуры (дропопорты, связь) и дефицит информации об успешных кейсах. Все это ограничивает более масштабное внедрение.

Мировой рынок также демонстрирует двузначный рост (до 67,6 млрд \$ к 2029 году), что подтверждает общемировую значимость технологии. Выделение 696 млрд руб. В Российской Федерации до 2030 года на создание полноценной отрасли — мощный стимул. Проект охватывает не только производство дронов, но и ключевые элементы системы: стимулирование спроса, разработку стандартов, развитие инфраструктуры и подготовку кадров. Это создает основу для комплексных решений.

Появление программно-аппаратных экосистем для БПЛА является объективной необходимостью, вызванной стремительным расширением сфер их применения. Эти экосистемы превращают отдельные дроны из простых летающих камер или грузоперевозчиков в сложные, безопасные и эффективные инструменты для решения бизнес-задач.

Необходимость создания комплексных экосистем вызвана несколькими ключевыми факторами:

1. Экономическая эффективность. Экосистемы позволяют значительно снизить затраты. Создание системы, объединяющей в себе решение множества задач для конкретной отрасли, дает возможность снизить затраты на выполнение этих задач.

Например:

Сельское хозяйство: БПЛА с нейросетями для мониторинга полей и автопилот для техники — это единая система управления агробизнесом, повышающая качество данных и эффективность.

Энергетика (комментарий эксперта): Автономные «дронепорты» и предзаданные сценарии позволяют перейти от плановых осмотров

ЛЭП к мониторингу, близкому к реальному времени. Это автоматизированная система профилактики аварий.

Логистика: Беспилотные роверы и грузовики — часть сквозной автоматизированной цепочки доставки, где важна интеграция с системами управления складом и маршрутизации.

2. Технологическая сложность. Современный БПЛА — это синтез навигационных систем, сенсоров, систем связи, искусственного интеллекта и энергоэффективных решений. Экосистема обеспечивает их слаженную работу и развитие.

3. Безопасность и интеграция в воздушное пространство. Для массового применения, особенно в городах, необходимо обеспечить безопасное взаимодействие беспилотников с пилотируемой авиацией и друг с другом. Это требует разработки единых правил, систем предотвращения столкновений и их интеграции с системами управления воздушным движением.

4. Государственная стратегия и импортозамещение. В России развитие экосистем БПЛА является частью государственной стратегии до 2030 года. Цель — создать замкнутый рыночный сегмент с отечественными технологиями, материалами и программным обеспечением.

В начале 2023 года БГТУ и группа компаний «Прикладная робототехника» подписали соглашение о стратегическом партнёрстве и совместной деятельности по обмену опытом и технологиями в области разработки и проектирования различных типов беспилотных систем.

Каждый из перечисленных факторов нашел отражение в направлении совместной деятельности группы компаний «Прикладная робототехника» и Белорусского государственного технологического университета.

Экономическая эффективность.

«Прикладная робототехника» успешно разрабатывает, производит и реализует различные образовательные комплексы ARA_EDU. Это своеобразная экосистема, состоящая из симулятора полета, конструкторов дронов различного типа, стендов для обучения пилотированию БПЛА, трассы для проведения полетов. Система обеспечивает все этапы обучения молодого поколения специалистов: Освоение пилотирования, Знание состава, особенностей дрона и сбор его, Полеты в ручном и автоматическом режимах, Обучение программирования аппаратной части БПЛА. Реализация образовательных задач в комплексе дает высокую экономическую эффективность как нашей группе компаний, как производителю, и организациям образовательной сферы, как потребителям предлагаемой системы.

Технологическая сложность.

При поддержке Белорусского государственного технологического университета «Прикладная робототехника» стремится разработать и

внедрить в производимые БПЛА собственные полетные контроллеры, регуляторы моторов, системы технического зрения и группу других электронных компонентов. Разрабатывает программное обеспечение для настройки и управления аппаратом в полете. Это позволяет создавать слаженную систему каждого производимого БПЛА: коптера, самолета, VTOL - беспилотника вертикального взлёта.

Безопасность и интегрирование в воздушное пространство.

В современных реалиях, когда данные ГНСС (глобальной навигационной спутниковой системы) в большинстве случаев не могут считаться достоверными: отсутствие, плохой прием ГНСС, подмена координат, полет БПЛА в автоматическом режиме становится практически не возможным. А работа БПЛА в городской застройке (хотя дроны могут выполнять задачи по доставке грузов, мониторингу объектов) усложняются еще наличием огромного количества препятствий – дома, столбы, провода. Таких сложных условиях полеты могут быть реализованы за счет использования технического зрения. Совместная разработка БГТУ и ООО «Прикладная робототехника Авиа» системы визуально-инерциальной навигации становится прорывом в решении подобных проблем. Данная система позволяет производить полеты в автоматическом режиме в условиях отсутствия, плохом приеме или подмены данных ГНСС.

Государственная стратегия и импортозамещение.

Разработка собственных электронных компонентов БПЛА, внедрение их в систему производимых летательных аппаратов – главный приоритет совместной работы группы компаний «Прикладная робототехника» и БГТУ, что полностью соответствует государственной стратегии развития отрасли производства БПЛА. Расширение линейки производимых БПЛА: образовательные БПЛА, коптеры различной грузоподъемности, БПЛА самолетного типа и VTOL БПЛА с разными типами двигателей, применение различных полезных нагрузок и создание программного обеспечения для управления всей системы в целом – задача реализуемая нами.

Заключение. Таким образом, переход от единичных беспилотников к интегрированным программно-аппаратным экосистемам является качественным скачком в коммерческом применении БПЛА. Такой подход позволяет создавать стандартизированные, масштабируемые и безопасные решения, которые интегрируются в цифровые цепочки создания стоимости бизнеса, открывая новые возможности для оптимизации, автоматизации и создания инновационных продуктов и услуг.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СФЕРЕ БАС В РАМКАХ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

Н.А. САМСОНОВ, С.С. ШУТКЕВИЧ

Группа компаний «Асопс»,
Минск, Беларусь

Развитие беспилотных авиационных систем (БАС) является одним из наиболее динамичных направлений современного высокотехнологичного сектора. Их применение охватывает широкий спектр сфер — от обороны и безопасности до сельского хозяйства, экологии и транспортной логистики. Для Республики Беларусь и Российской Федерации, объединённых в Союзное государство, сотрудничество в этой области имеет стратегическое значение, так как обеспечивает интеграцию научного, производственного и кадрового потенциала, а также формирование общей нормативно-правовой и технологической базы.

Совместные исследования и разработки в сфере БАС реализуются университетами, научными центрами и отраслевыми организациями обеих стран. Создаются конструкторские бюро, выполняются межгосударственные научно-технические программы, формируются площадки для взаимодействия молодых специалистов. Показательным примером стало создание и открытие в 2024 году Молодёжных конструкторских бюро БАС (МКБ) в Республике Беларусь на базе УО «Национальный детский технопарк» (г. Минск) и в Российской Федерации — на базе ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет» (г. Южно-Сахалинск).

Сотрудничество студентов и специалистов двух МКБ создало прочный «мост» для трансфера технологий, обмена знаниями и производственной кооперации в рамках Союзного государства. Объединение ресурсов позволяет разрабатывать конкурентоспособные беспилотные программно-аппаратные комплексы с высокой степенью локализации.

Значимым направлением межгосударственного взаимодействия является совместное участие в международных и всероссийских форумах БАС. Представители Союзного государства выступают организаторами соревнований по различным компетенциям (Национальный финал чемпионата «Профессионалы»), проводят мастер-классы (проектно-образовательный интенсив «Архипелаг»), а также лекции в рамках Всероссийского распределённого фестиваля БАС «Дотянуться до неба». Подобные инициативы способствуют популяризации отрасли и подготовке специалистов в условиях высокой профессиональной среды.

Важную роль играет и институциональное взаимодействие при посредничестве Группы компаний «Асопс», развивающей партнёрские отношения в области БАС в рамках подписанных соглашений с ведущими образовательными и научными учреждениями, включая:

- УО «Белорусский государственный технологический университет»;
- УО «Национальный детский технопарк» (г. Минск);
- ФГБОУ ВО «Сахалинский государственный университет»;
- ГНБУ «Академия наук Республики Татарстан»;
- ГАУ «ИТ-парк» (г. Казань).

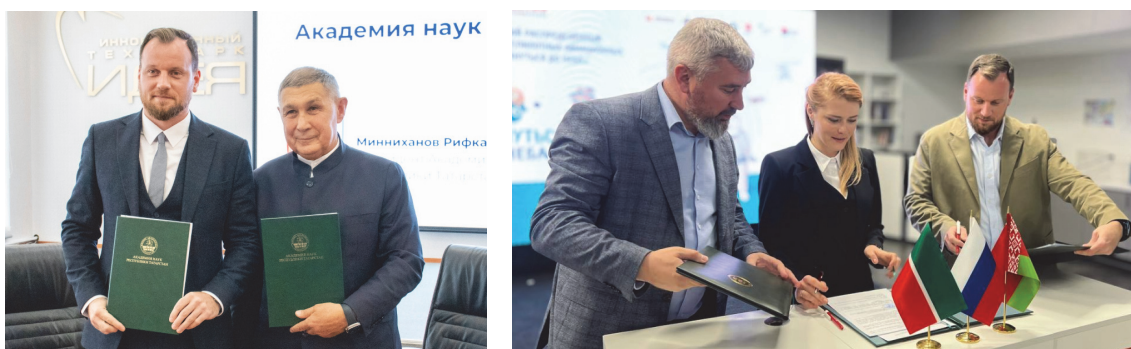


Рисунок 1 – Процедура подписания соглашений о сотрудничестве между представителями Республики Беларусь и Республики Татарстан

В рамках представленного взаимодействия молодёжные организации Союзного государства систематически проводят онлайн-встречи (не менее двух раз в год) для обмена опытом и обсуждения успешных практик реализации государственных программ. В 2024 году стартовало участие студентов белорусских вузов в Международном проекте «Зимний университет» по дисциплине «Проектирование и конструирование БАС» на базе Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королёва.

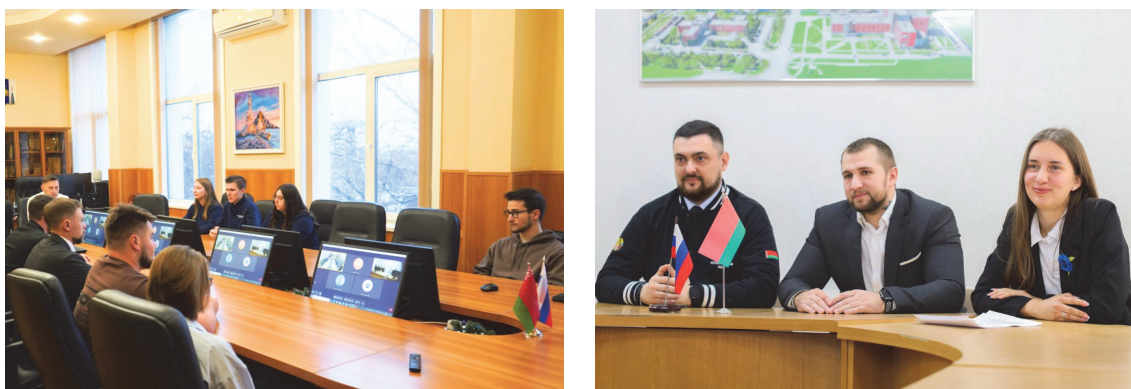


Рисунок 2 – Онлайн встречи молодёжных организаций стран Союзного государства на базе учебных учреждений г. Южно-Сахалинск и г. Минск

Таким образом, взаимодействие Республики Беларусь и Российской Федерации в сфере БАС носит комплексный и стратегический характер. Оно охватывает научные исследования, производство, законодательное регулирование и подготовку кадров, создавая основу для устойчивого развития гражданского и промышленного сегментов отрасли. Совместные усилия позволяют не только удовлетворять внутренние потребности Союзного государства, но и формировать конкурентные позиции на международном рынке беспилотных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахлова О. В., Слугина А. Н. Межрегиональное сотрудничество и интеграция в рамках Союзного государства Беларуси и России: специфика сопряжения и информационного сопровождения // *Регионоведение*. – 2019. – № 1. – С. 34–49.
2. Научное притяжение Белоруссии и России // Независимая газета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ng.ru/science/2024-12-10/11_9153_belorussia.html – Дата доступа: 10.09.2025.
3. Зимний университет по инженерным наукам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://winteruniversity.ru/> – Дата доступа: 10.09.2025.

I СЕКЦИЯ

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ В РЕАЛЬНОМ
СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ. ТЕХНОЛОГИИ
ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.
ОБРАЗОВАНИЕ, НИОКР,
ИСПЫТАНИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ**

УДК 378.147:51

**О РОЛИ И ЗНАЧИМОСТИ МАТЕМАТИКИ
В ФУНДАМЕНТАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ ИНЖЕНЕРА**

И.К. АСМЫКОВИЧ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Live as if you were to die tomorrow.
Learn as if you were to live forever
Mahatma Gandhi

Отношение к физике и математике в XXI веке во всем мире постепенно изменяется. С одной стороны, на различных уровнях достаточно часто и правильно говорят об их необходимости и важности. А с другой – сокращают объемы учебных часов и даже годов обучения в школе и в технических университетах [1]. Возможно ситуацию начинают понимать и на высшем уровне, и поэтому выступление Президента России В.В. Путина на встрече со студентами университетов по случаю Дня российского студенчества 25 января 2022 года в дистанционном формате было полностью посвящено математике, её современному использованию в науке и особенно в передовых технологиях. К сожалению, проходит три года и проводится 6 февраля 2025 очередное Заседание Совета по науке и образованию России по той же тематике и скорее всего с тем же результатом А ведь большая часть инженеров у нас

не знает ту математику, которая им нужна. Их учат по учебникам тому, что было нужно инженеру 40 лет назад, но с тех пор всё сильно изменилось: другие области, другое применение.

Отметим, что целый ряд весьма необходимых для высшего образования современных инженеров разделов математики отсутствуют в современных учебных планах. Особенно это важно для новых специальностей, в частности, для специалистов по управлению БПЛА. Ранее для ряда инженерных специальностей был отдельный курс «Методы оптимизации» или «Математическое программирование». Л. Эйлер писал: «Так как здание всего мира совершенно и возведено премудрым Творцом, то в мире не происходит ничего, в чем не был бы виден смысл какого-нибудь максимума или минимума». Мы же сейчас убираем из курса высшей математики задачи на условный экстремум, проходим мимоходом метод наименьших квадратов (МНК), а о линейном и динамическом программировании даже не упоминаем, хотя эти разделы очень нужны при математическом моделировании процессов движения. А математик Л. Канторович за разработку методов решения задач линейного программирования получил Нобелевскую премию. Далее известно, что из аналогичных задач появилось вариационное исчисление (задача Дидоны и задача о брахистохроне), которое в XX веке привело к разработке теории оптимального управления, открытию принципа максимума Л.С. Понтрягина и методов синтеза оптимальных управлений. Эти разработки были широко использованы при оптимизации технических, экономических и логистических систем. Отметим, что в Китае есть мнение, что решение задачи о брахистохроне, а именно, что траекторией наискорейшего спуска является циклоида, знали еще в древности, поэтому крыши китайских фанз часто делали по похожей форме, чтобы капли дождя скатывались наискорейшим образом. А МНК является математической основой для большинства статистических методов и имеет широкое применение во многих исследованиях в современных гуманитарных науках.

С начала XXI века активно проповедуются идея, что нам поможет электронное обучение. Идея не совсем новая и вряд ли отличается особой эффективностью [4]. Затрачены огромные денежные средства, выполнен большой объем работы, результативность которой вызывает большие сомнения. Вынужденный переход на дистанционное обучение в 2020 году во всем мире показал, что такая методика решает далеко не все проблемы и создает серию новых [3]. Реальный ущерб от такого перехода будет, видимо, ощущаться довольно долго. Это хорошо чувствуется при изучении математических дисциплин, где требуются достаточно глубокие и долгие размышления над основными понятиями

и их взаимосвязями, большой объем выполненной практической работы, доводящий выполнение некоторых действий до автоматизма [2,4]. Во многих странах дистанционное образование считают вынужденным шагом. В США еще в 2010 году проведен анализ эффективности электронного обучения, который не показал существенных результатов для наукоемких специальностей. В Китае, где электронное обучение очень широко развито, с окончанием пандемии большинство престижных университетов вернулось к аудиторной системе занятий. Работа с преподавателем и самостоятельная работа по изучению фундаментальных наук остается пока основным вариантом, хотя, информационные технологии в системе высшего образования, да и в математике, весьма полезны [3,4]. Опыт показал, что наиболее успешным в преподавании математики является смешанное обучение. Это когда основные занятия проходят в аудиториях, а дистанционное обучение используется как вспомогательный материал. Еще А. Эйнштейн отмечал, что правильная постановка задачи даже важнее, чем её решение. Как бы машина хорошо ни работала, она может решать все требуемые от нее задачи, но она никогда не придумает ни одной.

В тех разделах математики, где требуются долгие численные расчеты, где требуется построение большого числа графиков, выяснение зависимости полученного решения от большого числа параметров они очень полезны. При этом отметим, что специалистов по информационным технологиям надо меньше учить непрерывной математике, которой учили инженеров в XX веке, а больше уделять внимание дискретной [3]. Ведь работа по анализу больших данных и далеко идущие выводы из них – это дискретная математика.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасименко, П.В. Путь реформирования математического образования в технических вузах РФ: от фрагментарного до фундаментального и обратно / П.В. Герасименко // Актуальные проблемы преподавания математики в техническом вузе. – № 8. – 2020 . – С. 80–87.
2. Адуло, Т. И. Математическая компетентность индивида – необходимое условие инновационного развития общества / Т. И Адуло, И. К. Асмыкович // Труды БГТУ. - 2020. - № 2 (236): Физ.-мат. науки и информатика. – С.18 - 25.
3. Соловьева И.Ф. Инженерные специальности и высшая математика / И.Ф. Соловьева, И. К. Асмыкович // «Проблемы инженерного и социально-экономического образования в техническом вузе в условиях модернизации высшего образования»: материалы XXII Междунар.

науч.- практ. конф., (27–28 апреля 2023г.) в 2 т. Т 1/ отв. ред. С.Д. Погорелова, Тюмень: ТИУ, 2023- с. 60 – 63.

4. Asmykovich, I., Pyzhkova, O., Borkovskaya, I. Distance learning and training for students from Belarus // IT and Educational Analytics 2024, 1(2), 14-22. <https://doi.org/10.31110/ITandEA-v.2024.v2.02>.

УДК 528.88:504.064

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БВС В ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ РИСКА ДЕГРАДАЦИИ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

В.И. АФАНАСЬЕВА

Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
Санкт-Петербург, Россия

Прибрежные территории относятся к наиболее уязвимым природным объектам, на которые воздействуют как природные процессы (абразия, подтопления и заиливание), так и антропогенные факторы (урбанизация и строительство) [1-2]. Традиционные методы контроля основаны на натурных обследованиях и не обеспечивают достаточной оперативности и пространственного охвата [3]. В этих условиях возрастает значение беспилотных воздушных систем (БВС), оснащенных оптическими камерами и лидарами. Их применение в сочетании с цифровыми моделями рельефа (ЦМР) и методами искусственного интеллекта открывает возможности для автоматизации экологического контроля и количественной оценки риска деградации прибрежных территорий [4-5].

Исследование опирается на интеграцию ЦМР набора «ArcticDEM» [6], а также результатов воздушного лазерного сканирования с БВС. Дополнительно учитывались метеорологические данные. Обработка выполнялась в разработанном программном комплексе на Python (см. рис. 1), включающем фильтрацию облаков точек, нормализацию данных и морфометрический анализ (уклон, шероховатость, высота) [7-8]. Для зонирования применялись алгоритмы машинного обучения и искусственного интеллекта – деревья решений, методы кластеризации и нейросетевые подходы. В качестве интегрального показателя использовался индекс прибрежной уязвимости [9], учитывающий геоморфологию, динамику береговой линии, уровень моря и гидрометеорологические параметры.

В результате были построены цифровые модели рельефа прибрежной зоны Финского залива с высоким пространственным разрешением. Автоматизированное зонирование позволило выделить территории с низким, средним и высоким уровнем риска деградации. Наиболее уязвимыми оказались низменные урбанизированные участки, подверженные подтоплению, эрозионным процессам и техногенному воздействию [9]. Сопоставление результатов с данными натурных обследований подтвердило корректность предложенной методики, совпадение выделенных зон риска составило более 80 %.

Предложенный подход обладает рядом преимуществ, а именно, обеспечивает высокую детализацию данных, возможность многократного повторного контроля и автоматизацию обработки больших массивов информации. Использование методов искусственного интеллекта позволяет не только классифицировать территории по уровням риска, но и прогнозировать их дальнейшее изменение на основе динамики рельефа и климатических данных.

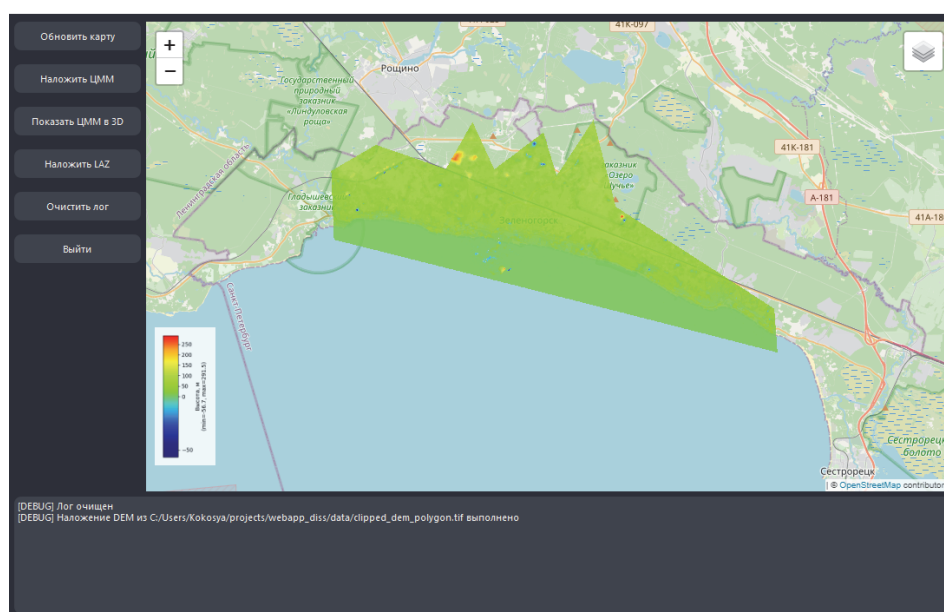


Рис. 1. Программа сопоставления ЦМР

Применение БВС в сочетании с цифровыми моделями рельефа и методами искусственного интеллекта обеспечивает объективный и воспроизводимый контроль прибрежных территории. Предложенный подход позволяет автоматизировать анализ, повысить точность классификации и использовать полученные данные для управления экологическими рисками. Разработанная программа [10] применима в практике контроля побережий и может быть интегрирована в государственные системы экологического контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водный кодекс Российской Федерации: Федеральный закон от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 08.08.2024) // Собрание законодательства РФ. — 2006. — № 23. — Ст. 2381.
2. Игнатов Е.И., Санин А.Ю. Устойчивость различных типов берегов Онежского озера // Геоморфология. — 2020. — № 1. — С. 68–80. DOI: 10.31857/S0435428120010058.
3. Malygin V.A., Zhamoida V.A., Badyukova E.N., Zhamoida A.I., Kurennoy D.A., Chubarenko B.V. Application of the Coastal Hazard Wheel system for hazard assessment and coastal management in the Kaliningrad region (Baltic Sea coast) // Journal of Water and Land Development. — 2021. — № 48. — P. 171–181. DOI: 10.24425/jwld.2021.136151.
4. Энтин А.Л., Кошель С.М., Лурье И. К., Самсонов Т.Е. Морфометрический анализ цифровых моделей рельефа для оценки и картографирования распределения поверхностного стока // Вопросы географии. — 2017. — № 144. — С. 169–186.
5. Колесников А.А. Анализ методов и средств искусственного интеллекта для анализа и интерпретации данных активного дистанционного зондирования // Вестник СГУГиТ. — 2022. — Т. 27, № 3. — С. 74–94. DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-3-74-94.
6. ArcticDEM [Электронный ресурс]. URL: <https://www.pgc.umn.edu/data/arcticdem/> (дата обращения: 30.06.2025).
7. Афанасьева В.И., Залищук А.А., Ненашев В.А. Эксперименты по контролю количества объектов на поверхности на основе обработки лазерных данных и методов распознавания с борта малых летательных аппаратов // Инновационное приборостроение. — 2024. — Т. 3, № 1. — С. 28–35. DOI: 10.31799/2949-0693-2024-1-28-35.
8. Ненашев В.А., Афанасьева В.И., Залищук А.А. Формирование трёхмерных моделей местности на основе лидарной съёмки для выявления структурных изменений земной поверхности // Труды МАИ. — 2023. — № 131. — DOI: 10.34759/trd-2023-131-15.
9. Coastal Vulnerability Index (CVI) [Электронный ресурс] // United States Geological Survey (USGS). URL: <https://pubs.usgs.gov/of/1999/of99-593/pages/cvi.html> (дата обращения: 02.07.2025).
10. Метод количественной оценки эрозионной подверженности береговых склонов природных аквасистем на основе анализа цифровой модели рельефа, построенной по данным воздушного лазерного сканирования / Афанасьева В.И., Бестугин А.Р., Киршина И.А. // Радиотехника. — 2025. — Т. 89, № 8. — С. 67-74.

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКТОРОВ ПРОГРАММИРУЕМЫХ КВАДРОКОПТЕРОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

А.А. БЕЛЯКОВ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Квадрокоптеры находят применение в самых разных сферах: от инспекции промышленных объектов и сельского хозяйства до доставки грузов и развлечений. Однако, чтобы эффективно выполнять эти задачи, квадрокоптер должен обладать высоким уровнем автономности и способностью адаптироваться к различным условиям. Для чего необходим качественный подход для обучения конструкторов и операторов БПЛА, ведь оператор не только осуществлять визуальное пилотирование беспилотного летательного аппарата но и настраивать и калибровать полётные контроллеры разных производителей с помощью специализированного программного обеспечения, создавать недостающие для реализации проектов элементы в средах 3D-моделирования и печатать их на 3D-принтере, уметь взаимодействовать с микрокомпьютером Raspberry, обладать базовыми навыками администрирования Linux, планировать и прописывать полётные задания и миссии, программировать и осуществлять автономные полёты, проводить предполетную подготовку.

Для обучения данным навыкам наиболее универсальным видом БПЛА являются учебные конструкторы программируемых квадрокоптеров, состоящих из популярных открытых компонентов (рис.1).

Проанализировав подобные наборы, можно выделить следующие квадрокоптеры:

1. **TECHNIC PRO** – это учебный конструктор программируемого квадрокоптера, созданный на базе CODE, состоящего из популярных открытых компонентов, а также набор необходимой документации и библиотек для работы с ним. PRO версия, дополненная дополнительным оборудованием, позволяет решать задачи в области: аэросъемки, моделирования узлов дрона, визуального пилотирования и доставки грузов (рис.1 а).

2. Конструктор для сборки модульного квадрокоптера, предназначенного для разработки программируемой модели квадрокоптера, оснащенного встраиваемым модулем программируемого контроллера,

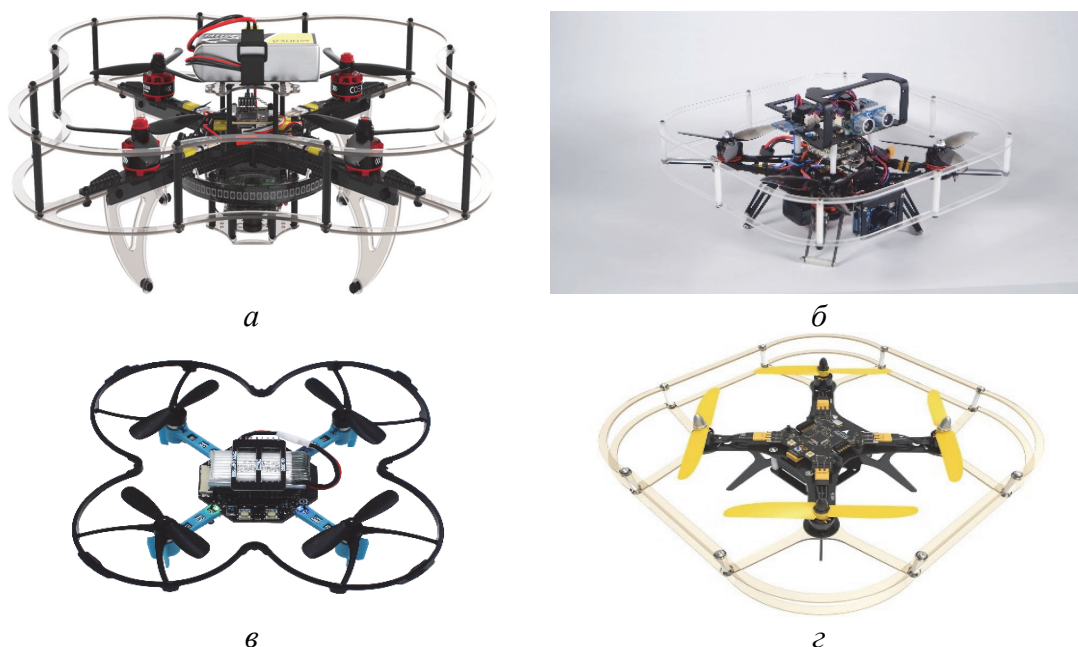
интегрируемым одноплатным микрокомпьютером и встраиваемым модулем технического зрения (Рисунок 1 б).

3. Программирование дронов на Python Innovator PyDrone – квадрокоптер с открытым исходным кодом, разработанный для энтузиастов, преподавателей и разработчиков. Работающий на платформе ESP32-S3, он поддерживает программирование Python для бесшовной настройки и вторичной разработки (рис. 1 в).

4. Пионер Базовый представляет собой квадрокоптер, обладающий высокой степенью модульности и адаптивности, что позволяет его непрерывно совершенствовать и настраивать в соответствии с конкретными задачами пользователя. Конструкция данного устройства реализована в формате конструктора, что обеспечивает простоту интеграции различных компонентов, таких как камеры, модули или рамы (рис. 1 г).

Данные квадрокоптеры схожи по логике выполнения полетов и могут оснащаться различными видами навесного технологического оборудования, например: механический захват, FPV камера, лазерный дальномер, магнитный захват и тд.

При этом существует интеграция между самими квадрокоптерами и другими робототехническими комплексами. Что позволит изучать не только механику и аэродинамику квадрокоптеров мультироторного типа, но и понять принципы программирования беспилотных авиационных систем.



*а – «TECHNIC PRO», б – «ARA EDU»,
в – Innovator PyDrone, г – "Пионер"*

Рис. 1. Популярные марки программируемых квадрокоптеров

Таким образом, образовательные конструкторы БПЛА представляют собой мощный инструмент для улучшения качества образования, развития практических навыков и подготовки студентов к вызовам современного мира. Внедрение таких технологий в учебный процесс может значительно повысить интерес студентов к STEM-дисциплинам (наука, технологии, инженерия и математика) и подготовить их к успешной карьере в будущих профессиях.

УДК 004.8:629.735.33.052-52

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.В. БОРИСОВЕЦ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Беспилотные летательные аппараты (далее - БПЛА) становятся все более важными инструментами в различных сферах, от сельского хозяйства и доставки до военных операций и картографирования. Однако для того, чтобы эти устройства могли эффективно функционировать в сложных и динамичных условиях, им необходимо не только получать данные, но и обрабатывать их, принимать решения в реальном времени и адаптироваться к изменениям окружающей среды. Именно здесь искусственный интеллект (далее - ИИ) играет ключевую роль, позволяя БЛА стать более автономными, безопасными и эффективными.

В последние годы ведутся активные работы по созданию систем на базе ИИ для БПЛА. Причем касается это не только создаваемых перспективных БПЛА, но и уже имеющихся. Предполагается, что даже при сохранении прежней оболочки их обновленная начинка и прежде всего новое программное обеспечение будут способны обеспечить качественный скачок в эффективности их применения.

Разработка систем, использующих те или иные технологии, условно относимые к технологиям искусственного интеллекта, в последние годы показывает существенный рост интенсивности. Это связано с демонстрируемыми успехами в работе такого рода систем, что в свою очередь открывает простор для дальнейшего применения на практике [1].

Стали появляться возможности делегировать системам на основе таких технологий многие актуальные задачи, среди которых и вопросы

распознавания объектов для автоматического сопровождения целей и наведения оружия, и обработка больших массивов видеоинформации для поддержки операторов систем полезной нагрузки, и автоматическая навигация вне зон корректного действия спутниковых систем глобальной навигации (далее - ГНСС), и автономное принятие решений, в том числе в условиях неопределенности, и координация действий в динамично меняющейся обстановке, и многое другое.

ИИ для БПЛА обладает рядом преимуществ:

1. Способен эффективно обрабатывать информацию, полученную от сенсоров, и создавать на основе этого картину окружающей среды.

2. Анализирует видео- и фотоизображения в реальном времени, распознавая объекты, например, препятствия на пути, другие воздушные суда или даже изменения в погодных условиях. Это позволяет БПЛА реагировать на возможные угрозы, такие как столкновения, с высокой скоростью.

3. Помогает БПЛА создавать 3D-карты окружающего мира, комбинируя данные с различных датчиков. Это дает возможность оценивать маршруты, избегать препятствий и адаптировать движение БЛА в зависимости от изменений в реальной среде.

4. Способен обеспечить автономное управление без вмешательства оператора. С помощью ИИ БПЛА могут самостоятельно планировать маршруты, принимать решения и корректировать свои действия на основе новых данных, поступающих от сенсоров.

5. Рассчитывает оптимальные маршруты для дронов, используя данные о местности, погодных условиях и других факторов. ИИ поможет выбрать путь, который минимизирует время полета, учитывая все возможные препятствия и даже изменения в погоде.

6. Избегает столкновений БПЛА с препятствиями на своем пути. ИИ анализирует данные с датчиков и вычисляет необходимые корректировки траектории в реальном времени, обеспечивая безопасность полета.

7. Способен не только идентифицировать объекты, но и классифицировать их, что позволяет делать более сложные выводы и принимать решения.

8. Анализирует изображение с камеры БПЛА и определяет, что находится в поле зрения — это могут быть люди, транспортные средства или другие объекты. Такое распознавание особенно важно для применения БПЛА в поисково-спасательных операциях, в военной сфере или при мониторинге территорий.

9. Учитывает не только статические объекты, но и динамичные изменения окружающей среды. Например, в случае мониторинга лесных пожаров БПЛА может анализировать не только масштаб возгорания,

но и направление ветра, оценивать угрозы и передавать данные экстренным службам для принятия более обоснованных решений.

10. Может обучаться на основе собранных данных, улучшая свою производительность с каждым полетом. Это называется машинным обучением, и оно позволяет беспилотникам адаптироваться к новым ситуациям и эффективно справляться с неожиданными задачами.

11. Позволяет БПЛА работать без постоянного контроля человека, что особенно важно в сложных и опасных условиях.

Однако, использование ИИ для БПЛА может столкнуться с рядом проблем, которые могут повлиять на эффективность и безопасность полетов. Одной из основных проблем является недостаток данных для обучения ИИ.

БПЛА часто работают в условиях, где доступ к данным ограничен или недоступен. Это может привести к тому, что ИИ будет недостаточно обучен для решения сложных задач, таких как обнаружение препятствий или определение оптимального маршрута. Еще одной проблемой является безопасность полета. ИИ может не всегда правильно оценивать риски и принимать правильные решения в критических ситуациях. Например, он может не распознать опасность столкновения с другими летательными аппаратами или препятствиями на земле.

Это может привести к авариям и серьезным последствиям. Кроме того, использование ИИ может потребовать значительных вычислительных ресурсов и времени для обработки данных. Это может затруднить работу БПЛА в режиме реального времени и увеличить время отклика на команды пилота. Для решения этих проблем можно использовать различные подходы. Одним из способов является использование нескольких ИИ-моделей, каждая из которых специализируется на определенной задаче. Это позволяет улучшить точность и скорость принятия решений. Также можно использовать алгоритмы обучения с подкреплением, которые позволяют ИИ обучаться на основе опыта, полученного в реальных условиях. Это может помочь ИИ лучше адаптироваться к изменяющимся условиям полета и улучшить его способность принимать правильные решения. Наконец, необходимо учитывать безопасность полета, используя специальные алгоритмы, которые учитывают риски и ограничения. Это позволит снизить вероятность аварий и повысить общую безопасность полетов.

Наблюдая бурный рост технологий ИИ и осознавая те последствия, которые он может принести в расклад сил, многие страны инвестируют существенные ресурсы в работы в области ИИ. В ближайшие годы эта сфера исследований может стать ареной новой мировой гонки с целью достижения существенных технологических преимуществ.

ЛИТЕРАТУРА

1. «Новый оборонный заказ. Стратегии» № 2 (91), 2025 г., Санкт-Петербург.

УДК 629.7

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Е.А. ДЕРБИНСКАЯ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Беспилотный летательный аппарат – летательный аппарат, предназначенный для выполнения полетов без экипажа на борту под управлением оператора беспилотного летательного аппарата с пункта (пульта) управления, в том числе без его визуального контакта с этим летательным аппаратом, или в заданном автономном режиме либо путем сочетания указанных способов [1].

Современные беспилотные аппараты находят свое успешное применение не только в военной промышленности, но и в различных отраслях экономики разных стран. Особую важность приобретает применение беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве. Основными направлениями использования беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве являются:

- агромониторинг (регулярные обследования полей для сбора данных о состоянии растений и почвы);
- распределение удобрений и пестицидов (эффективное распыление удобрений и средств защиты растений, благодаря равномерному распределению);
- съемка для 3D-моделирования (создание трехмерных моделей полей для анализа рельефа и планировки);
- оценка урожайности (прогнозирование урожайности на основе собранных данных о состоянии растений);
- использование тепловизионных камер (определение участков с недостаточным поливом или перегревом растений благодаря тепловизорам);

- мониторинг пастбищ (проверка состояния пастбищ и управления скотом);
- изучение почвы (сбор данных о состоянии почвы, которые помогут в планировании севооборота и улучшении структуры почвы);
- анализ здоровья растений (определение стрессовых состояний растений и определение необходимости в удобрениях благодаря с помощью мультиспектральных камер, установленных в беспилотных летательных аппаратах);
- планирование ирригации (сбор данных о влажности почвы, которые позволят оптимизировать систему орошения) [2].

В сельском хозяйстве для решения различных задач активно используются спутниковые технологии и наземная роботизированная техника, однако беспилотные летательные аппараты имеют ряд значительных преимуществ по сравнению с ними:

- высокая скорость сбора данных (беспилотные летательные аппараты способны быстро и точно облетать большие площади полей, собирая данные о состоянии растений и почвы за считанные минуты);
- оптимизация использования ресурсов (точное дозирование воды, удобрений и пестицидов, снижение их расхода и минимизация негативного воздействия на окружающую среду);
- анализ данных в реальном времени;
- улучшение планирования посева, уборки и других агротехнических мероприятий;
- снижение затрат на рабочую силу благодаря автоматизации процессов мониторинга и обработки полей;
- увеличение урожайности благодаря использованию точных данных о состоянии растений и почвы;
- простота в использовании;
- инновационные решения для управления рисками при оценке ущерба после природных катастроф, что позволяет быстро реагировать и адаптироваться к новым условиям [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://multilang.pravo.by/ru/term/index/12724?langname=ru&ch=%D0%BD&size=25&page=1&type=3&etalon=0>
2. <https://www.msb-leasing.ru/news/promotions/primenenie-sovremennyh-dronov-v-selskom-hozajstve>

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРИ УПРАВЛЕНИИ НЕДВИЖИМОСТЬЮ

А.И. ЕВЛАШ, Е.В. РОССОХА, А.М. ФРАНЦУЗОВА

**Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь**

Неотъемлемой частью современного мира является искусственный интеллект (ИИ), который стал мощным инструментом для бизнеса, науки и общества в целом и оказывает значительное влияние на нашу жизнь, обеспечивая автоматизацию, улучшая процесс принятия решений, повышая эффективность и производительность, а также создавая новые возможности для инноваций и роста в различных отраслях, в том числе и в сфере недвижимости.

Переход к цифровому формату, повышение и сохранение конкурентоспособности на рынке недвижимости базируется на неотъемлемом применении инновационных методов и способов ведения бизнеса, передовых цифровых технологий, одним из направлений которых является активное использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, дронов) [1].

Искусственный интеллект, внедренный в дрон, позволяет скомбинировать вычислительную автономию с реальной маневренностью, что существенно оптимизирует процессы работы беспилотных летательных аппаратов, которые способны действовать без пилота, осуществлять наблюдение, разведку, отслеживать цели, распознавать объекты и выполнять другие задачи.

Основными преимуществами использования искусственного интеллекта в БПЛА по мнению экспертов являются следующие:

- обработка данных с сенсоров и создание на основе этого картины окружающей среды: обработка изображений и видео (анализ видео- и фотоизображения в реальном времени), моделирование окружающей среды (ИИ помогает беспилотникам создавать 3D-карты окружающего мира, комбинируя данные с различных датчиков);

- автономное управление без вмешательства оператора: навигация и планирование маршрута (построение оптимального маршрута, используя данные о местности, погодных условиях и других факторов), уклонение от столкновений с препятствиями на своем пути

(корректировка траектории с учетом анализа данных с датчиков в реальном времени, обеспечивая безопасность полета);

– распознавание объектов и ситуаций: распознавание людей и объектов (анализ изображений с камеры дрона, определение того, что находится в поле зрения (люди, транспортные средства или другие объекты)), анализ ситуации в реальном времени (ИИ способен учитывать не только статические объекты, но и динамические изменения окружающей среды);

– интеллектуальное обучение и оптимизация: обучение на основе опыта (использование информации о предыдущих полетах, для оптимизации действий дронов, улучшение навигации в будущем), адаптация к изменениям (оптимизация маршрута и полетных параметров для обеспечения безопасности и эффективности выполнения задачи).

В результате применения ИИ в БПЛА происходит экономия средств и времени, реализуется более широкая доступность (с помощью дронов можно добраться до труднодоступных или опасных для человека мест), максимальная автономность при сложных сценариях; устойчивость к перегрузке информации, а также возможность коллективной работы роя дронов.

Использование дронов с ИИ при реализации проектов в сфере недвижимости (таблица), включая вопросы управления земельными ресурсами, девелопмента, управления и эксплуатации различных видов недвижимости (государственной, коммерческой, жилой) могут в корне изменить бизнес-модели и сформировать новые условия деятельности организаций рынка недвижимости [2].

Табл.1 – Направления использования беспилотных технологии с ИИ в управлении недвижимостью

Направление применения	Концепция использования	Цель использования
1	2	3
Управление умным городом	Большинство инфраструктурных объектов умных городов полностью или частично автоматизированы с помощью оборудования на основе технологии искусственного интеллекта	Мониторинг дорог и дорожного движения, контролирование трафика, наблюдение за безопасностью движения транспорта
В градостроительных целях	Помогает созданию точных схем и планов территорий, жилых комплексов и целых городов, выявлению незаконных строений и объектов незавершенного строительства	Создание карт и детальных планов поселений, определение ошибок в исполнении инженерной инфраструктуры

В сфере строительства	Строительные компании могут применять дроны с технологией ИИ для оптимизации большинства производственных процессов	Создание трехмерных моделей зданий, отслеживание хода строительства и соблюдения техники безопасности
Маркетинг и реклама	Агентства недвижимости используют дроны в коммерческих целях для повышения продаж	Получение снимков домов и коммерческих зданий, для предоставления потенциальным покупателям информации об объектах недвижимости в онлайн-режиме
Мониторинг производственных и жилых объектов	Инспекции зданий и сооружений становятся более безопасными, быстрыми и простыми, предоставляется возможность изучения объекта во всех деталях	Контроль соблюдения нормативных правовых актов и нормативов, установление технического состояния зданий, анализ тепловых сигналов и др.
Обеспечение безопасности объектов недвижимости	Повышает уровень безопасности, контролируя объекты и людей на определенных территориях	Наблюдение за объектом недвижимости во избежание несанкционированных проникновений, мониторинг парковочных мест, стройплощадок в ночное время с определением лиц и номеров машин нарушителей
Мониторинг лесных ресурсов	Позволяет оценить степень годности лесных ресурсов, выявлять и анализировать их повреждения вследствие пожаров, вредителей или природных катаклизмов, предсказывать и моделировать природные воздействия	Мониторинг степени вырубki лесного массива, определение пород деревьев, предотвращение возникновения лесных пожаров, обнаружение несанкционированных свалок

Отметим, что процесс использования ИИ в БПЛА требует внедрения и применения различных технологий, таких как TensorFlow Object Detection API, SWARM, FlightWave Edge [3].

В целом, применение БПЛА с технологиями ИИ предоставляют возможность в режиме реального времени прокладывать маршруты с учетом препятствий; реагировать на угрозы или изменение обстановки без вмешательства оператора; оптимизировать каналы связи и передачу данных, защищенных ИИ-моделей, устойчивых к помехам и атакам; увеличить время автономной работы за счет энергоэффективных нейросетей, что в конечном итоге открывает новые перспективы для бизнеса, обеспечивая большую точность и эффективность, высокую конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность организаций в сфере недвижимости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евлаш, А.И. Беспилотные летательные аппараты как элемент цифровизации рынка строительства и недвижимости / А.И. Евлаш, Е.В. Россоха // Цифровизация: экономика и управление производством Материалы 86-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием). Минск, 2022. –С. 135-138.

2. Россоха, Е.В. Беспилотные технологии в управлении недвижимостью / Е.В. Россоха, А.И. Евлаш / Наука и образование: актуальные вопросы теории и практики. Материалы Международной научно-методической конференции. Оренбургский институт путей сообщения. Оренбург, 2021. – С. 745-749.

3. Чигоя, Н.М. Применение искусственного интеллекта в беспилотных летательных аппаратах / Н. М. Чигоя // 74-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: тезисы докладов, 17-22 апреля 2023 г., Минск: в 4 ч. Ч. 4. – Минск: БГТУ, 2023. – С. 148.

УДК 632.934.1:629.735.33.052-52

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ БПЛА

В.Б. ЗВЯГИНЦЕВ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Эффективность пестицидов, применяемых для ограничения вредоносности и распространенности вредителей и болезней растений, в первую очередь зависит оттого, какая часть затраченного при обработке вещества задерживается на поверхности растений и насколько равномерно при этом она распределяется. При существующих методах нанесения доля ядохимиката, задерживающегося на поверхности растений, не превышает 10–20 % и, следовательно, процент использования препарата невысок [1]. Следовательно, наряду с увеличением количества видов применяемых пестицидов и изысканием новых, более активных препаратов, необходимо усиливать внимание к способам нанесения препаратов на поверхность растений [2].

Одной из перспективных и быстро развивающейся технологией внесения средств защиты растений является использование специализированных дистанционно управляемых БЛА – агродронов. Экспериментально доказано, что агродроны имеют ряд технических, экологических и экономических преимуществ перед традиционными способами внесения пестицидов [3].

Инструкции современных агродронов, в виду огромного многообразия возможностей и условий их применения, не содержат подробной информации о подборе режимов обработки различных культур определенными группами пестицидов. Получить такие сведения можно только путем анализа научного опыта и эмпирических исследований применительно к определенным объектам защиты.

Качество аппликации рабочей жидкости является одним из основных параметров, влияющих на эффективность работы действующего вещества используемых препаратов. В тоже время опрыскивающие установки существенно различаются по однородности размера и рассеиванию образуемых капель рабочего раствора [2].

Одним из наиболее важных факторов, влияющих на осаждение и дрейф растворов пестицидов, распыляемых с помощью БЛА, является размер капель. Известно, что скорость оседания и испарения, степень инерционного осаждения, снос ветром и рассеяние в приземном слое атмосферы, смачивание и удерживание покровными тканями растений и других целевых организмов, скорость проникновения пестицида в растение и многие другие технологические характеристики опрыскивания обусловлены размером капель рабочего раствора. Эффективность обработок повышается с уменьшением размера капель, однако, капли диаметром менее 60 мкм в естественных условиях считаются неуправляемыми, а проблема их осаждения на обрабатываемые поверхности пока не имеет решения [4].

Ученые, имеющие значительный опыт применения БЛА, рекомендуют при ультрамалообъемном опрыскивании избегать настроек, дающих капли диаметром менее 160 мкм, а при проведении опытных работ с подветренной стороны советуют выделять буферную зону шириной не менее 10 м [5]. Никитин и др. [4] считают, что при опрыскивании посевов оптимальный размер капель определяется условиями их максимальной эффективности при минимальном сносе ветром (со скоростью до 3–4 м/сек), оптимальной температурой воздуха (18–24 °С) и находится в более широком, чем указано у предыдущими авторами, диапазоне – 100–250 мкм. Необходимо отметить, что в действительности, такие оптимальные условия встречаются достаточно редко, ожидая их можно пропустить важные для защитного эффекта сроки обработки.

Следовательно, на наш взгляд, с целью расширения временных диапазонов внесения средств защиты растений необходимо подстраивать параметры обрабатывающего оборудования под различные погодные условия.

Целью работы являлось изучение эффективности внесения пестицидов для защиты древесных растений на различных объектах лесного фонда при помощи БЛА. С использованием специализированного агродрона DJI Agras MG 1P.

Оценка эффективности внесения пестицидов определялась на основе общепринятой методики по размеру, плотности и равномерности рассеяния капель аэрозоля, осаждаемых на поверхность ассимиляционных органов обрабатываемых растений [5–7].

Проведение опытных работ стремились организовывать в оптимальных для обработки условиях – пасмурная погода и отсутствие либо низкая скорость ветра, температура воздуха 18–24 °С. Полеты проводились в автоматическом режиме работы для исключения «человеческого фактора» и равномерности выдерживания необходимых параметров полета – равномерности галсов, высоты, скорости и нормы расхода рабочей жидкости. С этой целью для каждого варианта опыта с использованием пульта управления строилось индивидуальное полетное задание.

В специальной научной литературе нет единого подхода к креплению каплеуловителей, поэтому нами был поставлен эксперимент по сравнению различных способов фиксации каплеуловителей на обрабатываемые растения. В качестве улавливающей поверхности использовались листы глянцевої фотобумаги Lomond, плотностью 230 г/м² и размером 70×70 мм. В первом случае они крепились к растениям на деревянные прищепки, приклеенные с тыльной стороны листа, т.е. жестко, во втором – с помощью тройной медной проволоки диаметром 0,3 мм, также приклеенной с обратной стороны листа. Каплеуловители маркировались и располагались на верхние побеги вегетирующих растений вдоль линий пролета дрона таким образом, чтобы над ними и на расстоянии 20–30 см не было преград для осаждающихся капель.

Распыление раствора, окрашенного синим пищевым красителем Индигокармин (Е132), проводилась с высоты полета 2 м. Норма расхода рабочей жидкости – 90 л/га. Скорость полета – 2 м/с.

После проведения летных испытаний, визуальный осмотр показал наличие отпечатков капель на всех листках фотобумаги. Каплеуловители снимались с крепления, упаковывались в чистые бумажные конверты и транспортировались в лабораторию для анализа.

Дальнейшая компьютерная обработка предварительно отсканированных с разрешением 1200 dpi образцов проводилась с использованием программ Adobe Photoshop: 21.0.1 и QGIS Desktop 3.16.11. Отсканированные

изображения были переведены в векторный формат и с помощью функции «Калькулятор растров» найдена площадь отпечатков всех капель, попавших на улавливающую поверхность. После чего в Microsoft Excel подсчитано количество, средняя площадь капель, общая площадь покрытия по каждому уловителю.

Выяснено, что уловистость фотобумаги, жестко прикрепленной к обрабатываемым растениям при помощи прищепки, более чем в 4 раза выше, чем при гибкой фиксации проволокой. Мы связываем эти различия с изменением ориентации каплеуловителей на гибкой фиксации в турбулентных потоках воздуха от лопастей дрона. Это позволяет значительному количеству капель пролетать мимо, когда лист при вибрации разворачивается ребром или обратной стороной к потоку аэрозоля. Таким образом, лучшим креплением каплеуловителей следует признать жесткую фиксацию прищепкой, что и было использовано при дальнейших экспериментах.

В результате опытных работ, проведенных в посевных и школьных отделениях питомников, полях дорастивания сеянцев с ЗКС, лесосеменных плантациях и насаждениях нами было выявлено, что принципиальное влияние на распределение капель рабочего раствора по поверхности обрабатываемых растений оказывают следующие параметры: норма расхода рабочего раствора; высота полёта агродрона; скорость полёта, и в меньшей мере особенности защищаемого объекта, прежде всего ярусность и протяженность кроны. Оптимальные параметры для различных лесохозяйственных объектов и условий обработки с учетом эффективности рассеивания капель аэрозоля и производительности БЛА представлены в таблице.

Табл.1 – Оптимальные режимы работы распыляющего оборудования БЛА для различных условий обработки

Наименование параметра	Условия обработки			
	условно одноярусные растительные объекты*		условно многоярусные растительные объекты**	
	штиль	ветер до 4 м/с	штиль	ветер до 4 м/с
Скорость полета, м/с	4	2	5	3–4
Высота над кронами, м	2,5	2	3	1–2
Норма расхода рабочей жидкости, л/га	20	20	50	50

*посевные и школьные отделения питомников, несомкнувшиеся лесные культуры;

**лесосеменные плантации, лесные насаждения, отдельно стоящие крупные деревья.

Предлагаемые режимы работы необходимо гибко учитывать при внесении средств защиты растений на объектах лесного фонда в зависимости от конкретных погодных условий: наличия порывов ветра, интенсивности восходящих потоков воздуха, влажности воздуха, времени

суток, наличия росы и т.п. Использование этих режимов работы распыляющего оборудования БЛА позволили провести успешные регистрационные испытания средств защиты растений. С 2023 г. в Беларуси имеется возможность использовать агродроны для внесения средств защиты растений в питомниках и лесных культурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санин, В.А. Малообъемные и ультрамалообъемные опрыскиватели // М.: Агропромиздат. – 1999. – 103 с.
2. Сулов, С.В., Суторихин И.А. Определение качества распыления пестицидных препаратов различными установками // Ползуновский вестник. – 2010. – № 2. – С. 106–109.
3. Звягинцев, В.Б. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве для проведения лесозащитных мероприятий / В.Б. Звягинцев, Д.Г. Малашевич, С.А. Жданович // Труды БГТУ. Серия 5: Экономика и управление. – 2023. – № 2(274). – С. 43–49.
4. Никитин, Н.В. и др. Использование современных опрыскивателей в адаптивной защите растений // Агрохимия. – 2008. – № 11. – С. 51–59.
5. Chen S. et al. Effect of droplet size parameters on droplet deposition and drift of aerial spraying by using plant protection UAV // Agronomy. – 2020. – Vol. 10 (2). – 195 p.
6. Kharim, M. N. A. et al. Droplet deposition density of organic liquid fertilizer at low altitude UAV aerial spraying in rice cultivation // Computers and Electronics in Agriculture. – 2019. – Vol. 167. – 105045 p.
7. Nordin, M. N. et al. Study on Water Distribution of Spraying Drone by different Speed and Altitude // Advances in Agricultural and Food Research Journal. – 2021. – Vol. 2 (2). – 8 p.

УДК 004.942

ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ БОРЬБЫ С БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ

К.В. ИЛЬЧЕНКО, Д.Д. ЦАПИЕВА, А.П. ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ
Воронежский институт высоких технологий
Воронеж, Россия

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) используются для решения различных практических задач. За счет того, что в таких технических устройствах обеспечивается высокая

мобильность, их применяют в ходе мониторинга и анализа дорожной обстановки, неисправностей линий передач, в сельском хозяйстве, при доставке различных грузов и т.д. Помимо мирного использования БПЛА можно наблюдать разработки, направленные на военную и террористическую сферу. Это определяет необходимость в разработке подходов, направленных на борьбу с БПЛА [1].

Целью данной работы является разработка оптимизационной модели для сетевой системы борьбы с БПЛА.

Существуют разные возможности противодействия: первые используют различные сигналы – оптические, акустические, микроволновые, во-вторых, применяются разные виды оружия, в-третьих – привлекаются противодроны. Различные средства рассматриваются в виде соответствующих объектов. Они могут быть объединены в некоторую сетевую структуру. Необходимо обеспечить максимальную результативность системы объектов для борьбы с БПЛА. Эффективность системы сетевых объектов будет определяться множеством характеристик каждого из них. Эти характеристики в результате анализа должны быть распределены по приоритетам. Далее выделяется некоторое множество из них, для которых приоритеты максимальны. В результате будет преобразование сетевой структуры. Это ведет к тому, что требуется, чтобы ресурсы были перераспределены соответствующим образом.

В ходе моделирования удобно внутри сетевой структуры осуществлять объединение объектов в кластеры. Управление такими кластерами осуществляется централизованным образом. Для каждого из вариантов размещения объектов может быть дана оценка по общей результативности. Могут быть два варианта управления сетевой кластерной структурой при высоких показателях результативности:

1. Внесение в систему дополнительного ресурса, влияющего на характеристики объектов в кластерах.

2. Укрупнения кластеров вследствие перехода в них объектов с близкими характеристиками.

Задача решается в несколько шагов.

1. Необходимо выделить множество главных характеристик объектов. Для этого в ходе рассмотрения результативности сетевой системы и формулирования соответствующей ей оптимизационной задачи выделяются те объекты O_t ($t = 1, T$) и относящиеся к ним кластеры, для которых целевая функция будет иметь минимальные значения Y_t ($t = 1, T$). В ходе объединения объектов в кластеры можно наблюдать, что значение целевой функции для них будет увеличиваться.

Поскольку в таком случае объекты рассматриваются как новые, то целевая функция $Y_{lt} = f(Y_l, Y_t) < Y_l$, ($l=1, L, t=1, T$) учитывает их перенумерацию. При этом учитывается, что появляются объекты, которые характеризуются более высокой результативностью. Поэтому созданные кластеры должны быть снова проанализированы. В результате рассматриваемого шага необходимо таким образом объединить объекты O_l и объекты O_t , для того, чтобы был рост нижней границы результативности. При этом объекты с максимальными значениями результативности должны обеспечивать минимальные ее значения $Y_i M$. Это позволяет говорить о том, что будет сформирована бикритериальная оптимизационная модель. При ее построении необходимо применять булевы переменные (1):

$$x_{lt} = \begin{cases} 1, & \text{если объект } O_l \text{ поглощает объект } O_t, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (1)$$

а соответствующие целевые функции (2) и (3) представляются следующим образом

$$\sum_{l=1}^L \sum_{t=1}^T (Y_l - Y_{lt} x_{lt}) \rightarrow \min \quad (2)$$

$$\min_{1 \leq l \leq L} \left(\sum_{t=1}^T Y_{lt} x_{lt} \right) \rightarrow \max \quad (3)$$

Для оптимизационной модели вводятся ограничения (4)

$$\sum_{l=1}^L x_{lt} = 1, t = \overline{1, T}, \quad \sum_{t=1}^T x_{lt} = 1, l = \overline{1, L}, \quad x_{lt} \in \{0, 1\}, t = \overline{1, T}, l = \overline{1, L}. \quad (4)$$

2. Необходимо с учетом разных приоритетов кластеров по ресурсам провести необходимое распределение. Кроме того, потребность в ресурсах учитывается для объектов в кластерах.

В таком случае будет выделено два множества объектов внутри кластеров. В одно входят объекты с высоким приоритетом. В другое – с низким приоритетом, они будут переходить в кластеры с учетом того, какой максимальный приоритет входящих в них объектов.

В ходе распределения ресурса как среди кластеров, так и среди объектов осуществляется с учетом принципа обратных приоритетов. Чтобы учесть то, насколько выбранный объект j будет близок к

объектам, имеющим максимальный приоритет в ходе моделирования, учитывается соответствующий коэффициент (5)

$$a_{t_m j} = \frac{y_{tj}}{y_{1j}} \quad (5)$$

В ходе его расчета необходимо учитывать например, что $\bar{y}_{1j}$ рассматривается для первого кластера в виде среднего значения, относящегося к j-му показателю. Требуется, чтобы были рассчитаны такие булевские переменные (6)

$$x_{t_m j} = \begin{cases} 1, & \text{если объекту } O_{t_m} \text{ выделяется развивающий ресурс} \\ & \text{для повышения эффективности по } j\text{-му показателю,} \\ 0, & \text{в противном случае, } t_m = \overline{1, T_m}, j = \overline{1, J}. \end{cases} \quad (6)$$

В итоге, по объектам, которые входят в кластер m мы можем записать оптимизационную модель (7)

$$\begin{aligned} \sum_{t_m=1}^{T_m} \sum_{j=1}^J a_{t_m j} x_{t_m j} \rightarrow \max, \quad \sum_{t_m=1}^{T_m} \sum_{j=1}^J r_{t_m j} x_{t_m j} \leq R_m^2, \\ \sum_{j=1}^J x_{t_m j} = 1, \quad t_m = \overline{1, T_m}, \quad x_{t_m j} \in \{0, 1\}, \quad t_m = \overline{1, T_m}, \quad j = \overline{1, J}. \end{aligned} \quad (7)$$

Окончательное распределение по кластерам осуществляется на основе генетического алгоритма.

Вывод. В работе даны предложения по формированию оптимизационной модели, позволяющей осуществлять распределение объектов в сетевой системе для борьбы с БПЛА. Оптимальным считается тот вариант, который дает максимальную результативность при наименьшем расходовании ресурса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев, А.Д. Новейшие средства борьбы с БПЛА / А.Д. Андреев // В сборнике: Актуальные вопросы науки и практики. Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции. – Уфа. – 2023. – 89-93.

**ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРАКТИВНОЙ
СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫМИ
АВИАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ (БАС)
(СИМУЛЯТОРА-ТРЕНАЖЕРА «РУССКОЕ НЕБО»)
В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ**

Б.Н. КАРИМОВ, А.Д. ЗНОБИЩЕВ, Г.Л. ЕФИМОВ
ООО «Икс Ред Групп», Дубна, Россия

Актуальность темы применения технических средств обучения управлению беспилотными авиационными системами (далее – БАС) обусловлена задачами и целями Национального проекта Российской Федерации «Беспилотные авиационные системы» и входящего в его структуру Федерального проекта «Кадры для БАС», интенсивным формированием новых отраслей экономики на базе беспилотных технологий, масштабированием разработки, выпуска и практики применения БАС. Вышеуказанный Национальный проект стартовал 1 января 2024 года с подтвержденным объемом государственного финансирования до 2030 года свыше 700 млрд. рублей. Задачи Федерального проекта: интегрировать БАС в образовательные программы общего и среднего профессионального обучения, высшего и дополнительного образования, создать цифровой реестр кадров БАС, вовлечь в отрасль как можно больше людей. В своем выступлении 1 сентября 2023 года Президент Российской Федерации Владимир Владимирович Путин назвал цифру в 1 миллион специалистов по БАС, которые должны быть подготовлены в России к 2030 году.

Ключевым звеном реализации Федерального проекта «Кадры для БАС» является уполномоченный Минпромторгом России «Университет 2035». В рамках проекта «Университет 2035» формируются сеть провайдеров обучения, ответы на отраслевые запросы и образовательные траектории. 90% стоимости обучения по программам БАС «Университета 2035» субсидируется за счет бюджетных источников.

Несмотря на то, что в данный момент реализуются мероприятия, направленные на подготовку и трудоустройство сотрудников для сферы БАС, идет отбор учебно-методических программ и стандартов в рамках проекта «Университета 2035», проблема массовой подготовки высококвалифицированных кадров, удовлетворения отраслевого запроса по-прежнему стоит предельно остро во многих регионах страны.

Вопрос подготовки специалистов БАС также поднимается на уровне Союзного государства. Министр образования Беларуси Андрей Иванец на II Международном форуме министров образования «Формируя будущее» в Казани озвучил идею совместной подготовки специалистов для проектирования БАС, для авиастроения. В апреле 2024 года Московский авиационный институт (МАИ) и Белорусский технологический университет (БГТУ) выступили инициаторами синергии в сфере образовательной программы по беспилотникам.

Оптимальным решением вышеописанной задачи и эффективным ответом на сопутствующие вызовы является отработка первичных навыков управления дроном в специализированном программно-аппаратном комплексе (ПАК) – комплексной системе обучения управлению беспилотными авиационными системами (БАС), использующей внешний контроллер собственной разработки в русле концепции импортозамещения. Такой ПАК предназначен для процедурной отработки учащимися минимальных необходимых навыков контроля беспилотных аппаратов различного типа с возможностью начальной корректировки и подбора параметров (тяга, вес, среда передвижения, режим работы и многие другие). ПАК совмещает использование внешнего пульта управления (джойстика-контроллера), и программного обеспечения визуализации условий полета. Разрабатываемый компанией ООО «Икс Ред Групп» ПАК «Русское Небо» наиболее успешно воплощает вышеуказанную концепцию.

В конечном итоге симулятор-тренажер «Русское Небо» направлен на создание полноценного отечественного симулятора БПЛА, поскольку на данный момент обучение операторов навыкам пилотирования часто осуществляется на основе программного обеспечения, разработанного в недружественных Российской Федерации странах.

К основным преимуществам интерактивной системы относятся:

- достижение эффекта присутствия (погружения);
- возможность моделирования реалистичного окружения; обеспечивается высокий уровень детализации локаций, динамические погодные условия, возможность широкой кастомизации симуляций, наличие инструментов для быстрого развертывания новых сценариев, полная автономность конечного продукта. Система симуляции, основанная на физических законах, ощущение физического присутствия в процессе, включая тренировку вестибулярного аппарата;
- экономичность (одновременно обучение могут проходить десятки учащихся);
- отсутствие издержек на приобретение и ремонт оборудования (дронов);

– минимизация ошибок при переходе к тренировке в реальной жизни путем приобретения необходимых навыков при работе с цифровым двойником.

Можно выделить следующие конкурентные преимущества такой интерактивной системы:

– оптимизация приложения под специфические нужды операторов БПЛА на территории РФ;

– создание наиболее близкого к реальной жизни симулятора БПЛА, как в физическом, так и в графическом плане;

– невосприимчивость к санкционному давлению. Продукт создан юридическим лицом, находящимся в юрисдикции Российской Федерации, и является автономным приложением, созданным на игровом движке, который собран из открытого исходного кода;

– импортозамещение. Проект непосредственно направлен на развитие импортозамещающих отечественных программно-аппаратных решений. Вместе с тем, такой ПАК позволяет использовать дроны иностранного производства в рамках соответствующих сценариев.

– Наличие ряда механик, не встречающихся более ни в одном продукте-конкуренте, как среди программ отечественного происхождения, так и в мире в целом:

1. Собственная система столкновений с растительностью, позволяющая симулятору реалистично вести себя при пролете через деревья, траву, кусты и т.д. Данная система позволяет повысить внимание оператора к окружению и закрепляет понимание последствий столкновений с растительностью. Это понимание является важной частью навыков пилота, поскольку в реальной жизни столкновение с растительностью в большинстве случаев приводит к потере летательного аппарата.

2. Физически корректная система помех, основанная на трассировке пути радиоволн. На данный момент симулятор «Русское Небо» является единственным в мире продуктом, использующим данную технологию. Во время симуляции БПЛА выпускает сотни тысяч радиоволн, каждая из которых отражается, рассеивается и поглощается в зависимости от материала, угла падения, расстояния и прочих коэффициентов. Это позволяет достичь очень близкого к реальному поведению видеосигнала и качества сигнала управления, что еще больше повышает реалистичность управления БПЛА, так как дает обучаемым понимание того, как будет чувствоваться связь в различных условиях полета. Внедрена как система симуляции аналогового видеосигнала, так и двух цифровых видеосистем (DJI и HDzero). В продуктах-конкурентах системы помех имеют рудиментарный характер, не основаны

на физических законах (в лучшем случае – сигнал падает линейно от расстояния до оператора, игнорируя переотражения и поглощение окружением) и отстают от системы «Русского Неба» на несколько поколений.

3. Наличие собственного физического движка, и, соответственно, полного контроля над поведением физики. Физический движок, который имелся в программе разработки по умолчанию, не соответствовал требованиям компании. Был разработан собственный, адаптированный именно под симуляцию быстролетающих малогабаритных объектов (БПЛА). Пользователю открыт огромный список физических настроек (более 50 различных значений), которые позволяют настроить поведение БПЛА таким образом, каким хочет видеть его пользователь. Настройки по умолчанию нацелены на наиболее приближенное и физически корректное поведение БПЛА.

4. Геймификация. Симулятор имеет множество геймифицированных (игровых) сценариев, что позволяет увеличить вовлеченность обучаемых (особенно молодого поколения) в процесс работы с симулятором. Наличие высокого уровня графики и реалистичности также повышает иммерсию и улучшает уровень восприятия получаемых навыков.

Внедрение симулятора «Русское Небо» в образовательный процесс учебных заведений Союзного государства, несомненно, будет содействовать массовому освоению учащимися, студентами, слушателями основных навыков операторов беспилотных авиасистем и обучению беспилотным технологиям.

УДК 629.735.33.052-52:001.895

ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ КОНТЕНТА

Н.И. КОВАЛЕВСКАЯ, Н.И. ШИШКИНА

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

В последние годы беспилотные технологии стали неотъемлемой частью медиасферы, трансформируя способы сбора, обработки и распространения информации. От дронов, использующихся для съемки

новостных событий и документирования природных катастроф, до автоматизированных систем, генерирующих контент, эти инновации открывают новые горизонты для медиакоммуникаций. Беспилотные технологии не только расширяют возможности репортеров и редакторов, но и ставят перед ними ряд этических и правовых вопросов. В данной статье мы рассмотрим, как беспилотные технологии влияют на современные СМИ, преимущества аэрофото- и видеосъемки, а также перспективы развития названных технологий в контексте меняющегося информационного пространства.

Беспилотные технологии стали важным инструментом журналистики и медиаиндустрии. В своей работе современные редакции все чаще используют беспилотные летательные аппараты («дроны», или «квадрокоптеры»). Благодаря своей мобильности, гибкости и доступности они открывают перед СМИ совершенно новые перспективы.

Беспилотные технологии стремительно меняют способы сбора и подачи новостного контента, предоставляя редакциям невероятные возможности для создания уникальных репортажей с воздуха.

В медиасфере дроны применяются в основном для аэрофото- и видеосъемки, что позволяет получать уникальные кадры для кино, телевидения и новостных репортажей, а также для мониторинга и анализа событий в реальном времени.

Беспилотные аппараты позволяют СМИ быстро реагировать на события, получать кадры с уникальных ракурсов и передавать зрителям ощущение присутствия на месте происшествия. Дроны могут использоваться для создания 360-градусных обзоров важных мероприятий и торжеств (как, например, во время зимней Олимпиады 2014 года в Сочи). В своей работе беспилотные технологии активно применяет медиахолдинг BBC при создании своих специальных проектов. Благодаря использованию квадрокоптера, удалось провести съемку в туннелях Crossrail: огромного проекта по созданию высокоскоростной железной дороги, который в будущем должен связать все городские районы [1].

Беспилотники применяют для освещения событий, сбора информации и обеспечения прямой трансляции из труднодоступных или опасных мест. Особенно дроны полезны для съемки и распространения срочных новостей. При этом они значительно снижают риски для операторов. Благодаря беспилотным технологиям кадры глобального видеоагентства RUPTLY, запущенного телеканалом RT в 2013 году и снятые дроном над руинами сирийского Хомса, были показаны на сайте Daily Mail, а также телеканалами BBC, CBS, Fox News, Al Jazeera.

Беспилотники используются для получения обзорного вида на места происшествий, аварий или стихийных бедствий, позволяя журналистам и экстренным службам оценить масштабы ситуации. Например, режиссер Дэнни Кук снял зону отчуждения Чернобыльской АЭС для американского CBS News; отрывок из его работы он опубликовал на видеохостинге Vimeo, а полная версия была показана на CBS в рамках программы «60 Minutes» [2].

Дроны используют в редакции для получения уникальных кадров с воздуха, что позволяет освещать события с новых ракурсов, например, при репортажах о природных явлениях. Технология оживляет истории, предоставляя всестороннее представление о происходящем и позволяя операторам получать захватывающие виды, которые ранее были недоступны, тем самым изменяя способ рассказывания историй. Компания Teton Gravity Research выпустила фильм о самой высокой горной системе Земли — Гималаях, для съемок которого применяли дроны [3].

Еще одна увлекательная сфера использования беспилотных летательных аппаратов – создание документальных лент о дикой природе. Так, для National Geographic дроны задокументировали львов в африканских саваннах [3].

Кроме того, с их помощью можно получать кадры, которые невозможно запечатлеть другим способом из-за труднодоступности объекта съемок, например, заснять поведение птиц на верхних ветках деревьев для документального фильма о дикой природе.

Беспилотные технологии могут применяться для подготовки репортажей о спортивных соревнованиях. Спортивные трансляции все чаще полагаются на беспилотные системы, способные самостоятельно следовать за участниками соревнований и обеспечивать захватывающие и уникальные ракурсы съемки. Это делает спортивные репортажи более динамичными и привлекательными для зрителей. Благодаря своей малозаметности беспилотные летательные аппараты могут производить съемки с очень близкого расстояния, например, приближаться к спортсменам во время соревнований, не отвлекая их. Так, с помощью беспилотников студия Teton Gravity Research, которая специализируется на историях о смелости и мастерстве спортсменов по всему миру, сняла фильм с канадским маунтинбайк-райдером Брэндоном Семенюком [1].

Применение дронов должно быть оправдано авторской задумкой. С помощью аэрофотосъемки можно предоставить читателям и зрителям свежий взгляд на важные события. Этот иммерсивный опыт поддерживает интерес аудитории и помогает ей более эффективно разбираться в сложных вопросах. Например, BBC News к 70-летию освобождения Аушвица опубликовала видео, снятое беспилотником над территорией музея, который расположен на месте бывшего концентрационного

лагеря. В фильм вошли кадры, снятые над несколькими блоками Аушвица, где совершались массовые убийства заключенных. Сам же ролик представляет собой нарезку кадров без закадрового текста, с редко встречающимися подложками. Фильм посмотрели больше 16-ти миллионов человек. В данном случае, верно выбранный метод сбора аудиовизуальной информации повысил выразительность киноработы, что сделало ее более доступной для широкой аудитории. Возможность наглядно показать масштаб трагедии – существенное преимущество аэросъемки перед традиционными способами представления информации [1].

Дроны позволяют снимать кадры из точек обзора, которые ранее были недоступны. Такие технологии особенно полезны для репортажей из районов, доступ к которым затруднен из-за географических ограничений или соображений безопасности. Журналисты теперь могут освещать истории, о которых раньше было невозможно рассказать. Кроме того, аэрофотосъемка повышает визуальную привлекательность новостных сюжетов. Например, исследователь National Geographic Сэм Коссман использовал пилотируемые дроны для съемки кратера вулкана в Вануату; в результате ученые получили уникальные видео и кадры, помогающие глубже понять вулкан и жизнь вокруг него [2].

Беспилотные технологии используют в осуществлении фото- и видеосъемки как для рекламы, так и для полнометражного кино. Например, дроны принимали участие в съемках таких известных фильмов, как «007: Координаты “Скай-фолл”», «Волк с Уолл-стрит» и «Гарри Поттер». В Сан-Франциско и Нью-Йорке проходят фестивали кинолент, снятых с помощью дронов [3].

На данный момент в издательском деле роль беспилотных технологий ограничена задачами аэрофотосъемки и картографии, которые могут использоваться для сбора исходных данных для изданий, но не являются напрямую частью издательских процессов. Например, создание уникальных фотоматериалов для книг, журналов и других публикаций с использованием дронов для получения необычных ракурсов и видов; сбор данных для создания высокоточных карт, атласов и географических изданий; создание интерактивного контента для изданий, позволяющего читателям «путешествовать» по разным локациям.

Использование беспилотников имеет множество преимуществ перед другими способами съемки. По сравнению с традиционными методами, такими как вертолеты или спутниковые снимки, дроны предлагают более быстрый и доступный вариант для сбора новостей. Они требуют минимальных ресурсов и могут быть быстро развернуты.

Беспилотные технологии также могут способствовать улучшению качества кинопродукции и фотографий. Дроны могут работать с

видеофайлами и фотографиями высокого разрешения, что позволяет заниматься 3D-моделированием. Современные нейросетевые технологии существенно расширяют возможности обработки видеоматериалов, полученных с беспилотников.

Обсуждая появление новых способов применения беспилотных летательных аппаратов, необходимо отметить проблемы внедрения этих технологий: вопросы этики и конфиденциальности, регуляторные ограничения, необходимость обучения операторов и интеграции данных в традиционные медиа-потoki. Ведомства, контролирующие воздушное пространство страны, должны решить сложную задачу: как обеспечить безопасность граждан и неприкосновенность частной жизни и при этом не сдерживать инновационное развитие и рост. Для использования возможностей беспилотных технологий необходимо разработать соответствующую стратегию и нормативно-правовую базу.

Дроны можно рассматривать как новый способ подачи новостей, новый инструмент сторителлинга в будущем. Использование видеосъемки с воздуха способствует удержанию внимания зрителя, поскольку позволяет создавать более понятные, визуально привлекательные и запоминающиеся сюжеты.

В ближайшие годы ожидается значительный рост использования дронов в медиасфере. Поскольку дроны становятся все более совершенными, их потенциал для повествования безграничен. Технологические прогнозы указывают на то, что следующее поколение дронов будет оснащено еще более совершенными системами стабилизации изображения, тепловизионными камерами и мультиспектральными сенсорами, способными создавать увлекательный контент.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лукашевич, К. П. Дрон-журналистика как метод сбора информации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/160/44949> (дата обращения: 12.09.2025).
2. Дрон-журналистика»: как СМИ осваивают современные технологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.newrusmedia.ru/dron-zhurnalistsika-kak-smi-osvaivayut/> (дата обращения: 12.09.2025).
3. «Нам сверху видно все»: отчет PwC о коммерческом применении беспилотных летательных аппаратов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pwc.com/kz/en/services/drones-technologies/clarity-from-above-rus.pdf> (дата обращения: 10.09.2025).

ВОПРОСЫ СЕРТИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ

С.А. ЛАМОТКИН

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Сертификация беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является обязательной процедурой для производителей и импортеров, планирующих реализацию и эксплуатацию данного оборудования на территории Республики Беларусь и стран ЕАЭС. Это сложный процесс, обеспечивающий соответствие устройств требованиям безопасности, электромагнитной совместимости и нормам использования радиочастотного спектра. БГТУ предоставляет полный спектр услуг по оформлению всех необходимых сертификационных документов для беспилотных летательных аппаратов различных классов: от небольших коммерческих дронов до профессиональных систем мониторинга. Наши эксперты обладают значительным опытом в области сертификации БПЛА и помогут преодолеть все сложности при получении разрешительной документации.

Процедура сертификации БПЛА регулируется несколькими техническими регламентами Таможенного союза, включая ТР ТС 020/2011 «Электромагнитная совместимость технических средств», ТР ТС 004/2011 «О безопасности низковольтного оборудования» и другими нормативными актами.

Для успешного оформления сертификации БПЛА потребуется подготовить следующий комплект документов: заявка на проведение сертификации, техническая документация на БПЛА, руководство по эксплуатации, технические характеристики, схемы, описание программного обеспечения, коды ТН ВЭД на продукцию, документация на радиооборудование, учредительные документы заявителя, образцы для испытаний. Сертификация БПЛА является сложным, но необходимым процессом для легального использования беспилотных летательных аппаратов на территории Республики Беларусь. Правильное оформление всех разрешительных документов защищает вас от штрафов и обеспечивает безопасную эксплуатацию оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспилотный летательный аппарат // Авиация: Энциклопедия — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994.

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ СЪЕМКИ
С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ
ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ГЕОДАННЫХ
НА ЗЕМЛЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

О.Н. ПИСЕЦКАЯ, О.А. КУЦАЕВА

Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции
и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия
Горки, Беларусь

В соответствии с госпрограммой «Аграрный бизнес» на 2021 – 2025 годы Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь ставит задачи по проведению информатизации сельского хозяйства.

Среди сельскохозяйственных организаций наблюдается достаточно низкий уровень внедрения цифровых технологий в агропромышленный комплекс страны. Это связано с тем, что не имеется достаточной накопленной базы данных по землям сельскохозяйственного назначения для перехода к цифровым технологиям по возделыванию сельскохозяйственных культур, в частности по внедрению элементов точного земледелия.

Широкое использование геоинформационных систем дает возможность создать земельно-информационный ресурс на территорию отдельной сельскохозяйственной организации, который позволит правильно вести учет, обновление и использование земельных ресурсов сельскохозяйственной организации, создать базу геоданных на земли сельскохозяйственной организации, что в последствии будет способствовать внедрению цифровых технологий в растениеводческую отрасль.

Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) в цифровом виде интенсивно используются при геоинформационном картографировании земельных ресурсов. Несмотря на быстрое развитие методов дистанционного зондирования с космических аппаратов, аэрофотосъемка остается одним из основных способов создания и обновления крупномасштабных карт и планов. Наряду с традиционными методами аэрофотосъемки все более востребованной становится съемка с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Получаемые в результате беспилотной аэрофотосъемки цифровые ортофотопланы

с наполнением векторными данными и привязкой к внешним базам данных используются как конечный продукт в геоинформационных системах (ГИС), так как и плановая основа для создания цифровых крупномасштабных топографических планов и карт.

В настоящее время, одним из самых эффективных и доступных методов получения пространственных данных для целей крупномасштабного картографирования с разрешением до 1 см, остается аэрофотосъемка с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Следует отметить, что получение материалов аэрофотосъемки с использованием БПЛА, позволяет снизить стоимость и трудовые затраты на проведение топографических работ для изготовления цифровой крупномасштабной картографической основы. При необходимости, цифровые планово-картографические материалы, созданные на основе материалов аэрофотосъемки, возможно дополнить наземными методами съемки. Планово-картографические материалы, которые получают в результате оцифровки данных, полученных по материалам съемки с БПЛА, являются наиболее актуальным, оперативным и достоверным материалом.

По результатам создания крупномасштабной цифровой планово-картографической основы сельскохозяйственной организации, есть необходимость в формировании базы геоданных, которая будет содержать информацию о площадях контуров земель, сведения о вкрапленных контурах, их местоположении с точностью созданной планово-картографической основы, сведения о рельефе местности, информацию о наличии и содержании агрохимических показателей почвы, ее кислотности и др. Указанная информация дает возможность в полном объеме оценить рациональное использование земельных массивов, рассчитать затраты на обработку конкретного массива, а также вычислить достоверно урожайность сельскохозяйственных культур. Крупномасштабная цифровая планово-картографическая основа, созданная на земли сельскохозяйственной организации с базой геоданных позволит наиболее оперативно внедрить элементы системы точного земледелия и подготовить пространственную основу для заинтересованных сторон.

На всю территорию Республики Беларусь на основе данных дистанционного зондирования Земли создана земельно-информационная система (ЗИС) с точностью масштаба 1:10 000.

Рассмотрим точность создания цифрового планово-картографического материала на основе ЗИС Республики Беларусь на основе материалов сельскохозяйственной организации с возможностью создания базы геоданных.

В соответствии с материалами статьи [1], средняя квадратическая ошибка вычисления площади в ЗИС по группам единиц определяется по формуле

$$m_P = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta P^2}{2n}},$$

где ΔP – абсолютное несовпадение площадей полей севооборота, определяемым с использованием различных планово-картографических материалов на территории сельскохозяйственной организации;

n – количество полей севооборота на территории сельскохозяйственной организации.

Средняя квадратическая ошибка положения контурной точки рассматриваемого площадного объекта с учетом вычисленной ранее средней квадратической ошибки площади (m_P), можно определить по формуле:

$$m_t = \pm \frac{m_P}{\sqrt{2P}},$$

где P – площадь отдельного поля севооборота.

Выполнив расчеты, получаем следующие результаты:

$$m_P = \pm 0,27 \text{ га}; m_t = \pm 28,3 \text{ м.}$$

Анализируя результаты проведенных вычислений, можно сделать следующие выводы:

Средняя квадратическая ошибка определения площади земель сельскохозяйственной организации по материалам ЗИС (масштаб 1: 10 000) составляет $\pm 0,27$ га, при этом точность определения контурной точки поля севооборота составляет $\pm 28,3$ м, что оказывает существенное влияние на точность определения площадей полей севооборота и не позволяет создать базу геоданных с необходимой точностью.

Следует отметить, что на пахотных землях сельскохозяйственных предприятий проходят линии электропередач, газопроводы, которые не отображаются на планово-картографических материалах масштаба 1:10 000. Наземные объекты таких коммуникаций (столбы, колодцы) являются препятствиями при обработке почвы. В среднем на 100 га пахотных земель приходится от 5 до 20 таких объектов.

При внедрении систем параллельного вождения точность определения координат машинно-тракторных агрегатов (МТА) находится на уровне 0,01 м. Следовательно препятствия на пути МТА при обработке

посевов должны быть определены с такой же погрешностью, т.е. соответствующей масштабу 1:500.

Таким образом, учитывая высокую плотность вкрапленных контуров и иных препятствий, картографическую основу следует создавать с детальностью и точностью, соответствующей масштабу не мельче 1:2000, но все препятствия на полях, являющиеся твердыми контурами, должны быть определены с детальностью и точностью масштаба 1:500, что доказывает целесообразность и необходимость изготовления цифровой крупномасштабной планово-картографической основы по материалам съемки, полученным с БПЛА.

Вопрос создания и внедрения баз геоданных остается открытым. Основным источником является данные, получаемые при съемке территории с БПЛА в комплексном применении с геоинформационными технологиями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Писецкая, О.Н. О способах и точности определения площадей административно-территориальных и территориальных единиц/ О.Н. Писецкая, Я. В. Исаева// Земля Беларуси. – 2015. – № 2. – С. 25-28.

УДК 69.003.13

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ

Л.С. ПОЗНЯКОВА

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в различных секторах экономики стремительно набирает обороты в разных странах. Так согласно некоторым оценкам, объем рынка гражданских коммерческих БПЛА в 2024 году в Российской Федерации составил около 20,3 млрд. руб., что на 27% больше предыдущего года [1]. Расширяется и сфера применения БПЛА, охватывая все больше отраслей экономики.

Рассмотрим примеры применения БПЛА в строительной отрасли, на долю которой в 2023 году в Российской Федерации приходилось около 8% потребляемых гражданских БПЛА [1].

Беспилотные летательные аппараты стали важным инструментом для мониторинга состояния объектов недвижимости. Дроны позволяют проводить визуальный осмотр труднодоступных участков зданий и сооружений. Данный вид обследования применим как на этапе непосредственно строительства объектов для контроля за графиком и качеством производимых работ, так и после ввода объекта в эксплуатацию для оценки физического износа. БПЛА могут быть использованы для проверки состояния крыш, декоративных элементов зданий, вентиляционных шахт, антенн, любых коммуникаций, при техосмотре которых не обойтись без подъема или присутствия промышленных альпинистов. При проведении полевых работ можно получить как естественные, так и тепловизионные снимки. Естественные изображения в дальнейшем можно использовать для визуальной оценки состояния конструкций, тепловизионные изображения позволяют оценить теплопотери здания [2].

С помощью дронов на этапе строительства также может осуществляться патрулирование территории, проводиться мониторинг использования материалов и оборудования, контроль за соблюдением техники безопасности работниками, а также ночное наблюдение с тепловизорами. Эффективным будет применение БПЛА также для обследования линейных объектов (автомобильных дорог, мостов, путепроводов) [3].

На этапе проектно-изыскательских работ БПЛА могут применяться для изучения и выявления особенностей ландшафта перед застройкой крупных участков, получения топографической основы с высокой детализацией для последующего проектирования объектов, проведения фотограмметрии для создания 3D-моделей, сокращая в разы трудозатраты на проведение полевых работ.

Дроны также оказывают влияние на развитие маркетинга. Съёмки с БПЛА – инструмент для создания уникального фото- и видеоконтента, рекламных материалов. Дроны позволяют увидеть жилой комплекс или отдельные жилые дома с высоты птичьего полета, раскрыть особенности локации и инфраструктуры вокруг объекта. Ярким примером эффективного маркетингового инструмента стала функция SkyTour платформы Zillow. SkyTour – это интерактивный 3D-тур с возможностью осмотра объекта с высоты птичьего полета, инструмент, доступный для премиальных объявлений Zillow Showcase. Он использует технологию Gaussian splatting, которая преобразует съемку с дрона в плавный 3D-тур с интерактивным управлением. Покупатели могут виртуально «летать» вокруг дома, оценивать его расположение на участке, соседние строения и рельеф местности [4].

Таким образом, можно говорить о достаточно широкой сфере применения беспилотных летательных аппаратов в строительстве, что позволяет экономить время и ресурсы, автоматизировать процессы, повышать безопасность работы персонала на различных этапах создания и эксплуатации объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ рынка гражданских коммерческих БПЛА: итоги, прогнозы, тренды. – URL: <https://gidmark.ru/news/analiz-ryinka-grazhdanskih-bpla-itogi-prognozyi-trendyi> (дата обращения: 13.09.2025).
2. Черныш А.С. Методика оценки состояния ограждающих конструкций зданий на территории жилой застройки подлежащей реновации / А.С. Черныш, А.И. Поляков // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова – 2023. – №1. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-otsenki-sostoyaniya-ograzhdayuschih-konstruktsiy-zdaniy-na-territorii-zhiloy-zastroyki-podlezhaschey-renovatsii> (дата обращения: 13.09.2025).
3. Бреус Н.Л. Технологии беспилотного пилотирования при контроле строительства и эксплуатации линейных объектов капитального строительства / Н. Л. Бреус, А. Е. Токарев, А. А. Токарев // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14. — № 3. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-bespilotnogo-pilotirovaniya-pri-kontrole-stroitelstva-i-ekspluatatsii-lineynyh-obektov-kapitalnogo-stroitelstva> (дата обращения 13.09.2025).
4. Zillow.com – URL: <https://www.zillow.com/product-releases/summer-2025/> (дата обращения 13.09.2025).

УДК 338.4

РАЗВИТИЕ БПЛА-КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ

И.В. ВОЙТОВ, Е.В. РОССОХА, А.М. ФРАНЦУЗОВА, А.И. ЕВЛАШ
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Потребность в компетенциях, связанных с беспилотными летательными аппаратами (далее – БПЛА), возрастает из года в год для отраслей экономики Республики Беларусь. Проблематикой авторами видится

создание образовательных центров по наиболее актуальным направлениям подготовки. Они включают:

1. Разработка и реализация обучающих курсов для специалистов разных сфер экономики (недвижимость/земельные ресурсы, лесное/сельское хозяйство, энергетика, МЧС, масс-медиа и другие).

2. Создание и внедрение учебных дисциплин, связанных использованием БПЛА, в учебные планы специальностей для бакалавриата и магистратуры;

3. Разработка технологий обработки данных, полученных с БПЛА, для принятия экономико-управленческих решений;

4. Проведение аналитики новейших технологий в сфере БПЛА (производство БПЛА, программные продукты, функционал навесного оборудования) с целью формирования стратегических и тактических решений для использования БПЛА на уровнях страны и отдельных отраслей.

В УО «Белорусский государственный технологический университет», начиная с 2019 года, осуществляется подготовка операторов гражданских беспилотных летательных аппаратов, а с 2020 года разработаны и внедрены в образовательный процесс электронные учебно-методические комплексы «Беспилотные технологии в экономике» (для бакалавриата) и «Беспилотные технологии в управлении недвижимостью» (для магистратуры).

С точки зрения авторов и практики реализации обучения ключевыми компетенциями, приобретаемыми в образовательном процессе, должны быть следующие:

1. Понимание правовых и организационных основ: использования воздушного пространства; теории и методики управления летательными аппаратами, включая беспилотные; аэродинамики, навигации.

2. Знание основ конструкции и эксплуатации БПЛА. Умение осуществлять полеты на тренажерах БПЛА;

3. Практическое осуществление полетов на БПЛА, используемых в практической деятельности специалиста, в полевых условиях;

4. Знание основных функций и возможностей использования специального ПО для автоматизации аэрофотосъемки (аэровидеосъемки). Использование программных продуктов, специализирующихся на обработке данных, полученных с помощью БПЛА. Применение обработанных данных в различных сферах экономики.

5. Видение основных трендов развития БПЛА: функционала, аппаратуры управления, симуляторов и тренажеров, возможности 3D-моделирования печати конструктивных элементов и бортовой аппаратуры и др.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

А.И. РЯБОКОНЬ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Инновационные технологии с применением беспилотных летательных аппаратов становятся ключевым элементом обеспечения здоровья лесов и эффективного управления ими в условиях современных вызовов.

Беспилотные системы на сегодняшний день активно используются для оперативного обнаружения очагов лесных пожаров на начальной стадии, что позволяет быстрее реагировать и минимизировать ущерб от огня. К примеру, в Красноярском крае Российской Федерации благодаря применению БПЛА SIGMA, разработанных компанией «Авакс», специалисты лесного хозяйства смогли за несколько лет добиться значительного сокращения числа пожаров – в 1,6 раза, а также уменьшить выгоревшую площадь почти в 3,5 раза [1].

В Республике Беларусь также рассматриваются для борьбы с пожарами беспилотные летательные аппараты с высокой длительностью нахождения в воздухе, так как применение маленьких квадрокоптеров для данных задач не всегда целесообразно, особенно в болотистой местности.

Функциональность беспилотников не ограничивается простой видеосъемкой и наблюдением, благодаря использованию мультиспектральных камер и тепловизоров. БПЛА способны выполнять такие задачи, как:

- создание карт местности;
- оценка состояния лесных массивов на основе мультиспектрального анализа;
- получение таксационных данных.

Для целей лесной таксации создаются трехмерные модели отдельных деревьев на основе данных, полученных с БПЛА. На основе этих моделей рассчитываются такие характеристики, как высота и границы кроны каждого дерева, расстояние от земли до верхней точки дерева, диаметр и площадь кроны, а также объем ствола. Применение современных технологий подеревной таксации с использованием дронов и алгоритмов искусственного интеллекта позволяет с высокой точностью (до 90-97%) определять породу дерева [2].

Кроме того, беспилотные летательные аппараты востребованы для оценки эффективности лесовосстановительных работ, проверки качества

выполненных лесохозяйственных мероприятий и для определения объёмов недорубов.

Применение БПЛА в лесном секторе открывает широкие возможности, среди которых – более точный и оперативный сбор информации, совершенствование экологического контроля и рациональное лесопользование. Совокупность этих достоинств способствует увеличению производительности и снижению издержек, превращая беспилотные летательные аппараты в удобное средство для систематического и всестороннего наблюдения за лесными массивами.

Сдерживающим фактором для широкого распространения дронов в лесохозяйственной отрасли выступает высокая цена самих устройств и нехватка квалифицированных операторов для управления ими в лесном хозяйстве. Также некоторые из моделей плохо проявляют себя в процессе выполнения мониторинга в зимний период по причине обледенения. Это обуславливает разработку более совершенных систем, с точки зрения конструкции летательных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. На службе экологии: как новые технологии защищают окружающую среду. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.rbc.ru/society/10/09/2025/68bffd1f9a79475c13ea9686>. (дата обращения: 12.09.2025).

2. Костин П.И. Таксация леса при помощи БПЛА. // ВЕСТНИК НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ. 2022. № 1(121). Часть 2. С. 60-62.

УДК 528.71

ПОЛУЧЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ОРИГИНАЛОВ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО РЕПРОДУЦИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ КВАДРОКОПТЕРНОГО ТИПА

С.В. СИПАЙЛО

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Фотографические изображения были и остаются одним из наиболее распространенных типов оригиналов для полиграфического репродуцирования. Фотографии широко представлены в разных видах печатной

продукции – книжных изданиях, журналах, рекламных буклетах, каталогах, листовках, календарях и др. Фотографические изображения привлекают внимание, повышают информативность полиграфической продукции, дополняя текстовый материал достоверным визуальным рядом. Даже в эпоху цифровизации и использования искусственного интеллекта для генерации изображений, фотоснимки, отражающие реальный мир, не теряют актуальность. Такие изображения актуальны в информационных изданиях о природе, архитектуре какой-либо страны или географического региона, в рекламной продукции туристической направленности, рекламных каталогах, новостных изданиях и др.

Современным способом получения фотографических изображений является цифровая фотосъемка. По сравнению с классической пленочной фотографией, цифровой способ позволяет повысить оперативность фотосъемки, снижает ограничения на количество фотоснимков, сокращает технологический цикл допечатной подготовки изобразительной информации в полиграфии. При этом обычные цифровые фотокамеры накладывают ограничения на возможности выбора позиций фотосъемки, что не всегда позволяет получить подходящий кадр. Такие ограничения цифровой фотосъемки можно преодолеть при использовании беспилотных летательных аппаратов квадрокоптерного типа (квадрокоптеров).

Квадрокоптер — это беспилотный летательный аппарат с четырьмя роторами, что обеспечивает ему вертикальный взлет и посадку, высокую маневренность и возможность зависать в воздухе. Благодаря этим свойствам, такие БПЛА широко применяются в аэрофотосъемке, хотя и не лишены недостатков. К последним можно отнести низкую скорость и ограниченное время полета по сравнению с БПЛА самолетного типа.

Использование квадрокоптеров для цифровой фотосъемки – это не просто дань моде, а действенный инструмент, который открывает уникальные визуальные возможности, недоступные для традиционных фотокамер.

Квадрокоптеры для получения цифровых фотоснимков, подлежащих полиграфическому воспроизведению, находят применение в разнообразных ситуациях.

1. Аэрофотосъемка пейзажей и территорий для таких печатных изданий как:

- туристические буклеты и журналы, календари: панорамные виды гор, побережий, лесов и городов с высоты, визуально привлекают читателя;
- рекламные материалы объектов недвижимости: съемка участков, коттеджей, жилых комплексов с воздуха помогает показать масштаб и расположение объекта;
- картографические печатные материалы: точная съемка границ участков, рельефа и инфраструктуры.

2. Съемка промышленных и архитектурных объектов для таких видов печатной продукции как:

- брошюры строительных компаний: демонстрация хода строительства, инфраструктуры и логистики;
- промышленные каталоги: визуализация заводов, карьеров, логистических центров;
- журналы архитектурной тематики: съемка зданий с нестандартных ракурсов, подчеркивающая их форму и масштаб.

3. Фоторепортажи в печатных изданиях с различных событий и мероприятий:

- фестивали, концерты, спортивные события: кадры с воздуха передают атмосферу и масштаб мероприятия;
- корпоративные события: съемка мероприятий по сплочению коллектива, презентаций, открытий объектов дает подходящий визуальный материал для корпоративных изданий в сфере PR.

4. Художественные и концептуальные проекты:

- фотокниги и арт-альбомы: съемка с воздуха повышает потенциал для творчества.
- печатные материалы для рекламных кампаний: дроны дают возможность реализовать креативные идеи, недоступные при наземной съемке.

Важно отметить, что использование БПЛА в Республике Беларусь, в том числе для решения задач аэрофотосъемки, разрешено только организациям и индивидуальным предпринимателям в рамках их профессиональной деятельности при получении соответствующего разрешения и регистрации БПЛА в Департаменте по авиации Министерства транспорта и коммуникаций.

При выборе квадрокоптера для фотосъемки следует учитывать ряд технических нюансов.

Важным аспектом выбора является качество подвесной цифровой фотокамеры. Физические размеры светочувствительной матрицы во многом определяют качество фотоснимка. Матрицы большего размера обладают лучшей светочувствительностью, что позволяет получить резкий кадр за меньшее время и обеспечивает меньший уровень цифрового шума. Наиболее технически развитые образцы подвесных фотокамер имеют полупроводниковую матрицу CMOS-типа размером 4/3 дюйма. Матрицы большего размера особенно важны при необходимости получать качественные снимки в условиях низкой освещенности. Еще одним важным параметром камеры является разрешение матричного сенсора. Для обеспечения высокой детализации фотоснимка матрица должна иметь разрешение 20 Мп (мегапикселей) и выше.

Также на результат фотосъемки влияют качество исполнения оптической системы, фокусное расстояние объектива и его светосила. Кроме того, при съемке в движении важно оснащение квадрокоптера системой стабилизации для предотвращения смазывания кадра. 3-осевой подвес обеспечивает плавность и четкость изображения даже при ветреной погоде.

В качестве форматов файла целесообразно использовать форматы RAW/DNG. В файлах этого формата без потерь сохраняется исходная информация о фотоснимке, полученная с матричного сенсора. Для альтернативного формата – JPEG – характерны меньшие объемы файла, но это достигается за счет потери части исходных данных.

К другим важным критериям выбора квадрокоптера относятся время полета, скорость перемещения, дальность передачи сигнала, наличие интеллектуальных функций. К последним относят функцию обхода препятствий на основе показаний встроенных датчиков (важно для съемки в сложных условиях), автономные режимы работы (упрощают съемку движущихся объектов), а также функцию «возврат домой» для защиты от потери дрона.

Таким образом, квадрокоптеры стали важным инструментом в современной фотосъемке. Они особенно эффективны в пейзажной, архитектурной, рекламной и событийной съемке, обеспечивая уникальные ракурсы и творческую свободу. При правильном выборе модели и соблюдении технических и юридических требований дроны значительно расширяют визуальные возможности печатной продукции.

УДК 004.021

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ «СОЛОВОТ» В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ БПЛА

А.С. СОБОЛЕВСКИЙ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Автоматизация и цифровизация являются неотъемлемыми характеристиками современного мира. Многие сферы деятельности человека, сталкиваясь с нарастающей автоматизацией, должны модифицироваться, чтобы соответствовать новой динамике конкурентоспособности [1].

Высока значимость автоматизации при использовании БПЛА. Автоматизация в данной сфере позволяет повысить **безопасность и экономичность**, увеличить точность использования и сделать работу более надёжной [2].

Рассмотрим одну из возможных задач использования БПЛА, а именно наведения БПЛА на движущуюся воздушную цель. Такая задача может возникнуть, например, если сотруднику лесхоза необходимо провести фотографирование летящей птицы.

Выполнение такой задачи возможно в ручном режиме, но нас интересует возможность её автоматизации. Для этого пользователь БПЛА должен уметь составлять программы для автоматизации решения задачи встречи перехватчика с целью. Для прививания обучающемуся общих принципов написания таких программ, предлагается воспользоваться возможностями, которые предоставляет компьютерная игра «Colobot».

Компьютерная игра «Colobot» была выпущена в 2001 году компанией Epsitec SA. В настоящее время существует активное сообщество, которое развивает игру, имеется страница в репозитории «GitHub», на которой представлен исходный код игры [3]. На основании игры созданы аналог «Ceebot» [4] и пользовательский ремастер «Colobot Gold» [5]. По жанру представляет собой трёхмерную стратегию в реальном времени. Основным её отличием от большинства компьютерных игр является возможность написать программу, управляющую действиями подконтрольного юнита. Программы пишутся на встроенном языке программирования «CBot», который обладает C-образным синтаксисом. Язык «CBot» является жёстко типизированным, интерпретируемым, но перед запуском программы выполняется эмуляция компиляции, он поддерживает структурную, функциональную и объектно-ориентированную парадигмы программирования.

Нас интересует миссия 7 «Охотник на ос 2» из части 2 «Муравьи и осы» раздела «Упражнения», в которой игрока учат писать программу, при выполнении которой летающий юнит («WingedShooter» в терминологии игры) должен в автоматическом режиме обнаружить, сблизиться и сбить противников («AlienWasp» в терминологии игры), которые движутся в воздухе.

Игра предлагает написать программу, которая реализует наиболее простой в реализации, но, в то же время, наименее эффективный метод наведения перехватчика на цель – метод прямого наведения. В настоящее время выделяют следующие основные методы наведения ЛА на неподвижные и движущиеся цели:

- прямого наведения;
- погони;

- параллельного сближения;
- пропорционального наведения;
- накрытия цели;
- наведения по фиксированным траекториям [6, с. 5].

Нами были разработаны программы, позволяющие юниту «WingedShooter» осуществить перехват противника «AlienWasp», основанные на методах погони и пропорционального наведения. Реализовывать в рассматриваемой миссии метод параллельного сближения нет большого смысла, т. к. противник «AlienWasp» активно маневрирует, там не менее, его можно реализовать с целью ознакомления обучаемого с существованием данного метода. Нами использовалась игра «Colobot Gold» версии 0.2.2a.

При использовании программ, которые реализуют методы погони и пропорционального наведения, время, необходимое юниту «WingedShooter» для сбития четырёх противников «AlienWasp», оказалось меньше, чем при использовании программы, реализующей метод прямого наведения. Если при использовании программы, предлагаемой в игре, время сбития четырёх противников составляло около 1 минуты 45 секунд, то при использовании программы, реализующей метод погони, оно составило около 45 секунд, а программы, реализующей метод пропорционального наведения – около 30 секунд.

Таким образом, используя возможности, которые предоставляет компьютерная игра «Colobot», обучаемые обретают общие представления о перехвате воздушной цели с помощью воздушного перехватчика, различных методах наведения перехватчика на цель, а также получают представление, как в одном пространстве одновременно движутся перехватчик и цель.

Мы понимаем, что использование компьютерной игры «Colobot» – это только первый этап обучения, и разработка программ, которые позволят реальным БПЛА перехватывать воздушные цели в реальности, сложнее. Однако, имея полученные с его помощью знания, обучающийся может продолжать учиться, используя более специализированные тренажёры и писать программы сближения под конкретные БПЛА. Игровая форма заданий, простой и интуитивно понятный интерфейс позволяют использовать рассматриваемую компьютерную игру для обучения даже учеников средних школ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Arslan A. et al. Human dynamics of automation and digitalisation of economies: Discussion on the challenges and opportunities [Текст]: /

A. Arslan // The Palgrave handbook of corporate sustainability in the digital era. – Cham: Palgrave Macmillan, 2021. – С. 613-629.

2. Pal O. K. et al. In-depth review of AI-enabled unmanned aerial vehicles: trends, vision, and challenges [Текст]: / Discover Artificial Intelligence. – 2024. – Т. 4. – №. 1. – С. 97-121. DOI: 10.1007/s44163-024-00209-1.

3. Source code of open-source Colobot: Gold Edition project developed by Epsitec and TerranovaTeam [Электронный ресурс]. URL: <https://github.com/colobot/colobot> (дата обращения: 10.09.2025).

4. Официальный сайт Ceebot [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ceebot.org/> (дата обращения: 10.09.2025).

5. Официальный сайт Colobot Gold [Электронный ресурс]. URL: <https://colobot.info/> (дата обращения: 10.09.2025).

6. Демидович Г.Н. Системы радиоуправления [Текст]: учебно-метод. пособие к практическим занятиям для студ. спец. – I 39 01 02 «Радиоэлектронные системы» дневной формы обуч.: В 2 ч. Ч.1: Основы радиоуправления / Г.Н. Демидович. – Мн.: БГУИР, 2006. – 50 с.

УДК 629.7.05

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БПЛА ДЛЯ ИНСПЕКЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЕВРОПЕЙСКОМ РЕГИОНЕ

А.Б. СУХОЦКИЙ¹, Г.С. МАРШАЛОВА¹, Ю.В. ЖУКОВА²

¹Белорусский государственный технологический университет

²Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАН Беларуси
Минск, Беларусь

Внедрение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для мониторинга и обслуживания солнечных электростанций (СЭС) представляет собой технологический прорыв, который кардинально меняет подходы к обеспечению их производительности и надежности [1]. В условиях стремительного роста солнечной энергетики в Европе эффективность и экономическая целесообразность инспекционных работ становятся критически важными факторами. Традиционные методы, основанные на наземных обходах и ручном осмотре, уступают БПЛА по скорости, охвату, точности и безопасности. Настоящий отчет представляет всесторонний сравнительный анализ эффективности БПЛА и традиционных методов инспекции солнечных панелей в Европейском регионе,

рассматривая ключевые задачи – выявление дефектов, термографию и оценку производительности.

Одним из наиболее значимых преимуществ использования БПЛА для инспекции солнечных электростанций является беспрецедентная скорость сбора данных. Традиционный подход, при котором специалисты-инспекторы проходят по рядам панелей с камерами и приборами, занимает много времени и охватывает лишь 2–3% панелей на крупной СЭС. В отличие от этого, БПЛА способны за один день собрать данные с огромных площадей. Например, в Бразилии компания Drone Visual с помощью одного дрона DJI Matrice 210 RTK V2 провела полную инспекцию трех СЭС общей площадью 10 км² с 900 000 модулей за 13 дней. Количественные сравнения показывают, что дроны собирают данные более чем в 50 раз быстрее, чем ручные методы.

Использование БПЛА значительно повышает безопасность работы персонала, исключая необходимость подъема на крыши или перемещения по высоким конструкциям. Точность инспекции с помощью БПЛА обеспечивается передовыми системами навигации, включая GNSS/RTK, которые обеспечивают сантиметровую точность позиционирования. Это позволяет создавать высокодетализированные ортофотопланы и точные 3D-модели. Современные дроны оснащаются RGB-камерами высокого разрешения для выявления внешних дефектов (трещины, загрязнения) и тепловизионными камерами для обнаружения внутренних проблем («горячие точки» [2, 3], деградация PID, деламинация). Комплексный подход, сочетающий визуальную и тепловизионную съемку, обеспечивает наиболее полную картину состояния СЭС.

Экономическая целесообразность является одним из главных драйверов внедрения БПЛА. Инспекция солнечной электростанции с помощью дрона обходится на 46% дешевле, чем ручным методом [4]. Экономия достигается за счет снижения затрат на оплату труда, логистику и оборудование для высотных работ, а также сокращения времени простоя СЭС. Первоначальные инвестиции в парк БПЛА и ПО окупаются после выполнения примерно 10 проектов (несколько месяцев). Объем рынка услуг по инспекции с помощью БПЛА в энергетическом секторе в 2023 году оценивался в \$4,66 млрд, с прогнозируемым среднегодовым темпом роста (CAGR) более 15% до 2032 года.

БПЛА представляют собой полноценную диагностическую систему, оснащенную специализированными датчиками. Основные методы диагностики:

- Визуальная съемка (RGB): Обнаружение внешних дефектов (трещины, загрязнения, механические повреждения).
- Тепловизионная инспекция (IR): Выявление внутренних дефектов («горячие точки», короткие замыкания, деградация PID).

– Фотолюминесцентная (PL) и электролюминесцентная (EL) визуализация: Диагностика дефектов материала и обрывов проводки.

– Совместное использование этих методов позволяет получить максимально полную картину потерь производительности.

Несмотря на очевидные преимущества, широкое внедрение БПЛА для инспекции солнечных электростанций сталкивается с рядом технологических, эксплуатационных и регуляторных вызовов. Наиболее существенным ограничением является короткая продолжительность полета стандартных мультикоптеров, которая обычно составляет от 15 до 30 минут. Это требует частой смены аккумуляторов и может замедлять работу на очень больших площадях.

Второй важный технический вызов связан с грузоподъемностью. БПЛА должны нести на борту различные полезные нагрузки (сенсоры), которые имеют вес и габариты. Увеличение полезной нагрузки неизбежно приводит к сокращению времени полета и дальности действия. Это создает компромисс между качеством данных (необходимость использовать более совершенные и тяжелые сенсоры) и операционной эффективностью (время на выполнение миссии). Разработка более легких и эффективных сенсоров, а также улучшение аккумуляторных технологий являются ключевыми направлениями для будущего развития.

Третий, и, возможно, самый сложный вызов – это нормативно-правовая среда. В Европейском регионе действуют строгие правила эксплуатации гражданских БПЛА, регулируемые EASA (Европейское управление по авиационной безопасности) [5]. Эти правила варьируются от страны к стране и регулируют такие аспекты, как максимальная высота полета, расстояние от оператора, запретные зоны и требования к лицензированию пилотов-операторов. Нормативные препятствия остаются одним из основных сдерживающих факторов для массового внедрения дронов.

БПЛА уже сегодня являются не просто вспомогательным инструментом, а центральным элементом современной системы управления солнечными электростанциями. Их уникальное сочетание скорости, безопасности, точности и экономической эффективности позволяет перейти от реактивного ремонта к проактивному менеджменту. По мере решения существующих проблем с автономностью, нормативным регулированием и развитием интеллектуальных алгоритмов, роль БПЛА в обеспечении надежности и эффективности европейской энергосистемы будет только возрастать, превращаясь в обязательный компонент инфраструктуры «умной» энергетики.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (T25УЗБ-032).

ЛИТЕРАТУРА

1. Alrashidi, M., Rahman, S., & AlHajri, M. (2020). Drone-assisted photovoltaic systems inspection: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 123, 109755. DOI: 10.1016/j.rser.2020.109755.
2. Kishore, R.A., & Joseph, S. S. (2020). Drone based monitoring system for solar photovoltaic power plants. *Materials Today: Proceedings*, 21, 1494-1499. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.09.107
3. Guerreiro, J., Rodrigues, F., & Pereira, F. (2021). Automated detection of defective photovoltaic modules using aerial thermography with unmanned aerial vehicles. *Solar Energy*, 224, 420-431. DOI: 10.1016/j.solener.2021.05.073.
4. Mittal, D., Hasan, M. I., & Hassan, S. Z. (2021). Economic analysis of drone-based inspection of solar photovoltaic plants: A case study. *Energy Reports*, 7, 8388-8397. DOI: 10.1016/j.egyr.2021.10.070.
5. European Union Aviation Safety Agency (EASA). (2020). Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems (Regulation (EU) 2019/947 and 2019/945). URL: <https://www.easa.europa.eu/en/domains/civil-drones-rpas>.

УДК 339.138

МАРКЕТИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: ВОЗМОЖНОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ

В.А. УСЕВИЧ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Спектр задач, которые сейчас решают с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), довольно широк: коммерческие, промышленные, военные.

Рынок коммерческих БПЛА был оценен в 82,00 млрд долларов США в 2024 году и, как ожидается, достигнет 7 646,37 млрд долларов США к 2034 году, демонстрируя среднегодовой темп роста 57,4% в период с 2025 по 2034 год. [1] По целевому назначению рынок коммерческих БПЛА сегментируется на следующие сферы: сельское хозяйство, энергетика и коммунальное хозяйство, доставка и логистика, строительство, СМИ и развлечения, государственный сектор и другие. Ожидается, что

сегмент доставки и логистики будет демонстрировать наибольший среднегодовой темп роста в период с 2025 по 2034 год в связи с расширением сектора электронной коммерции по всему миру. В связи с возросшим спросом на быструю доставку товаров компании все чаще осваивают новые методы, включая использование БПЛА, для складирования и доставки продукции. Кроме того, склады по всему миру вкладывают значительные средства во внедрение автоматизации. В связи с этим БПЛА находят важное применение в таких операциях, как инвентаризация, циклический подсчет и поиск запасов, требующих больших трудозатрат.

Глобальный спрос на дроны растет по мере совершенствования технологий, и, как и в случае с любой другой технологией или рынком продуктов, стоимость снижается по мере роста использования. Рынок услуг с использованием дронов также растет.

Маркетинг – это еще одна область, где решения с использованием беспилотных устройств нашли широкое применение. Функциональность и гибкость БПЛА позволяют создавать новаторские кампании продвижения продукта, затрагивающие аудиторию совершенно новым образом.

Потребителей всех возрастных групп хотят видеть больше видеоконтента от брендов или компаний, которые они поддерживают. Эта потребность в большем количестве визуального (в частности, видео) контента открывает возможности для новых маркетинговых тактик и технологий. Для сферы СМИ и индустрии развлечения основная функция дронов состоит в осуществлении фото- и видеосъемки как для рекламы, так и для полнометражного кино. Например, беспилотные летательные аппараты могут снимать видео объектов с необычных и нестандартных точек обзора, а качество видео по детализации съемки с воздуха при их помощи позволяет создавать уникальные ролики. Беспилотные летательные аппараты могут применяться для подготовки репортажей с места событий и о спортивных соревнованиях. Дроны способствуют улучшению качества кинопродукции и фотографий, особенно с учетом того, что миниатюризация оборудования позволяет устанавливать на них камеры с разрешением 4К. Благодаря своей маломощности беспилотные летательные аппараты могут производить съемки с очень близкого расстояния.

Беспилотные аппараты также играют заметную роль в рекламной сфере. И самым доступным использованием дронов сейчас для компаний является применение их как средства распространения коммуникационных сообщений, например, как носителя рекламного баннера. В рекламной индустрии исследуются и тестируются решения, связанные с непрямым использованием беспилотных аппаратов. В частности,

они могут перехватывать сигналы сотовой связи и Wi-Fi для определения местоположения пользователей и отправления на их телефоны материалов, содержание которых будет зависеть от того, где они находятся, например им может демонстрироваться реклама магазинов, мимо которых они проходят.

Набирает популярность скайрайтинг – создание надписей, изображений, логотипов при помощи небольших летательных аппаратов. Это направление развивается, позволяя компаниям организовывать рекламные воздушные световые шоу. Беспилотники могут также использоваться для проецирования рекламы на различные поверхности.

Потенциал дронов в сфере развлечений раскрыт не полностью, и новые способы применения этих устройств все продолжают появляться. Например, одна крупнейшая гонка дронов, чемпионат мира World Drone Prix, впервые прошла в марте 2016 года в Дубае. Общий призовой фонд составлял 1 млн долл. США. [3] Она проводилась на открытом треке, подсветка которого соответствовала стилистике научной фантастики, и следить за гонкой могли как присутствующие на месте проведения гонок зрители, так и аудитория в интернете. У гонок дронов есть все возможности стать массовым видом спорта. Некоторые считают, что они смогут достичь уровня популярности чемпионатов «Формулы 1», и продолжают свое развитие в сегменте киберспорта.

Использование беспилотных летательных аппаратов дает возможность бизнесу влиять на потребительский опыт, обогащая совокупность всех впечатлений и эмоций, которые клиент испытывает при взаимодействии с компанией, её продуктами или услугами, на всех этапах пути от первого контакта до послепродажного обслуживания. Это не только качество самого товара, но и каждое «касание» с брендом, включая рекламу, общение с поддержкой, дизайн продукта, а также удобство покупки. БПЛА могут радикально изменить рынок доставки, предлагая ранее неизвестные возможности для ретейлеров и логистических компаний, и тем самым эти изменения могут стать одним из драйверов клиентоориентированности. В исследованиях подчеркивается, что использование дронов может существенно улучшить клиентский опыт, сократить затраты и расширить географию доставки. Дроны особенно эффективны в труднодоступных регионах и позволяют ускорить процесс в условиях растущего спроса на быструю доставку.

Поскольку индустрия беспилотных летательных аппаратов продолжает расти и развиваться, растут и возможности, и ограничения для компаний, которые хотят использовать дроны для роста бизнеса. БПЛА могут предложить уникальные преимущества для маркетинговых кампаний, такие как съемка уникальных аэрофотоснимков,

доставка персонализированных сообщений и создание захватывающих впечатлений. Беспилотники открывают новый источник доходов и возможности для оптимизации расходов в отраслях высоких технологий, информации, связи и индустрии развлечений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Commercial UAV (Unmanned Aerial Vehicle) Market Size, Share, Trends, & Industry Analysis Report By Type (Fixed Wing, Rotary Blade, Hybrid), By Application, By End-Use, By Region – Market Forecast, 2025–2034 [Электронный ресурс] // Polaris Market Research/ – URL: www.polarismarketresearch.com/industry-analysis/commercial-uav-market (дата обращения: 12.09.2025).

2. Pro drone racing is dizzying, insane, and just started its first official season [Электронный ресурс] // Digitaltrends/ – URL: www.forbes.com/sites/frankbi/2015/02/23/drones-are-already-intercepting-cell-phone-signals-in-l-a/#1787e55b6ee3 (дата обращения: 12.09.2025).

УДК 681.518.5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

В.С. ФРАНЦКЕВИЧ¹, Р.В. ФРАНЦКЕВИЧ², Л.Н. МОСКАЛЕВ³

¹Белорусский государственный технологический университет

²ОАО «ПЕЛЕНГ»

Минск, Беларусь

³Казанский национальный исследовательский
технологический университет

Казань, Россия

Использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА, дронов) для диагностики оборудования совершило настоящую революцию в обслуживании критически важной инфраструктуры. Этот подход сочетает в себе скорость, безопасность, точность и экономическую эффективность.

Дроны применяются для диагностики объектов, доступ к которым затруднен, опасен или требует больших временных и финансовых затрат:

1. Энергетика:

– ЛЭП (Воздушные линии электропередачи): осмотр изоляторов, проводов, соединений, опор на предмет повреждений, коррозии, нагрева.

– Ветряные электростанции: осмотр лопастей турбин на микротрещины, эрозию, повреждения от молний.

– Солнечные электростанции: тепловой осмотр панелей для выявления дефектных элементов.

– Подстанции и вышки: обследование оборудования с безопасного расстояния.

2. Химическая и нефтегазовая промышленность:

– Резервуары для хранения: осмотр крыш и стенок на предмет коррозии и деформаций.

– Высокие вертикальные аппараты: ректификационные аппараты, абсорберы и др.).

– Газо- и нефтепроводы: мониторинг трасс на предмет утечек (с помощью газоанализаторов), несанкционированных врезок, повреждений изоляции.

– Буровые платформы и вышки: осмотр конструкций на предмет целостности.

3. Горнодобывающая промышленность и инфраструктура:

– Трубопроводы и дымовые трубы: оценка состояния высотных конструкций.

– Крыши и фасады зданий: быстрый осмотр без необходимости возведения лесов.

– Картография карьеров. Обеспечение безопасности неустойчивых склонов и обвалоопасных мест.

– Мосты и эстакады: Выявление трещин, коррозии арматуры, деформаций.

Один из ключевых факторов, напрямую определяющих ценность и возможности дрона – качество оптики камеры. Хорошая оптика обеспечивает: высокую резкость и детализацию (качественные линзы с минимальными искажениями передают картинку с высокой четкостью от центра до краев кадра), правильную цветопередачу, высокий контраст, эффективную работу сенсора.

Оптические камеры высокого разрешения используются для обнаружения механических повреждений, коррозии, трещин, нарушений целостности конструкций и позволяют проводить визуальный осмотр, фотографирование и запись видео в высоком качестве.

Ведущей белорусской компанией по разработке и производству оптико-электронной продукции военного и гражданского назначения

является ОАО «Пеленг». Предприятие более 50 лет специализирующийся на разработке и изготовлении оптико-электронных систем различного назначения.

Сама по себе камера – это уже мощный инструмент, но главная сила дронов – в специализированных датчиках:

1. Тепловизоры (инфракрасные камеры) – измерение температуры объектов и построение тепловой карты.

2. Газоанализаторы – обнаружение и количественная оценка концентрации газов в атмосфере. Например, могут использоваться при поиске утечек метана на газопроводах, компрессорных станциях, нефтехранилищах.

3. Лидары (LIDAR – Light Detection and Ranging) – создание высокоточных 3D-карт местности и объектов, построение цифровых двойников оборудования, точное измерение расстояний, определение провисания проводов ЛЭП, обследование труднодоступных трасс.

4. Ультрасонофоны (Акустические сенсоры) – улавливание ультразвуковых шумов, неслышимых человеческим ухом. Например, могут использоваться для обнаружения утечек сжатого воздуха или газа в трубопроводах и оборудовании по характерному звуку.

5. Системы точного позиционирования (RTK/PPK) – обеспечение точного позиционирования дрона в пространстве. Незаменимы для автоматизации полетов по заданному маршруту с возможностью возврата к одной и той же точке для повторных замеров и сравнения.

Таким образом, можно выделить следующие преимущества использования дронов для диагностики оборудования:

– Безопасность: исключается необходимость работы людей на высоте, в опасных зонах (напряжение, химически опасные вещества и др).

– Экономия времени и стоимости: осмотр ветряной турбины дронам занимает 10-15 минут вместо нескольких часов с привлечением промышленных альпинистов и вышки. Снижаются затраты на остановку производства.

– Высокая точность и детализация: современные камеры и датчики фиксируют малейшие дефекты. Данные можно анализировать в замедленном режиме и привлекать экспертов.

– Доступность: дроны могут легко осматривать труднодоступные места без сооружения лесов и подъемных механизмов.

– Планово-предупредительное обслуживание: регулярные облеты позволяют находить проблемы на ранней стадии, до наступления серьезных последствий (авария, простой), и планировать ремонт.

– Архивация и анализ данных: все данные (фото, видео, тепловые карты) оцифровываются, сохраняются и могут сравниваться с предыдущими осмотрами для отслеживания динамики развития дефекта.

При наличии неоспоримых преимуществ нельзя не отметить сложности и ограничения использования БПЛА:

– Погодные условия: сильный ветер, дождь, туман могут ограничивать или делать невозможными полеты.

– Регулирование: полеты вблизи критической инфраструктуры, в городах и воздушных пространствах аэропортов требуют специальных разрешений и соблюдения строгих правил.

– Время полета: ограниченная емкость аккумуляторов требует тщательного планирования миссий или наличия сменных батарей.

– Квалификация операторов: пилот должен не только управлять дроном, но и понимать задачи диагностики, правильно настраивать оборудование и интерпретировать первичные данные.

– Обработка больших данных: один полет может генерировать гигабайты информации. Требуются эффективные системы хранения, обработки и анализа (возможно, с использованием ИИ).

Перспективы применения БПЛА для диагностики оборудования:

– Полная автоматизация: дроны будут базироваться на стационарных "улей"-станциях, самостоятельно вылетая по расписанию на диагностику и возвращаясь для подзарядки и передачи данных.

– Искусственный интеллект (ИИ): AI-алгоритмы будут в реальном времени анализировать поток данных с датчиков, сразу классифицировать дефекты и составлять отчеты без участия человека.

– Рой дронов (Swarm): группа дронов будет совместно обследовать большие объекты (например, поля солнечных батарей) за рекордно короткое время.

– Новые датчики: появление более компактных, точных и дешевых сенсоров расширит диапазон решаемых задач.

Таким образом, использование дронов для диагностики оборудования – это не модная тенденция, а уже устоявшаяся, высокоэффективная практика. Она переводит обслуживание и ремонт оборудования и инфраструктуры из реактивного режима ("чиним то, что сломалось") в планово-предупредительный ("предсказываем и предотвращаем поломку"), что кардинально повышает надежность, безопасность и экономическую эффективность ключевых отраслей промышленности.

ГРАЖДАНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА: ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ

И.В. ВОЙТОВ, А.М. ФРАНЦУЗОВА, Е.В. РОССОХА, А.И. ЕВЛАШ
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

В настоящее время использование беспилотных летательных аппаратов (далее – БПЛА) для гражданских целей является весьма многообразным. Например, они могут использоваться для: недвижимости, аварийного реагирования, гуманитарной помощи и помощи при стихийных бедствиях; контроле заболеваний; здравоохранения; лесного/сельского хозяйства; прогноза погоды; морского применения; управления отходами; управления и развития инфраструктуры и т.д.

Авторами видятся следующие тренды в развитии гражданского применения БПЛА, сгруппированные по 3-м направлениям:

1. *Технологии*: использование возможностей искусственного интеллекта в управлении полетом, компьютерном зрении, обработке данных и прогнозной аналитике; расширение функций БПЛА, включая обнаружение объектов, управление жестами, оптическое отслеживание, контекстную ориентацию и обход препятствий; увеличение времени полета благодаря улучшенным литиевым батареям и возможностям солнечной энергии; разработка более легких и улучшенных (с точки зрения защиты) материалов конструкций; управление полетами с использованием технологий дополненной и виртуальной реальности.

2. *Бизнес-модели*: использование специализированных продуктов в сфере БПЛА для конкретных отраслей, включая оборудование, программное обеспечение для полета и обработки данных; расширять портфолио своей продукции ведущими брендами БПЛА.

3. *Законодательство*: правовое регулирование приобретения, эксплуатации БПЛА; разработка требований к регистрации БПЛА и процесса обучения специалистов.

Также ожидается изменение практической модели использования БПЛА. «Сегодня» ее можно охарактеризовать следующим образом: полеты обычно представляют собой миссии в пределах прямой видимости под контролем сертифицированного оператора; траектория полета и высота ограничены НПА; типичный полет длится менее часа, «пара» датчиков собирают несколько гигабайт данных; данные хранятся на борту, извлекаются и обрабатываются после полета.

«Завтра» ожидается следующая модель использования БПЛА: БПЛА будут выполнять расширенные автономные миссии, используя технологию обнаружения и предотвращения; центры управления движением БПЛА будут идентифицировать и отслеживать дроны в критически важных частях воздушного пространства; полеты станут более массовыми благодаря развитию законодательства и страхования; несколько бортовых датчиков будут передавать данные в режиме реального времени через сети 4G/5G; центры управления операторами, на основе технологий машинного обучения и искусственного интеллекта, будут использовать данные для автоматической корректировки миссии БПЛА и реализации коммерческих приложений для бизнеса.

УДК 66-2

КАК ПРАВИЛЬНО ВЫБРАТЬ БПЛА

А.В. ЧЕРНЯВСКИЙ, А.Ю. ЛУЦКИН, А.Ф. ПЕТРУШЕНЯ
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

БПЛА – это летательный аппарат, выполняющий полет без пилота и чаще всего управляемый дистанционно. Беспилотные летательные аппараты из этого руководства по покупкам предназначены для гражданского, коммерческого и промышленного пользования. Эти БПЛА более прочные, крупные и способны выносить более тяжелые грузы, чем БПЛА для досуга.

Технологии БПЛА, все чаще используемых как профессионалами, так и частными лицами, постоянно совершенствуются.

Прежде всего, БПЛА становятся все более умными и обладают все большей автономностью. Последние модели, представленные на рынке, теперь способны обнаруживать препятствия с помощью датчиков технического зрения. Некоторые БПЛА, оснащенные функцией памяти, способны запоминать положение объектов и таким образом избегать препятствий за счет использования 3D-карты. Благодаря использованию новых технологий БПЛА могут летать при любых погодных условиях, даже при тумане. Обеспечение безопасности — еще один важный аспект, на который делается все больший акцент: системы технического зрения помогают избежать столкновений, которые могли бы иметь серьезные последствия.

Данные, собранные БПЛА, становятся все более точными и релевантными и быстро передаются. Например, БПЛА теперь могут заменять людей при техническом осмотре самолета, проводя надежный анализ внешнего состояния за 10 минут и выявляя малейшие аномалии.

Прежде всего необходимо определить, с какой целью будет использоваться БПЛА – в зависимости от этого стоит выбирать конструкцию самолетного типа (с неподвижным крылом) или вертолетного типа (с вращающимся крылом). Тип конструкции оказывает большое влияние на маневренность и продолжительность полета БПЛА. Например, БПЛА с неподвижным крылом легче управлять, однако они не могут зависать в воздухе – для этого вам понадобится БПЛА с вращающимся крылом.

Важные характеристики:

- Неподвижное или вращающееся крыло
- Продолжительность полета
- Полезная нагрузка

Продолжительность полета – еще один существенный фактор, который влияет на выбор БПЛА. В то время как одни БПЛА держатся в воздухе от 10 до 30 минут, другие способны летать несколько часов (от 2 до 24 часов для самых усовершенствованных моделей). Продолжительность полета БПЛА зависит от двух факторов: конструкции (БПЛА самолетного типа дольше удерживаются в воздухе) и погодных условий, к которым некоторые БПЛА очень восприимчивы. Например, если беспилотнику приходится бороться с ветром, то увеличивается расход энергии, что сказывается на продолжительности полета БПЛА.

В зависимости от конструкции и принципа полета выделяют БПЛА самолетного типа (с неподвижным крылом), вертолетного типа (с вращающимся крылом) и многороторные. Каждый тип крыла имеет свои преимущества и адаптирован к конкретным условиям применения.

БПЛА самолетного типа имеют неподвижные крылья. Такие БПЛА лучше адаптированы для больших расстояний и преодолевают их с меньшими затратами энергии, чем БПЛА вертолетного типа. Более того, беспилотники с неподвижным крылом нижнего ценового сегмента, чья продолжительность полета не превышает несколько десятков минут, остаются лучшими по этому показателю: самые дорогие БПЛА самолетного типа могут держаться в воздухе до 24 часов. БПЛА для задач, требующих длительного полета, таких как картографирование или контроль за орошением в сельском хозяйстве. Кроме того, БПЛА самолетного типа более быстрые, чем БПЛА вертолетного типа, поэтому преодолевают большие расстояния за одинаковое время. Они также могут летать на большей высоте. За счет всех этих характеристик

беспилотника с неподвижным крылом собирают максимальное количество информации за один полет. Помимо прочего, БПЛА самолетного типа позволяют транспортировку более тяжелых грузов, чем БПЛА вертолетного типа. Неподвижное крыло обеспечивает исключительную устойчивость, за счет чего беспилотник способен перевозить грузы весом до 50 кг. Эти БПЛА особенно просты в управлении. Тем не менее, не стоит забывать, что их конструкция не позволяет зависания в воздухе.

БПЛА с вращающимся крылом действуют по принципу вертолета, поэтому их наибольшими преимуществами являются вертикальный взлет и посадка, и способность зависания в воздухе, за счет чего они могут совершать полеты в ограниченном пространстве и избегать препятствий. Поэтому они подходят для ведения наблюдения – например, для контроля за работой машин и промышленных установок. Тем не менее, продолжительность их полета остается ограниченной по сравнению с БПЛА самолетного типа. Ввиду слабой продолжительности полета и низкой скорости вам придется выполнять осмотр в несколько заходов. Наконец, эти БПЛА требуют сложного и регулярного техобслуживания за счет особенностей их конструкции.

Многороторные БПЛА – это БПЛА вертолетного типа с несколькими роторами малого диаметра (обычно четыре, шесть или восемь роторов). По сравнению с однороторными БПЛА, многороторные модели обладают большей стабильностью в полете и при зависании в воздухе, что облегчает пилотирование. Тем не менее, многороторные БПЛА потребляют больше энергии и более зависимы от погодных условий. Обратите внимание, что существуют гибридные конструкции: в них сочетаются неподвижное и вращающееся крыло. Эти БПЛА обладают преимуществами обоих типов: они отличаются быстротой и стабильностью, имеют большую продолжительность полета и позволяют осуществлять вертикальный взлет и посадку (VTOL). Тем не менее, они не могут зависать в воздухе.

Профессиональные БПЛА могут использоваться для различных целей в зависимости от типа крыла. Если вы работаете на ферме, то вам может пригодиться БПЛА для сельского хозяйства, будь то для анализа почвы или ухода за плантациями (орошение). БПЛА также стал незаменимым прибором в топографии. Беспилотники могут перемещаться на дальние дистанции, летая на высоте до 150 метров, и способны одновременно выполнять точные измерения расстояния, влажности, температуры, высоты и прочих важных показателей. Быстрота анализа беспилотников позволяет топографам экономить много времени. Эти БПЛА оснащены специальным программным обеспечением (наиболее

известным является Cardinal), которое использует собранные телеметрические данные для создания интерактивных карт. Напомним, что зависание в воздухе, полезное, в частности, для топографической съемки, возможно только для БПЛА с вращающимся крылом, многороторных БПЛА или БПЛА типа VTOL.

Профессиональные БПЛА все чаще используются и в других сферах деятельности. Например, специалисты по недвижимости и профессионалы в области кино все чаще используют этот тип технологий для ведения фото- (иногда под углом 360°) или видеосъемки. Эти БПЛА также используются в области безопасности (например, для быстрого обнаружения людей, оказавшихся в чрезвычайной ситуации).

УДК 629.7.05:623.746.-519

КОМПЛЕКСНЫЙ АЛГОРИТМ ДАТЧИКА АВИАГОРИЗОНТА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

А.А. ШЕЙНИКОВ, Л.А. ИВАНИЦКИЙ

Военная академия Республики Беларусь, Минск, Беларусь

Для малых тактических (МТ) беспилотных летательных аппаратов (БЛА), целесообразным является максимальное использование потенциала штатной системы технического зрения (СТЗ) для решения сразу нескольких задач на борту. Очевидно, что основной задачей СТЗ, является ведение оптико-электронной воздушной разведки. Однако, СТЗ может выступать также в роли дополнительного датчика авиагоризонта (ДАГ) [1, 2], работающего, в отличие от базовой бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС), на других физических принципах. Такое комплексное использование СТЗ может положительно сказаться на точности оценки углов крена и тангажа (за счет комплексирования информации от БИНС и СТЗ, с учетом нечувствительности СТЗ к кажущемуся уходу вертикали при ускорениях БЛА), на весе и сложности оборудования МТ БЛА (за счет отказа от применения на борту дополнительных ДАГ, например, пирометрических), а также на качестве получаемых разведывательных данных (за счет увеличения точности фотограмметрических измерений параметров объектов воздушной разведки и за счет повышения точности совмещения реальных и синтезированных перспективных изображений).

Реализация ДАГ на основе бортовой СТЗ сопряжена с рядом трудностей, в основном связанных с необходимостью устойчивого распознавания

линии горизонта (ЛГ) в кадре. Так ЛГ недоступна в облаках (нижний край облачности на территории Республики Беларусь редко бывает выше 500 м), в ночное время и днем в условиях плохой видимости (например, в тумане). Также измерения невозможны при выходе ЛГ из поля зрения при больших углах наклона оптической оси курсовой камеры (строительной оси БЛА) относительно горизонтальной плоскости [2]. Перечисленные особенности, в свою очередь, приводят к соответствующим ограничениям применения БЛА.

Для расширения возможностей известного ДАГ на основе СТЗ предложен алгоритм счисления углов крена и тангажа в условиях временного отсутствия ЛГ в кадре.

Алгоритм разработан на основе методов анализа видеопотока [3]. Динамика оптического поля в кадре характеризуется сдвигами и поворотами. Суть алгоритма заключается в оценке значений сдвигов и углов поворота по координатам выделенных пар особых точек (ОТ). Для этого ЦИ разбивается на четыре четверти. Из каждой четверти выбирается по одной паре ОТ (ОТ на предыдущем ЦИ и, соответствующая ей, ОТ на текущем ЦИ) (рис. 1).

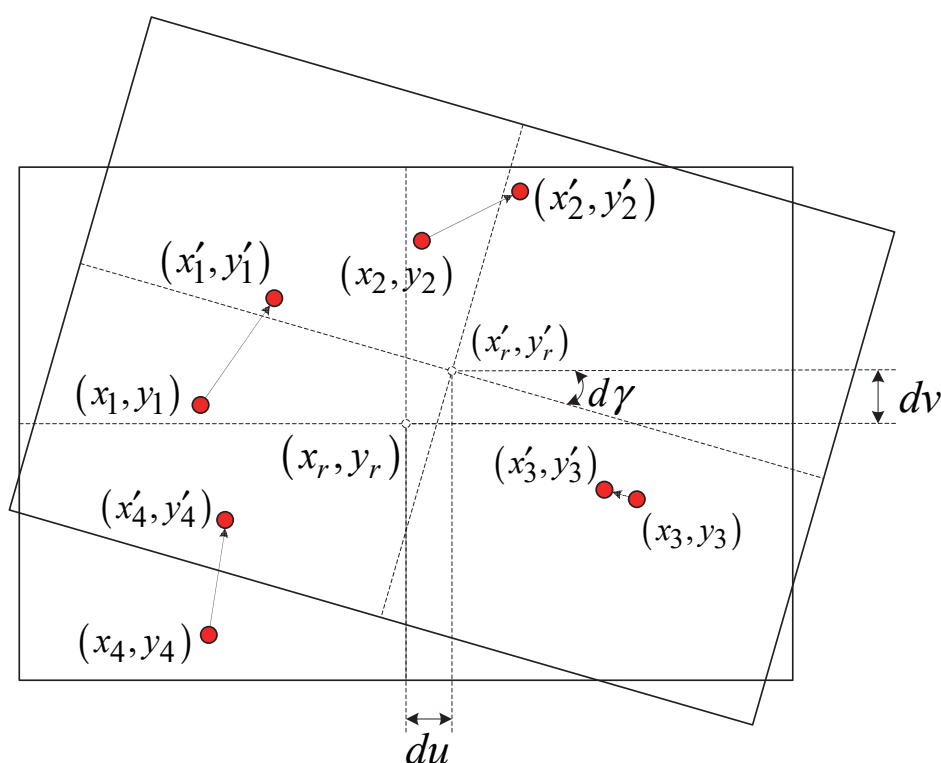


Рис. 1. Выделенные пары ОТ из каждой четверти ЦИ

На рисунке 1 $(x_1, y_1), (x'_1, y'_1), (x_2, y_2), (x'_2, y'_2), (x_3, y_3), (x'_3, y'_3), (x_4, y_4), (x'_4, y'_4)$ - координаты выделенных пар ОТ; $(x_r, y_r), (x'_r, y'_r)$ -

координаты центра отслеживаемого оптического поля на предыдущем и текущем кадре; $d\gamma$ - изменение угла крена; du, dv - изменения координат центра оптического поля по соответствующим осям, причем dv соответствует изменению угла тангажа $d\vartheta$ (рисунок 2), а его значение (в радианах) можно найти по формуле:

$$d\vartheta = \arctg\left(\frac{dv}{f}\right)$$

где f - фокусное расстояние объектива камеры.

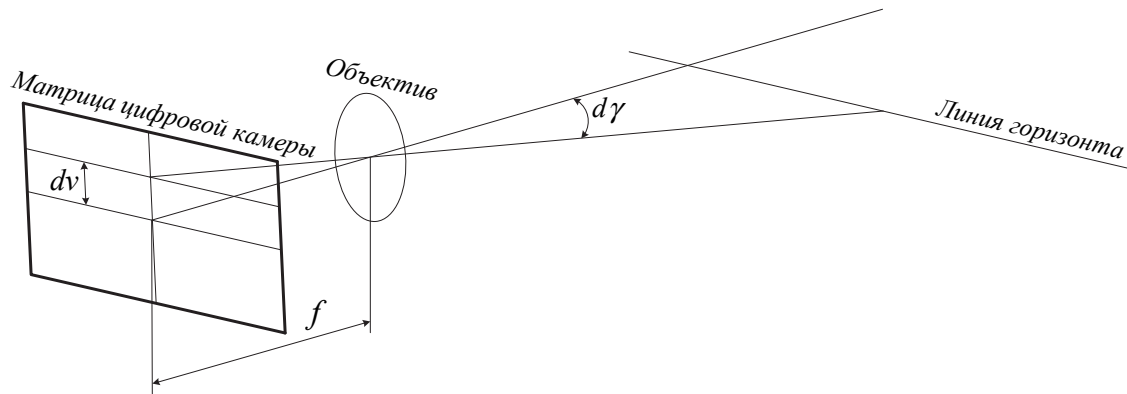


Рис. 2. Смещение ЛГ в кадре при изменении угла тангажа

С учетом известных координат выделенных пар ОТ составляется система уравнений:

$$\begin{cases} x'_1 = x_1 \cos(\gamma) - y_1 \sin(\gamma) + du \\ y'_1 = x_1 \sin(\gamma) + y_1 \cos(\gamma) + dv \\ x'_2 = x_2 \cos(\gamma) - y_2 \sin(\gamma) + du \\ y'_2 = x_2 \sin(\gamma) + y_2 \cos(\gamma) + dv \\ x'_3 = x_3 \cos(\gamma) - y_3 \sin(\gamma) + du \\ y'_3 = x_3 \sin(\gamma) + y_3 \cos(\gamma) + dv \\ x'_4 = x_4 \cos(\gamma) - y_4 \sin(\gamma) + du \\ y'_4 = x_4 \sin(\gamma) + y_4 \cos(\gamma) + dv \end{cases} \quad (1)$$

В результате решения системы уравнений (1) находятся значения $d\gamma$ и dv :

$$d\gamma = \arccos\left(\frac{(y'_1 - y'_2)(x_3 - x_4) - (y'_3 - y'_4)(x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)(x_3 - x_4) - (y_3 - y_4)(x_1 - x_2)}\right)$$

$$dv = y' + \frac{(y'_1 - y'_2)(y_3 x_1 - y_4 x_1 - x_3 y_1 + x_4 y_1) - (y'_3 - y'_4)(2y_1 x_1 - y_2 x_1 - x_2 y_1)}{(y_1 - y_2)(x_3 - x_4) - (y_3 - y_4)(x_1 - x_2)}$$

Текущие значения углов крена и тангажа (значения рассматриваемых параметров на k -м шаге) рассчитываются в соответствии с выражениями:

$$\gamma_k = \gamma_{k-1} + d\gamma$$

$$\vartheta_k = \vartheta_{k-1} + d\vartheta$$

Очевидно, что с течением времени будут накапливаться ошибки, списание которых возможно по данным от более стабильной системы, работающей на другом принципе. Для решения этой задачи в рамках одной СТЗ, предлагается использовать разработанный алгоритм в комплексе с алгоритмом оценки параметров ориентации БЛА по информации о положении ЛГ в кадре [1, 2], обладающим достаточной для пилотирования БЛА точностью [4] (рис. 3).

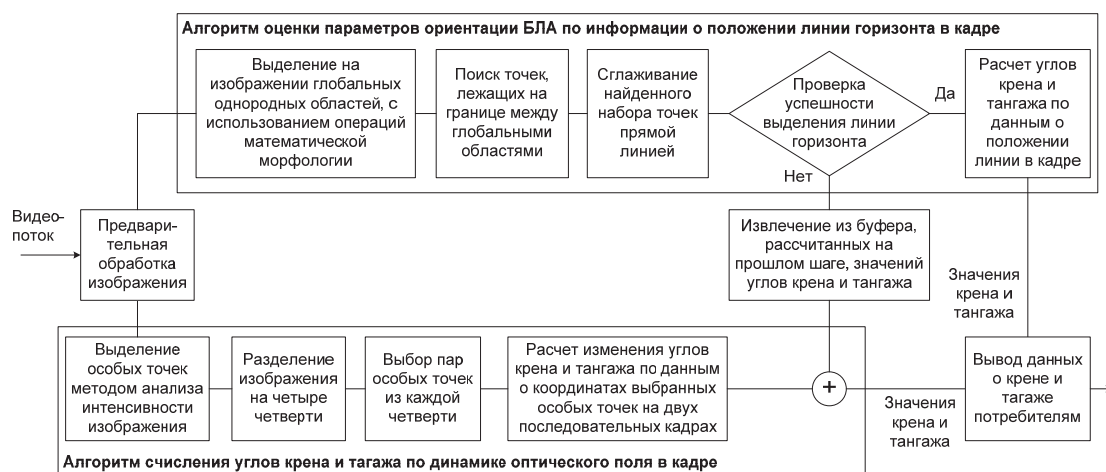


Рис. 3. Комплексный алгоритм ДАГ на основе СТЗ

Предложенный комплексный алгоритм отличается повышенной устойчивостью к изменениям внешних условий съемки, отсутствием ограничений по ориентации носителя в пространстве и не требует модификации аппаратной части пилотажно-навигационного комплекса МТ БЛА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Cornall T.D., Egan G.K. Measuring horizon angle from video on a small unmanned air vehicle // 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents: proceedings of the conf. / edited by S.C. Mukhopadhyay and G. Sen Gupta; Institute of information sciences and technology of Massey University. – Palmerston North, New Zealand, 2004. – P. 339–344.
2. Распопов, В.Я. Микросистемы ориентации беспилотных летательных аппаратов / В.Я. Распопов. – М.: Машиностроение, 2011. – 184 с.

3. Клетте, Р. Компьютерное зрение. Теория и алгоритмы / Р. Клетте. пер. с англ. А.А. Слинкин. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 506 с.

4. Шейников, А.А. Анализ погрешностей датчика авиагоризонта на базе системы технического зрения / А.А. Шейников, Л.А. Иваницкий, В.А. Малкин // Системный анализ и прикладная информатика. – 2023. – № 1. – С. 16-23.

УДК 629.73

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ ПОДСИСТЕМ БПЛА

И.П. ШИПИЦКИЙ, Ю.Ф. ЯЦЫНА, М.В. МАКСИМОВА

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

Национальной академии наук Беларуси

Минск, Беларусь

Идея разведки и наблюдения с воздуха не нова, в связи с чем в мире получили активное распространение беспилотные летательные аппараты (БПЛА) с комплексами оптико-электронной разведки. Но с появлением и активным применением средств радиоэлектронного подавления (РЭП) каналов радиосвязи и систем навигации БЛА значительно усложнилось или даже стало практически невозможным, применение БПЛА с целью ведения разведки и оптического контроля ответственных участков и территорий, особенно в приграничных зонах наблюдения. Поэтому в Министерстве внутренних дел Республики Беларусь, Министерстве обороны Республики Беларусь, а также в силовых ведомствах зарубежных стран (США, КНР, РФ, ФРГ, Япония, Республика Польша и др.) проявляется устойчивый интерес и потребность в комплексах воздушного наблюдения на основе привязного аэростата, позволяющего парировать влияние РЭП на каналы связи и системы навигации и обеспечивать продолжительную оптико-электронную разведку. Такой аэростатный комплекс безопасен, экологичен, имеет минимальный уровень шума, способен находиться в воздухе «стоять» при наименьших затратах значительно дольше, чем БПЛА тяжелее воздуха, нести достаточно тяжелую полезную нагрузку, а его привязная система позволяет практически без временных ограничений непрерывно обеспечивать электроэнергией радиоэлектронную аппаратуру

ОЭС, находящуюся на борту. Аэростатный комплекс благодаря пассивному режиму работы, автоматизации процессов функционирования и отсутствию радиоизлучения обладает высоким уровнем скрытности и автономности.

Аэростатные комплексы имеют широкий спектр классификации. Согласно международной авиационной федерации (ФАИ), воздухоплавательные летательные аппараты делятся на 16 классов. Каждый класс делится на несколько подклассов и десятки категорий. Это обеспечивает решение большого количества задач как при полетах на малых высотах, так и в стратосфере.

Несмотря на единственный существенный недостаток аэростатов, это наполнение оболочки газом и большими ее размерами, аэростаты имеют значительное превосходство перед другими летательными аппаратами:

- нахождение в воздухе без силовой установки;
- при наличии силовой установки малый расход топлива;
- продолжительность нахождения в воздухе (14 суток и более);
- возможность создания привязного типа аэростата;
- экономическая и экологическая эффективность;
- низкая стоимость комплексов по отношению к самолетам, вертолетам;
- дешевизна эксплуатации.

Внедрение новых технологий позволяет улучшать технические характеристики аэростатов различного класса в том числе и привязных аэростатных комплексов. В настоящее время, привязные аэростаты это – не только развлечения или научные исследования, но и перспективный воздушный транспорт для решения коммерческих, военных, исследовательских, научных и специальных задач.

Возможность размещения на платформе привязного аэростатного комплекса (ПАК) оптико-электронных систем (ОЭС) различного назначения позволяет вести мониторинг наземной и воздушной обстановки. В условиях интенсивного применения средств радиоэлектронной борьбы, ПАК имеет абсолютное преимущество перед другими воздухоплавательными аппаратами.

Современные технологии производства обеспечивают комплектацию ПАК кабель-канатами, которые обеспечивают решение двух основных функций:

- информационно-технический обмен (в том числе и видеоинформацию) с большой скоростью и объемом передачи между наземной аппаратурой ПАК и бортовой;
- подачу электропитания на бортовое оборудование ПАК;
- обеспечение тактической маскировки обмена информации.

Такая конструкция ПАК обеспечивает круглосуточную работу ОЭС продолжительное время (12–14 суток) без дозаправки оболочки газом. То есть обеспечивает ведение разведки днем и ночью в различных климатических условиях не только наземных объектов, но и низколетящих малоразмерных летательных аппаратов (воздушных судов).

Применение ПАК в области ретрансляции каналов связи, особенно, в труднодоступных местах (геологическая разведка в сильнопересеченной местности), проведения специфических работ в лесисто-болотистой местности дает преимущества перед применением воздушных судов другого типа (класса). Не требуется временное создание наземной базы для обеспечения связью при временно выполняемых задач в сложных условиях обстановки.

ПАК – это летательные аппараты, которые обладают уникальными преимуществами и широким спектром применения. Они легки в эксплуатации, экономичны и экологически безопасны, что делает их перспективным инструментом для решения множества задач, от научных исследований до коммерческих перевозок, решения военных и специфических задач. Применение ПАК обеспечивает инновационные решения в области воздушного транспорта, которые могут стать ключевыми в будущем. Для инвесторов (Покупателя, Заказчика) это отличная возможность вложиться в развивающуюся индустрию и получить значительную прибыль в перспективе как на внутреннем рынке сбыта, так и за рубежом.

УДК 623.746.-519

БЕСПИЛОТНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС «ЯСТРЕБ»: ВАРИАНТЫ ИСПОЛНЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ

А.А. ЩАВЛЕВ, Ю.Ф. ЯЦЫНА, М.В. МАКСИМОВА

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

Национальной академии наук Беларуси

Минск, Беларусь

Беспилотный авиационный комплекс «Ястреб» предназначен для ведения видеомониторинга местности и объектов, сопровождения и нанесения ударов по объектам с борта беспилотного летательного аппарата и передачи по радиоканалу полученной видеoinформации на

наземный пункт управления и другим удаленным потребителям при работе в реальном времени. В состав комплекса входит разведывательно-ударный БПЛА «Буревестник МК» с силовой установкой на базе двигателя внутреннего сгорания, взлетает со взлетно-посадочной полосы, может находиться в воздухе до 10 часов, масса полезной нагрузки – до 80 кг. В качестве полезной нагрузки используются ЕО/IR-датчики, барражирующие боеприпасы (БПЛА «МБ-30»), что обеспечивает гибкость применения на поле боя, а также неуправляемые боеприпасы. Максимальная перегоночная дальность (взлет с одного аэродрома, полет и посадка на другом аэродроме) составляет до 1000 км.

Недавние военные конфликты (Нагорный Карабах, Ливия и другие) продемонстрировали, как относительно недорогие ударные БПЛА меняют соотношение сил, ускоряют цикл «разведка-удар» и заставляют перекраивать для войск ПВО всю тактику и стратегию ведения боевых действий, а также и свою логистику. Примером служит их заметная роль в последних вооруженных конфликтах.

Основной вариант применения БАК «Ястреб»:

- тактическая разведка и целеуказание для артиллерии и авиации;
- высокоточные ударные операции по наземным и надводным целям.

Варианты применения БПЛА «МБ-30»: использование в качестве дрона-камикадзе (барражирующий боеприпас), запуск с БПЛА-носителя «Буревестник МК» для нанесения точечных ударов по наземным (надводным) целям.

Опционно на БПЛА «МБ-30» могут быть установлены другие типы целевых нагрузок для решения задач:

- постановка различного рода активных радиопомех средствам обнаружения и поражения противника;
- увеличение зоны обзора БПЛА-носителя для более надежной идентификации наземных (надводных) целей и без захода БПЛА-носителя в зону действия средств ПВО противника при установке оптической разведывательной системы;
- перенасыщение системы ПВО противника беспилотными летательными аппаратами (тактическая стратегия, целью которой является запуск большого количества БПЛА, чтобы перегрузить средства противовоздушной обороны, вынуждая их тратить боеприпасы на перехват, исчерпать запасы и снизить эффективность защиты).

Совершенствование современных средств противодействия БПЛА вынудили в элементах БАК «Ястреб» использовать различные методы защиты, к которым относятся:

- наличие в БАК программных функций, сигнализирующих операторов об активации систем подавления навигационных систем и

спуфинга. Это позволяет своевременно отключать сигналы ГНСС (с ложными координатами) при попадании БЛА в зону действия систем спуфинга;

- использование антенн с управляемой диаграммой направленности (CRPA) для обеспечения получения достоверных сигналов спутниковой навигации в условиях их подавления;

- инерциальные навигационные системы (ИНС) для крупногабаритных БПЛА/бесплатформенные инерциальные навигационные системы (БИНС) для меньших БПЛА. Это позволяет БЛА продолжать полет по запланированному маршруту без сигналов ГНСС.

- видеонавигация, позволяющая корректировать данные о местоположении БЛА без использования сигналов ГНСС;

- для противодействия подавлению каналов связи (телеметрия и данные) используется технология ППРЧ и система перестройки (дублирования) каналов связи.

УДК 623.746.519

ПОДГОТОВКА ОПЕРАТОРОВ БПЛА В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

И.Н. ЯНКОВСКИЙ, В.А. КАНАЕВ, Д.В. БЛАЖКО
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

За последние несколько лет использование беспилотных летальных аппаратов (далее – БПЛА) значительно увеличилось в различных сферах деятельности – при проведении военных операций, сельском хозяйстве, строительстве, доставке грузов, поиске людей, очагов пожара, фото и видеосъемках и т.д. Это в первую очередь связано со снижением стоимости и доступностью самого БПЛА, а также, как кажется, на первый взгляд, с легкостью его пилотирования. В тоже время, легкость в управлении БПЛА является достаточно ошибочным понятием, поскольку профессиональное управление БПЛА – это сложный и «многогранный» процесс, который можно выполнять только после качественной подготовки. Профессиональное управление БПЛА заключается не только в подъеме и перемещении БПЛА в заданную точку с последующим возвратом, но и также связано с отработкой ряда как подготовительных операций, так и способностью оператора выполнять

высокопрофессиональные действия в ходе полета, в частности – составление плана полета и полетного задания, готовить сам летательный аппарат к полету, настройка и присоединение к аппарату техники, расчет массы груза с учетом допустимой нагрузки, отслеживание полета, наблюдение за техническими показателями БПЛА в полете, обработка и анализ полученных данных с БПЛА, последующее техническое обслуживание и ремонт аппарата, принятие решений в нештатных ситуациях и др. При этом необходимо знать и соблюдать законодательство государства, в котором осуществляются полеты БПЛА.

В результате становится понятным, что профессионально управлять БПЛА может специалист, который обладает широким спектром знаний и имеет необходимые навыки в управлении.

На сегодняшний день в Республике Беларусь создана система подготовки операторов БПЛА, которая начинает действовать еще в школе и в последующем продолжается в высших учебных заведениях. Практически во всех высших учебных заведениях Республики Беларусь созданы специализированные классы, которые предназначены для обучения студентов по программам подготовки операторов беспилотных летательных аппаратов в рамках образовательной программы курсов целевого назначения.

Учебные классы, как правило, включают в себя рабочие места, оснащенные персональными вычислительными машинами, учебно-демонстрационные и наглядные материалы, комплект оборудования для осуществления ремонта и технического обслуживания, а также БПЛА типа «Cetus X».

Указанное оборудование класса позволяет в полном объеме реализовать подготовку студентов, обеспечив изучение минимально необходимых знаний в области аэродинамики и движения воздушных судов, знание законодательства Республики Беларусь, а также отработать на первоначальном этапе с помощью программного обеспечения навыки управления БПЛА, с последующим практическим самостоятельным выполнением полетов.

Однако, современные тенденции таковы, что БПЛА постоянно совершенствуется и развиваются и это делает необходимым рассматривать последующее обучение студентов по их управлению и использованию, техническому обслуживанию и ремонту. Учитывая установленное оборудование в классах по обучению студентов, можно выделить несколько направлений по их дальнейшему совершенствованию и развитию.

Приобретение БПЛА DJI Mavic 3T/3E или аналога.

Используемые при обучении студентов комплекты БПЛА типа «Cetus X» позволяют получить обучающимся реальный опыт управления

БПЛА мультироторного типа, физические аспекты полетов, развить навыки пространственной ориентации и восприятия. Однако этот БПЛА не совсем подходит для выполнения задач мониторинга местности, аэрофотосъемки, определения координат целей и т.д. Это обусловлено его характеристиками (в частности, максимальное время полета до 5 минут) и предназначением.

В результате, целесообразно доукомплектовать классы БПЛА типа «DJI Mavic 3T/3E», либо аналогом такого аппарата. Данный аппарат позволит выполнять практические занятия с обучающимися по ведению воздушного мониторинга местности, составления аэрофотопланов, сопровождению наземных объектов, выдачу их координат, обработка вопросов без визуального наблюдения за БПЛА, контролем параметров полетов по встроенным датчикам и интерфейсу, а также использовать его на практических занятиях связанных с предназначением выпускника (аэроразведка, определение местоположения объектов на местности и др.).

Установка 3D сканера.

Приобретение 3D сканера позволит создавать трехмерные модели сложной формы с последующей печатью их на 3D принтере. Это позволит оперативно выполнять ремонты БПЛА без ожидания закупок запасных частей. При этом далеко не все запасные части есть в наличии. 3D сканер в сочетании с 3D принтером способны успешно решить данную проблему. Помимо этого, благодаря 3D сканеру, появляется возможность выполнять различные доработки БПЛА, например, системы сброса с БПЛА, проектировать различные кронштейны крепления подвесок и т.д. Внедрение 3D сканера позволит существенно повысить уровень технического обслуживания, ремонта БЛА, а также прорабатывать вопрос модернизации некоторых элементов. При этом обучающиеся получают навыки в работе с трехмерным моделированием, что будет положительным образом сказываться на их последующей профессиональной деятельности.

Модернизация 3D принтера.

Следующим этапом можно выделить установку фотополимерного принтера. Данный принтер по сравнению с уже имеющимся FDM принтерами, обладает гораздо более высоким качеством печати. Данный принтер будет полезен при изготовлении запасных воздушных винтов на БПЛА, а также в перспективе для других деталей, требующих высокого качества поверхности и точности.

Комплектование дополнительными материалами по техническому обслуживанию БПЛА

При использовании 3D печати, предлагается использовать различные типы филаментов. Разные детали БПЛА воспринимают соответственно

разные нагрузки. Так, для изготовления корпуса и защиты винтов, целесообразно использовать эластичный филамент TPU, для остальных элементов корпуса – ABS. Также существует целый ряд композитных материалов для 3D печати, свойства которых могут сочетать в себе достоинства разных видов пластика и обеспечивать соответствующие требования к деталям БПЛА.

Обеспечение рабочего места по обслуживанию, хранению и эксплуатации аккумуляторных батарей (далее – АКБ) БПЛА.

Современные литий-полимерные аккумуляторные батареи, применяемые в БПЛА, несмотря на свои основные преимущества, требуют комплексного подхода к их эксплуатации. Необходимо строго следить за уровнем их заряда. Не допускать их глубокой разрядки и перезарядки.

Рабочее место должно быть оборудовано средствами измерения и контроля состояния АКБ (тестеры с функциями измерения внутреннего сопротивления АКБ) и зарядными станциями.

Также необходимо обеспечивать безопасные условия хранения АКБ, а именно уровень заряда при хранении (~3,8 В) и противопожарное оборудование места хранения. Необходимо хранение АКБ в огнестойком герметичном сейфе, что позволит обезопасить имущество в случае самопроизвольного возгорания АКБ.

Закупка и установка программного обеспечения.

При более глубоком изучении БПЛА возникает вопрос изучения бортового радиоэлектронного оборудования БПЛА. Это возможно осуществлять на базе образовательного набора Arduino. Использование данного «комплекса» позволит обучающимся уяснить принцип работы разных датчиков, применяемых в БПЛА, а также влияние настроек таких датчиков на их последующую работу.

Использование в процессе обучения студентов программных продуктов типа «SolidWorks» позволит внутри учебной аудитории производить разработку деталей и механизмов для их последующего изготовления на 3D принтерах. Также в этой программе возможно проведение исследований деталей при нагрузке, газодинамические и гидродинамические исследования конструкций и т.д.

Установка программного продукта AutoPano Giga предназначен для сшивания аэрофотоснимков для последующего их сшивания, в результате чего получается аэрофотоплан местности с привязкой к координатам.

Установка программного продукта Geomagic Design X предназначен для работы с результатами 3D сканирования, а именно улучшение поверхности объекта, устранение недостатков и неточностей, неизбежно возникающих при 3D сканировании вследствие погрешности сканера, совмещения сканов и т.д.

Установка программного продукта DJI Flight Simulator – официальный симулятор от производителя дронов DJI. Этот симулятор точно воспроизводит физику полета, поведение и полный функционал дронов DJI. Данный симулятор позволит работать со штатным пультом управления DJI, имитировать различные особые случаи в полете, различные погодные условия, поддерживать многопользовательский режим и многое другое.

Совокупность предлагаемых мер значительно повысит качество и практическую ценность образовательного процесса и как следствие, уровень подготовки операторов и технических специалистов в области беспилотной авиации, в частности БПЛА мультироторного типа.

УДК 630*585:629.235

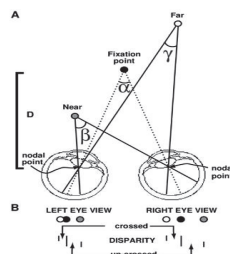
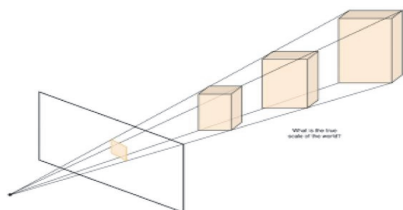
ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЁТА КВАДРОКОПТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ВИЗУАЛЬНОЙ ОДОМЕТРИИ

Я.О. КОЗЛОВ, Е.И. АТАМАСЬ

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Москва, Россия

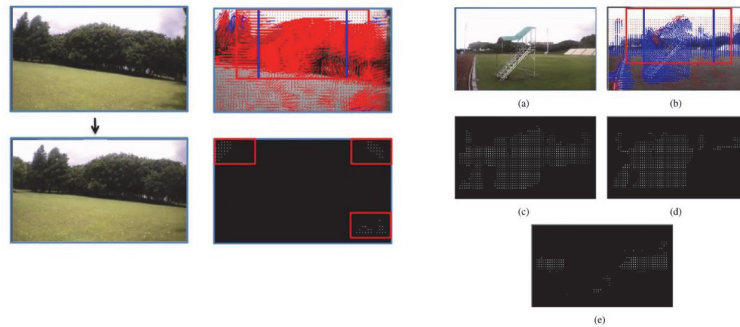
Задача автономной навигации квадрокоптеров в помещениях или сложных динамически изменяющихся средах является крайне актуальной. Традиционные решения, основанные на GPS, LiDAR или стереокамерах, ограничены в использовании из-за стоимости или условий эксплуатации. В данной работе предложена система автономной навигации с использованием только одной монокулярной камеры.

Система должна обеспечивать локализацию, построение карты, планирование траектории и избегание препятствий в реальном времени при ограниченных вычислительных ресурсах.

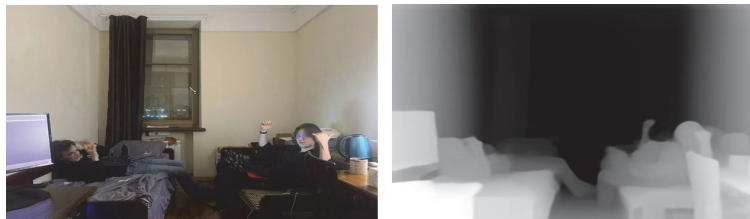


Основная сложность оценки расстояния
и создания пространственной карты при помощи монокулярного зрения.

В основе решения лежат алгоритмы ORB-SLAM3 для построения карты и локализации, а также MiDaS для оценки глубины из одного изображения. Такое сочетание позволяет получать как точную информацию о положении дрона, так и карту глубины сцены без необходимости использования дополнительных сенсоров.



Feature-based подход, применяемый в системе.



Карта глубины, построенная нейронной сетью MiDaD.

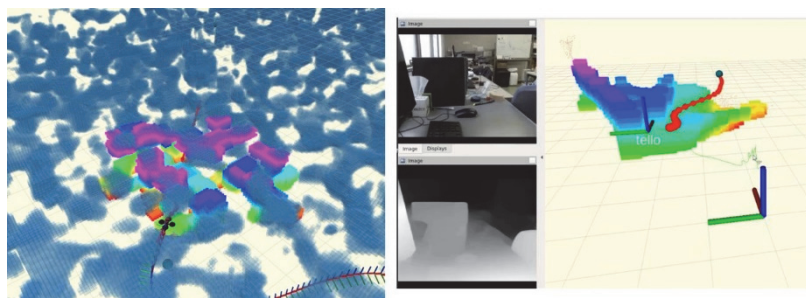
Аппаратная часть включает квадрокоптер DJI Tello edu и одноплатный компьютер с Ubuntu 20.04. Все программные модули реализованы в среде ROS. Компоненты:

- ORB-SLAM3 — визуальный SLAM
- MiDaS — оценка глубины
- EGO-Planner — локальный планировщик
- Python, OpenCV — реализация логики



Архитектура автономной навигационной системы.

EGO-Planner позволяет планировать безопасные траектории в условиях ограниченного обзора и ограниченного времени реакции. В отличие от методов, использующих ESDF, он работает напрямую с градиентной информацией, что повышает скорость и адаптивность.



Работа EGO-Planner в динамической среде
и пример построенной карты местности и облака точек.

Проведены тесты в лабораторных условиях. Система демонстрирует стабильное определение положения, построение карты и успешное избегание препятствий без внешних сенсоров. SLAM и планирование траектории работают в реальном времени на ограниченных ресурсах.

УДК 614.8:629.73

ПОДГОТОВКА ОПЕРАТОРОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА БАЗЕ ФИЛИАЛА ИППК УГЗ

Д.М. БУЛЫГА, Д.Л. СИМИНСКИЙ

филиал «Института переподготовки и повышения квалификации»
Университета гражданской защиты МЧС Республики Беларусь
д. Светлая Роща, Беларусь

В связи с развитием беспилотной авиации в мире и появления новейшего дорогостоящего оборудования Министерство по чрезвычайным ситуациям республики Беларусь активно развивает материально-техническую базу и подготавливает операторов БЛА, которые должны качественно выполнить поставленные задачи по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

В соответствии со ст. 42-1 [1] оператором беспилотного летательного аппарата может быть лицо, имеющее в предусмотренных законодательством случаях сертификат (свидетельство) на право самостоятельного управления беспилотным летательным аппаратом, в том числе входящим в состав беспилотного авиационного комплекса, определенного типа.

В соответствии с п.10 [2] подготовка операторов гражданских БЛА при выполнении полетов в классах С0–С7 осуществляется в утвержденных учреждениях образования авиационного профиля гражданской авиации.

Для подготовки операторов государственных и гражданских БЛА наш институт сертифицирован Департаментом по авиации Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь и Межгосударственным авиационным комитетом (МАК).

Все учебные программы согласованы с заинтересованными службами, Департаментом по авиации, а также некоторые и с Межгосударственным авиационным комитетом (МАК).

На базе филиала ИППК УГЗ реализуется подготовка операторов государственных беспилотных летательных аппаратов (далее – БЛА) по одной образовательной программе «Оператор БЛА мультироторного типа» (для работников, ответственных за эксплуатацию беспилотных летательных аппаратов (мультикоптеров)), а для операторов гражданских БЛА по 3 образовательным программам в зависимости от класса БЛА: *«Подготовка операторов гражданских беспилотных летательных аппаратов классов С0–С4 для выполнения полетов в подкатегориях А1, А2, А3 в условиях умеренного риска»*, *«Подготовка операторов гражданских беспилотных летательных аппаратов в классах С0–С6 при выполнении полетов в условиях повышенного риска»* и *«Переподготовка (переучивание) операторов гражданских беспилотных летательных аппаратов классов С0–С4 подкатегорий А1, А2, А3, в условиях умеренного риска на беспилотные летательные аппараты классов С0–С6, выполняющих полеты в условиях повышенного риска»*.

Только с начала 2025 года в филиале ИППК УГЗ прошли обучение 240 работников ОПЧС и других силовых структур и 134 гражданских специалиста. Все курсанту УГЗ на 3 курсе проходят подготовку на право управления государственными БЛА (на сегодняшний день прошли обучение более 400 курсантов).

В институте имеются профессиональные преподаватели, которые прошли подготовку на право управления БЛА, некоторые прошли подготовку и за рубежом.

На сегодняшний день для подготовки операторов государственных и гражданских беспилотных летательных аппаратов в филиале ИППК УГЗ имеется современная учебно-материальная база, это:

1. Беспилотные летательные аппараты мультироторного типа DJI MAVIC 3T и DJI MAVIC 2.

2. Персональные компьютеры, на которых установлены симуляторы полетов «DJI Flight Simulator» и «Сризфлай», а также программное

средство «Agisoft Metashape Professional» для создания ортофотопланов (3-d моделей объектов) из цифровых снимков, получаемых с БЛА.

3. FPV Очки COBRA для DJI Mavic 3 T.

Полигон разделен на учебные площадки для практической отработки действий операторов БЛА (это около 20 площадок).

Программа подготовки состоит из 40 учебных часов для операторов государственных БЛА и 56 учебных часов для операторов гражданских БЛА, это 5-6 дней. Для иностранных слушателей сроки обучения могут меняться. При подготовке операторов БЛА рассматриваются и отрабатываются следующие основные вопросы: нормативно-правовое регулирование применения БЛА (мультикоптеров), конструкция и эксплуатация БЛА, порядок подготовки к полетам, особенности полета и управления БЛА в различных режимах в зависимости от метеорологических условий, подготовка ортофотопланов (3-d моделей объектов) для решения задач предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, особенности применения БЛА (мультироторного типа) в различных ЧС (для поиска людей в различных условиях местности, при ликвидации загораний в природных экосистемах, населенных пунктах, при ведении радиационной разведки, при оповещении населения в различных ЧС), противодействие БЛА

При организации образовательного процесса учебные группы формируются по 10-15 человек. При этом вначале изучается теоретическая часть: нормативно-правовое регулирование применения беспилотных летательных аппаратов, устройство БЛА, а потом каждый слушатель работает на симуляторе полетов, и только потом допускается к самостоятельному полету на реальном БЛА, где отрабатывает такие задания, как взлет, посадка, выполнение полета по заданному маршруту и по координатам, в том числе в сложных метеорологических (орнитологических) условиях и темное время суток, облет заданного объекта, оповещение, облет объекта с тепловизором, а также проведение аэрофотосъемки объекта и создание ортофотоплана.

По завершению обучения слушатели сдают теоретический зачет по знаниям законодательства по использованию воздушного пространства и устройства БЛА и практический полет (задание на полет слушатель получает только в день зачета).

После успешной сдачи зачета и практического полета слушатель получает свидетельство установленного образца, а иностранный специалист получает еще и сертификат на английском языке.

Для прохождения медицинского обследования операторов гражданских и государственных БЛА в Республике Беларусь имеются разногласия.

В соответствии с п.17 [3] операторы государственных БЛА должны соответствовать требованиям к состоянию здоровья, изложенным в [4].

Для операторов гражданского БЛА требования к состоянию здоровья не определены.

В связи с вышеизложенным, требования для прохождения медицинского осмотра или ВЛК (ВЛЭК) для операторов гражданских БЛА не определены, что требует доработки.

В институте мы активно взаимодействуем с различными компаниями. Совместно с компанией Коптербай проводим практические семинары по 3д моделированию. Совместно с компанией «ЮВР» на базе филиала ИППК УГЗ успешно были проведены испытания по проведению радиационной разведки местности (аэрогаммасъемки) с помощью беспилотного летательный аппарат вертолетного типа «Электрон-7». Эти данные мы также используем в образовательном процессе при подготовке операторов БЛА и работников службы химической и радиационной защиты.

С 2024 года преподаватели кафедры проводят инициативную работу по созданию электронных оперативных планов и карточек объектов для оперативных действий работников ОПЧС при помощи 3D моделей и ортофотопланов. Это позволяет, не выезжая на объект изучать его оперативно-тактическую характеристику, расположение на местности, расположение пожарных гидрантов (водоемов), подъездные путей, основных и эвакуационных выходов, места установки пожарных автоцистерн и АЛ, а также планировать боевые действия подразделений МЧС. Т.е. начальник дежурной смены, двигаясь на пожар, открывает на планшете данный объект и уже в машине может принимать решение на расстановку сил и средств. А при создании ортофотопланов производить мониторинг и прогнозирование развития пожара в экосистеме, определять границы и площади пожара, возможные пути распространения огня, опасность населенным пунктам, а также определять количество, места расстановки сил и средств ОПЧС, а также планировать работу в зоне разрушения и многое другое.

При подготовке операторов БЛА особое значение выделяется данному вопросу, и мы продолжаем работать в этом направлении. Преподаватели разработали пособие «Памятка оператору БЛА» и мобильное приложение, которые также используется слушателя на занятиях и в их служебной деятельности.

Работники кафедры постоянно совершенствуют свои знания и умения, внедряя их в образовательный процесс, на благо безопасности Республики Беларусь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кодекс Республики Беларусь от 16.05.2006 № 117-З (ред. от 05.01.2024) «Воздушный кодекс Республики Беларусь».

2. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28.12.2023 № 972 (ред. от 23.07.2025) «О вопросах государственного учета и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов» (вместе с «Положением о государственном учете и эксплуатации гражданских беспилотных летательных аппаратов», «Положением о порядке подготовки операторов гражданских беспилотных летательных аппаратов»).

3. Постановления Министерства обороны Республики Беларусь от 01.08.2022 № 41 (ред. от 30.09.2024) «Об утверждении Авиационных правил организации и выполнения полетов государственных беспилотных летательных аппаратов Республики Беларусь».

4. Постановление Министерства обороны Республики Беларусь от 07.12.2021 № 28 «Об утверждении Авиационных правил медицинского обеспечения полетов государственных воздушных судов».

II СЕКЦИЯ

**СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, НАВИГАЦИИ,
СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ.
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ,
ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ
В БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМАХ. ВОПРОСЫ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ.**

УДК 004.021

**СРАВНЕНИЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И АЛГО-
РИТМОВ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ**

П.В. БЕРНАЦКИЙ, Е.А. БЛИНОВА

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Сегодня беспилотные летательные аппараты (БПЛА) активно используются для сбора и передачи важной информации. Актуальной является задача защиты данных от перехвата данных или постороннего воздействия. Одним из современных способов решения этой проблемы является использование стеганографических методов. Стеганография представляет собой скрытие цифровых меток в передаваемом наборе информации, которые могут служить разным целям: от контроля целостности передаваемого набора до внедрения секретных данных. Для характеристики стеганографических методов используются метрики емкости (количество символов сообщения, которое может быть передано на бит контейнера), незаметности (характеризующей разницу между исходным и стегоконтейнером) и устойчивости (способности сохранить сообщение при изменениях контейнера).

Одним из часто используемых для передачи информации типов данных являются пространственные данные. Эти данные могут быть представлены в различных форматах, чаще всего используются файлы разметки на основе JSON или XML. Файлы GeoJSON и GML представляют собой текстовую разметку, где в качестве тегов выступают типы пространственных данных (точки, линии, многоугольники и др.), а в качестве значений атрибутов – фактические значения координат пространственных объектов и текстовые, числовые и временные значения.

Для пространственных данных разработаны следующие классы стеганографических методов: методы встраивания в пространственную область, методы изменения объекта в целом, а также методы для изображений, в случае если пространственные данные представлены в виде растровых изображений (например, спутниковые снимки).

Стеганографические методы для пространственных данных в виде растровых изображений обычно представляют собой различные модификации метода LSB для значений пикселей, при применении которых некоторые младшие биты значений заменяются на биты сообщения. Достоинством таких методов является высокая емкость, а недостатком является размер таких изображений.

Методы, изменения объекта в целом представляют собой результат поворота или отражения объекта. Достоинством таких методов является высокая незаметность, а недостатком является, наоборот, низкая емкость.

Наиболее широкий класс представляют собой методы встраивания в пространственную область, основные виды которых представлены в табл.1.

Табл.1. Виды стеганографических методов встраивания в пространственную область

Вид	Принцип действия	Достоинства	Недостатки
Изменение младших разрядов координат	Младшие биты координат, которые имеют наименьшее влияние на точность, заменяются на биты сообщения.	Простота реализации Высокая емкость	Низкая устойчивость (Уязвимы к атакам упрощения объекта; потеря точности)
Изменение порядка вершин	В линейных или полигональных объектах заменяется порядок следования вершин	Сохраняет исходную точность	Низкая емкость Низкая устойчивость (Нарушение топологии)

Изменение атрибутивных данных	Встраивание производится в текстовые или числовые поля атрибутивных таблиц	Высокая незаметность без знания алгоритма	Низкая емкость Низкая устойчивость (Уязвима к атакам редактирования данных)
Изменение топологии объектов	Незначительное изменение координат вершин по определенному алгоритму	Высокая незаметность без знания алгоритма	Низкая устойчивость (Нарушение топологии, потеря точности)
Добавление избыточных вершин	Добавляются новые вершины по определенному алгоритму	Высокая незаметность без знания алгоритма Сохраняет исходную точность	Увеличение размера файла Низкая устойчивость (Уязвимы к атакам упрощения)

Таким образом, в зависимости от существующих ограничений (увеличение размера файла, требования к точности пространственных данных, емкости, незаметности и устойчивости) может быть выбран стеганографический метод или набор стеганографических методов, обеспечивающих безопасную передачу информации.

УДК 621.396.43

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

М.А. БУРОВ, В.А. ЗАХАРЕНКО

Республиканское унитарное предприятие

«Научно-производственный центр многофункциональных
беспилотных комплексов» Национальной академии наук Беларуси
Минск, Беларусь

Появление новых типов антенн для обеспечения качественной связи между беспилотными летательными аппаратами приводит к несколько иной организации подачи сигналов на входы излучателей. На следующем рисунке представлена антенная решетка, состоящая из восьми штыревых излучателей, расположенных по кругу диаметром λ .

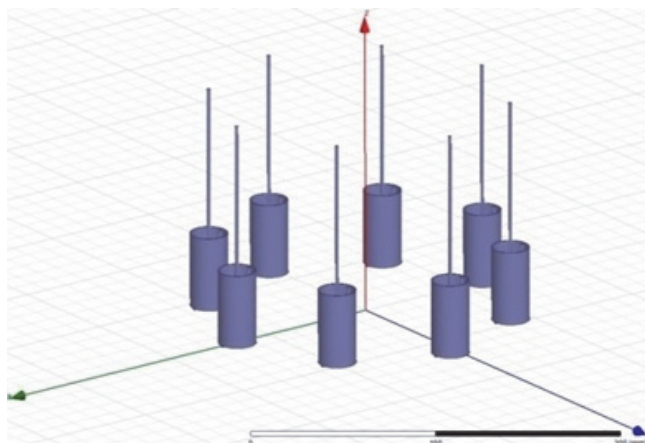


Рис. 1. Антенная решетка для формирования узкой диаграммы направленности

Данная антенная решетка может быть применена для повышенной помехозащищенности связи между двумя беспилотными летательными аппаратами. Для создания узконаправленной диаграммы направленности необходимо обеспечить возбуждение излучателей с отличными друг от друга фазами. Данные фазы занесены в следующую таблицу. 1.

Табл. 1 Фазы возбуждения излучателей антенной решетки

Номер излучателя	1	2	3	4	5	6	7	8
Фаза возбуждения	-180°	$-127,3^\circ$	0°	$127,3^\circ$	180°	$127,3^\circ$	0°	$-127,3^\circ$

Для обеспечения возможности сканирования луча в пространстве, нужно предусмотреть возможность менять распределение данных фаз между излучателями электрическим способом. Для достижения этих целей можно предложить фазовращатель, спроектированный на переключаемых отрезках линий.

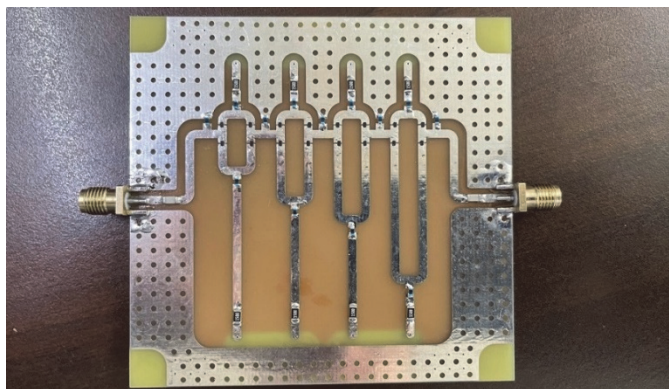


Рис. 2. Фазовращатель на переключаемых отрезках линий

Фазу сигнала можно скачкообразно менять, подавая и снимая напряжение 5В в различных комбинациях с верхних и нижних концов линий фазовращателя.

С помощью набора данных фазовращателей, подключенным ко входам излучателей антенной решетки, можно обеспечить сканирование луча диаграммы направленности в пространстве.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хижа, Г.С., Вендик И.Б., Серебрякова Е.А. СВЧ фазовращатели и переключатели – Москва «радио и связь», 1984 – 184 с.

2. Захаренко, В.А. Пояснительная записка научно-исследовательская работа по заданию 2.13 «Разработка и исследование экспериментального образца бортовой антенной системы с управляемой диаграммой направленности для беспилотных летательных аппаратов самолетного типа», ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций», 2021-2025 годы (этап № 1.2) по теме: обоснование вариантов реализации антенной системы и ее конструкции – Минск 2024 – С. 5,9.

УДК 536.24;623.746

ДВУХФАЗНЫЕ ПРОВОДНИКИ ТЕПЛА ДЛЯ ПАССИВНОГО ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ

Л.Л. ВАСИЛЬЕВ, А.С. ЖУРАВЛЁВ, Д.И. САДЧЕНКО

Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси
Минск, Беларусь

В настоящее время на воздушном, наземном и водном транспорте активно развиваются беспилотные технологии. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) успешно применяются в различных сферах деятельности человека. В гражданском секторе это экономика (строительство, сельское и лесное хозяйство, энергетика, логистика), научные исследования (экологический мониторинг, съёмка и картографирование местности), поисковые и спасательные операции при чрезвычайных обстоятельствах [1, 2].

На борту БПЛА имеется тепловыделяющее оборудование: аккумуляторные батареи, топливные элементы или другие источники энергии, радиоэлектронные системы, специальная аппаратура для выполнения полетного задания. Для охлаждения теплонагруженных объектов

в БПЛА с неподвижным крылом (самолетного типа) используется встречный поток воздуха, в квадрокоптерах воздушный поток создается также вращающимися винтами. Однако при обдуве аппаратуры окружающим атмосферным воздухом требуется оснастить воздушный контур фильтрами и влагоотделителем, а это влечет необходимость установки мощного вентилятора для преодоления дополнительного аэродинамического сопротивления. Как следствие, ухудшаются весовые характеристики аппарата, а на работу вентилятора тратится дефицитная на борту электроэнергия DeWaghter и др.[3], создавшие и испытывавшие беспилотный летательный аппарат с гибридным двигателем, отмечают, что значительная часть мощности теряется на охлаждение топливного элемента, которое можно было бы осуществлять пассивно за счёт набегающего воздуха. Необходимо также иметь в виду, что часть оборудования может быть размещено в герметичном контейнере, и воздухообмен его внутреннего пространства с наружной средой технически сложен. В этом случае могут быть использованы пассивные двухфазные проводники тепла – тепловые трубы (ТТ), рис. 1, и контурные термосифоны (КТС) обладающие более высокой эффективной теплопроводностью, чем металлы, включая медь и серебро [4]. Внутри герметичного корпуса заправленных жидкостью ТТ и КТС реализуется испарительно-конденсационный цикл. Поглощаемое подведенное к испарителю тепло поглощается, приводит к интенсивному парообразованию рабочей жидкости и переносится массой пара в зону конденсации, где пар конденсируется, выделяя поглощенное тепло. В ТТ конденсат под действием капиллярного давления возвращается по фитилю в испаритель, и цикл замыкается. Термосифон (ТС) не имеет капиллярного фитиля, конденсат стекает в испаритель самотеком, поэтому испаритель ТС должен быть расположен ниже конденсатора, что ограничивает область применения ТС. Для ТТ это условие не обязательно. В КТС конденсат также возвращается в испаритель под действием сил гравитации, но при дополнительном воздействии давления пара, поэтому он работоспособен в широком диапазоне углов наклона.

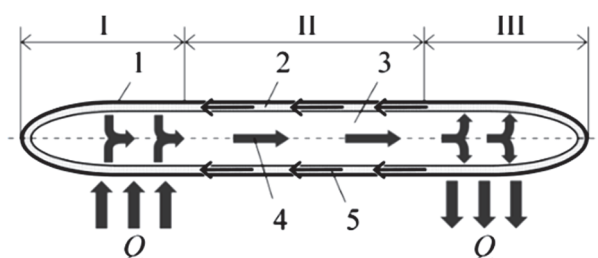


Рис. 1. Тепловая труба: I – испаритель, II – адиабатическая зона, III – конденсатор, 1 – корпус, 2 – капиллярный фитиль, 3 – паровой канал, 4 – пар, 5 – жидкость, Q – тепловой поток.

Тепло от конденсатора ТТ и КТС отводится охлаждающей жидкостью или потоком воздуха, то есть это комбинированная система охлаждения. В воздушной и жидкостной системах необходимо подвести хладагент к охлаждаемому объекту, что удлиняет и искривляет воздушный тракт, повышая гидравлическое сопротивление, а ТТ и КТС позволяют без энергозатрат доставить тепло в зону, удобную для расположения воздушного радиатора либо жидкостного теплообменника. Пример успешных летных испытаний системы терморегулирования на основе КТС на самолёте Embraer [5] позволяет сделать прогноз о перспективности подобных технологий для БПЛА.

На рис. 2 представлены общий вид и схема КТС с двумя плоскими испарителями. Все детали устройства изготовлены из алюминиевых сплавов. Конструкционный материал выбран с учетом его весовой характеристики и механических свойств. Вертикально расположенные испарители 1 и 2 состоят из отдельных мини-каналов и объединены паровым и жидкостным коллекторами. Мини-каналы разделены тонкими ребрами толщиной 1 мм, которые увеличивают площадь поверхности теплообмена и, соответственно, скорость испарения рабочей жидкости. Потоки пара и жидкости в КТС разделены: пар перемещается в конденсатор по паровой трубке 5, конденсат возвращается в испаритель по жидкостной трубке 8. Отсутствие трения между паром и жидкостью благоприятно влияет на гидродинамику фазопеременного потока в контуре, что положительно влияет на теплопередающую способность устройства. Соотношение внутренних диаметров паровой и жидкостной трубок составляет 2:1, это гарантирует отсутствие реверсного движения пара и блокировки жидкостной трубки.

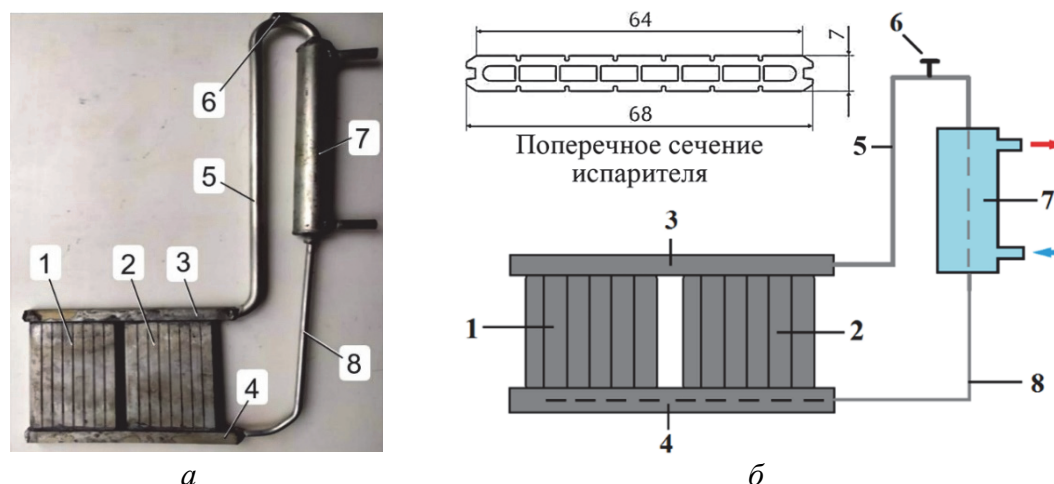


Рис. 2. Фотография (а) и схема (б) термосифона с двумя испарителями:

1, 2 – испарители; 3 – паровой коллектор; 4 – жидкостный коллектор; 5 – паровая трубка; 6 – заправочный штуцер; 7 – конденсатор; 8 – жидкостная трубка.

Термосифон исследован с ацетоном в качестве рабочей жидкости и жидкостным теплообменником на конденсаторе, возможно также использование воздушного радиатора. Результаты показали, что КТС и его основные компоненты (испарители и конденсатор) обладают низкими термическими сопротивлениями $R_{\text{КТС}} = (\bar{T}_{\text{и}} - \bar{T}_{\text{к}})/Q$, $R_{\text{и}} = (\bar{T}_{\text{и}} - T_{\text{п}})/Q$ и $R_{\text{к}} = (T_{\text{п}} - \bar{T}_{\text{к}})/Q$, где $\bar{T}_{\text{и}}$ и $\bar{T}_{\text{к}}$ – усредненные температуры поверхностей испарителя и конденсатора. Термосифон обладает хорошей динамикой запуска и реакцией на тепловые нагрузки. На рис. 3 приведены характеристики, полученные при одном теплонагруженном испарителе 1, однако эксперименты показали, что стабильность работы КТС сохраняется при асимметричном подводе тепла к поверхностям обоих испарителей. При подаче тепловой нагрузки на испаритель 2 температура испарителя 1 практически не изменяется.

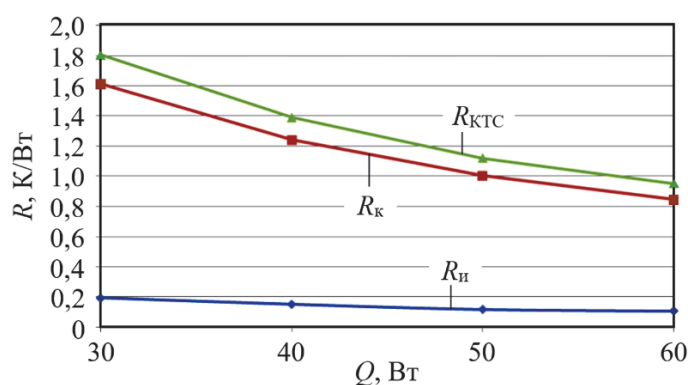


Рис. 3. Значение термических сопротивлений теплонагруженного испарителя 1 ($R_{\text{и}}$), конденсатора ($R_{\text{к}}$) и полное сопротивление КТС ($R_{\text{КТС}}$) при различных тепловых нагрузках.

Устройство обладает хорошими теплопередающими свойствами и может быть применено для терморегулирования оборудования БПЛА. Плоская форма приемников тепла удобна для присоединения к ним теплонагруженных объектов, на каждом испарителе возможно расположение источников тепловыделения разной мощности. Трубопроводы малого диаметра легко гнутся, что облегчает монтаж КТС в условиях конструкции БПЛА. Целесообразность использования ТТ и КТС определяется сравнительным анализом весовых характеристик таких пассивных устройств и таких компонентов, как воздушные фильтры, влагоотделители и вентиляторы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспилотные аппараты «БПЛА – 2024»: сб. ст. Междунар. Молодежн. форума. Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорус. гос. технол. ун-т; отв. за изд. И. В. Войтов. Минск: БГТУ, 2024. – С. 78–149.

2. Обзор беспилотных авиационных систем доставки грузов / Е.В. Соломин, А. С. Мартыянов, Х.Шахин [и др.] // Сибирский аэрокосмический журнал. – 2025. – Т. 26, № 2. – С. 264–290.
3. TheNederDrone: Ahybridlift, hybridenergyhydrogenUAV / C. De Waghter, B. Remes, E. Smeur[etal.] // InternationalJournal of Hydrogen Energy. – April 2021. – Vol. 46, Issue 29. – P. 16003–16018.
4. Vasiliev, L. Two-phase heat conductors for passive thermal regulation systems of electric vehicles / L. Vasiliev, A. Zhuravlyov, D. Sadchenko // MechanicalEngineeringAdvances. – 2025. – 3(2). – 2052.
5. In-flight testing of loop thermosyphons for aircraft cooling / L. G. Oliveira, C. Tecchio, K. V. Paiva [et al.] // Applied Thermal Engineering. – 2016. – Vol. 98, 5 April. – P. 144–156.

УДК 355.424

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СОВРЕМЕННОЙ ВОЙНЕ

Л.Л. ЖАРКЕВИЧ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

В последние годы все большее распространение в современной войне получает использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Беспилотный летательный аппарат – это летательный аппарат многоразового или условно-многоразового использования, не имеющий на борту экипажа (человека-пилота) и способный самостоятельно целенаправленно перемещаться в воздухе для выполнения различных функций в автономном режиме (с помощью собственной управляющей программы) или посредством дистанционного управления (осуществляемого человеком-оператором со стационарного или мобильного пульта управления [1, с. 13, 17-18; 2, с. 13]. Беспилотные летательные аппараты прочно прописались на поле современного боя, а точнее, в небе над театром боевых действий. Эти летательные аппараты стали неотъемлемой частью военных arsenалов по всему миру, предоставляя ряд возможностей, которые ранее

были невозможны или непрактичны. Беспилотные летательные аппараты используются для различных целей, включая наблюдение, сбор разведывательной информации и точечные удары, и применялись в самых разных конфликтах – от контртеррористических операций до крупномасштабных обычных военных действий.

Специальная военная операция, проводимая Российской федерацией на Украине, характеризуется беспрецедентным масштабом применения беспилотников: тысячи беспилотных летательных аппаратов использовались и используются для отслеживания сил противника, наведения артиллерии и бомбардировки целей. Из выполняющих специализированные функции они превратились в одно из наиболее важных и широко используемых средств поражения на поле боя.

Также широкое применение в специальной военной операции получили FPV-дроны. Крошечный недорогой беспилотник FPV (вид от первого лица) зарекомендовал себя как одно из самых мощных средств поражения в этом конфликте, где обычные боевые самолеты встречаются относительно редко из-за плотной концентрации зенитных систем вблизи линии фронта. Беспилотники, изначально разработанные для гражданских гонщиков, управляются пилотами на земле и часто врезаются в цели, начиненные взрывчаткой. Общая стоимость компонентов беспилотника, включая взрывчатую боеголовку, закрепленную с помощью кабельных стяжек, может составлять всего 500 долларов или меньше.

Дроны FPV взлетают с импровизированных платформ в нескольких километрах от линии фронта. В зависимости от их размера, аккумулятора и полезной нагрузки, дальность полета варьируется от 5 км до 20 км и более.

Солдат управляет дроном с помощью пульта дистанционного управления и гарнитуры, которая позволяет ему видеть вид с камеры. Тем временем другой солдат смотрит на планшетный компьютер с картами и указывает направление движения. Пролетев над линией фронта, пилот обнаруживает цель – танк. Они выбирают одну из его наиболее уязвимых частей – открытый люк, двигатель или боеприпасы, хранящиеся в башне. Как правило, цель уже была обнаружена разведывательным дроном, и FPV-система проносилась прямо к ее местоположению и на высокой скорости приближалась к цели. Таким образом FPV-дроны могут эффективно уничтожать дорогостоящие артиллерийские орудия или танки стоимостью в миллионы долларов, и демонстрирующие их преобразующую роль в современной войне.

Поскольку беспилотники FPV наведены на цель, они намного точнее большинства артиллерийских систем. Это позволяет им преследовать и поражать движущиеся транспортные средства, которые в противном случае смогли бы уклониться от снарядов. Однако традиционные снаряды все равно могут наносить гораздо более сильный взрывной удар, чем боеголовки беспилотников меньшего размера.

В длительном и масштабном военном конфликте ключевое значение имеют затраты: чем меньше ресурсов будет использовано для уничтожения цели, тем лучше. FPV-дроны, а также их собратья, способные сбрасывать бомбы, обладают рядом существенных преимуществ перед большинством других видов вооружения. Стоимость FPV-дрона может быть меньше, чем стоимость одного артиллерийского снаряда, и он более точен. Тем не менее, технология беспилотных летательных аппаратов наиболее эффективна при использовании в сочетании с другими видами вооружения.

Однако относительно использования дронов FPV сложился определенный миф. Кроме того, не следует переоценивать их поражающие способности, поскольку боевая часть FPV-дрона весит около 1 кг. Таким образом, если сравнивать FPV-дрон с противотанковой ракетой, то уничтожить танк с помощью дрона-камикадзе гораздо сложнее. Конечно, залететь в люк можно, но это случается редко. Объективно, эффективное попадание в танк с помощью FPV-дрона требует сочетания нескольких факторов. Поэтому беспилотники FPV более эффективны для нанесения ударов по живой силе противника – залета на командно-наблюдательный пункт или артиллерийскую позицию, уничтожения огневой точки и так далее.

FPV-дроны существенным образом изменили характер боевых действий. Теперь любые перемещения людей и техники можно выполнять лишь в условиях строжайшего контроля за воздушной обстановкой, причём как днём, так и ночью. Ситуация на поле боя сегодня такова, что наступление роты может быть остановлено с огромными потерями для неё, всего пятью-шестью операторами БЛА [3].

В то же время дроны FPV несколько более устойчивы к средствам радиоэлектронной борьбы, поскольку можно регулировать частоты управления и передачи изображения в более широком диапазоне и использовать аналоговую передачу видео вместо цифровой, что делает их более гибкими, чем гражданские квадрокоптеры. Однако управлять дроном FPV значительно сложнее. В то время как базовый курс обучения управлению квадрокоптером типа Mavic составляет пять дней, освоение FPV-дрона занимает не менее двух-трех недель, если не больше. Кроме того, к операторам FPV-дронов

предъявляются гораздо более строгие требования в отношении скорости реакции, ловкости пальцев и даже силы их вестибулярного аппарата, поскольку некоторые из них испытывают головокружение. Так, те, кого укачивает во время езды в автомобиле, не смогут управлять FPV-дроном в защитных очках.

В настоящее время дроны относительно легко обнаруживаются и отслеживаются радарными системами. Использование современных материалов и конструкций потенциально может затруднить обнаружение и отслеживание дронов, что повысит их эффективность в разведывательных и наблюдательных миссиях. Кроме того, существует потенциал для оснащения беспилотников новыми типами датчиков и оружия, такими как лазерные системы и средства радиоэлектронного подавления, что еще больше расширит их возможности в будущих военных операциях.

Таким образом можно сделать вывод, что достижения в области систем автономного полета дронов, искусственного интеллекта и миниатюризации, вероятно, приведут к дальнейшему развитию возможностей и применения беспилотных летательных аппаратов в будущих военных операциях. Рассматриваемая тактика применения беспилотных летательных аппаратов считается очень перспективной и в будущем открывает для военных практически неограниченные возможности на поле боя, позволяя вести успешную и эффективную разведку и позволяя уверенно поражать наземные цели с минимальными материальными и, что еще более важно, людскими потерями. Войны будущего всё больше представляются как войны машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние / В.С. Фетисов, Л.М. Неугодникова, В. В. Адамовский, Р.А. Красноперов. Под ред. В.С. Фетисова. – Уфа: ФОТОН, 2014.

2. Основные направления развития беспилотных летательных аппаратов зарубежного и отечественного производства. Аналитический обзор. – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 2016.

3. Буренок В.М. Формирование новых взглядов на применение беспилотных летательных аппаратов на основе анализа опыта специальной военной операции // Вооружение и экономика. 2024. №1 (67). С. 5–8.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ СИНТЕЗА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Н.А. ЖИЛЯК

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Актуальность проблемы. В настоящее время получили широкое распространение и продолжают быстро развиваться области, связанные с обеспечением надежности радиотехнических средств и, в частности спутниковых систем сбора, обработки информации и оперативной связи.

Средства, обеспечивающие навигацию: спутниковые навигационные приемники, станции с дифференциальным режимом (контрольно-корректирующие станции), аппаратура обслуживания принимают и обрабатывают информацию из радионавигационного поля и решают задачи в соответствии с функциональным назначением. Сигналы навигационных спутников, как на спутниках, так и в навигационных приемниках потребителя подвергаются специальной обработке для эффективной передачи, поиска, обнаружения, слежения, измерения в условиях помех данных без потери информации. Поэтому как системы связи, так и системы вторичной обработки информации следующего поколения требуют *высокой скорости передачи и обработки информации, надежности технических средств* [1]. Задача обеспечения надежных характеристик вновь создаваемой аппаратуры и уже находящихся в использовании радиотехнических средств и средств обработки информации решается путем проведения полунатурных испытаний, позволяющих в лабораторных условиях имитировать реальные условия эксплуатации оборудования. Проведение таких испытаний становится возможным путем использования автоматизированных систем испытаний, содержащих в своем составе специализированные вычислительные устройства для моделирования различных воздействий на объект испытаний и специализированного программного обеспечения. Одним из основных требований к таким системам и их структурным компонентам, так же как и к системам обработки информации, является требование реализации вычислительного процесса в реальном масштабе времени. Таким образом, как системы испытаний беспилотного оборудования и их структурные компоненты, так и системы обработки

информации радионавигационных и радиолокационных систем представляют собой вычислительные системы реального времени, т.е. ВС, работающих в режиме реального времени – режиме обработки данных, при котором взаимодействие ВС с внешними по отношению к ним процессам осуществляется в моменты, определяемые скоростью протекания этих процессов [2].

С помощью матричных, векторных параллельных многопроцессорных вычислительных систем, а также реализации параллельных алгоритмов и программ можно успешно решать задачи, сводящиеся к задачам линейной алгебры [2].

Однако большинство реальных процессов и систем описывается более сложными математическими моделями, реализация которых подразумевает создание специализированных, или функционально-ориентированных, вычислительных систем (ВС), реализующих соответствующие алгоритмы. При этом разнообразие задач и математических моделей из разных отраслей требует индивидуальной разработки соответствующих средств вычислительной техники. Нетрадиционность решаемых в ходе проектирования проблем и значительная трудоемкость проектирования, потребность в макетировании связаны со значительными материальными затратами и обуславливают необходимость использования при проектировании специализированных вычислительных систем единого методологического подхода.

Среди известных формальных методов синтеза средств вычислительной техники наибольшее распространение получил метод синтеза цифровых автоматов, являющийся эффективным способом проектирования логических схем, управляющих устройств, логического синтеза каскадных схем. Однако для синтеза вычислительных систем, ориентированных на реализацию аналитических выражений небулевого характера или алгоритмов, этот метод является принципиально непригодным.

Проектирование вычислительных устройств возможно с использованием логико-комбинаторного подхода к синтезу структур сложных систем. Однако ориентация этого подхода на комбинации элементов известных технических решений с последующим выбором оптимальной структуры сводит эту методологию к обыкновенному анализу и не обеспечивает нахождения нетрадиционных перспективных решений.

Кроме того, ни один из известных формальных подходов к проектированию технических средств вычислительной техники не учитывает требований реализации вычислительного процесса в реальном масштабе времени.

Вышесказанное обуславливает необходимость разработки математических методов синтеза вычислительных систем на основе ма-

тематических моделей или алгоритмов их функционирования с учетом требований реализации вычислительного процесса в реальном времени.

Требование реализации режима реального времени обуславливает при проектировании таких ВС в качестве основной решение задачи обеспечения временных соотношений между их компонентами как основы построения таких ВС, поэтому доминирующую роль в предложенных методах занимает концепция организации вычислительного процесса в реальном времени, в то время как вопросы пространственного построения ВС РВ могут стать темой дальнейших исследований в этой отрасли.

Вторая особенность ВС, на проектирование которых должны быть направлены подлежащие разработке методы, также связана с требованиями режима реального времени, согласно с которыми должна обеспечиваться обработка данных сразу после их поступления, а также выдача результатов или управляющей информации в требуемые интервалы времени параллельно для разных внешних объектов. В этом случае будем ориентироваться на параллельно-конвейерные вычислительные архитектуры – архитектуры с множественными потоками данных, обработка которых по параллельным ветвям подразумевает конвейеризацию.

В целом, проектируемые ВСРВ отличаются наличием множества путей обработки данных, каждый из которых одновременно независимо от других выполняет последовательность действий по реализации программы, которую предполагается заложить в структуру данной ВС. Требования реализации каждым из выделенных путей своих функций в реальном масштабе времени может быть удовлетворено использованием основных архитектурных принципов достижения высокой производительности – конвейеризации и параллелизма. Согласно классификации Флинна, параллельные системы относятся к архитектурам класса ОКМД (одиночный поток команд – множественный поток данных); конвейерные системы, согласно современным концепциям, относят к архитектурам класса МКОД (множественный поток команд – одиночный поток данных). Сочетание этих двух принципов архитектурной организации в системах, для синтеза которых предлагается данная теория, позволяет отнести эти технические средства к системам класса МКМД (множественный поток команд – множественный поток данных). Как отмечается в современной литературе и Internet-источниках, единого теоретического подхода к проектированию систем такого класса нет [4–6]. Таким образом, проблема разработки формальных методов синтеза ВСРВ и алгоритмов на их основе является актуальной, и реализация предлагаемой программы позволит восполнить указанный пробел в теории вычислительных систем.

В разрабатываемой научной продукции планируется заинтересовать организации и учреждения республиканских министерств и ведомств, ведущих работы по оборонным программам, а также обеспечить подготовку специалистов для соответствующей отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жилияк, Н. А. Синтез вычислительных структур реального времени / Н. А. Жилияк // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: материалы Междунар. науч.-тех. конф., Минск, 6–8 июня 2006г. // Белорус. гос. технол. ун-т – Минск, 2006. – С. 208–211.
2. Коуги, П. Архитектура конвейерных ЭВМ. М.: Радио и связь, 1985. 567 с.
3. Кобайло А.С. Теория синтеза вычислительных систем реального времени. Минск: БГТУ, 2010. 256 с.
4. Воеводин В.В., Воеводин Вл.,В. Параллельные вычисления. Издательство БХВ-Петербург, 2002. 609 с.
5. Лосев, С.А. Системы реального времени. Спб.: Балт. гос. ун-т, 2007 – 84 с.
6. Гома Хассан. UML. Проектирование систем реального времени параллельных и последовательных приложений. М.: ДМК Пресс, 2016 – с.

УДК 629.735.05

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОПТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ «ОПТИНАВ»

**А.В. АВЕРИН¹, И.А. КОСТИН², Н.В. ПАНОКИН²,
А.В. КАРЛОВСКИЙ²**

¹ООО «Техсайенс»

²Московский политехнический университет
Москва, Россия

Широкое применение беспилотных летательных аппаратов создало потребность в надежных навигационных системах, функционирующих независимо от ГНСС. Отсутствие спутниковых сигналов в городской застройке, подземных сооружениях и горной местности, а также уязвимость к спуфинг-атакам и радиопомехам стимулировали разработку альтернативных методов навигации.

Предлагаемая система использует фотореалистичное 3D-моделирование для создания эталонных данных визуальной локализации. Подход применяет Unreal Engine 5 для генерации синтетических изображений, сопоставляемых с потоками камер в реальном времени, обеспечивая визуальную одометрию и коррекцию абсолютного позиционирования.

Архитектура системы визуальной навигации состоит из трех взаимосвязанных компонентов: конвейера 3D-моделирования окружающей среды, который генерирует фотореалистичные эталонные наборы данных; алгоритма визуальной навигации в реальном времени, который обрабатывает потоки камер в реальном времени; платформы валидации, которая обеспечивает комплексное тестирование в смоделированных и реальных средах.

Конвейер моделирования начинается с автоматизированного получения высокоразрешающих спутниковых снимков из общедоступных картографических сервисов. В зависимости от заданной высоты полета используются ортофотопланы с пространственным разрешением до 0,5 метра на пиксель для обеспечения достаточной детализации для извлечения визуальных признаков.

Алгоритм визуальной навигации состоит из трех основных блоков обработки, выполняемых параллельно для достижения производительности в реальном времени: извлечение и сопоставление признаков, оценка движения и преобразование координат, коррекция абсолютного положения. Система реализует гибридный подход, объединяющий классические детекторы признаков (ORB, SIFT) с методами на основе глубокого обучения — в частности, архитектурами SuperPoint и LightGlue.

Система визуальной навигации была реализована и протестирована с использованием пользовательской платформы БПЛА, оснащенной двумя камерами и встроенной вычислительной системой. Основной бортовой компьютер Orange Pi 5 обеспечивал 6 TOPS вычислительной производительности для алгоритмов ИИ. Камеры переднего обзора и надирная камера имели разрешение 1920×1080 с полями зрения 135 и 120 градусов соответственно.

Обширное симуляционное моделирование было проведено с использованием 3D-моделей районов Северное Бутово и Ясенево в Москве. Эти городские области обеспечили разнообразные тестовые среды, включая высотные жилые здания, коммерческие структуры и смешанные застройки.

В условиях моделирования система визуальной навигации достигла точности горизонтального положения с СКО 15-25 метров во

время устойчивого полета, точности оценки высоты с СКО 5-10 метров, частоты обновления навигационного вектора не менее 1 Гц. Эти результаты представляют значительное улучшение по сравнению с корреляционными подходами, которые обычно накапливают 2-5% ошибку относительно пройденного расстояния.

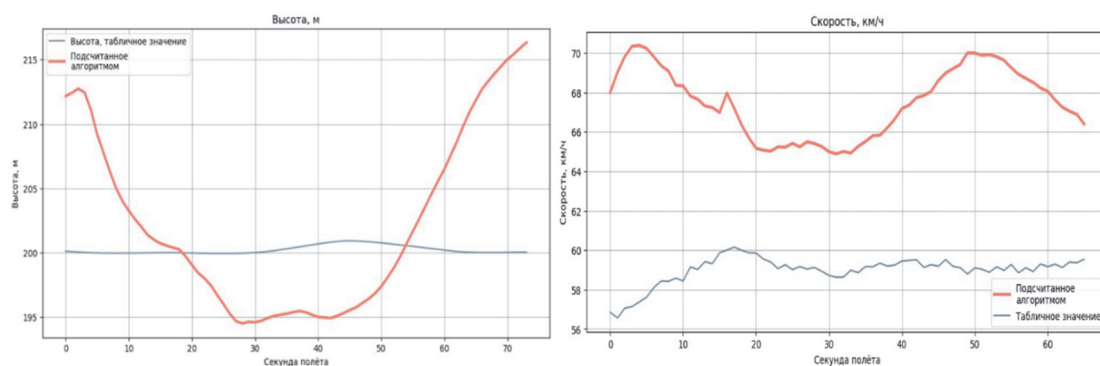
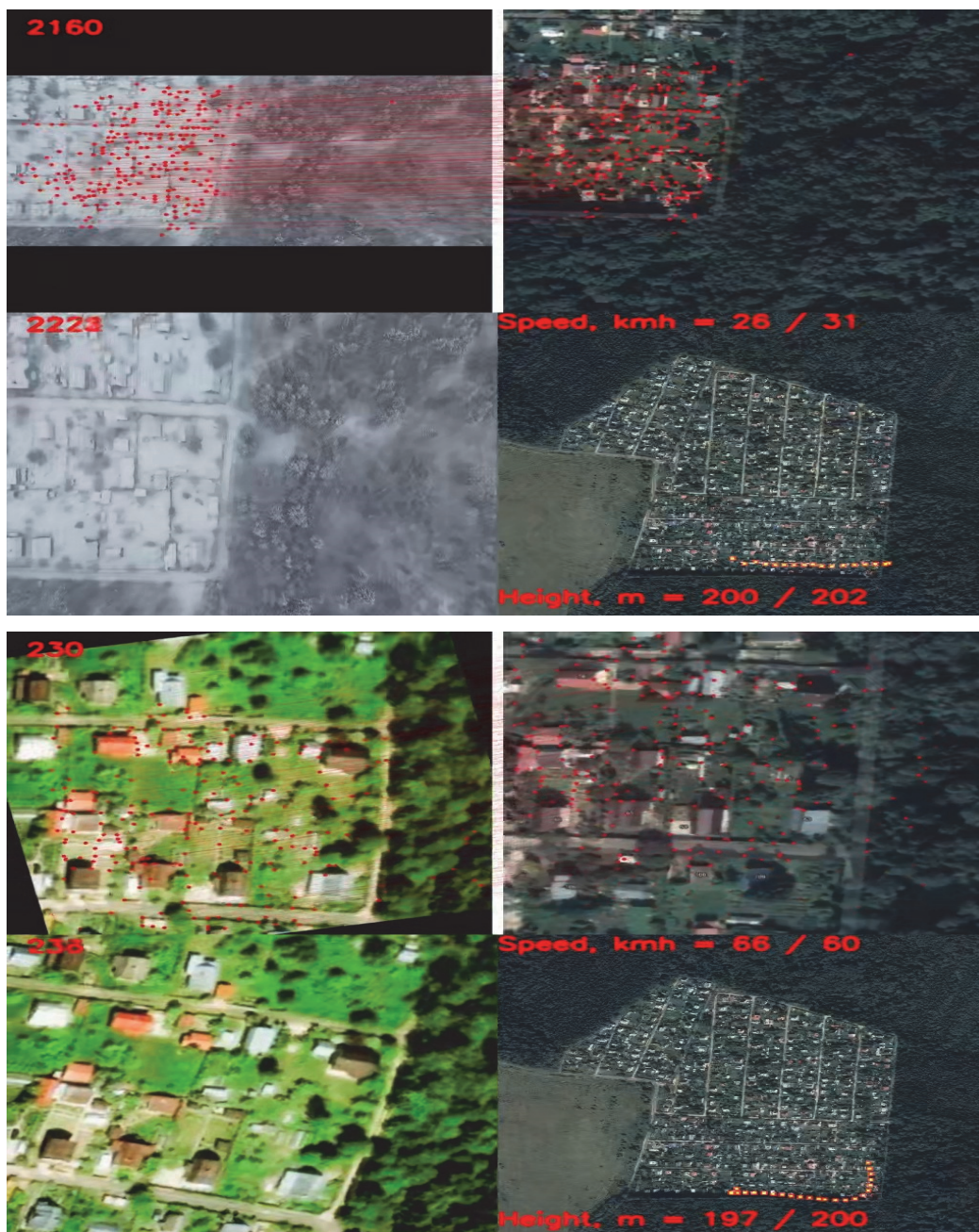
Полевая валидация проводилась в течение 6-месячного периода с прогрессивным усложнением тестовых сценариев. В общей сложности было накоплено 45 часов полета в различных условиях окружающей среды и эксплуатационных сценариях.



Рис. 1. Изображение с курсовой камеры в среде Unreal Engine 5

Проведенные исследования подтвердили техническую осуществимость интеграции Unreal Engine 5 с алгоритмами визуальной навигации, что позволило обеспечить точность навигации с среднеквадратическим отклонением не более 20 метров по горизонтали и не более 10 метров по вертикали в эксплуатационных условиях. Применение подхода «сначала моделирование» продемонстрировало высокую эффективность разработки, существенно сократив потребность в полевых испытаниях при сохранении уверенности в производительности системы для натурных экспериментов.

Проведенные исследования подтвердили техническую осуществимость интеграции Unreal Engine 5 с алгоритмами визуальной навигации, что позволило обеспечить точность навигации с среднеквадратическим отклонением не более 20 метров по горизонтали и не более 10 метров по вертикали в эксплуатационных условиях. Применение подхода «сначала моделирование» продемонстрировало высокую эффективность разработки, существенно сократив потребность в полевых испытаниях при сохранении уверенности в производительности системы для натурных экспериментов.



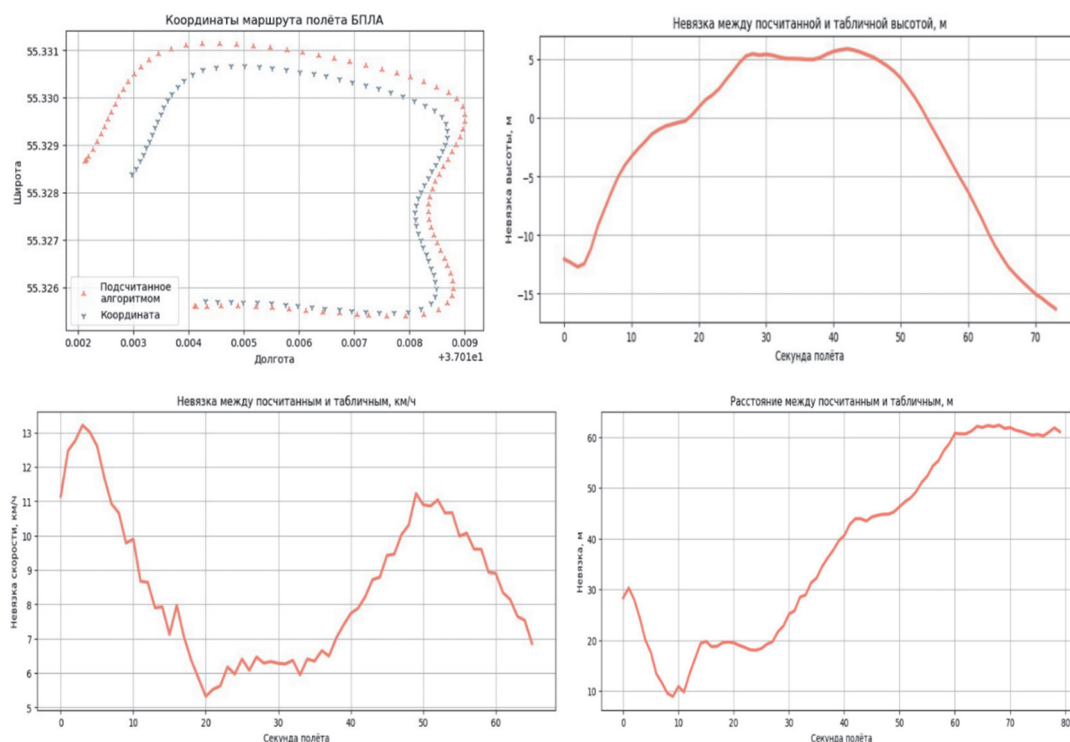


Рис. 2. Моделирование и реальный пролет БПЛА на одной и той же местности для верификации результатов работы алгоритма оптической навигации

Полевые испытания, проведенные в течение 45 часов полета, подтвердили эксплуатационную жизнеспособность разработанной системы и ее способность поддерживать автономные миссии в городских средах с частотой успешного завершения миссий на уровне 95-96%. Полученные результаты свидетельствуют о готовности системы к практическому применению в условиях ограниченной доступности сигналов глобальных навигационных спутниковых систем.

Данный подход представляет практический путь для разработки алгоритмов в условиях ограниченных исследовательских ресурсов и обеспечивает значительные преимущества перед традиционными методами счисления пути, представляя надежную альтернативу ГНСС-зависимым навигационным системам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Jensen, N.I., Budge S.E. GPS-denied navigation using location estimation and texel image correction for unmanned aerial vehicles / N.I. Jensen, S.E. Budge // Journal of Unmanned Vehicle Systems. – 2023. – Vol. 11. – № 2. – P. 145-158.
2. Яо Ф., Лань Ч., Ван Л., Ван Х., Гао Т., Вей З. GNSS-denied geolocalization of UAVs using terrain-weighted constraint optimization /

Ф. Яо, Ч. Лань, Л. Ван, Х. Ван, Т. Гао, З. Вей // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2024. – Vol. 135. – P. 104277.

3. Шах, Ш., Дей, Д., Ловетт, К., Капур, А. AirSim: High-fidelity visual and physical simulation for autonomous vehicles / Ш. Шах, Д. Дей, К. Ловетт, А. Капур // Field and Service Robotics: Results of the 11th International Conference. – Cham: Springer, 2018. – P. 621-635.

4. Чапек Д., Грнчир Я., Бача Т., Йиркал Я., Вонасек В., Пеничка Р., Саска М. FlightForge: Advancing UAV research with procedural generation of high-fidelity simulation and integrated autonomy / Д. Чапек, Я. Грнчир, Т. Бача, Я. Йиркал, В. Вонасек, Р. Пеничка, М. Саска // 2025 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA 2025). – 2025. – P. 1-7. [Электронный ресурс] // arXiv preprint arXiv:2502.05038.

5. Рани П., Сингх А., Кумар М. Vision-based navigation challenges and solutions for autonomous UAVs / П. Рани, А. Сингх, М. Кумар // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. – 2024. – Vol. 60. – № 3. – P. 2456-2468.

6. Панокин Н.В., Аверин А.В., Костин И.А., Карловский А.В., Орелкина Д.И., Наливайко А.Ю. Method for sparse representation of complex data based on overcomplete basis, l1 norm, and neural MFNN-like network / Н.В. Панокин, А.В. Аверин, И.А. Костин, А.В. Карловский, Д.И. Орелкина, А.Ю. Наливайко // Applied Sciences. – 2024. – Vol. 14. – № 5. – P. 1959. DOI: 10.3390/app14051959.

УДК 004.021

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СПЛАЙНЫ

А.С. КОВАЛЕВИЧ, Е.А. БЛИНОВА

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Стеганография — область, занимающаяся методами сокрытия факта передачи информации, часто применяемая для защиты авторских прав, маркировки цифровых данных и обеспечения конфиденциальности. В отношении изображений наиболее широко распространены пиксельные и частотные методы: LSB-встраивание, методы на основе дискретного косинусного преобразования, дискретного вейвлет-преобра-

зования и их модификации [1]. Однако, поскольку такие методы подвержены искажениям при сжатии, фильтрации или масштабировании изображения, для контроля целостности могут быть использованы комбинации методов, каждый из которых применяется к определенным параметрам изображения. Один из методов применяется для размещения контрольной метки или скрытого сообщения, а второй служит для размещения контрольной суммы метки или контрольного сообщения соответственно [3, 4].

Векторные изображения могут использовать в своем описании сплайны — гладкие кривые, которые задаются с помощью набора контрольных точек и математических функций. Сплайны не обязательно проходят через контрольные точки, они определяют внешний вид и поведение сплайновой кривой. Сплайны используются в компьютерной графике и обработке изображений для построения кривых и поверхностей. При этом форма кривой или поверхности определяется не отдельными пикселями изображения, а системой математических функций, каждая из которых отвечает за локальный участок кривой или поверхности. Такой подход позволяет изменять форму локально: небольшие корректировки отдельных контрольных точек не влияют на все изображение в целом. В компьютерной графике это свойство используется для построения и редактирования изображений с высокой точностью.

В изображениях используются интерполяционные и аппроксимирующие типы сплайнов. Интерполяционные сплайны точно проходят через заданные точки, и могут применяться для масштабирования геопространственных данных, где важна точность. Аппроксимирующие сплайны не проходят через все контрольные точки, а лишь сглаживают их. К такому виду относятся сплайны Безье, B-сплайны, NURBS. Для отображения сложных поверхностей используются так называемые сплайновые поверхности, контрольные точки которых образуют не линию, а поверхность.

Для задач стеганографии важным является то, что параметры сплайнов можно модифицировать в пределах допустимых значений, сохраняя визуальное качество изображения. Это открывает возможность внедрения скрытых цифровых меток в структуру аппроксимации, что повышает устойчивость метода к различным преобразованиям по сравнению с традиционными пиксельными подходами. Сплайновые методы стеганографии находят применение в самых разных сферах. Они могут использоваться для защиты авторских прав и маркировки цифровой графики, обеспечивая возможность скрытой идентификации изображений без заметного ухудшения их качества. Перспективным направлением является внедрение водяных знаков в пространственные

данные, медицинские и научные изображения, где помимо высокой точности требуется сохранение достоверности визуальной информации. Кроме того, подобные методы применимы при передаче изображений в открытых сетях, которые подвержены воздействию шума и различным преобразованиям, что требует особой устойчивости встраиваемых меток.

Использование сплайновых аппроксимаций открывает новые возможности для стеганографии изображений. Смещение акцента с пиксельных представлений на параметрические модели позволяет повысить устойчивость методов к атакам и преобразованиям, сохраняя при этом визуальное качество. Перспективным направлением остаётся поиск баланса между скрытностью, ёмкостью и вычислительной эффективностью таких алгоритмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лобач, С.В. Стегоанализ графических изображений: учебное пособие / С.В. Лобач. – Минск: БГУИР, 2012. – 68 с.
2. Блинова, Е. А. Стеганографический метод для встраивания идентификатора в пространственные данные электронной карты / Е.А. Блинова, И.Ю. Сташевская, П.П. Урбанович – Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика, 2023. – № 1. – С. 76-87.
3. Блинова, Е.А. Стеганографический метод на основе встраивания скрытых сообщений в кривые Безье изображений формата SVG/ Е.А. Блинова, П.П. Урбанович – Журнал Белорусского государственного университета. Математика. Информатика, 2022. – № 3. – С. 68–83.

УДК 623.454.862

ОСОБЕННОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ИСПЫТАНИЙ И ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ И АППАРАТУРЫ АЭРОГАММА-СЪЕМКИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ

В.А. КОЖЕМЯКИН

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»
Минск, Беларусь

Широкое распространение беспилотных систем обуславливает увеличивающийся интерес к их оснащению приборами и аппаратурой

аэрогамма-съемки местности. Предприятие «АТОМТЕХ», имея значительный опыт в разработке, модернизации и испытаниях подобных средств радиационного контроля, продолжает работу в этом направлении, учитывая целевые функции применения подобной аппаратуры, при этом базируется на использовании спектрометрических и дозиметрических блоков детектирования интеллектуального типа собственной разработки и производства, оптимально комплексируемых в состав тех или иных беспилотных систем [1-4].

Назначение технических средств аэрогамма-съемки:

- дистанционная разведка и контроль радиационной обстановки на радиоактивно загрязненной местности вследствие ядерных инцидентов;
- мониторинг радиационной обстановки на местности в зоне АЭС и предприятий по хранению и переработке радиоактивных отходов;
- поиск, обнаружение и локализация точечных источников гамма-излучения, радиоактивно загрязненных конструкций, устройств и их элементов, локальных радиоактивных пятен на местности;
- геофизическая разведка в части поиска и картографирования месторождений урановых руд.

Решаемые задачи:

- измерение радиационных уровней на высотах полета;
- приведение измеренных значений мощности дозы к уровню 1 м от поверхности объекта;
- идентификация радионуклидного состава по измеренным гамма-спектрам;
- оценка активности и плотности поверхностного загрязнения.

Исследования и использование их результатов в проектировании и создании аппаратуры включали:

1. Математическое моделирование процессов переноса гамма-излучения в воздушной среде с учетом влияния множества факторов, влияющих на перенос гамма-излучения с целью определения массива высотных коэффициентов пересчета (энергия гамма-квантов, геометрия источника, высота полета, температура и давление воздуха, характер подстилающей поверхности и пр.).

2. Выбор оптимального блока (блоков) детектирования гамма-излучения с параметрами, обеспечивающими минимизацию аппаратурных погрешностей [1].

3. Оценку ожидаемой суммарной погрешности измерений при аэрогамма-съемке с учетом аппаратурной и методической погрешностей, а также погрешности, обусловленной отличием реальных условий от идеальной модели радиоактивного загрязнения в возможных на практике случаях [4].

4. Применение. Базируясь на результатах приведенных исследований, созданы различные варианты реализации аппаратуры для использования в составе беспилотных летательных аппаратов планерного типа, квадрокоптеров, октокоптеров, вертолетов. В докладе приводятся технические характеристики аппаратуры, иллюстрируются объекты оснащения. Также представлены материалы натурных испытаний, проведенных в условиях пролета над площадными участками радиоактивно загрязненной местности и над точечными гамма-источниками. Получена хорошая корреляция расчетных и экспериментальных данных, оценены суммарные погрешности измерений, характеризующие точностные возможности бортовой аппаратуры и отдельных детектирующих устройств [4].

5. Перспективы практического использования.

В докладе представлены планируемые варианты применения аппаратуры и устройств радиационных измерений в составе беспилотных летательных аппаратов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кожемякин, В.А. Блоки детектирования гамма-излучения для использования в составе дистанционно управляемых беспилотных средств радиационного мониторинга / В.А. Кожемякин // 29-я Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника», г. Санкт-Петербург, 2–3 ноября 2017 г.: сб. тез. / ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. – Санкт-Петербург, 2017. – С. 206–207.

2. Кожемякин, В.А. Опыт разработки аппаратуры воздушной радиационной разведки / В. А. Кожемякин // XV Международное совещание «Проблемы прикладной спектроскопии и радиометрии», г. Казань, 7–11 октября 2019 г. : сб. тез. / ЧОУ ДПО «УЦ «МЕДТЕХАТОМ». – Казань, 2019. – С. 66–67.

3. 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. тез. / ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. – Санкт-Петербург, 2019. – С. 363.

4. Прибылев, С.В. Аппаратура радиационного контроля для дистанционно управляемого беспилотного летательного аппарата «ЭЛЕКТРОН-7» / В. А. Кожемякин, С. В. Прибылев, С. В. Литвинов //

33-я Международная научно-техническая конференция «Экстремальная робототехника», г. Санкт-Петербург, 29–30 сентября 2022 г. : сб. тез. / ЦНИИ робототехники и технической кибернетики. – Санкт-Петербург, 2023. – С. 264–265.

УДК 614.18

ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Д.М. КУЗЬМЕНКОВ, Ю.С. РАДЧЕНКО, С.В. КИСЕЛЕВ
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

В последние годы использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) стремительно развивается в различных сферах – от сельского хозяйства и мониторинга окружающей среды до охраны и аварийно-спасательных работ. Однако с ростом применения дронов возникает необходимость особого внимания к вопросам безопасности персонала, который эксплуатирует или находится вблизи этих технических средств. Безопасность должна быть приоритетом для предотвращения травм, а также для обеспечения эффективной и надежной работы.

Первым шагом в обеспечении безопасности является тщательное обучение операторов БПЛА. Персонал должен иметь четкое представление как о технических характеристиках дрона, так и о правилах его эксплуатации. Это включает знания по подготовке аппарата к полету, управлению, а также действиям в нештатных ситуациях. Регулярные тренировки и повторные инструктажи помогают поддерживать навыки на высоком уровне и предотвращают ошибки, которые могут привести к авариям.

Кроме того, важным аспектом является соблюдение нормативно-правовых требований и стандартов безопасности. Во многих странах существуют специальные правила, регулирующие высоту, зоны полетов, время и условия эксплуатации БПЛА. Несоблюдение этих норм может привести не только к штрафам, но и к опасным инцидентам. Персонал должен понимать значение этих документов и строго их придерживаться.

Для защиты сотрудников необходимо использовать качественное защитное оборудование. Это может включать шлемы, защитные очки,

перчатки и одежду с элементами высокой видимости. Особенно актуально это для тех, кто работает на картах запуска и посадки дронов, а также в местах проведения технического обслуживания аппаратов. Правильная экипировка снижает риск получения травм при несчастных случаях.

Техническое обслуживание и регулярные проверки дронов играют ключевую роль в предотвращении аварий. Все элементы БПЛА – моторы, пропеллеры, аккумуляторы и системы управления – должны проверяться до каждого полета. Выявление и устранение неисправностей своевременно снижает вероятность выхода техники из строя в воздухе, что может нанести вред персоналу или окружающим.

Организация безопасной рабочей зоны – еще один важный аспект. Необходимо четко обозначать границы пространства для запуска и посадки дронов, ограничивать доступ посторонних лиц и устанавливать визуальные или звуковые сигналы, предупреждающие о работе БПЛА. Это помогает минимизировать риск случайного контакта или столкновения.

Важным элементом является разработка и внедрение аварийных протоколов и процедур. Все сотрудники должны знать, как действовать в случае отказа техники, непредвиденных погодных условий или других чрезвычайных ситуаций. Быстрая и слаженная реакция может снизить ущерб и предотвратить травмы.

Не менее значимым является психофизиологический контроль операторов. Управление дроном требует высокой концентрации и скорости реакции. Следует учитывать режимы работы и отдыха, избегать работы в состоянии усталости или под воздействием алкоголя и медикаментов, влияющих на когнитивные функции. Такой подход способствует снижению человеческих ошибок.

Для повышения безопасности эффективно применять современные технические средства – автоматизированные системы управления, GPS-навигацию, барьеры для ограничения полетов в запретные зоны. Автоматизация процессов позволяет снизить нагрузку на оператора и увеличить точность управления, что изначально уменьшает риск аварий.

Подводя итог, обеспечение безопасности персонала при эксплуатации беспилотных летательных аппаратов требует комплексного подхода: от обучения и соблюдения нормативов (Правила использования авиамodelей в Республике Беларусь, утвержденные постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 16.08.2016г. №636) до использования защитного снаряжения и технических средств. Только так можно создать условия для безопасной и успешной работы с БПЛА, минимизируя угрозы для здоровья людей и материальных ценностей.

МОБИЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОЙ ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Н.Ф. НИКИФОРОВ

Национальная библиотека Беларуси
Минск, Беларусь

Введение. Разработка систем автономной воздушной навигации (АВН) беспилотных летательных аппаратов (БЛА) является актуальной задачей [1]. Появление и совершенствование автономных робототехнических комплексов (к каковым относятся БЛА и системы их АВН) может стать одним из оснований для исключения возможности возникновения ряда локальных конфликтов [2].

В статье [3] предложен вариант построения информационно-измерительной системы (ИИС) для определения параметров БЛА при решении задачи автоматической их посадки на оборудованную площадку с использованием трех статичных наземных навигационных ориентиров (ННО). Данный вариант ИИС с точки зрения построения системы АВН (САВН) общего характера обладает тем недостатком, что позволяет определять параметры ориентации и навигации БЛА лишь при пролете над ним с одного направления (в небольших пределах его изменения). Второй недостаток - избыточная точность определения параметров полета БЛА для использования в САВН. Третий недостаток ИИС - относительно большие габариты трех ННО.

Решение задачи. САВН предлагается создать как распределенную ИИС, наземная часть которой является сетью ННО с известными геодезическими координатами. Для функционирования САВН будет использована геодезическая система координат, которая позволит тривиально определять текущие геодезические координаты БЛА путем решения прямой задачи геодезии [4], а затем, путем решения обратной задачи геодезии, организовать аналитическую процедуру поиска ННО сети.

На рисунке 1 представлена наземная часть ИИС, предлагаемой для построения САВН, и являющейся ННО в составе: блоки световых приборов (СП) прожекторного типа, жестко закрепленных на кронштейне (с возможностью его поворота на $3\div 6$ угловых градусов в угломестной плоскости), установленном на опорно-поворотном устройстве (ОПУ); наземная часть системы информационного обмена (СИО, НСИО);

защитный купол, отражающий внешние световые потоки на угол не менее $6 \div 10$ угловых градусов от осевой линии прожекторных лучей для улучшения контраста изображений световых отверстий прожекторов на фотоприемной матрице бортовой в/к.

ОПУ может неограниченно вращаться в азимутальной плоскости. ННО устанавливается на подготовленную площадку с известными геодезическими координатами.

В состав бортовой части ИИС входят цифровая в/к; ОПУ для в/к; специализированная система технического зрения (ССТЗ) в составе: устройство предварительной обработки изображения (УПОИ), управляющая программа ССТЗ (УП ССТЗ), математическое обеспечение для обнаружения и распознавания ННО по изображениям СП на рабочих сценах, для выделения характерных точек на изображениях СП и определения их пиксельных координат на видеокадрах; выходные данные бесплатформенной инерциальной навигационной системы (БИНС); блок вычисления параметров навигации и ориентации БЛА; ПНК; бортовая часть системы информационного обмена (БСИО) для запроса в НСИО (типа 'свой-чужой') на выдачу в БСИО стандартной по составу информации о текущем состоянии ННО.

БСИО имеет связь с УП ССТЗ, общую временную привязку с УПОИ и может быть использована для регулировки мощности СП [5].

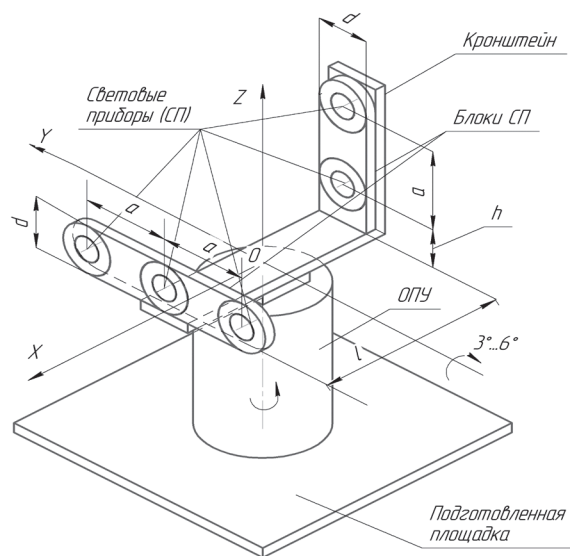


Рис.1. – ННО для построения САН БЛА

Альтернативными источниками излучения СП в видимом диапазоне являются источники излучения в ближнем ИК-диапазоне.

В работе [6] установлено, что светодиодные маяки диапазона 0.85 мкм мощностью 10Вт, углом расходимости 30° и автономным питанием

12В, разработанные АО 'КТ - беспилотные системы', позволяют определять координаты БЛА как в ночных, так и в дневных условиях на расстоянии до 500м в непрерывном режиме излучения. В этой работе также показано, что светодиодные маяки диапазона 0.85мкм при мощности прожектора порядка 20Вт обеспечивают устойчивый захват оптическими в/к (в сочетании с узкополосным интерференционным фильтром 0.85мкм) изображений излучателей на дальности до 500м.

СП в ННО, таким образом, могут содержать источники излучения как видимого, так и ближнего ИК-диапазона (0.85 мкм), что дает возможность как раздельного, так и совместного их использования путем размещения на ОПУ разных СП в перпендикулярных направлениях их центральных осевых лучей. В данной работе для определенности принят видимый диапазон излучения в СП.

Моделирование работы ИИС для построения САВН. Для оценки точности вычисления параметров полета БЛА с помощью предлагаемого ННО были проведены серии машинных экспериментов с помощью компьютерной модели автоматической посадки (КМАП) БЛА [3], схема размещения СП в которой заметно отличается от схемы их размещения на ННО (рисунок 1) для АВН.

С помощью КМАП моделировался горизонтальный полет БЛА в турбулентной атмосфере [3] с пролетом на высотах 20 м и 30 м над статичным ННО, установленным на осевой линии взлетно-посадочной полосы (ВПП).

Характеристики модельной в/к: направление – по курсу БЛА, частота кадров 50 гц; фокусное расстояние объектива 60 мм; фотоприемная матрица (5*5) мм с размерами пикселей (5*5) мкм.

Модельная скорость полета БЛА (V), равная 30.5 м/с, оценивалась алгоритмами КМАП. С точностью не хуже 6%.

Точность вычисления параметров навигации и ориентации БЛА (для коррекции БИНС) оценивалась при подлете БЛА к ННО на двух малых интервальных расстояниях БЛА от ННО (таблица 1). Объемы выборок в сериях экспериментов различаются. Это вызвано случайным характером точечных оценок $\tilde{V}$ модельной скорости полета БЛА (V) в каждой серии, что и вызывает случайный характер числа измерений параметров навигации и ориентации БЛА (с частотой 50 гц) во время модельного пролета БЛА одинаковых расстояний со скоростями $\tilde{V}$. Оценка СКП параметра навигации и ориентации X в сериях вычислялась по формуле: $\tilde{\sigma}_x = \sqrt{\tilde{D}_x}$, где $\tilde{D}_x = (x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_{n_i}^2) / n_i$; ($i = 1..3$); i - количество серий; n_i - число экспериментов в i -ой серии; x_j - значение параметра X в j -ом измерении в i -ой серии. Оценки по приведенным

формулам получены на основании статистической независимости измерений x_j (рис. 2) с использованием функций МАТЛАБ autocorr() и xcorr().

Точечные оценки дисперсий параметров навигации и ориентации БЛА в сериях равны: $\tilde{D}_1 = \tilde{\sigma}_1^2$; $\tilde{D}_2 = \tilde{\sigma}_2^2$; $\tilde{D}_3 = \tilde{\sigma}_3^2$;

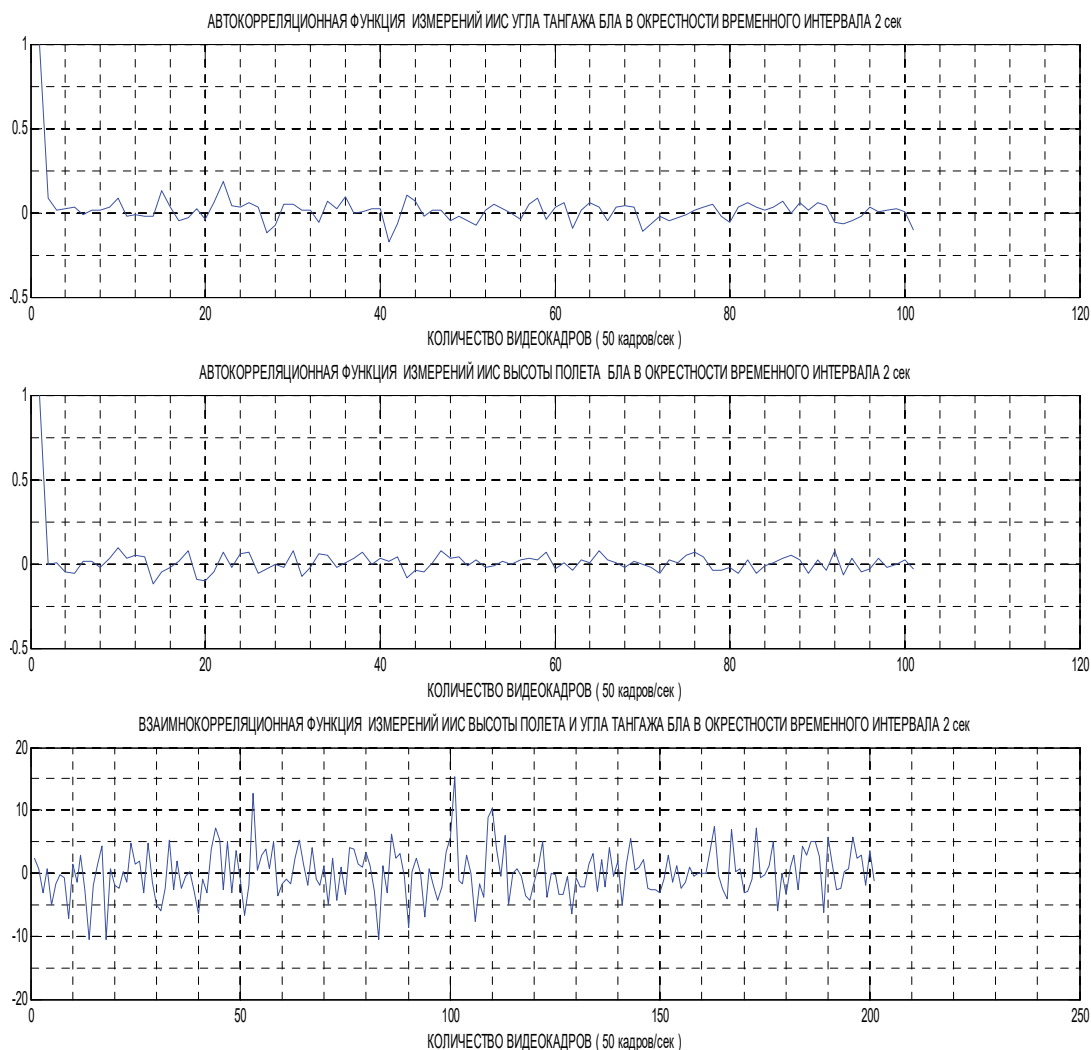


Рис. 2. – Иллюстрация отсутствия стохастической связи между погрешностями измерений ИИС

Эти оценки дисперсий были аппроксимированы моделью случайной величины, значения которой (оценки) принадлежат одной генеральной совокупности, учитывая, что как число экспериментов в сериях варьируется незначительно: $31 \div 34$, так и сами истинные ошибки измерений параметров меняются незначительно на интервале 20м. Поэтому точечная оценка математического ожидания дисперсии параметра X принята равной среднему арифметическому выборочных его значений: $\tilde{D} = (\tilde{D}_1 + \tilde{D}_2 + \tilde{D}_3) / 3$; Оценка СКП X тогда равна $\tilde{\sigma} = \sqrt{\tilde{D}}$.

Табл. 1. – Оценка точности вычисления параметров полета БЛА

Параметры навигации и ориентации БЛА	КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ННО: a=0.6м ; l=1.2м ; h=0.6м; d=0.3м;							
	ВЫСОТА ПОЛЕТА БЛА НАД ННО 30 м							
	Дальность до ННО (110 ÷ 90), м							
	Выход БЛА в конечную точку со смещением относительно ВПП, м							
	0				10			
	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценка СКП параметров БЛА,	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценка СКП параметров БЛА,
	№1, $\tilde{\sigma}_1$	№2, $\tilde{\sigma}_2$	№3, $\tilde{\sigma}_3$		№1, $\tilde{\sigma}_1$	№2, $\tilde{\sigma}_2$	№3, $\tilde{\sigma}_3$	
Смещение БЛА относительно ВПП, м	0.12	0.20	0.11	0.15	0.28	0.27	0.15	0.24
Высота полета БЛА, м	0.29	0.52	0.33	0.39	0.37	0.31	0.23	0.31
Дальность БЛА до ННО, м	0.42	0.67	0.47	0.53	0.66	0.50	0.33	0.51
Рысканье, угл. град.	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.04	0.04	0.04
Тангаж, угл. град.	0.11	0.12	0.11	0.11	0.15	0.12	0.10	0.13
Крен, угл. град.	0.23	0.42	0.21	0.30	0.27	0.52	0.20	0.36

Параметры навигации и ориентации БЛА	КОНСТРУКТИВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ННО: a=0.6м ; l=1.2м ; h=0.6м; d=0.3м;											
	ВЫСОТА ПОЛЕТА БЛА НАД ННО 30 м											
	Дальность до ННО (210 ÷ 190), м											
	Выход БЛА в конечную точку со смещением относительно ВПП, м											
	0				10				20			
	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценки СКП параметров БЛА в сериях	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценки СКП параметров БЛА в сериях	Оценки СКП параметров БЛА в сериях экспериментов			Оценки СКП параметров БЛА в сериях
	№1, $\tilde{\sigma}_1$	№1, $\tilde{\sigma}_1$	№1, $\tilde{\sigma}_1$		№1, $\tilde{\sigma}_1$	№1, $\tilde{\sigma}_1$	№1, $\tilde{\sigma}_1$		№1, $\tilde{\sigma}_1$	№2, $\tilde{\sigma}_2$	№3, $\tilde{\sigma}_3$	
Смещение БЛА относительно ВПП, м	0.28	0.30	0.30	0.30	0.30	0.28	0.28	0.28	0.46	0.58	0.61	0.55
Высота полета БЛА, м	0.60	0.66	0.66	0.66	0.66	0.60	0.60	0.60	0.86	0.56	0.56	0.68
Дальность БЛА до ННО, м	2.00	2.16	2.16	2.16	2.16	2.00	2.00	2.00	1.99	1.94	2.00	1.98
Рысканье, угл. град.	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.08	0.07	0.09	0.08
Тангаж, угл. град.	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.14	0.13	0.13
Крен, угл. град.	0.47	0.49	0.49	0.49	0.49	0.47	0.47	0.47	0.77	0.48	0.54	0.61

Результаты моделирования работы ИИС. Полученные оценки параметров БЛА (таблица 1) могут быть уменьшены еще в $\sqrt{n}$ раз ($n \geq 2$) путем усреднения их по n измерениям.

Точность определения курса БЛА определяется точностью определения азимутального направления ОПУ ННО при решении задач обнаружения и распознавания ННО специализированной СТЗ по изображениям СП на рабочих сценах. Решение этих задач заметно облегчается с использованием геодезической системы координат.

ИИС с параметрами ННО (рисунок 1) на дальностях подлета к нему БЛА до 200 м обеспечивает высокоточную коррекцию БИНС по раздельной схеме комплексирования.

Заключение. ННО (рис. 1) для АВН БЛА являются компактными, обеспечивают *высокоточную* коррекцию БИНС, обладают свойством *мобильности* и могут быть использованы для *построения САВН* БЛА.

САВН БЛА является объектом двойного назначения и должна обслуживаться соответствующими структурами и организациями.

Для эффективной работы ИИС в сети САВН необходимо создать Центр для управления работой ИИС через НСИО: включение-выключение ННО сети, задание угловой скорости вращения его ОПУ, задание фиксированного азимутального направления ОПУ ННО сети, регулировка мощности СП ННО в зависимости от погоды [5], другие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейников, А.А. Оптико-электронная корреляционно-экстремальная навигационная система малого беспилотного летательного аппарата / А.А. Шейников, В.А. Малкин, Э.А. Смоленский, Л. А. Иваницкий // Системный анализ и прикладная информатика. – 2024. - №2. – С. 30 – 40.
2. Хаметов Р.С. Автономная система навигации и ориентирования беспилотных летательных аппаратов в городе: задачи и требования функционирования / Р.С. Хаметов, Я.А. Темник, П.Е. Шведов, В. К. Исламов // Молодой ученый. – 2018. - №45 (231) – С. 37 – 42.
3. Никифоров, Н.Ф. Мобильная информационно-измерительная система для определения параметров беспилотного летательного аппарата / Н. Ф. Никифоров // ВЕСТНИК ВОЕННОЙ АКАДЕМИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ. – 2023. – №1 – С. – 56-67.
4. Морозов, В.П. Курс сфероидической геодезии / В. П. Морозов // М. – : Недра, 1979. – 296с.
5. Бондарев, В.Г. Автоматическая посадка летательных аппаратов / В. Г. Бондарев, Д. В. Лопаткин, Д. А. Смирнов // Вестник ВГУ. – 2018. – №2 – С. – 44-51

6. Агеев, А.М. Обоснование выбора источников излучения для системы технического зрения в задаче автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов / А. М. Агеев, В. Г. Бондарев, В. В. Проценко // Компьютерная оптика. – 2022. – том 46, – №2 – С. – 239–246.

УДК 681.51

УЧЕБНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСИСТЕМНЫХ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ

Р.И. ВОРОБЕЙ, А.С. МОРОЗ, К.В. ПАНТЕЛЕЕВ, А.К. ТЯВЛОВСКИЙ
Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В работе представлена разработка учебного лабораторного стенда для исследования датчиков первичной информации в микросистемном исполнении. Рассматриваются цель, задачи и научная новизна комплекса, направленного на подготовку высококвалифицированных специалистов в области приборостроения и навигационных систем для беспилотной авиации. Приводятся сравнительный анализ существующих аналогов и основные этапы создания стенда и его преимущества.

Введение. Интенсивное развитие микросистемной техники обусловило появление на рынке широкой номенклатуры миниатюрных датчиков первичной информации, таких как микромеханические гироскопы и акселерометры, магнитометры, барометрические датчики и приемники спутниковой навигации. Это стало ключевым фактором для создания относительно недорогих, малогабаритных и энергоэффективных информационно-измерительных систем, обладающих достаточной для многих задач точностью. Особенно востребованы такие системы в быстро развивающейся области беспилотных летательных аппаратов микро- и мини-класса.

Система автоматического управления БПЛА представляет собой комплекс аппаратных и программных средств, который должен обеспечивать стабилизацию параметров движения, контроль траектории полета и анализ данных от множества источников в реальном времени [1]. Основой такой системы является подсистема ориентации и навигации, часто построенная на принципе комплексирования данных от различных сенсоров [2]. В этой связи возникает острая потребность

в подготовке специалистов, обладающих глубокими знаниями и практическими навыками в области работы, калибровки и обработки сигналов микросистемных датчиков. Однако существующие учебные решения, как правило, ограничиваются виртуальным изучением конструкции и не предоставляют возможности для полноценного экспериментального исследования реальных устройств. Коммерческая тайна производителей также ограничивает доступ к необходимой информации. Таким образом, разработка специализированного учебного стенда для комплексных исследований микросистемных датчиков является актуальной и своевременной задачей.

Целью данной работы является создание учебного стенда для исследования датчиков первичной информации в микросистемном исполнении, используемых в системах стабилизации, ориентации и навигации. Для достижения поставленной цели решен комплекс задач, включающий исследование устройств и принципов работы микросистемных датчиков, разработку алгоритмов и программного обеспечения для снятия, обработки и калибровки их выходных сигналов. Особенностью разработки являются созданные методики экспериментальной калибровки и обработки сигналов для различных типов датчиков. Комплекс отличается подходом к изучению не только отдельных датчиков, но и принципов их совместной работы в составе платформенной инерциальной навигационной системы. Кроме того, стенд предоставляет возможность исследовать совместимость датчиков и оценивать точность всей навигационной системы при использовании различных методов представления ориентации, таких как углы Эйлера или кватернионы.

Сравнительный анализ с существующими аналогами [3]. Проведенный анализ рынка учебного оборудования выявил несколько основных аналогов. Виртуальный учебный комплекс «Способы представления пространственного положения объектов (Углы Эйлера и кватернионы)» от ООО НПП «Учтех-Профи» (Российская Федерация) основан на теоретическом изучении математических методов описания ориентации объектов. Виртуальное наглядное пособие «Устройство микромеханических датчиков и гироскопов» того же производителя позволяет изучать конструктивные особенности и принципы работы отдельных типов датчиков. Виртуальный стенд «Устройство и принцип работы различных датчиков ИНС» расширяет возможности предыдущих решений, добавляя изучение инерциальных навигационных систем.

Среди стендовых решений следует отметить типовой комплект учебного оборудования «Исследование гироскопических датчиков» (ИГД-СК) от ООО НПП «Учтех-Профи» и аналогичный комплекс от

компании ООО «ЛАБСИС» (Российская Федерация). Анализ показал, что большинство существующих решений представляют собой виртуально-программные комплексы, в которых основной упор делается на изучение конструкции, устройства и принципов работы микромеханических гироскопов и акселерометров. В этих комплексах с помощью трехмерной графики и анимации представлены кинематические схемы и соответствующие им модели изучаемых датчиков, что позволяет наблюдать поведение системы.

Основными недостатками перечисленных аналогов являются ориентация на изучение конструкции и принципов работы датчиков вместо построения систем на их основе, отсутствие возможности изучения принципов построения микросистем ориентации, стабилизации и навигации, невозможность практической калибровки датчиков и их настройки, а также отсутствие инструментов для исследования путей повышения точности системы. Дополнительным ограничением является высокая стоимость предлагаемых продуктов.

Технические особенности разрабатываемого стенда. Разрабатываемый учебный стенд включает макет подвижного объекта, содержащего сборку из трех микромеханических гироскопов, сборку из трех акселерометров, сборку из трех магнитометров, приемник спутниковой навигационной системы GPS/ГЛОНАСС и датчики температуры. Микроконтроллер может быть расположен либо в самом объекте, либо для удобства вынесен за его пределы. Важным компонентом является поворотный стол для обеспечения поворотов подвижного объекта. Программное обеспечение с открытым кодом имеет простой понятный интерфейс и предоставляет широкие возможности для экспериментов. Комплекс включает методические материалы для проведения лабораторных работ и практических занятий.

Разрабатываемый учебный стенд исключает недостатки существующих аналогов и предлагает комплексный подход к изучению систем ориентации и навигации. Важным преимуществом является возможность практической калибровки и настройки датчиков, а также реальное аппаратное исполнение вместо виртуальной симуляции. Открытое программное обеспечение позволяет проводить глубокое изучение принципов работы системы. В образовательном процессе комплекс обеспечивает практическое изучение принципов комплексирования данных от разнородных датчиков и формирование навыков работы с реальным измерительным оборудованием. Экономические преимущества включают существенно более низкую стоимость по сравнению с существующими аналогами и возможность модернизации и расширения функциональности. Комплекс предназначен для использования в

учебном процессе при подготовке студентов по направлениям «Приборостроение» и «Системы управления движением и навигация» и др. Кроме того, он может применяться для повышения квалификации инженерно-технических работников, занятых в разработке и модернизации беспилотных авиационных комплексов. На его основе можно осваивать методы калибровки и фильтрации сигналов, а также изучать принципы комплексирования информации от разнородных датчиков для построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. Предлагаемый комплекс предоставляет возможность отрабатывать алгоритмы навигации и стабилизации на практике.

Заключение. Проведенная работа по разработке учебного стенда демонстрирует возможность создания современного образовательного комплекса, отвечающего актуальным требованиям подготовки специалистов в области навигационных систем и приборостроения. Разработанное решение успешно устраняет ключевые недостатки существующих аналогов, предлагая комплексный подход к изучению не только отдельных датчиков, но и принципов построения законченных систем ориентации, стабилизации и навигации.

Особую ценность представляет практическая направленность стенда, позволяющая проводить реальные эксперименты по калибровке, настройке и комплексированию разнородных датчиков. Использование открытого программного обеспечения и модульной архитектуры обеспечивает гибкость и возможности для дальнейшего расширения функциональности комплекса.

Перспективы дальнейшего развития проекта связаны с расширением номенклатуры исследуемых датчиков, разработкой дополнительных методик экспериментальных исследований и интеграцией стенда в систему дистанционного образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распопов, В.Я. Микросистемы ориентации беспилотных летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 2011. – 184 с.
2. Обзор методов комплексирования в интегрированных навигационных системах / М.Б. Богданов [и др.] // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2020, вып. 5. – С. 118–125.
3. Материалы официальных сайтов ООО НПП «Учтех-Профи» и ООО «ЛАБСИС».

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

В.Е. ПОЛТОРАЦКИЙ, С.В. ШАТУНОВ, Р.Е. ВОЛОДЬКИН
ООО «АМТ-ГРУПП» (TransNetIQ)
Королёв, Россия

Одним из приоритетных направлений цифровой трансформации в области железнодорожного транспорта является автоматизация процессов составления масштабных планов станций. Масштабные планы являются одним из ключевых элементов управления инфраструктурой, они используются при проектировании, реконструкции и организации движения поездов. Традиционные методы предполагают участие полевых бригад, использование геодезических приборов и значительное время на сбор и обработку данных. Данный процесс является ресурсоемким и подвержен влиянию человеческого фактора.

Внедрение беспилотных летательных аппаратов (БЛА) и технологий искусственного интеллекта (ИИ) позволяет перейти к новому уровню автоматизации, при котором время проведения съемок сокращается в несколько раз, а точность планов повышается за счет автоматического проведения аэросъемки. Использование наземных базовых ГНСС станций обеспечивает высокую точность привязки снимков, получаемых с борта БЛА, что особенно важно для решения обозначенных выше задач.

Методический подход к автоматизированному составлению масштабных планов включает три ключевых этапа: получение данных, их обработка и формирование итогового плана. На первом этапе выполняется аэрофотосъемка с использованием БЛА, которые программируются на выполнение маршрутов с учетом границ станции, параметров высоты полета и погодных условий. Применение специализированного ПО для планирования маршрутов обеспечивает оптимизацию траектории облета и необходимое перекрытие кадров для дальнейшей фотограмметрической обработки.

Немаловажным фактором обеспечивающим соответствие требованиям, предъявляемым к составлению масштабных станций, является высокая точность исходных данных. Фотоматериалы, полученные с борта БЛА, изначально содержат координаты, фиксируемые встроенным приёмником GNSS. Однако данные в таком виде содержат погрешности,

связанные с многолучевостью, влиянием ионосферы и тропосферы, а также ограниченной точностью встроенных антенн. Для устранения этих ошибок применяется технология постобработки (РРК), для реализации которой используется мобильная базовая ГНСС-станция. В процессе полёта БЛА базовая станция фиксирует данные о спутниковых сигналах, формируя корректирующие поправки. После завершения полёта эти поправки используются для уточнения координат места съёмки каждой фотографии.

Данный подход позволяет достичь точности привязки центров снимков до 1,5 сантиметров в плане и порядка 2–3 сантиметра по высоте. Этот метод и предлагается к использованию для решения геодезических задач, где требования к точности крайне высоки. В отличие от традиционных методов получения координат объекта, выполняемых вручную специалистами-геодезистами, применение БЛА и технологии РРК позволяет существенно снизить трудоёмкость работ, сохранив при этом сопоставимую, а чаще – обеспечив более высокую, точность.

На этапе обработки полученные снимки проходят процедуры ортотрансформации, фотограмметрической стыковки и формирования цифровой модели местности. Результатом является высокоточный ортофотоплан, который в совокупности с исходными материалами служит основой для последующей дешифрации.

Этап дешифрации предполагает автоматическое распознавание объектов как на ортофотоплане, так и на исходных изображениях. Здесь применяются современные алгоритмы включающие сверточные нейронные сети, обученные на примерах железнодорожной инфраструктуры. Система классифицирует рельсы, стрелочные переводы, опоры контактной сети, светофоры, платформы и другие элементы инфраструктуры. Используются методы семантической сегментации изображений, обеспечивающие покадровое выделение объектов и их векторизацию. Обработанные ИИ материалы должны пройти верификационный контур, который позволяет оператору подтвердить корректность классификации и внести корректировки при необходимости. Такой подход сочетает возможности ИИ и экспертный опыт человека, обеспечивая высокую точность результата.

Заключительный этап заключается в формировании масштабного плана станции в соответствии с действующими нормативными документами. Система автоматически создает легенду, формирует слои, расставляет подписи и выдает готовый план в форматах, совместимых с геоинформационными системами (ГИС) и системами управления инфраструктурой.

Преимуществами такого подхода являются значительное сокращение времени цикла работ – от съемки до готового плана, снижение затрат на полевые работы, создание единого цифрового архива, а также возможность многократного использования данных для мониторинга состояния инфраструктуры. Накопленные данные могут использоваться для дообучения моделей ИИ, что позволяет со временем повышать точность распознавания.

Использование технологий БЛА и ИИ формирует основу для создания цифровых двойников станций и перегонов, интеграции с системами планирования ремонтов и автоматизированными комплексами управления движением поездов. Такой методический подход обеспечивает переход от эпизодических обследований к постоянному цифровому мониторингу инфраструктуры и поддерживает концепцию «умной железной дороги».

Таким образом, автоматизированное составление масштабных планов на основе применения БЛА и ИИ является не только технологическим решением, но и стратегическим инструментом развития интеллектуальных транспортных систем. Это направление способствует повышению эффективности эксплуатации железнодорожной сети и обеспечивает основу для дальнейшей цифровизации отрасли.

УДК 004.032, 629.052

АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОРТОВОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ МЕСТНОСТИ

С.В. ПРУЧКОВСКИЙ, К.А. ВОЛКОВ

Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный
центр многофункциональных беспилотных комплексов» Националь-
ной академии наук Беларуси
Минск, Беларусь

Основой современных пилотажно-навигационных комплексов (ПНК) беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) является бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС). Как правило, большинство БИНС построены с применением МЭМС-датчиков, что обусловлено стоимостными, габаритными, весовыми характеристиками. Для повышения точности счисления текущих координат и путевой

скорости БПЛА показания БИНС корректируются от спутниковых радионавигационных систем (СРНС), что предполагает выполнение ряда требований к наличию и качеству сигнала от спутниковых группировок СРНС. В настоящее время во всем мире широко используются средства подавления сигналов СРНС, а также ложные сигналы СРНС, при помощи которых противник имеет возможность увести БПЛА с заданного маршрута («спуффинг») с последующей принудительной посадкой или уничтожением при столкновении с элементами ландшафта.

При отсутствии (подавлении) сигналов от СРНС бюджетная БИНС накапливает ошибку в определении текущих координат БПЛА порядка 150-300 м за одну минуту полета, что приводит к потере ориентации БПЛА в пространстве, и далее – к срыву полетного задания и даже к потере БПЛА.

Для повышения устойчивости к средствам радиоэлектронной борьбы, на борту БПЛА необходимо использовать автономные навигационные системы, которые не подвержены таким внешним воздействиям и не зависят от СРНС. Вариантом реализации такой навигационной системой является автономная система визуальной навигации (АСВН), в основу которой положен принцип определения местоположения БЛА по визуальным наземным ориентирам с заранее известными координатами.

Совместное применение БИНС и АСВН позволяет обеспечить надежную навигацию БПЛА для всех участков траектории полета (взлет, полет на различных высотах по маршруту, посадка или наведение на цель), в том числе при отсутствии связи с оператором и сигналов от СРНС. Использование визуальных ориентиров на местности для навигации БПЛА обусловлено многолетней успешной практикой при выполнении пилотируемых полетов.

Техническая реализация АСВН предложена установкой дополнительного бортового вычислителя обработки текущей видеоинформации штатной комбинированной ТВ-ИК видеосистемы БЛА в сочетании с предварительно подготовленными цифровыми картами (спутниковыми снимками) местности, определения текущих координат и их передаче в пилотажно-навигационный комплекс БПЛА.

На сегодняшний день методы визуальной навигации БПЛА в большинстве опираются на визуальную одометрию, для которой также проявляется проблема накопления погрешности определения позиции БПЛА при продолжительном полете. Для устранения этого недостатка предложен нейросетевой алгоритм коррекции, сопоставляющий видеоизображение с бортовой камеры и цифровую фотокарту местности и рассчитывающий наиболее вероятную область расположения БПЛА

для нивелирования нарастающей погрешности. Для комплексирования предсказания и коррекции предложено использовать линейный фильтр Калмана.

Сопоставление видеоизображения и фотокарты предложенным алгоритмом осуществляется в два этапа: макро-локализация (scene localization) и микро-локализации (camera localization) двумя нейронными сетями. Для обучения нейронных сетей архитектуры Siamese по методу Info NCE использованы фотокарты Google, Yandex, Bing.

В результате достигнута нечувствительность к углам поворота изображения и изменению масштаба, а также минимизировано влияние яркости, контрастности, смене времени года или времени суток. В результате, при сравнении двух пар снимков точность модели составила 99.3 %. Пример положительной пары снимков «Спутник-БПЛА» приведен на рис.1.



Рис. 1. Положительная пара снимков «Спутник-БПЛА»

При расширении накопленной базы данных реальными снимками с борта БПЛА (не менее 20 000) и обучении модели, формируются такие наборы снимков, в которых модель сильнее ошибалась, что позволяет улучшить качество модели ориентировочно на 30-50%, при этом ожидаемая точность определения местоположения БЛА должна быть не хуже 100 м.

Таким образом, разработанная интеллектуальная бортовая система определения местоположения БПЛА по получаемому в полете оптическому изображению подстилающей земной поверхности (за исключением водной, а также снежных и песчаных пустынь) позволяет осуществлять выполнение полета БПЛА по заданному маршруту в течении нескольких часов в условиях отсутствия или искажения сигналов спутниковой навигации и команд управления оператора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волков К. А. Моделирование движения беспилотного летательного аппарата с оптической навигационной системой / К.А. Волков, Х.М. Карбалаи Салех, А.В. Парасочка, С.С. Зайцев, Р.Р. Романов // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных: материалы международного научно-технического семинара. В 2 ч. Ч. 1 (Минск, апрель – декабрь 2016 г.). – Минск: БГУИР, 2017. – С. 31-37

2. Чепикова В. В. Оценка применимости метода оптической навигации VIOLETM в условиях антропогенных ландшафтов / Чепикова В.В., Волков К. А. // Телекоммуникации: сети и технологии, алгебраическое кодирование и безопасность данных = Telecommunications: Networks and Technologies, Algebraic Coding and Data Security : материалы Междун. науч.-технич. семинара, Минск, ноябрь-декабрь 2018 г. / редкол.: М.Н. Бобов и др. – Минск: БГУИР, 2018. – С. 70–76.

УДК 629.735.33

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ ПОДСИСТЕМ БПЛА

Ю.И. СЕМАК, Ю.Ф. ЯЦЫНА

Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный
центр multifunctionальных беспилотных комплексов»
Национальной академии наук Беларуси
Минск, Беларусь

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) весьма широко используются как в гражданской, так и в военной сферах. Одна из актуальных задач эффективного применения БПЛА – обеспечение безопасности полета БПЛА и технической надежности его составных частей в полете.

Решение данной задачи целесообразно рассматривать на основе системного подхода и в рамках создания системы мониторинга состояния работоспособности основных подсистем БПЛА с элементами «искусственного интеллекта». С точки зрения общей концепции управления процессами жизненного цикла изделий авиационной техники под системой мониторинга состояния работоспособности основных

подсистем БПЛА (СМР) будем понимать организационно-техническую подсистему в составе единой системы технической и летной эксплуатации БПЛА с элементами «искусственного интеллекта», а под мониторингом работоспособности – процесс квазинепрерывного сбора данных о динамике работоспособности основных подсистем летательного аппарата. Мониторинг работоспособности БПЛА включает обработку, анализ, а также представление не только оперативных данных о техническом состоянии БПЛА с целью обеспечения эффективного управления им, но также и информации для управления действиями других потребителей результатов мониторинга, вырабатываемых на основе необходимой и дифференцированной по иерархии управления информации о возникновении и/или прогнозе развития повреждений, дефектов и отказов основных подсистем БПЛА, в том числе причинах таких событий. В данном вопросе акцентируем внимание и на том, что потребителями результатов мониторинга являются в том числе должностные лица и структуры управления эксплуатацией авиационной техники, непосредственно использующие результаты мониторинга работоспособности БПЛА для принятия решений, направленных на обеспечение безаварийной и эффективной их эксплуатации. Поэтому, в общем случае СМР должна быть многофункциональной, дистанционной, многопараметрической и непрерывной системой мониторинга с «искусственным интеллектом», основными функциями которой являются:

1. Сбор информации о значениях и динамике параметров работоспособности и показателей надежности БПЛА в полете для целей управления БПЛА (подсистема информационного мониторинга работоспособности БПЛА). Данная подсистема предназначена для решения задачи сбора, обработки и хранения результатов мониторинга работоспособности основных подсистем и БПЛА в целом. Она обеспечивает констатацию технического состояния БПЛА.

2. Контроль безотказности (результативности) функционирования основных подсистем БПЛА, который реализуется путем анализа динамики параметров их составных частей и элементов (подсистема контроля безотказности основных подсистем БПЛА).

3. Оценка условий безопасного (безотказного) полета БПЛА (подсистема мониторинга безопасного (безотказного) полета БПЛА).

Отметим, что приведенная совокупность функций мониторинга выходит за границы задач, решаемых только подсистемой информационного мониторинга. Тем не менее, основной функцией СМР является сбор информации о динамике параметров показателей работоспособности БПЛА в полете для целей управления БПЛА. Эта функция реализуется подсистемой информационного мониторинга работоспо-

способности БПЛА (ПИМ), в том числе его основных подсистем. Данная составная часть СМР необходима также для информационного обеспечения прогноза динамики параметров функционирования и показателей надежности основных подсистем БПЛА, а также оценки соблюдения критериев результативности действий расчета по обеспечению безопасного и безаварийного полета летательного аппарата.

Указав лишь эскизно концептуальные основы построения СМР, как организационно-технической системы, остановимся на основных особенностях практического подхода к реализации ПИМ.

Недостатком большинства существующих СМР является:

- функциональная ограниченность, неполнота контроля, низкая точность и достоверность результатов комплексной проверки работоспособности бортовых систем БПЛА;

- высокая трудоемкость соответствующих работ, низкие производительность и экономичность технического контроля и диагностирования подсистем БПЛА, а также сложность принятия эффективных решений по результатам контроля.

В связи с радикальным прорывом в области разработки информационных технологий, возможностями современной электронной компонентной базы, а также широкой практической реализации моделей «искусственного интеллекта» на современном этапе развития авиационной техники сложились предпосылки для реализации СМР, если так можно выразиться, «нового поколения».

В общем случае мониторинг состояния работоспособности БПЛА осуществляется с использованием средств мониторинга, то есть технических устройств, предназначенных для решения задач получения, обработки, хранения и передачи данных, включая представление их потребителю. БПЛА способен функционировать, как в автоматическом, так и в автоматизированном режимах. Главной его особенностью является интерактивное управление. В силу высокой стоимости, ограниченного доступа к системам и сложности эксплуатации беспилотного авиационного комплекса возникла острая практическая потребность непрерывного (оперативного) контроля работоспособности БПЛА в полете. Кроме того, иногда в процессе выполнения задания возникает необходимость корректировки параметров полета БПЛА и/или режимов работы его систем. Решение данных задач обусловило необходимость установки на борт БПЛА новых систем, позволяющих получать и регистрировать требуемую информацию, в том числе – данные в формате «видео». Одним из путей рационального решения данных задач является не просто «освобождение» оператора БПЛА от контроля технического состояния оборудования БПЛА в полете и введение для

этого в состав наземного пункта управления (НПУ) автоматизированного рабочего места (АРМ) инженера БПЛА, но главным образом автоматизация управления оборудованием в полете при отказах, повреждениях, сбоях бортовых систем. Автоматизация управления оборудованием может быть осуществлена введением (повышением) бортового «интеллекта» БПЛА и наземного «интеллекта» НПУ за счет технологий «искусственного интеллекта», т. е. создания определенных специализированных бортовых и наземных устройств с «искусственным интеллектом», которые осуществляют не только задачу контроля работоспособности оборудования БПЛА, но и выработки рекомендаций инженеру БЛА, а также принятия решения о реконфигурации бортовых систем при возникновении отказа в полете. Такой системой служит аппаратно-программный комплекс (АПК) оперативного контроля технического состояния узлов среднего БПЛА в полете», а его реализацией – АРМ инженера БЛА, виртуальный имитатор работы БАК, интеллектуальное бортовое устройство контроля, специальное программное обеспечение (СПО), а также рабочая конструкторская документация, технологическая и программная документация на АПК.

АРМ инженера БПЛА предназначено для визуализации процессов непрерывного контроля работы основных подсистем и бортового оборудования БПЛА в полете, а также для информационной поддержки принятия решений расчетом БАК по результатам контроля в случае нештатных ситуаций в полете. В основе функционирования АРМ лежит оценка работоспособности бортовых систем и компонентов БПЛА, оснащенных автономной системой управления с «искусственным интеллектом» на базе микроконтроллеров-«нейромодулей», способных к обучению и адаптации, а также СПО. Виртуальный имитатор работы БАК предназначен для обучения «нейронных сетей» в ходе работ по созданию систем бортового «интеллекта» БЛА и наземного «интеллекта» НПУ, а также тренировки расчета. Данный имитатор позволит также реализовывать различные сценарии ситуационной осведомленности расчета. Интеллектуальное бортовое устройство контроля на основе «нейромодулей» предназначено для контроля бортового оборудования БЛА и в случае необходимости принятия решения на реконфигурацию бортовых систем для минимизации последствий возникшего в полете повреждения (отказа).

Таким образом, в рамках разработки системы дистанционного мониторинга работоспособности БПЛА в полете необходимо решить следующие основные задачи:

1. Обосновать технологию мониторинга работоспособности БЛА в полете, в том числе его основных подсистем и разработать алгоритми-

ческие и структурные решения СМР на основе современных информационных технологий и электронной компонентной базы, а также концептуальную модель резервирования средств мониторинга.

2. Разработать модели и систему оценки параметров работоспособности основных подсистем БЛА, критерии результативности (качества) действий лиц, принимающих решение по обеспечению безопасного и безаварийного полета.

3. Интегрировать датчики и оборудование для квазинепрерывного сбора информации о работоспособности основных подсистем БЛА, создать аппаратно-программное обеспечение для обработки и анализа первичной информации, реализации интерфейсов «человек-машина», ведения информационных ресурсов (специализированных баз данных и функционирования «экспертных систем»), прогнозирования динамики параметров функционирования и показателей надежности основных подсистем БПЛА, реализации технологий «искусственного интеллекта».

УДК 519.6

ЗАДАЧА ПРЕСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ БПЛА САМОЛЁТНОГО ТИПА

В.Ф. СЛЕПЦОВ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

На протяжении тысяч лет государства ведут войны за сырьевые ресурсы и возможность управлять другими народами. Пришло время, когда «... почти весь земной шар поделен между ... “владыками капитала”, в форме ли колоний или посредством запутывания чужих стран тысячами нитей финансовой эксплуатации. Свободную торговлю и конкуренцию сменили стремления к монополии, к захвату земель для приложения капитала, для вывоза сырья и т. д.» [1], что западные руководители называют санкциями.

Чтобы сохранить свой суверенитет и независимость необходимо обеспечить отечественные Вооруженные Силы современной военной и специальной техникой, развитие форм и способов ведения военных действий [2].

Сказанное явилось причиной рассмотреть возможности применения математических методов оптимальных решений в управлении летательными аппаратами.

При создании математической модели процесса предполагаем, что аппарат имеет автономное управление, которое защищено от средств радиоэлектронной борьбы, оснащён средствами навигации типа гиросtabilизированной платформы, имеет средства управления двигателем и способен обнаруживать присутствие поблизости других подобных аппаратов.

При моделировании объекта управления использовались методы динамики управляемых систем [3,4]. В качестве примера рассматривается задача преследования, использующая теорию дифференциальных игр [5].

При создании математической модели задачи обозначим преследователя символом P (рис.1), а преследуемого символом E . В силу обратимости участников действия назовем их партнёрами в игре.

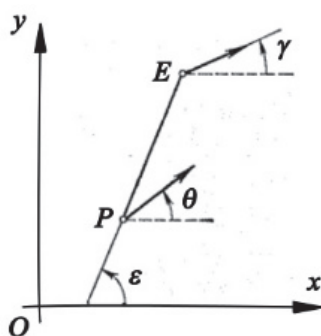


Рис. 1. К задаче преследования

Пусть v_E , γ – скорость и курс точки E , а v_P , θ – скорость и курс точки P . Уравнения их движения запишем в виде:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= v_E \cos \gamma, \\ \dot{y} &= v_E \sin \gamma,\end{aligned}\tag{1}$$

$$\begin{aligned}\dot{D} &= v_P \cos(\varepsilon - \theta) + v_E \cos(\varepsilon - \gamma), \\ D\dot{\varepsilon} &= v_P \sin(\varepsilon - \theta) - v_E \sin(\varepsilon - \gamma).\end{aligned}\tag{2}$$

Здесь ε – угол, образуемый прямой PE с осью x , $D=EP$, координаты x, y описывают состояние партнёра E , а координаты D, ε – состояние партнёра P . Оба состояния зависят от скорости и тангажа курса движения, которые можно выбирать. Поэтому v_P, θ, v_E, γ являются управляющими функциями.

Отметим также, что в задачах, имеющих практический смысл, должно быть

$$\begin{aligned} 0 \leq v_E \leq a, |\dot{\gamma}| \leq m, \\ 0 \leq v_P \leq b, |\dot{\theta}| \leq n, \end{aligned} \quad (3)$$

где a, b, m, n – заданные числа.

Неравенства (3) определяют область значений функций управления при любых параметрах x, y, D, ε и представляют собой область определения уравнений (1), (2).

Представленная математическая модель описывает ситуацию, которая называется конфликтной или игровой [5] и решение задачи возможно имеющимися алгоритмами динамического программирования.

В результате вычислений оптимальная стратегия для u имеет вид:

$$\begin{aligned} u &= -\bar{u} \quad \text{при } z_3 > s_3 \geq s_2, \\ u &= +\bar{u} \quad \text{при } z_3 < s_3 \leq s_2, \\ u &= 0 \quad \text{при } z_3 = s_3 \cdot \frac{3}{2}. \end{aligned} \quad (4)$$

где $\bar{u}$ – заданное число; $z_3 = \theta$; $s_2 = \varepsilon(T)$; $s_3 = \theta(T)$.

Оптимальная стратегия для v будет:

$$\begin{aligned} v &= -\bar{v} \quad \text{при } z_4 > s_4 \geq s_2, \\ v &= +\bar{v} \quad \text{при } z_4 < s_4 \leq s_2, \\ v &= 0 \quad \text{при } z_4 = s_4, \end{aligned} \quad (5)$$

причём $\bar{v}$ – заданное число; $z_4 = \gamma$; $s_4 = \gamma(T)$.

Зависимости (4) и (5) определяют оптимальные траектории преследования. Они состоят из отрезков окружностей минимальных радиусов

$R_P = \frac{v_P}{\bar{u}}$, $R_E = \frac{v_E}{\bar{v}}$. В исключительных случаях, когда

$$s_3 = s_2 = z_3, \quad z_4 = s_4 = s_2,$$

кроме отрезков указанных окружностей оптимальные траектории преследования могут состоять также из отрезков прямых.

Изложенный алгоритм определения оптимальной траектории преследования позволяет создать программное обеспечение, которое обеспечит эффективное управление полетом БПЛА.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ленин, В.И. Социализм и война. ПСС, Изд-е 5-е. М.: Изд-во пол-лит. лит-ры, 1967. Т. 26. 590 с.
2. Зарудницкий, В.Б. Характер и содержание военных конфликтов в современных условиях и обозримой перспективе // Военная мысль. – 2021.–№ 1.–С. 33–43.
3. Molotnikov, V., Molotnikova, A. Theoretical and Applied Mechanics. – Switzerland: Springer Nature AG, 2023.–684 s.
4. Летов, А.М. Динамика полёта и управление. – М.: Наука, 1969.–389 с.
5. Айзекс, Р. Дифференциальные игры. – М.: Мир, 1967.–479 с.

УДК 621.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ, СВЯЗАННОЙ С БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ

И.Ф. СОЛОВЬЕВА

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

История беспилотных летательных аппаратов (дронов) началась задолго до их массового применения в гражданской сфере.

Первая идея беспилотного аппарата относится к 1860 году, когда во время осады Венеции австрийцы запускали воздушные шары с бомбами, чтобы атаковать город.

Далее в США в 1916 г. – Чарльз Кеттеринг разработал беспилотный самолет-снаряд, который должен был лететь по заданному маршруту и падать на врага с бомбой. Он управлялся примитивным автопилотом.

В Великобритании в 1917 г. начали появляться радиоуправляемые самолёты для учебных целей.

Во время второй мировой войны (1939–1945) в Германии стали создаваться крылатые ракеты «Фау-1» (V-1), которые считались прототипом современных дронов.

В СССР также велись эксперименты с дистанционно управляемыми самолетами, использовавшиеся для разведки, наблюдения и учений (например, Ту-143 «Рейс», 1970).

Сегодня дроны применяются не только в военных, но и в гражданских сферах: в аграрии, геодезии, доставке продуктов и товаров, в медицине, в ходе спасательных операций во время катастроф.

В последние 10-15 лет именно гражданское использование дронов стало особенно важным для массового развития беспилотных аппаратов.

Во-первых, в сельском хозяйстве: аэрофотосъемка полей, построение карт урожайности, мониторинг состояния почвы, влаги, удобрений, контроль за стадом животных, (например, в Китае и Японии дроны активно применяются для земледелия).

Во-вторых, в геодезии: создание 3D-карт местности, аэрофотосъемка при строительстве дорог, мостов, зданий.

В-третьих, в логистике и доставке товаров и посылок, в транспортировке медикаментов и крови в труднодоступные районы, в доставке еды в городах (США, Китае, ОАЭ).

В-четвертых, для спасательных и гуманитарных миссий: для поиска людей после землетрясений, наводнений, лавин, для доставки медикаментов в зоны ЧС, для контроля пожаров (тепловизионные дроны находят очаги возгорания).

В-пятых, в медицине и здравоохранении: доставка вакцин и анализов; санитарный мониторинг (например, дроны с тепловизором во время COVID-19 использовались для контроля скоплений людей и измерения температуры).

В-шестых, в строительстве: в экологии и охране природы, в наблюдении за животными, контролем браконьерства, мониторингом лесов, воздуха и воды, в Австралии дроны применяют для охраны кораллов.

В-седьмых, в промышленности: это инспекция зданий, мостов, трубопроводов, контроль стройки, 3D-модели объектов в США, Европе и России.

В-восьмых, для развлечений: кино- и фотосъемка, спортивные трансляции, световые шоу (в Японии – Олимпиада в Токио), в США и Китае (световые шоу в городах).

Таким образом, дроны стали универсальным инструментом мирного назначения – от аграрной отрасли до медицины и культуры.

В наш стремительный, очень непростой XXI век развитие общества характеризуется глобальной информатизацией человеческой деятельности. Информационные технологии непрерывно совершенствуются, охватывая новые виды общественной деятельности: производство, науку, образование, медицину и быт.

Мобильные сети переполнены всевозможной информацией. Для соответствия требованиям современного рынка труда перед высшей школой ставится огромная задача: повысить уровень подготовки

специалистов, особенно специалистов инженерных специальностей. Непрерывно возрастающая роль информационных технологий влечет за собой усовершенствование образовательной подготовки студентов именно технического профиля.

Для подготовки студентов инженерных специальностей на нашей кафедре высшей математики в тесном сотрудничестве с кафедрой информатики преподаватели делают все, чтобы поднять уровень будущих специалистов. Ведь именно высшая математика составляет фундамент для изучения остальных общетехнических дисциплин. В дальнейшем студентам нужно будет изучать физику, теоретическую и прикладную механику, инженерную графику, сопротивление материалов и другие предметы по специальности.

В этом учебном году в нашем вузе открылась новая современная специальность: «Проектирование и технология беспилотных авиационных комплексов». И в основе обучения студентов этой специальности лежит высшая математика.

Именно она развивает мышление: учит анализировать проблемы, находить закономерности, строить причинно-следственные связи. В высшей математике приходится работать с абстрактными концепциями, именно это помогает в программировании, физике, инженерии, теоретической и прикладной механике.

Студенты первого курса новой специальности, придя на лекции по высшей математике, встречаются с темой «Пределы». Эта трудная объемная тема, дающая возможность перейти к следующей очень важной во всех отношениях теме: «Дифференциальное исчисление». Без нее обойтись никак нельзя. Здесь нужно выучить производные, применяя их потом для нахождения касательных, скоростей и ускорений. В дальнейшем придется рассчитывать скорость и ускорение полета летательного аппарата, проводить анализ траектории, определять динамику винтов; вертикальную скорость по данным барометра; находить перегрузку по второй производной траектории.

Следующий шаг высшей математики: «Интегральное исчисление». Интегралы позволяют вычислять площади, рассчитывать пройденный путь летательного аппарата, расход топлива, энергии аккумулятора, силу сопротивления для вычисления энергозатрат на заданном маршруте.

Не остаются без внимания такие важные темы, как: «Высшая алгебра» и «Аналитическая геометрия». Векторы, матрицы, преобразования координат, переход из локальной в глобальную систему координат, расчет ориентации дрона, работа с данными, построение матрицы поворота для навигации – все это можно рассчитывать, разобравшись в этих темах.

Далее идет сложная, практически везде применимая тема: «Дифференциальные уравнения». Изучив ее, можно составлять математические модели, движения беспилотных аппаратов, решать системы уравнений Ньютона–Эйлера для вращения дрона, рассчитывать устойчивости полета и автопилота, анализировать переходные процессы в системах управления, прогнозировать траектории полета при наличии возмущений (ветер, турбулентность).

Невозможно обойти любимую всеми студентами тему: «Теория вероятностей». Пригодятся для летательных аппаратов изучаемые здесь случайные величины, законы распределения вероятностей. Это нужно для работы с шумами сенсоров и прогнозов поведения системы.

Изучение темы «Математическая статистика» поможет разобраться в навигации, вероятностной оценки отказов двигателя, оценка надежности систем, а также в обработке данных с камер и распознаванию объектов.

В векторном исчислении изучаются градиенты, дивергенция, ротор, применяющиеся для расчета аэродинамических нагрузок и сил, моделирования потоков воздуха вокруг беспилотных летающих аппаратов.

С помощью методов оптимизации функций можно построить оптимальные маршруты, снизить энергозатраты, построить траектории облета препятствий с минимальным временем.

Функции комплексного переменного, преобразование Фурье нужны для обработки сигналов связи, радиолокации, анализа изображений, для выделения сигналов в шуме, а также для обработки видео с камеры. А еще преобразование Фурье можно применять к радиосигналу для выделения полезной частоты.

Численные методы и вычислительная математика помогут при моделировании полета, при расчете численного решения систем дифференциальных уравнений, при рассмотрении различных сценариев полета в условиях, близких к реальным. Численный метод Рунге – Кутты будет полезен для расчета траектории при сильном ветре.

Итак, высшая математика для студентов, изучающих беспилотные аппараты – это основа навигации, управления, проектирования и анализа беспилотников. Без нее невозможно создать надежный автопилот, рассчитать аэродинамику, оптимизировать траекторию или обеспечить безопасность полетов. Таким образом, каждый раздел высшей математики напрямую «привязан» к задачам проектирования и применения беспилотников – от построения траекторий до обработки изображений и связи, и учить их просто необходимо.

Перспективные направления применения дронов в мирных целях активно развиваются и очень хотелось бы, чтобы они стали частью

нашей жизни в ближайшие годы, например, летающие такси и пассажирские перевозки. Уже многие компании работают над беспилотными аэротакси, которые будут перевозить людей на небольшие расстояния. Такие дроны напоминают мини-вертолёты с вертикальным взлётом. Умные города и их инфраструктура: дроны могут помогать регулировать дорожное движение; замечать пробки и аварии и контролировать состояние дорог и зданий.

УДК 004.8

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Д.А. СТАНКЕВИЧ, А.Н.ТИПКО

Республиканское унитарное предприятие «Научно-производственный
центр многофункциональных беспилотных комплексов»
Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

Программа HyperDetect — инструмент для анализа состояния растительности на основе гиперспектральных кубов, реализующий обработку данных, выделение признаков, кластеризацию, визуализацию и диагностику аномалий. Обеспечивает оптимизацию экологического мониторинга и определение состояния здоровья растительности. База данных для построения гиперспектральных кубов создается с помощью разработанной на предприятии установки для наземной штативной съемки (рис.1), либо с беспилотного летательного аппарата, оснащенного мультиспектральной камерой (рис. 2).



Рис.1. Установка с гиперспектральной камерой
для наземной штативной съемки



Рис. 2. Целевая нагрузка мультиспектральной камерой для БПЛА типа «Бусел»

Программа обрабатывает гиперспектральные кубы (150 каналов, диапазон 400–1100 нм) и метаданные в формате JSON, полученные с гиперспектральной камеры (рис. 3), фиксирующей изображения растительных объектов (ветки, трава, листья).

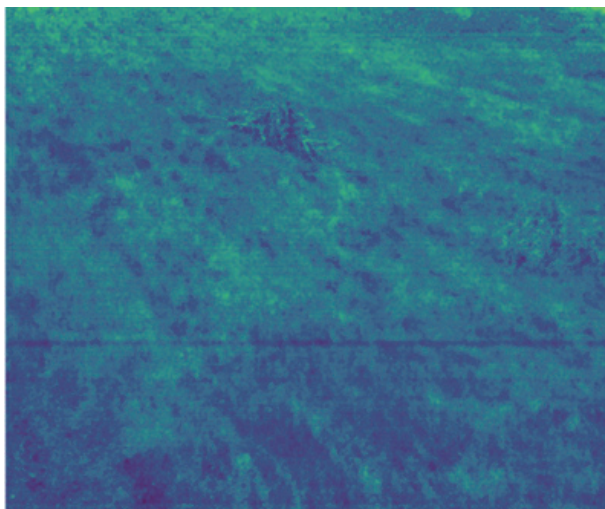


Рис. 3. Срез гиперспектрального куба

Метод включает этапы:

1. Предобработка. Загрузка и валидация гиперкубов, приведение размеров (обрезка/дополнение нулями), коррекция ориентации, устранение артефактов полосы щели, нормализация яркости и интенсивности.
2. Извлечение признаков. Расчёт индексов (NDVI, PRI, SAVI, EVI, NDWI, ARVI), текстурных признаков (GLCM, Sobel, локальное среднее), кластеризация MiniBatchKMeans для выделения фона.

3. Обновление кластеров. Пересчёт кластеров с коррекцией аномалий.

4. Визуализация. Карты индексов, текстурных признаков и кластеров.

5. Обучение модели. Выбор каналов, объединение с индексами, кластерами, локальным средним и Sobel; снижение разрешения, аугментация; свёрточный автоэнкодер с декодером. Обучение на 100 эпохах с ранней остановкой.

6. Генерация видео. Инференс, снижение разрешения, предсказание, восстановление до исходного разрешения. Кадры с выделением кластера кустов, метками даты и длины волны. Формирование видео AVI (1920×1080, 1 FPS).

В результате работы программы HyperDetect формируются преобразованные гиперкубы, наборы спектральных индексов, текстурных характеристик и карт кластеров, а также визуализации в виде карт признаков. Обученный автоэнкодер обеспечивает минимальную ошибку восстановления.

Итоговое видео наглядно отображает больные кусты на кластерах, с метками даты и длины волны (рис. 4).

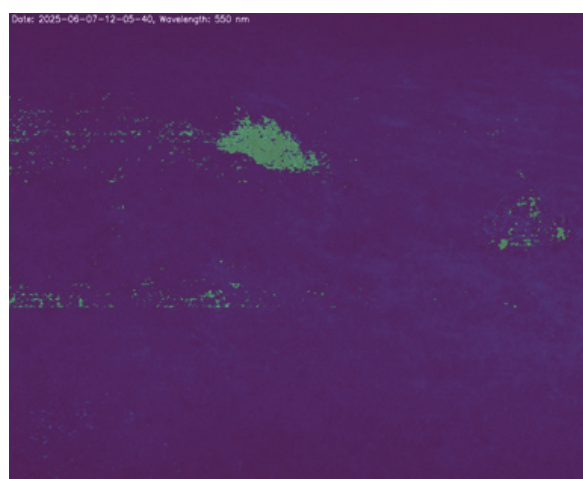


Рис. 4. Изображение больного куста на фоне

Метод позволяет анализировать состояние растительности и выявлять аномалии оптимизируя мониторинг заболеваний и экологический контроль.

ЛИТЕРАТУРА

1. Xu S., Khandelwal A., Li X., et al. Mini-batch learning strategies for modeling long term temporal dependencies: a study in environmental applications. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00607-024-01362-2>.

2. Kroon D. Numerical optimization of kernel-based image derivatives. Short Paper, University of Twente, 2009. <https://towardsdatascience.com/magic-of-the-sobel-operator-bbbcb15af20d/>.
3. Bank D., et al. Autoencoders: A comprehensive review. Artificial Intelligence Review, 2024. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-023-10662-6>.
4. Chen Z., Guo J. Deep learning for universal linear embeddings of nonlinear dynamics. Nature Communications, 2018. <https://www.nature.com/articles/s41467-018-07210-0>.
5. Kingma, D. P., & Welling, M. (2014). Auto-encoding variational Bayes. Proceedings of the 2nd International Conference on Learning Representations (ICLR). <https://arxiv.org/abs/1312.6114>.
6. Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., & Huemmrich, K. F. (2019). Hyperspectral remote sensing of vegetation. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315159331>.

УДК 629.735

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А.В. ТАРАСЕВИЧ, Д.В. КАЦЕР
ОАО «ПЕЛЕНГ», Минск, Беларусь

Компания «Пеленг» в 2024 году отметила 50-летний юбилей. На протяжении полувека она выполняет научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, разрабатывает и предлагает своим заказчикам лучшие оптико-электронные приборы. Потенциал компании «Пеленг» позволяет уверенно реализовывать и другие инновационные проекты. Одним из таких проектов является разработка беспилотных авиационных комплексов (БАК) двойного назначения. В современных условиях беспилотные летательные аппараты (БПЛА), входящие в состав таких БАК, должны иметь возможность функционирования в автоматическом режиме при отсутствии сигналов спутниковых навигационных систем. Данное требование может быть выполнено путем интегрирования в состав бортового оборудования БПЛА систем технического зрения (СТЗ), разрабатываемых компанией «Пеленг».

Использование информации: СТЗ, углового положения, угловой скорости БПЛА в системе управления позволяет автономно определять такие пилотажно-навигационные параметры (ПНП), как путевая скорость, угол пути и, соответственно, решать поставленные задачи. Существующие подходы навигации БПЛА по видеопотоку используют информацию стабилизированной СТЗ, что существенно увеличивает стоимость БПЛА. Особенно, если речь идет об их одноразовом применении.

Предлагаемый подход основывается на разработке прицельно-навигационных алгоритмов с учетом информации нестабилизированной СТЗ.

Особенности разработки алгоритмов управления БПЛА путем комплексирования сигналов различных датчиков и систем заключаются в следующем:

- Различные системы координат, применяемые в устройствах. Терминология, встречающаяся на полях сети «Internet» и применяемая другими разработчиками, не всегда имеет верное толкование или однозначное определение. Поэтому при разработке системы управления БПЛА целесообразно руководствоваться ГОСТ 20058-80 «Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины, определения и обозначения» [1].

- Точностные характеристики (а также их стабильность) МЭМС-датчиков (гироскопов, акселерометров) существенно влияют на точностные характеристики разрабатываемых алгоритмов. В зависимости от решаемых задач формируются требования к параметрам СТЗ. Постепенно в состав оборудования внедряются волоконно-оптические гироскопы и кварцевые акселерометры, с существенно лучшими характеристиками. Современные технологии производства таких датчиков позволяют снизить их габаритные характеристики и ценовой диапазон [2]. [3].

- БПЛА можно рассматривать в пространстве как объект, имеющий шесть степеней свободы. Особенность отображения полета БПЛА нестабилизированной СТЗ заключается в том, что все шесть степеней свободы отображаются как две в системе координат, связанной с камерой. Поэтому для получения информации о движении центра масс БПЛА требуется информация от других датчиков (МЭМС) о его вращении относительно центра масс.

- Датчики пилотажно-навигационной информации выдают данные с различной частотой (от десятков до тысяч Гц). Возникает проблема синхронизации параметров, которые с различной частоты, поступают в бортовой вычислитель. Задержка подачи сформированного сигнала на

исполнительные механизмы рулевых поверхностей БПЛА при этом должна быть минимальной.

– Синтезированные законы управления БПЛА могут быть реализованы по классической схеме, либо на ПИД-регуляторах. Выбор схемы зависит от многих факторов: точки зрения автора разработки, понимания сущности процесса управления данным объектом, набора датчиков информации, их точностных характеристик.

– Внедрение достижений искусственного интеллекта в области идентификации и распознавания объектов. Разработка алгоритмов функционирования автомата сопровождения, интеграция в закон автоматического управления БПЛА.

– Разработка математической модели БПЛА, с принятым законом управления. Моделирование управляемого полета, отладка алгоритмов и подбор коэффициентов законов управления, обеспечивающих заданное качество переходных процессов.

– Проведение наземных испытаний опытного образца с использованием динамических стендов, оценка достоверности ПНП и их точностных характеристик, надежности функционирования бортового оборудования. Желательно наземные проверки проводить во всем эксплуатационном диапазоне температур, на высокоточном динамическом стенде, позволяющем определить погрешности ПНП, в том числе и задержки выдаваемых параметров.

– Проведение летных испытаний БПЛА, корректировка коэффициентов алгоритмов, законов управления, оценка точностных характеристик ПНП, результатов применения и надежности функционирования, доработка опытного образца.

В качестве одного из разработанных образцов можно привести изделие КАБ-10 – корректируемая авиационная бомба малого калибра (рис. 1). Тип боевой части: осколочно-фугасная, кумулятивная.

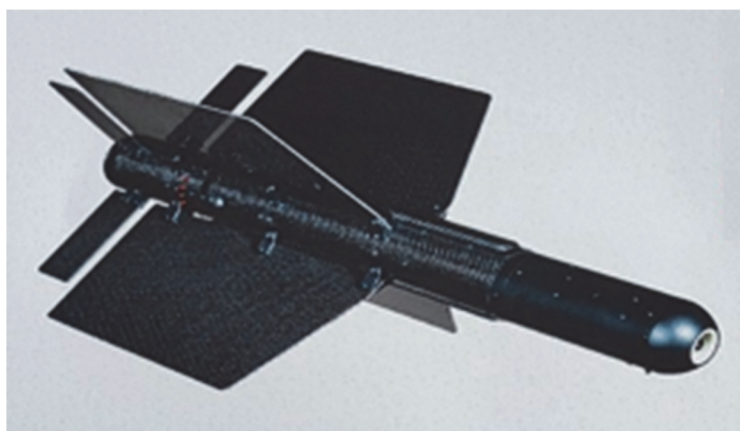


Рис. 1. Корректируемая авиационная бомба малого калибра

Основные технические характеристики КАБ-10 представлены в таблице.

Таблица

Масса	до 8кг
Длина	720 мм
Размах крыла	480мм
Масса боевой части	до 5 кг
Высота применения	(200-600) м

ЛИТЕРАТУРА

1. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины и определения. ГОСТ 20058-80.
2. Распопов В.Я. Микромеханические приборы. – М.: Машиностроение, 2007 – 400с.
3. Филатов Ю.В. Волоконно-оптический гироскоп: Учеб. пособие. СПб.: Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003 - 234с

УДК 004.8

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ УЗБЕКИСТАНА НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ

Б.Ш. УСМОНОВ, К.И. УСМАНОВ

Ташкентский химико-технологический институт
Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Современное сельское хозяйство всё активнее внедряет инновации в области интеллектуального земледелия, включая использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Эти устройства объединяют информационно-коммуникационные системы, робототехнику, искусственный интеллект, большие данные и Интернет вещей. Особое внимание уделяется системам управления: переход от классических PID-регуляторов к интеллектуальным методам (нечёткая логика, ANFIS, гибридные контроллеры) позволяет существенно повысить точность выполнения аграрных операций, устойчивость к климатическим возмущениям и эффективность использования ресурсов.

Введение. Рост населения Земли и изменение климатических условий создают новые вызовы для агропромышленного комплекса. По оценкам экспертов, к 2050 году потребуется на 70 % больше продовольствия, чем сегодня. Одним из решений становится переход к интеллектуальному земледелию, которое сочетает в себе автоматизацию, робототехнику, информационно-коммуникационные технологии (ИКТ), большие данные, интернет вещей и искусственный интеллект. Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) рассматриваются как важнейший инструмент цифровой трансформации аграрного сектора. Их преимущества заключаются в высокой точности выполнения задач, простоте эксплуатации и сравнительно низкой стоимости. Сельскохозяйственные дроны уже применяются для широкого круга задач: от мониторинга и картографирования посевных площадей до обработки полей удобрениями и средствами защиты растений. Однако, несмотря на высокую производительность, остаются нерешенными вопросы, связанные с временем автономной работы, эффективностью аккумуляторов и полезной нагрузкой. Для устранения этих ограничений необходимо развивать новые материалы, усовершенствованные сенсоры, системы позиционирования и интеллектуальные методы управления.

Особое внимание в последние годы уделяется применению нечёткой логики и гибридных интеллектуальных контроллеров (FLC, ANFIS, ANFIS-PID). В отличие от классических PID-регуляторов, такие подходы позволяют учитывать неопределённость сельскохозяйственной среды (ветровые возмущения, вариации нагрузки, погодные факторы) и обеспечивать высокую устойчивость полёта. Применение нечёткой логики в управлении БПЛА демонстрирует значительное снижение перерегулирования, сокращение времени установления и устранение статической ошибки, что напрямую повышает эффективность использования беспилотных систем в аграрной отрасли Узбекистана.

Применение БПЛА в аграрном секторе Узбекистана

В рамках исследования были рассмотрены основные направления внедрения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в практику сельского хозяйства Узбекистана:

Агромониторинг и картографирование. С помощью мультиспектральных и тепловизионных датчиков выполнялась диагностика состояния посевов, определялись зоны дефицита влаги и возможные очаги заболеваний растений, что показано на рис. 1.

Внесение удобрений и средств защиты растений. Беспилотные платформы оснащались резервуарами объёмом 10–15 литров и специальными распылительными форсунками, что обеспечивало равномерное распределение растворов по площади поля, как видно на рис. 2.

Посев семян и локальные операции. Дроны использовались для точечной посадки зерновых культур и хлопчатника в зонах, куда затруднён доступ традиционной техники, что иллюстрируется на рис. 3.

Анализ урожайности и прогнозирование. Полученные данные обрабатывались с применением геоинформационных технологий (ArcGIS), что позволяло строить цифровые тепловые карты продуктивности и заранее оценивать ожидаемый урожай, пример чего приведён на рис. 4.

Интеллектуальные методы управления: нечёткая логика

Для повышения устойчивости и точности работы беспилотных летательных аппаратов в условиях сельского хозяйства были применены методы интеллектуального управления, основанные на принципах нечёткой логики. Такой подход позволяет учесть неопределённость окружающей среды — колебания скорости ветра, изменение массы полезной нагрузки, нестабильность сенсоров.

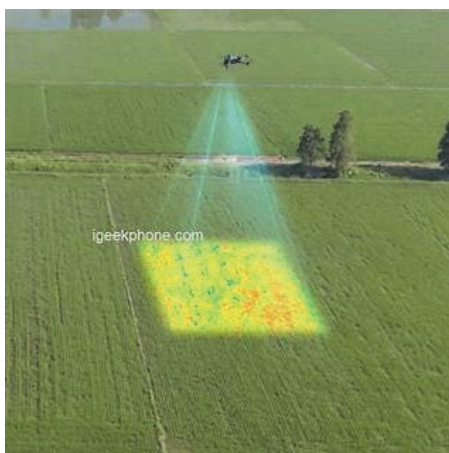


Рис. 1. Агромониторинг посевов с использованием мультиспектральных датчиков на БПЛА

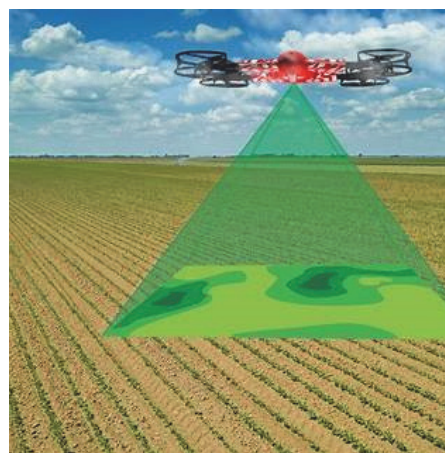


Рис. 2. Опрыскивание сельскохозяйственных культур беспилотным аппаратом



Рис. 3. Посев семян и выполнение локальных операций с помощью дрона

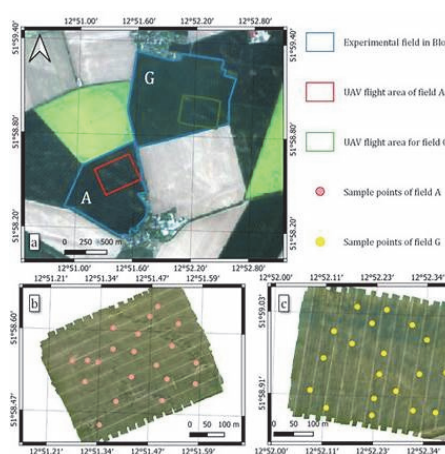


Рис. 4. Анализ урожайности и построение цифровых карт в ГИС-системе (ArcGIS)

Формирование нечётких переменных. В качестве входных параметров системы управления рассматривались ошибка курса и скорость изменения ошибки. Для каждой из переменных задавались пять функций принадлежности: *NB* (сильно отрицательное значение), *NS* (отрицательное), *ZE* (нулевое), *PS* (положительное) и *PB* (сильно положительное).

Создание базы правил IF–THEN. Управляющие воздействия определялись с помощью набора логических правил вида «ЕСЛИ–ТО». ЕСЛИ ошибка большая отрицательная и её производная также отрицательная, ТО управляющий сигнал принимается как положительный большой.

ЕСЛИ ошибка равна нулю и её изменение близко к нулю, ТО управляющее воздействие устанавливается как нулевое. Всего было реализовано 25 правил.

База правил (25 штук):

1. ЕСЛИ $e = NB$ И $de = NB$, ТО $u = NB$
2. ЕСЛИ $e = NB$ И $de = NS$, ТО $u = NB$
3. ЕСЛИ $e = NB$ И $de = ZE$, ТО $u = NB$
4. ЕСЛИ $e = NB$ И $de = PS$, ТО $u = NS$
5. ЕСЛИ $e = NB$ И $de = PB$, ТО $u = ZE$
6. ЕСЛИ $e = NS$ И $de = NB$, ТО $u = NB$
7. ЕСЛИ $e = NS$ И $de = NS$, ТО $u = NS$
8. ЕСЛИ $e = NS$ И $de = ZE$, ТО $u = NS$
9. ЕСЛИ $e = NS$ И $de = PS$, ТО $u = ZE$
10. ЕСЛИ $e = NS$ И $de = PB$, ТО $u = PS$
11. ЕСЛИ $e = ZE$ И $de = NB$, ТО $u = NB$
12. ЕСЛИ $e = ZE$ И $de = NS$, ТО $u = NS$
13. ЕСЛИ $e = ZE$ И $de = ZE$, ТО $u = ZE$
14. ЕСЛИ $e = ZE$ И $de = PS$, ТО $u = PS$
15. ЕСЛИ $e = ZE$ И $de = PB$, ТО $u = PB$
16. ЕСЛИ $e = PS$ И $de = NB$, ТО $u = NS$
17. ЕСЛИ $e = PS$ И $de = NS$, ТО $u = ZE$
18. ЕСЛИ $e = PS$ И $de = ZE$, ТО $u = PS$
19. ЕСЛИ $e = PS$ И $de = PS$, ТО $u = PS$
20. ЕСЛИ $e = PS$ И $de = PB$, ТО $u = PB$
21. ЕСЛИ $e = PB$ И $de = NB$, ТО $u = ZE$
22. ЕСЛИ $e = PB$ И $de = NS$, ТО $u = PS$
23. ЕСЛИ $e = PB$ И $de = ZE$, ТО $u = PB$
24. ЕСЛИ $e = PB$ И $de = PS$, ТО $u = PB$
25. ЕСЛИ $e = PB$ И $de = PB$, ТО $u = PB$

Компьютерное моделирование. Для проверки корректности предложенной системы был построен регулятор в среде *MATLAB/Simulink*

с использованием пакета *Fuzzy Logic Toolbox*. Структурная схема модели управления представлена на рис. 5.

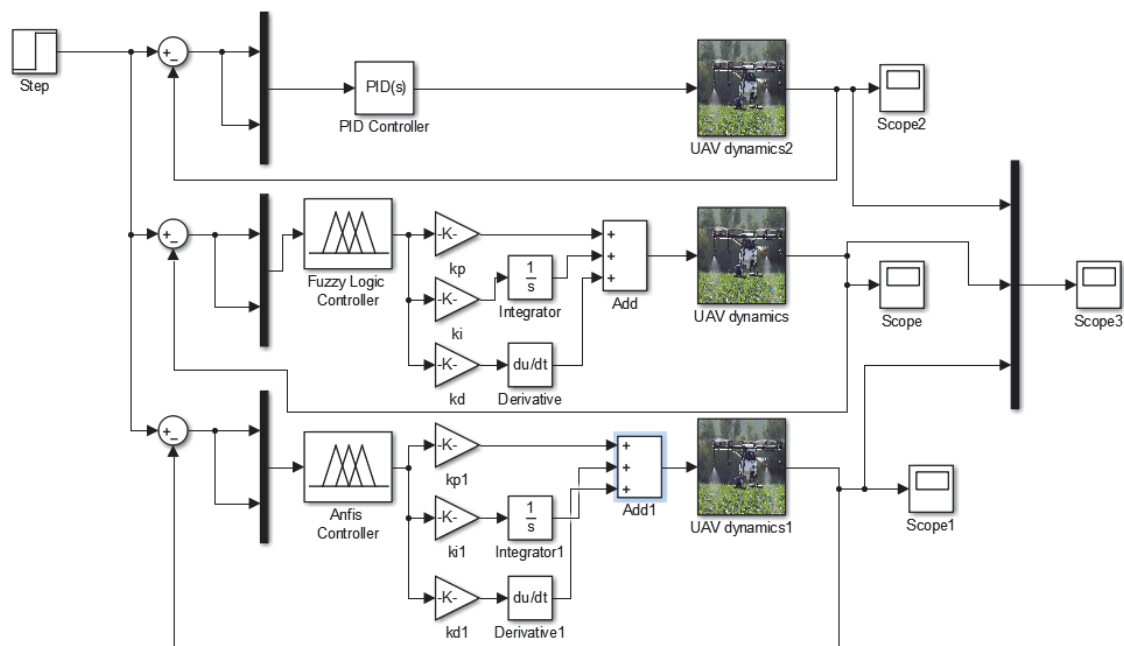


Рис.5. Сравнительная структурная схема управления БПЛА с использованием PID, Fuzzy-PID и ANFIS-PID регуляторов

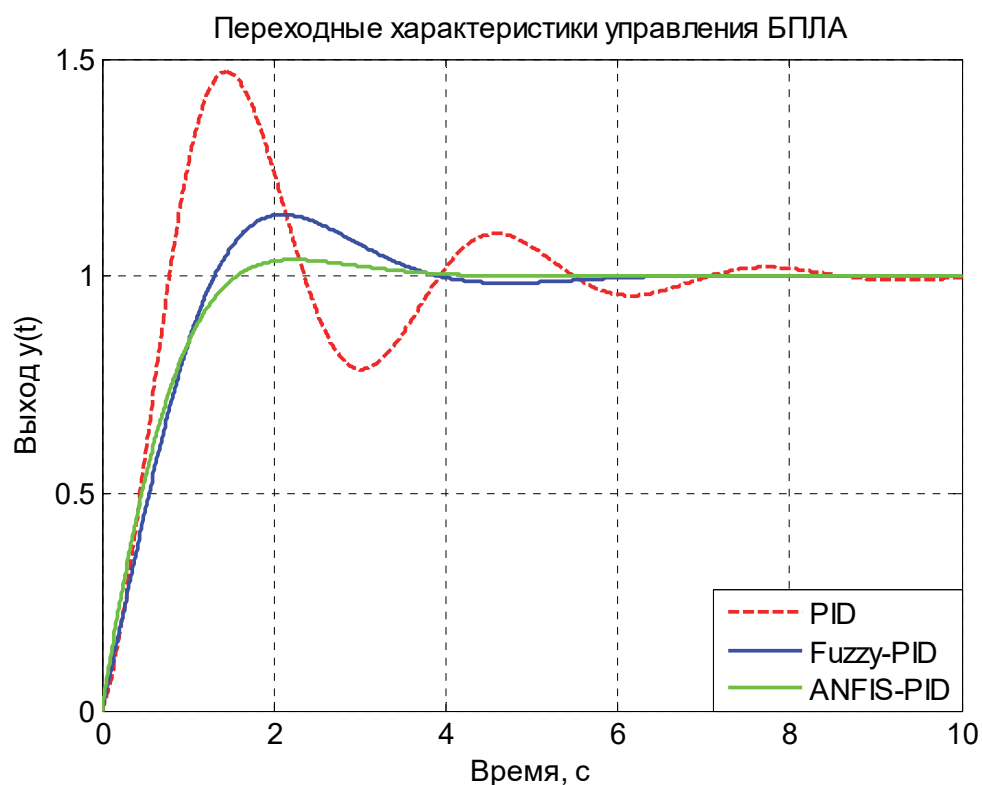


Рис.6. Сравнение переходных характеристик системы управления БПЛА при использовании PID, Fuzzy-PID и ANFIS-PID регуляторов

На рис. 6 представлены переходные характеристики системы управления БПЛА при использовании различных алгоритмов регулирования. **PID-регулятор (красная линия)** демонстрирует значительное перерегулирование (около 50 %) и увеличенное время установления. Это снижает точность стабилизации и приводит к колебательному процессу. **Fuzzy-PID (синяя линия)** показывает более плавный характер перехода: перерегулирование уменьшается, а система быстрее достигает установившегося значения. **ANFIS-PID (зелёная линия)** обеспечивает наилучшие показатели: отсутствует статическая ошибка, минимальное время установления и практически полное отсутствие колебаний.

Заключение. В работе рассмотрены основные направления применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве Узбекистана и показана эффективность интеллектуальных методов управления. Классические PID-регуляторы продемонстрировали ограничения в условиях неопределённости, в то время как использование нечёткой логики и гибридных алгоритмов (ANFIS-PID) позволило снизить перерегулирование, сократить время переходного процесса и устранить статическую ошибку. Компьютерное моделирование в MATLAB/Simulink подтвердило, что ANFIS-PID обеспечивает лучшие динамические характеристики.

Таким образом, интеграция БПЛА с интеллектуальными регуляторами создаёт условия для развития точного земледелия в Узбекистане, повышая эффективность производства и снижая затраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Saltık, I., Leblebicioğlu, K., Güzelkaya, M., Eksin, İ. (2017). *Hybrid Fuzzy-PI Control for UAV Dynamics*. *Applied Soft Computing*, 52, 560–573.
2. Zadeh, L.A. (1965). *Fuzzy Sets*. *Information and Control*, 8(3), 338–353.
3. Jang, J.-S.R. (1993). *ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 23(3), 665–685.
4. Ross, T.J. (2010). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. John Wiley & Sons.
5. MATLAB & Simulink Documentation. *Fuzzy Logic Toolbox*. MathWorks, 2023.

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ОБОРУДОВАНИЯ

В.С. ФРАНЦКЕВИЧ, Д.Ю. МЫТЬКО, Р.И. ЛАНКИН

Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) кардинально меняют сферу неразрушающего контроля при диагностике оборудования, делая его более быстрым, точным и прогнозирующим. Традиционно неразрушающий контроль (дефектоскопия, визуальный контроль, ультразвук, рентген и т.д.) требует огромного опыта и внимания человека-оператора. ИИ берет на себя самые рутинные и сложные задачи:

- Автоматическое обнаружение дефектов: алгоритмы компьютерного зрения анализируют изображения (с рентгена, термографии, камер) и с высокой точностью находят трещины, коррозию, каверны и другие аномалии, которые человек может пропустить из-за усталости.

- Классификация дефектов: не просто найти дефект, но и определить его тип (трещина, пора, включение инородного материала), ориентацию и степень серьезности.

- Сегментация: точное определение границ дефекта на изображении, что критично для оценки его размера и роста.

- Снижение ложных срабатываний: ИИ-модели, обученные на больших массивах данных, гораздо лучше отличают реальные дефекты от артефактов, шумов и нерелевантных особенностей материала.

- Прогноз остаточного ресурса (Predictive Maintenance): ИИ анализирует данные неразрушающий контроль за длительный период, с данными датчиков вибрации, температуры и нагрузок. На основе этого он строит прогнозы, когда оборудование достигнет критического состояния и когда именно его нужно обслуживать, предотвращая внезапные остановки.

Практически каждый метод неразрушающего контроля получает мощный импульс от внедрения ИИ. Например:

- Визуальный контроль (ВК). Дроны с камерами осматривают труднодоступные конструкции (мосты, ветряные турбины, нефтепроводы). ИИ в реальном времени анализирует видео и помечает потенциальные проблемные зоны (например, потерявшие герметичность сварочные швы или повреждения изоляции).

– Рентгеновский контроль и радиографический контроль. Анализ рентгенограмм (снимков) – идеальная задача для глубокого обучения. Алгоритмы (например, сверточные нейронные сети — CNN) учатся находить мельчайшие дефекты в сварных швах литья, электронных компонентов.

– Ультразвуковой контроль (УЗК). Анализ сложных А-сканов и данных фазированных решеток (ФРУК). ИИ помогает интерпретировать сигналы от сложных геометрий (например, сварные соединения труб разной толщины), где всегда много помех.

– Контроль проникающими веществами (капиллярный). Автоматический анализ изображений с индикаторными следами для классификации дефектов по размеру и форме.

– Контроль вихревыми токами. Анализ комплексных сигналов (амплитуда и фаза) для разделения влияния различных факторов (зазора, температуры, самого дефекта).

Алгоритм использования ИИ при диагностике оборудования можно представить в следующем виде:

1. Сбор данных: с оборудования с помощью датчиков (вибрации, температуры, давления, тока, ультразвука и т.д.) в непрерывном режиме собираются большие объемы данных.

2. Обучение модели. ИИ-модель (чаще всего нейросети) обучается на исторических данных, которые содержат информацию о работе оборудования до момента его поломки. Модель ищет сложные, неочевидные для человека паттерны и аномалии, которые предшествуют сбою. Можно обучать и на цифровом двойнике – создается виртуальная цифровая копия оборудования, и ИИ обучается на симуляции различных режимов работы и сценариев поломок.

3. Мониторинг и анализ в реальном времени: обученная модель подключается к потоку данных с датчиков. Она непрерывно анализирует текущее состояние и сравнивает его с выученными паттернами.

4. Прогнозирование и диагностика: когда модель обнаруживает признаки будущей поломки, она генерирует прогноз: *Что* выйдет из строя (например, подшипник электродвигателя), *когда* это произойдет (остаточный ресурс, например, через 72-96 часов), *почему* (например, признак усталости металла и дисбаланса).

5. Формирование рекомендаций и выводов: система автоматически создает заявку на обслуживание, формирует рекомендации для ремонтной бригады и заказывает необходимые запчасти.

Основные преимущества внедрения искусственного интеллекта для диагностики оборудования:

– Объективность и воспроизводимость: ИИ не устает, его не отвлекают, он всегда выдает результат по одним и тем же алгоритмам. Это убирает "человеческий фактор".

– Скорость: обработка данных и принятие решений происходят в разы быстрее. Можно проверять 100% продукции на конвейере вместо выборочного контроля.

– Точность: глубокое обучение позволяет находить дефекты, которые не описаны в стандартных методиках и которые не заметил бы даже опытный оператор.

– Обработка больших данных: ИИ может непрерывно анализировать терабайты данных с множества датчиков, выявляя сложные и скрытые зависимости.

– Цифровая документация: Все результаты автоматически протоколируются и сохраняются, что удобно для отслеживания истории состояния объекта.

Однако, есть и определенные ограничения, не позволяющие быстро и эффективно внедрять такие технологии:

– Качество данных: ИИ нужны для обучения большие размеченные датчики (тысячи изображений с отмеченными экспертами дефектами). Создание их – дорогая и трудоемкая задача.

– "Черный ящик": не всегда понятно, по каким именно признакам нейросеть приняла решение. В ответственных отраслях (авиация, АЭС) это может быть проблемой для сертификации.

– Доверие и внедрение: специалисты-дефектоскописты с большим опытом могут скептически относиться к решениям ИИ. Требуется изменение процессов и переподготовка кадров.

– Стоимость: разработка и внедрение AI-решений требуют значительных первоначальных инвестиций в оборудование, ПО и специалистов.

Нельзя не привести и реальные примеры применения ИИ для диагностики оборудования:

– Авиация: Siemens, GE, Airbus используют ИИ для анализа рентгеновских снимков лопаток турбин и композитных материалов фюзеляжа.

– Нефтегазовая отрасль: Анализ данных УЗК и ВТ для диагностики трубопроводов и резервуаров.

– Энергетика: Инспекция лопастей ветрогенераторов с помощью дронов и ИИ, контроль теплообменных труб на АЭС.

– Машиностроение: 100% контроль качества сварных швов на автомобильных конвейерах.

ИИ трансформирует неразрушающий контроль из задачи *найти дефект* в *запланировать и предупредить*. То есть вместо простого поиска поломок неразрушающий контроль становится системой непре-

рывной оценки «здоровья» оборудования и прогнозирования его будущего состояния. Это ключевой элемент концепции «Цифрового двойника» (Digital Twin) и Индустрии 4.0.

Таким образом, инженер-механик будущего, специалист по неразрушающему контролю – это не только человек с датчиками и приборами, но и оператор, который работает с AI-системами, интерпретирует их выводы и принимает финальные ответственные решения.

УДК 004.051

КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБФУСКАЦИИ И ДЕОБФУСКАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОДА И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ОНЛАЙН-ОБФУСКАТОРОВ

В.С. КАНТАРОВИЧ, П.П. УРБАНОВИЧ

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Растёт количество случаев несанкционированного копирования и использования интеллектуальной собственности, что создает необходимость в эффективных механизмах защиты уникальных алгоритмов и логики работы программ. Одним из таких важных инструментов в сфере информационной безопасности является обфускация, которая направлена на защиту интеллектуальной собственности и предотвращение несанкционированного доступа к исходному коду. Процесс обфускации особенно важен в контексте программного обеспечения и безопасности беспилотных аппаратов, поскольку он не только защищает внутреннюю логику и структуру кода, затрудняя анализ и реверс-инжиниринг, но и служит дополнительным слоем защиты от кибератак. В условиях растущих угроз обфускация минимизирует вероятность успешного обнаружения и эксплуатации уязвимостей, что является важным для надежности и устойчивости беспилотных систем. Таким образом, применение обфускации является необходимым шагом для повышения безопасности программного обеспечения и защиты от несанкционированного использования кода [1].

Обфускация – это процесс преднамеренного усложнения исходного кода программы и внесение в него модификаций с целью затруднения его анализа и понимания. Оригинальные алгоритмы обфускации

могут значительно усложнить анализ и декомпиляцию, так как современные деобфускаторы эффективно справляются с устаревшими методами.

Эффективность алгоритмов обфускации и их уровень защиты программного кода может зависеть от нескольких факторов, таких как: сложность исходного кода (определяется количеством строк, структурой, количеством условий, циклов и вложенных конструкций); язык программирования, так как разные языки имеют свои особенности и средства для реализации методов обфускации; методы обфускации; среда выполнения программного кода (операционная система, аппаратное обеспечение и контекст выполнения, также влияют на эффективность обфускации и производительность обфусцированного исходного кода). Исходя из этих факторов можно выбрать наиболее подходящие алгоритмы обфускации [2, 3].

Онлайн-обфускаторы кода поддерживают широкий спектр языков программирования, включая как интерпретируемые (JavaScript, PHP, Python), так и компилируемые (Java, C#). Особую популярность имеют онлайн-обфускаторы для JavaScript, поскольку выполнение этого кода на стороне клиента делает исходный код доступным пользователю в незащищенном виде, что подчеркивает необходимость его защиты от несанкционированного доступа и реверсивной инженерии.

Оценка эффективности обфускаторов кода может включать несколько критериев:

- устойчивость (Resistance) – используется для описания уровня сложности реализации реверсивной инженерии над программой после обфускации кода;

- читабельность (Readability) – характеризует степень возможности анализа и понимания кода для злоумышленников;

- сохранение функциональности (Functionality Preservation) – характеризует влияние обфускации на работоспособность программы;

- сложность декомпиляции (Decompilation Difficulty) – характеризует сложность восстановления исходного кода после обфускации;

- производительность (Performance) – характеризует влияние обфускации на скорость выполнения программы;

- цена «запутывания» (Cost of Obfuscation) – отражает объем ресурсов устройства, необходимого для запуска обфусцированного кода и необфусцированного кода;

- размер кода (Size of Code) – отражает влияние обфускации на общий размер программного обеспечения;

– технические возможности (Technical Capabilities) – включает в себя поддержку различных языков программирования, а также наличие инструментов для анализа и отладки защищённого кода.

В рамках исследования эффективности онлайн-обфускации был проведен анализ соответствующих инструментов для языков программирования PHP и JavaScript. Существует множество онлайн-обфускаторов для JavaScript, которые используют схожие методы обфускации и не сильно отличаются по техническим возможностям. Для анализа выбраны следующие обфускаторы: JavaScript Obfuscator Tool [4] (2 режима), EvalPacker Obfuscator [5] (4 режима), JavaScript Obfuscator [6] (4 режима). Для PHP-кода были выбраны: PHP obfuscator [7] (2 режима) и WB PHP Obfuscator [8] (2 режима).

Для оценки эффективности обфускаторов использовался анализ их работы с двумя тестовыми файлами. Оценивались время выполнения и размер выходных данных для различных режимов обфускаторов, с усреднением значений для точности. Тестирование проводилось на MacBook Pro 2019 года с 2,4 GHz 4-ядерным процессором Intel Core i5 и 8 ГБ оперативной памяти, что обеспечивало стандартные условия для оценки производительности обфускаторов.

Первый файл «test_1» представлял собой простой код размером 98 байт, среднее время выполнения которого составляло 0,008 миллисекунд. Вторым файлом «test_2» содержал более сложный код размером 6833 байта, среднее время выполнения которого для JavaScript составило 32 миллисекунды, а для PHP – 112,38 миллисекунд. Использование этих файлов позволило оценить устойчивость обфускатора к различным типам кода и влияние методов обфускации на производительность.

Установлено, что все обфускаторы предлагают несколько режимов обфускации. Однако в EvalPacker Obfuscator и JavaScript Obfuscator некоторые режимы не сохраняли функциональность кода после обфускации, что подтвердилось тестированием на обоих файлах. Кроме того, режимы обфускации этих инструментов и PHP Obfuscator не показали устойчивости к декомпиляции: обфусцированный код можно было успешно восстановить с помощью онлайн-деобфускаторов.

Для оценки читабельности обфусцированного кода была разработана шкала с тремя уровнями: низкая (код непонятен), умеренная (код частично читаем) и высокая (код легко читаем).

Сравнения обфускаторов по таким критериям, как читабельность кода, средняя производительность, средний размер файла для разных режимов рассматриваемых онлайн-обфускаторов приведены в таблице, представленной ниже.

Результаты сравнения эффективности онлайн-обфускаторов:

Язык	Обфускатор	Читабельность кода	Средняя производительность, мс		Средний размер файлов, байт	
			Файл «test_1»	Файл «test_2»	Файл «test_1»	Файл «test_2»
JavaScript	JavaScript Obfuscator Tool	низкая	0.012	98.68	1473	6243
JavaScript	EvalPacker Obfuscator	низкая	0.011	34	4015	72048
JavaScript	JavaScript Obfuscator	низкая	0.014	77.858	650	4779
PHP	PHP Obfuscator	низкая	0.00095	106.697	740	4466
PHP	WB PHP Obfuscator	низкая	0.0015	399.78	610	6043

Анализ данных показывает, что некоторые режимы обфускации значительно увеличивают размер файла, что негативно сказывается на скорости загрузки и производительности приложения. Кроме того, в некоторых случаях наблюдается существенное увеличение времени выполнения кода, что делает программу практически непригодной для использования. Наиболее эффективным оказался JavaScript Obfuscator Tool с множеством дополнительных возможностей.

Исследование подчеркивает необходимость разработки надежных методов обфускации и деобфускации, так как существующие инструменты часто компрометируют размер файла, скорость выполнения или устойчивость к декомпиляции.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урбанович П. П. Защита информации методами криптографии, стеганографии и обфускации: учеб.-метод. пособие. – Минск: БГТУ, 2016. – 220 с.
2. Assessment of Source Code Obfuscation Techniques / Viticchie A. [et. al]. 2016 IEEE 16th International Working Conference on Source Code Analysis and Manipulation (SCAM), Raleigh, NC, USA, 2016, p. 11-20. DOI: 10.1109/SCAM.2016.17.
3. Sutter B. D. A New Framework of Software Obfuscation Evaluation Criteria. arXiv:2502.14093v, 2025. DOI: 10.48550/ arXiv.2502.14093
4. JavaScript Obfuscator Tool [Электронный ресурс]. – Бесплатный и эффективный обфускатор для JavaScript (поддержка ES2022). – <https://obfuscator.io/>.

5. EvalPacker Obfuscator [Электронный ресурс]. – Инструмент для обфускации кода с возможностью защиты от копирования. – <https://tools.100zona.com/evalpacker.html>.

6. JavaScript Obfuscator [Электронный ресурс]. – Обфускатор JavaScript с функциями минификации и защиты кода. – <https://beautifytools.com/javascript-obfuscator.php>.

7. PHP Obfuscator [Электронный ресурс]. – Онлайн-обфускатор для защиты PHP-кода. – <https://php-minify.com/php-obfuscator/>.

8. WB PHP Obfuscator [Электронный ресурс]. – Инструмент для обфускации PHP-кода с множеством функций. – <http://wb0.ru/phpobf.php>.

УДК 004.03.26+004.56

АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ В БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМАХ МОДЕЛЕЙ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д.В. САЗОНОВА

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Беспилотные системы (БПС) в последние годы прочно вошли в сферу гражданских и военных технологий, охватывая широкий спектр задач – от мониторинга и картографирования до логистики и обеспечения безопасности [1]. Их развитие невозможно без комплексного применения цифровых технологий, специализированного программного обеспечения и искусственного интеллекта (ИИ).

Однако широкое внедрение автономных платформ неизбежно сопровождается ростом киберугроз. БПС постоянно обмениваются данными — как между отдельными устройствами, так и с наземными пунктами управления. Передача телеметрии, видеопотоков и управляющих команд делает беспилотники уязвимыми для перехвата, подмены и атак «человек посередине». В связи с этим одной из актуальных задач становится разработка и внедрение инновационных методов защиты информации.

Одним из перспективных направлений в обеспечении безопасности БПС является использование стеганографических технологий и нейросетевых алгоритмов, изначально созданных для скрытой передачи данных в мультимедиа, но адаптируемых к задачам киберустойчивости беспилотных систем.

Рассмотрим основные модели стеганографических систем на основе нейронных сетей:

1) Нейросетевые архитектуры для скрытой передачи данных

Классические стеганографические системы на основе архитектуры «кодер–декодер» нашли широкое применение в компьютерном зрении для сокрытия изображений внутри других изображений [2]. Перенос этих подходов в сферу БПС позволяет встроить секретные данные (например, ключи аутентификации или управляющие пакеты) внутрь видеопотока с камер дрона.

Достоинства архитектуры:

- высокая скрытность информации;
- возможность передачи по уже существующим каналам;
- устойчивость к шумам и помехам.

При этом важным ограничением остаётся значительная вычислительная нагрузка, что требует оптимизации программного обеспечения для применения на платформах с ограниченными ресурсами.

2) Генеративно-сопоставительные сети (GAN) и адаптивная маскировка

Генеративно-сопоставительные сети (GAN) [3] обеспечивают принципиально новый уровень скрытой передачи данных. В их основе лежит взаимодействие генератора и дискриминатора: первый формирует маскированный поток, а второй обучается его распознавать [4].

Для БПС это означает возможность динамической адаптации каналов связи. GAN позволяют:

- маскировать сигналы под легитимные данные;
- обеспечивать устойчивость к анализу со стороны противника;
- имитировать обычный трафик, скрывая управляющие команды.

Таким образом, применение GAN способно значительно повысить защищённость связи при выполнении беспилотниками критически важных миссий.

3) Обратимые нейросети и гарантированное восстановление информации

Особое значение для БПС имеют обратимые нейросети [5], которые позволяют не только встроить информацию, но и полностью восстановить её без потерь. Это критически важно в условиях, когда утрата даже небольшой части управляющих данных может привести к потере контроля над системой.

Алгоритмы этого класса обеспечивают:

- точность передачи критически важных данных;
- устойчивость к шумам и помехам;
- снижение риска разрушения информационного пакета при атаках.

Однако главным недостатком является высокая вычислительная сложность и трудоёмкость обучения моделей.

4) Перенос стилей и интеллектуальная маскировка

Методы переноса стиля [6] в компьютерном зрении позволяют адаптировать визуальные характеристики объектов. В контексте БПС это направление может применяться не только для обработки изображений, но и для камуфляжа беспилотников в визуальном диапазоне.

В частности, дрон может менять стиль отображаемых сигналов или даже внешнего облика (например, в инфракрасном спектре), что позволяет повысить скрытность при выполнении задач разведки и мониторинга.

Использование стеганографических и нейросетевых подходов в БПС позволяет решать следующие задачи:

- защита каналов управления от перехвата и подмены;
- устойчивость к атакам «человек посередине» и стеганоанализу;
- повышение защищённости в условиях активных помех;
- снижение риска компрометации миссий.

При этом необходимо учитывать и потенциальные угрозы:

- возможность использования тех же технологий противником для скрытой передачи вредоносных команд;
- высокая вычислительная нагрузка на бортовое ПО;
- риск ошибок моделей при обучении, ведущих к снижению уровня защиты.

В перспективе интеграция цифровых технологий и ИИ в БПС будет развиваться в направлении:

1. Оптимизации программного обеспечения – разработка лёгких нейросетевых моделей, способных работать на встраиваемых платформах.

2. Адаптивных систем безопасности – использование самообучающихся алгоритмов, реагирующих на новые типы атак.

3. Интеграции с криптографическими методами – объединение стеганографии с шифрованием для создания комплексной защиты.

4. Развития нормативной базы — формирование стандартов кибербезопасности для беспилотных систем.

Цифровые технологии и искусственный интеллект формируют основу для нового уровня безопасности в беспилотных системах. Перенос и адаптация стеганографических методов на основе нейросетей

позволяют создать устойчивые, скрытные и интеллектуальные системы защиты информации. Несмотря на высокую вычислительную сложность и потенциальные риски, такие подходы открывают перспективы формирования по-настоящему киберустойчивых беспилотных платформ, способных эффективно функционировать в условиях современных угроз.

ЛИТЕРАТУРА

1. Islam S., Karam A., Boualem A., Valli Pathan K. 6G-Enabled Network Security in Drone Technology: Revolutionizing Communications and Enhancing Security Applications // Nordic e-Infrastructure Tomorrow. Tallinn, Estonia, May 27–29, 2024 – p. 28-44.
2. Baluja S. Hiding Images in Plain Sight: Deep steganography Advances in Neural Information Processing Systems. In: NIPS'17: Proceedings of the 31st International Conference on Neural Information Processing Systems, Long Beach California, USA, December 4 - 9, 2017. – NY: Red Hook, 2017. – P. 2069–2079.
3. Goodfellow Ian J. et al. Generative adversarial nets Proceedings. In: Neural Information Processing Systems. 2014 – p. 2672–2680.
4. Zhang R., Dong, S. & Liu, J. Invisible steganography via generative adversarial networks. Multimed Tools Appl. 2019 – p. 8559–8575.
5. Guan Z. et al. DeepMIH: Deep Invertible Network for Multiple Image Hiding. In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1 Jan. 2023 – p. 372–390.
6. Bi X. et al. High-capacity image steganography algorithm based on image style transfer. Security and Communication Networks. 2021 – p.1–14.

УДК 003.26;004.056

ОСОБЕННОСТИ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СОКРЫТИЯ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ

А. Н. НИКОЛАЙЧУК

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

Взаимодействие между любыми устройствами в сети подчиняется правилам, которые определены стеком (набором) протоколов TCP/IP. Согласно этим правилам, предмет передачи (текст, изображение и т.д.)

поэтапно накапливает необходимую служебную информацию, переводится в бинарный вид и отправляется получателю. Каждый протокол стека отвечает за отдельную задачу в системе передачи сообщения.

Сетевые протоколы стека TCP/IP обладают значительной избыточностью как в заголовках (служебной информации), так и в полезной нагрузке. Это позволяет скрывать данные, не нарушая нормального функционирования сети. Известные методы стеганографии в основном делятся на:

- методы изменяющие данные в полях заголовков протокола;
- методы модификации полезной нагрузки пакета; в этом случае применяются всевозможные алгоритмы водяных знаков, речевых кодеков и прочих стеганографических техник по скрытию данных;
- и смешанные техники.

Для того чтобы создать скрытый канал в потоке передачи информации необходимо определить уязвимости в использовании полей заголовков, а также особенностей самых используемых протоколов. С помощью программы-анализатора трафика было установлено, что наиболее используемыми протоколами являются IP, ICMP, UDP, TCP, DNS.

IP. Протокол IP отвечает за две основные задачи: адресация и фрагментация/сборка дейтаграмм. Фрагментация – это процесс разделения дейтаграммы на части, если он превышает максимально возможный размер дейтаграммы. В заголовке протокола IP указываются многие характеристики отправителя, получателя и самого сообщения, изменение которых могут повлиять на процесс доставки, тем не менее он также содержит поля, которые могут сформировать скрытый канал [1–4]:

- Version – указывает номер версии протокола и определяет формат заголовка. Данное поле может содержать только два значения: 4 и 6, в виду того, что существуют две версии протокола IP. Однако для протокола шестой версии заголовок имеет другую структуру, поэтому можно использовать данное поле для скрытой передачи, например назначить пакеты с версией 4 равной 0, а с версией 6 – 1, и посимвольно передать бинарное сообщение;

- ToS – обеспечивает индикацию абстрактных параметров желаемого качества обслуживания. Предложенная в спецификации протокола IP концепция типа обслуживания практически не нашла своего применения и в настоящее время для задания типа обслуживания используется значение DSCP, задаваемое в полях TOS и Identification заголовка IP, хотя многие маршрутизаторы, его не поддерживают;

- для фрагментации используются три поля: Identification, Flags, Fragment Offset. Стратегия фрагментации разработана таким образом, чтобы в нефрагментированной дейтаграмме все поля, связанные с фрагментацией, имели нулевые значения;

- TTL – определяет максимальный срок существования дейтаграммы в системе Internet. Так как поле не несет в себе полезной информации его можно использовать для скрытой передачи информации;
- Header Checksum используется для хранения контрольной суммы полей заголовка. Для некоторых приложений допустимо небольшое число ошибок в данном поле, но недопустима задержка передачи;
- поле переменной длины Options определяется для каждой дейтаграммы отдельно. Поле опций является необязательным и используется в основном для тестирования;
- поле Padding переменного размера служит для выравнивания размера заголовка IP по 32-битовой границе, при использовании опций.

ICMP. Когда получателю требуется связаться отправителем (например, для передачи сообщения об ошибке при обработке дейтаграммы) используется протокол ICMP. ICMP использует базовый сервис протокола IP, как это делают протоколы вышележащих уровней, однако протокол ICMP на самом деле является составной частью IP и должен быть реализован в каждом модуле IP.

Известны следующие способы создания скрытых каналов с помощью протокола ICMP:

- Data – поле для записи служебных данных, которое при реализации стеганографической системы будет содержать в себе информацию, передаваемую скрыто;
- использование поля Code в качестве контейнера, когда используется только тип, без уточнений использование неиспользуемых бит в качестве скрытого канала;
- туннели с полезной нагрузкой – скрытый отправитель посылает пакеты эхо-запросов на хост с поддельным адресом источника (установленным на адрес скрытого получателя) и скрытыми данными, закодированными в полезной нагрузке. После этого хост-получатель отправляет эхо-ответы скрытому получателю с той же полезной нагрузкой, что и в запросах [5].

TCP. Протокол TCP предназначен для надежной и гарантированной доставки данных между хостами в компьютерных сетях с коммутацией пакетов и между такими сетями через промежуточные системы, поэтому есть несколько настроек, при которых некоторые поля будут использоваться выборочно:

- Sequence Number – порядковый номер первого октета данных в сегменте при отсутствии флага SYN. Если в сегменте присутствует бит SYN, поле номера содержит значение начального порядкового номера (ISN), а первый октет данных имеет номер ISN+1;
- использование поля Reserved – набор битов, зарезервированных на будущее;

- поле Указателя важности – 16-битное поле, которое принимается во внимание только для пакетов с установленным флагом URG;
- сегмент Флага сброса соединения (TCP Reset – сегменты TCP с установленным флагом RST обрывают соединение и обычно не содержат данных) и др.

Помимо размещения данных в поля заголовка, протокол TCP за счет повторных отправок может использовать метод, который отклоняет подтверждение успешно принятых сегментов, чтобы намеренно вызвать повторную передачу [6]. Повторно переданный пакет содержит секретную информацию, скрытую в поле данных.

UDP. Протокол передачи пользовательских дейтаграмм (User Datagram Protocol или UDP) предназначен для поддержки режима обмена дейтаграммами на основе коммутации пакетов в среде связанных между собой компьютерных сетей. В отличие от протокола TCP не является надежным протоколом, однако некоторые протоколы вышележащего уровня предпочитают использование именно его, в виду скорости выполнения. Структура UDP-дейтаграммы невелика и содержит только поля портов отправителя и получателя, аналогично TCP, длину UDP-дейтаграммы, контрольную сумму и непосредственно сами данные. Кроме самих данных, для создания скрытого канала может использоваться контрольная сумма по аналогии с протоколом IPv4 [3].

DNS. Механизмы системы доменных имен DNS (распределенная система преобразования имени хоста (компьютера или другого сетевого устройства) в IP адрес) также могут быть использованы в целях скрытой передачи информации:

- использование отрицательного кэширования доменных имен – скрытый отправитель рекурсивно запрашивает все доменные имена, для которых он хочет передать единицу, и ничего не делает в противном случае. Тайный получатель нерекурсивно запрашивает все доменные имена, интерпретируя кэшированный ответ как единицу, а некэшированный – как ноль.

– скрытое туннелирование IP-пакетов через протокол DNS – общение происходит между клиентом и поддельным DNS-сервером. Клиент отправляет серверу данные в виде DNS-запросов (поиск имени хоста), где реальные имена хостов являются закодированной скрытой информацией. Сервер отправляет клиенту данные, содержащиеся в ответах DNS [3].

Программы по обнаружению аномалий трафика (Snort, Suricata) с настройками по умолчанию не способны распознать сообщения со скрытой информацией, в виду уникальности подобных методов, поэтому для того, чтобы защитить сеть от тайной передачи данных необходимо для каждого метода формировать специальные правила, по которым работают вышеупомянутые программы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rowland C. H. Covert Channels in the TCP/IP Protocol Suite. First Monday, Peer Reviewed Journal on the Internet, 1997, 2(5). DOI:10.5210/fm.v2i5.528.
2. Jankowski B. PadSteg: Introducing Inter-Protocol Steganography / B. Jankowski, W. Mazurczyk, K. Szczypiorski. – Telecommun Syst, 2011.
3. Zander S. A survey of covert channels and countermeasures in computer network protocols / S. Zander, G. Armitage, P. Branch – IEEE Commun. Surv. Tutorials, 2007 – № 3, С. 44–57.
4. Урбанович П. П., Калоша И.В., Шутько Н.П. Использование скрытых каналов для передачи информации на основе стенографических методов в стеке протоколов TCP/IP. – Сборник статей V Международной научно-технической конференции "Минские научные чтения-2022", Минск, 07–09.12.2022 г.: в 3 т. Т. 2. – Минск: БГТУ, 2022. – С. 393–398.
5. Галушка В.В. Сетевая стеганография на основе ICMP-инкапсуляции / С.Б. Петренкова, Я.В. Дзюба, В.А. Панченко –Инженерный вестник Дона, 2018. – № 4 (51) – 107 с.
6. Белкина, Т.А. Аналитический обзор применения сетевой стеганографии для решения задач информационной безопасности / Т.А. Белкина. – Молодой ученый, 2018. – № 11 (197) – С. 36-44.

УДК 621.396

ЛИНЗА ЛЮНЕБЕРГА КАК ЭЛЕМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПРЕИМУЩЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ НА ЗЕМЛЕ, НА ВОДЕ И В ВОЗДУХЕ

В.Г. ЛУГИН¹, И.В. ВОЙТОВ¹, Н.В. ЛУГИН²

¹Белорусский государственный технологический университет,

²Белорусский государственный университет
Минск, Беларусь

В современной технике, радиолокационных и телекоммуникационных комплексах, системах космической и наземной связи используется большое количество высоконаправленных антенн, которые применяются в радионавигации, радиолокации, радиопротиводействии. Наиболее распространенные типы высоконаправленных антенн:

зеркальные антенны, фазированные антенные решетки (ФАР), антенны на основе поверхностных гребенчатых структур, а также плоские линзовые антенны.

Указанные высоконаправленные антенные системы, несмотря на высокую эффективность, имеют принципиальные ограничения на диапазон рабочих частот, коэффициент усиления и диапазон углов сканирования без применения специальных устройств. В качестве альтернативы традиционным высоконаправленным антеннам может выступать линза Люнеберга (ЛЛ), лишённая перечисленных недостатков, и обладающая рядом принципиальных преимуществ. Антенна на базе ЛЛ позволяет осуществлять сканирование лучей практически в любом диапазоне углов, путем перемещения малого облучателя вдоль поверхности. В силу своей сферически-симметричной конструкции, линза способна формировать несколько независимых диаграмм направленности одновременно, что позволяет обеспечить реализацию устойчивой связи по произвольным направлениям в пространстве. Сферические линзовые антенны имеют малое аэродинамическое сопротивление, что позволяет устанавливать их на движущиеся высокоскоростные объекты и обеспечивать их связь со спутниками и другими устройствами связи, находящимися на большом угловом расстоянии.

Теоретические принципы работы линзы Люнеберга впервые описал немецкий математик Рудольф Карл Люнеберг в 1944 г. ЛЛ представляет собой сферу с градиентным изменением показателя преломления и размещенным на ее поверхности облучателем.

Предложенная конструкция за счет радиально-неоднородной среды позволяет сконцентрировать поле, излучаемое от слабонаправленного источника в требуемом направлении. Показатель преломления линзы от центра к внешнему радиусу изменяется от $\sqrt{2}$ в центре, до единицы на краю, по закону:

$$n(r) = \sqrt{\varepsilon'(r)} = \sqrt{2 - (r/a)^2},$$

где: ε' – относительная диэлектрическая проницаемость материала линзы;

r – радиальная координата в сферической или цилиндрической системе координат;

a – внешний радиус линзы.

Вид этой формулы говорит о том, что если коэффициент преломления сферического тела меняется от $\sqrt{2}$ в центре, до единицы на краю, то это тело преломляет падающие на него лучи таким образом, что они выходят из сферы параллельно своему диаметру. Схема прохождения лучей показана на рисунке 1.

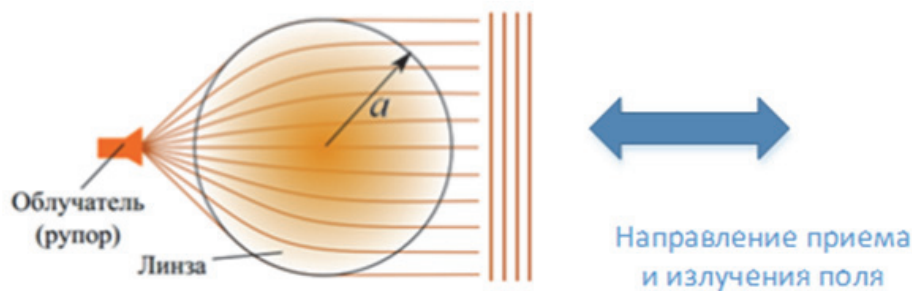


Рис. 1. Схема прохождения лучей через линзу Лüneберга

Изменение показателя преломления линзы Лüneберга от центра к ее поверхности носит непрерывный характер. Чаще всего плавный закон изменения диэлектрической проницаемости заменяют ступенчатым, следовательно, неоднородную структуру на слоистую. Создание таких линзовых антенн сталкивается с рядом проблем, связанных с получением материалов с необходимым значением диэлектрической проницаемости и поиском оптимального способа изготовления линзы. Существуют два различных подхода к проектированию: использование слоев с одинаковой толщиной или использование слоев с фиксированным значением показателя преломления и, соответственно, различными толщинами слоев.

Обычно линза Лüneберга изготавливаются из нескольких слоёв сферических оболочек, каждая из которых имеет одинаковый показатель преломления. Это приводит к разности фаз в апертуре, которая зависит от количества используемых слоёв. Чем больше слоёв, тем ближе к идеальной ЛЛ, но тем сложнее процесс её изготовления и выше стоимость. Кроме того, из-за зазоров и соединений между слоями возникают дополнительные разности фаз, что сделает слишком большое количество слоёв нецелесообразным.

В научных работах на эту тему все сходятся во мнении, что чем больше слоев, тем более точно описывается закон Лüneберга, но это же и усложняет конструкцию. Опытным путем установлено, что коэффициент усиления антенны и диаграмма направленности практически не меняются с увеличением количества слоев более шести.

В данной работе было решено использовать разбиение линзы на шесть слоев с равным шагом по толщинам слоев. Слои изготавливаются из диэлектрического материала, с соответствующей диэлектрической проницаемостью. Каждый слой состоит из двух симметричных полусфер. Структура такой линзы представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Структура линзы Люнеберга

Такая структура позволяет линзе Люнеберга фокусировать перехваченные электромагнитные волны. Когда плоская волна падает на линзу, она фокусируется на другом конце диаметра, перпендикулярном волновому фронту. Аналогично, размещение облучателя в этой точке генерирует плоскую волну на апертуре сферической антенны, которая затем излучается. При использовании антенны с линзой Люнеберга простое перемещение облучателя по поверхности сферы позволяет сканировать луч на 360° .

Линзовый рефлектор Люнеберга представляет собой сферическую линзу Люнеберга, половина (или часть) поверхности которой покрыта металлическим отражающим слоем. Этот линзовый рефлектор фокусирует перехваченные электромагнитные волны и отражает их обратно с высоким коэффициентом усиления, что обеспечивает большую эффективную площадь отражения. Эффективная площадь отражения для линзы Люнеберга пропорциональна квадрату частоты и четвертой степени размера. И может быть в сотни раз больше, чем у металлической сферы того же диаметра.

Сферические линзовые отражатели на основе ЛЛ обладают следующими преимуществами:

- Компактные и лёгкие, они обеспечивают чрезвычайно высокую эффективность отражения и широкий угол обзора.
- Они недороги, просты в установке и обслуживании, имеют длительный срок службы и не требуют источника питания.
- Поскольку они не излучают электромагнитное излучение, они не представляют опасности для персонала или оборудования и устойчивы к электромагнитным помехам, что обеспечивает очень низкий уровень отказов и чрезвычайно высокую надёжность.

Сферические отражатели на базе линзы Люнеберга имеют большие перспективы применения, в первую очередь в следующих областях:

На земле: их можно устанавливать на водных путях, в портах, аэропортах и других местах в качестве навигационных и маркировочных устройств, а также использовать для маскировки военной техники, станций, мостов и других сооружений.

На воде: их можно устанавливать на рыболовных судах, кораблях, спасательных плотках и других плавсредствах для увеличения дальности и вероятности обнаружения радаров, тем самым предотвращая столкновения и облегчая спасательные работы. Их также можно использовать в районах морской разведки, на строительных площадках и военных испытательных полигонах в качестве предупреждающих знаков для приближающихся судов.

В воздухе: их можно устанавливать на самолетах, ракетах и беспилотных летательных аппаратах для увеличения эффективной площади отражения и идентификации радиолокационными станциями, а также при постановке ложных целей для радиоэлектронного противодействия.

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ	3
<i>Каранкевич В.М.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	3
<i>Войтов И.В.</i> ИНТЕГРАЦИЯ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И ИННОВАЦИЙ В ОБЛАСТИ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	4
<i>Макушин Ю.А.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	12
<i>Пантус Д.А.</i> ПРИВЕТСТВЕННЫЙ АДРЕС УЧАСТНИКАМ II МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА ПО БЕСПИЛОТНЫМ АППАРАТАМ..	14
<i>Шкадаревич А.П., Косенок А.В.</i> КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МНОГОЭШЕЛОННОЙ ЗАЩИТЫ ОТ УГРОЗ БПЛА	16
<i>Минниханов Р.Н.</i> РЕГИОНАЛЬНЫЕ ДРАЙВЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОЕКТА БАС: МОДЕЛЬ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН.....	21
<i>Алексейчик А.Н.</i> ПРИВЕТСТВЕННОЕ СЛОВО	25
<i>Яцына Ю.Ф.</i> РАЗВИТИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	28
<i>Забегонский С.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АЭРОСЪЕМОЧНЫХ СИСТЕМ В ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ И ПРИ РЕШЕНИИ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ.....	32
<i>Дубницкий С. А.</i> О СФЕРАХ ПРИМЕНЕНИЯ И ПРАКТИЧЕСКОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ.....	34
<i>Тризна В.В.</i> АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ И СОЗДАНИЯ ГРАЖДАНСКОГО ВОЗДУШНОГО СУДНА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ	36
<i>Жданович С.А.</i> ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЛА ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЛЕСНОГО ФОНДА ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ И БОЛЕЗНЕЙ	40
<i>Александров А.А.</i> УЧАСТНИКАМ И ОРГАНИЗАТОРАМ II МЕЖДУНАРОДНОГО ФОРУМА ПО БЕСПИЛОТНЫМ АППАРАТАМ «БПЛА–2025».....	44
<i>Шуткевич С.С., Самсонов Н.А.</i> ОПЫТ РАБОТЫ В СФЕРЕ БАС В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.....	46
<i>Тихан Ю.Н.</i> ОТРАСЛЬ ГРАЖДАНСКИХ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ. ПРОБЛЕМЫ СТАНОВЛЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ	49
<i>Каменев М.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА В КОММЕРЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ: ИНТЕГРИРОВАННАЯ ПРОГРАММНО-АППАРАТНАЯ ЭКОСИСТЕМА ..	50

Самсонов Н.А., Шуткевич С.С. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В СФЕРЕ БАС В РАМКАХ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА.....	53
---	----

І СЕКЦИЯ. ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ В РЕАЛЬНОМ СЕКТОРЕ ЭКОНОМИКИ. ТЕХНОЛОГИИ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ. ОБРАЗОВАНИЕ, НИОКР, ИСПЫТАНИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ	1
--	----------

<i>Асмыкович И.К.</i> О РОЛИ И ЗНАЧИМОСТИ МАТЕМАТИКИ В ФУНДАМЕНТАЛЬНОМ ОБРАЗОВАНИИ ИНЖЕНЕРА	1
--	---

<i>Афанасьева В.И.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БВС В ЗАДАЧАХ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ И ОЦЕНКИ РИСКА ДЕГРАДАЦИИ ПРИБРЕЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ	4
--	---

<i>Беляков А.А.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ КОНСТРУКТОРОВ ПРОГРАММИРУЕМЫХ КВАДРОКОПТЕРОВ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ ..	7
--	---

<i>Борисовец А.В.</i> ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	9
--	---

<i>Дербинская Е.А.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	12
--	----

<i>Евлаш А.И., Россоха Е.В., Французова А.М.</i> ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ПРИ УПРАВЛЕНИИ НЕДВИЖИМОСТЬЮ	14
--	----

<i>Звягинцев В.Б.</i> ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАСПЫЛЕНИЯ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ БПЛА	17
--	----

<i>Ильченко К.В., Цапиева Д.Д., Преображенский А.П.</i> ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ БОРЬБЫ С БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ.....	21
---	----

<i>Каримов Б.Н., Знобищев А.Д., Ефимов Г.Л.</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ ОБУЧЕНИЯ УПРАВЛЕНИЮ БЕСПИЛОТНЫМИ АВИАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ (БАС) (СИМУЛЯТОРА-ТРЕНАЖЕРА «РУССКОЕ НЕБО») В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ.....	25
--	----

<i>Ковалевская Н.И., Шишкина Н.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ КАК ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К СОЗДАНИЮ КОНТЕНТА.....	28
---	----

<i>Ламоткин С.А.</i> ВОПРОСЫ СЕРТИФИКАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ.....	33
---	----

<i>Писецкая О.Н., Куцаева О.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ СЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БАЗЫ ГЕОДАННЫХ НА ЗЕМЛЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	34
---	----

<i>Познякова Л.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ.....	37
<i>Войтов И.В., Россоха Е.В., Французова А.М., Евлаш А.И.</i> РАЗВИТИЕ БПЛА-КОМПЕТЕНЦИЙ ДЛЯ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ	39
<i>Рябоконь А.И.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ	41
<i>Сипайло С.В.</i> ПОЛУЧЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ФОТОГРАФИЧЕСКИХ ОРИГИНАЛОВ ДЛЯ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО РЕПРОДУЦИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ КВАДРОКОПТЕРНОГО ТИПА.....	42
<i>Соболевский А.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИГРЫ «СОЛОВОТ» В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ БПЛА	45
<i>Сухоцкий А.Б., Маршалова Г.С., Жукова Ю.В.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ БПЛА ДЛЯ ИНСПЕКЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ЕВРОПЕЙСКОМ РЕГИОНЕ.....	48
<i>Усевич В.А.</i> МАРКЕТИНГ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ: ВОЗМОЖНОСТИ И ТЕНДЕНЦИИ	51
<i>Францкевич В.С., Францкевич Р.В., Москалев Л.Н.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ.....	54
<i>Войтов. И.В., Французова А.М., Россоха Е.В., Евлаш А.И.</i> ГРАЖДАНСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ БПЛА: ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ	58
<i>Чернявский А.В., Луцкий А.Ю., Петрушеня А.Ф.</i> КАК ПРАВИЛЬНО ВЫБРАТЬ БПЛА	59
<i>Шейников А.А., Иваницкий Л.А.</i> КОМПЛЕКСНЫЙ АЛГОРИТМ ДАТЧИКА АВИАГОРИЗОНТА НА ОСНОВЕ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ	62
<i>Шипицкий И.П., Яцына Ю.Ф., Максимова М.В.</i> СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ ПОДСИСТЕМ БПЛА	66
<i>Щавлев А.А., Яцына Ю.Ф., Максимова М.В.</i> БЕСПИЛОТНЫЙ АВИАЦИОННЫЙ КОМПЛЕКС «ЯСТРЕБ»: ВАРИАНТЫ ИСПОЛНЕНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ.....	68
<i>Янковский И.Н., Канаев В.А., Блажко Д.В.</i> ПОДГОТОВКА ОПЕРАТОРОВ БПЛА В ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ.....	70
<i>Козлов Я.О., Атамась Е.И.</i> ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРАЕКТОРИИ ПОЛЁТА КВАДРОКОПТЕРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ВИЗУАЛЬНОЙ ОДОМЕТРИИ	74
<i>Булыга Д.М., Симинский Д.Л.</i> ПОДГОТОВКА ОПЕРАТОРОВ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ НА БАЗЕ ФИЛИАЛА ИППК УГЗ.....	76

II СЕКЦИЯ. СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ, НАВИГАЦИИ, СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМАХ. ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ	81
<i>Бернацкий П.В., Блинова Е.А.</i> СРАВНЕНИЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ	81
<i>Буров М.А., Захаренко В.А.</i> УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДИАГРАММОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ.....	83
<i>Васильев Л.Л., Журавлёв А.С., Садченко Д.И.</i> ДВУХФАЗНЫЕ ПРОВОДНИКИ ТЕПЛА ДЛЯ ПАССИВНОГО ТЕРМОРЕГУЛИРОВАНИЯ БОРТОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ АППАРАТОВ	85
<i>Жаркевич Л.Л.</i> ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В СОВРЕМЕННОЙ ВОЙНЕ	89
<i>Жиляк Н.А.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И АЛГОРИТМОВ СИНТЕЗА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ	93
<i>Аверин А.В., Костин И.А., Панокин Н.В., Карловский А.В.</i> ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ОПТИЧЕСКОЙ НАВИГАЦИИ «ОПТИНАВ».....	96
<i>Ковалевич А.С., Блинова Е.А.</i> ПРИМЕНЕНИЕ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ СПЛАЙНЫ	101
<i>Кожемякин В.А.</i> ОСОБЕННОСТИ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ, ИЗГОТОВЛЕНИЯ, ИСПЫТАНИЙ И ПРИМЕНЕНИЯ УСТРОЙСТВ И АППАРАТУРЫ АЭРОГАММА-СЪЕМКИ ДЛЯ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ.....	103
<i>Кузьменков Д.М., Радченко Ю.С., Киселев С.В.</i> ПРИНЦИПЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	106
<i>Никифоров Н.Ф.</i> МОБИЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ АВТОНОМНОЙ ВОЗДУШНОЙ НАВИГАЦИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ.....	108
<i>Воробей Р.И., Мороз А.С., Пантелеев К.В., Тявловский А.К.</i> УЧЕБНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МИКРОСИСТЕМНЫХ ДАТЧИКОВ ПЕРВИЧНОЙ ИНФОРМАЦИИ СИСТЕМ ОРИЕНТАЦИИ И НАВИГАЦИИ	114
<i>Полторацкий В.Е., Шатунов С.В., Володькин Р.Е.</i> ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА.....	118

<i>Пручковский С.В., Волков К.А.</i> АВТОНОМНАЯ НАВИГАЦИЯ БПЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БОРТОВОЙ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ И ЭЛЕКТРОННЫХ КАРТ МЕСТНОСТИ.....	120
<i>Семак Ю.И., Яцына Ю.Ф.</i> СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСНОВНЫХ ПОДСИСТЕМ БПЛА	123
<i>Слепцов В.Ф.</i> ЗАДАЧА ПРЕСЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ БПЛА САМОЛЁТНОГО ТИПА	127
<i>Соловьева И.Ф.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ ПРИ ОБУЧЕНИИ СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТИ, СВЯЗАННОЙ С БЕСПИЛОТНЫМИ АППАРАТАМИ	130
<i>Станкевич Д.А., Типко А.Н.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ.....	134
<i>Тарасевич А.В., Кацер Д.В.</i> ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	137
<i>Усмонов Б.Ш., Усманов К.И.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНОМИ АППАРАТАМИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ УЗБЕКИСТАНА НА ОСНОВЕ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ.....	140
<i>Францкевич В.С., Мытько Д.Ю., Ланкин Р.И.</i> ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ ОБОРУДОВАНИЯ.....	146
<i>Кантарович В.С., Урбанович П.П.</i> КРИТЕРИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ОБФУСКАЦИИ И ДЕОБФУСКАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОДА И ИХ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ОНЛАЙН-ОБФУСКАТОРОВ	149
<i>Сазонова Д.В.</i> АНАЛИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРИМЕНЕНИЯ В БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМАХ МОДЕЛЕЙ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ	153
<i>Николайчук А.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ СТЕГАНОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СОКРЫТИЯ ИНФОРМАЦИИ В СЕТЕВОМ ТРАФИКЕ.....	156
<i>Лугин В.Г., Войтов И.В., Лугин Н.В.</i> ЛИНЗА ЛЮНЕБЕРГА КАК ЭЛЕМЕНТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПРЕИМУЩЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ НА ЗЕМЛЕ, НА ВОДЕ И В ВОЗДУХЕ	160

Научное издание

БЕСПИЛОТНЫЕ АППАРАТЫ

Сборник статей
МЕЖДУНАРОДНОГО МОЛОДЕЖНОГО ФОРУМА
«БПЛА – 2025»

В 2-х частях
Часть 1

В авторской редакции

Компьютерная верстка *Д.А. Кускильдина, П.В. Ковальцова*

Подписано в печать 25.09.2025. Формат 60×84¹/₁₆.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 13,1. Уч.-изд. л. 13,6.
Тираж 100 экз. Заказ .

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, 22