

## **ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНЖЕНЕРИИ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «ПРИБОРОСТРОЕНИЕ»**

В.В. Перлюк, М.А. Епринцев

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
институт аэрокосмических приборов и систем»

[Perlvv@mail.ru](mailto:Perlvv@mail.ru)

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП) за 83-летний период своей деятельности принимал самое непосредственное участие в исторических этапах развитии отечественной и мировой космонавтики. В качестве таких ключевых этапов можно отметить разработанные совместно с нашими учеными систему контроля утечек и управления силовыми установками для отечественных космических аппаратов серии Союз и орбитальных станций Салют и Мир. Профессор нашего университета А.Н.Синяков являлся основателем научной школы по изучению продольных, крутильных и изгибных колебаний корпусов ракет-носителей и сборных конструкций космических аппаратов, включая орбитальные станции. Другой преподаватель нашего университета Г.Б.Яцевич являлся главным конструктором системы обеспечения вертикальной стабилизации стартового стола РН Энергия-Буран. Историческая посадка в автоматическом режиме многоразового КА Буран 15 ноября 1988 года стала возможной благодаря совместной работы коллектива наших ученых с компанией ВНИИРА, разработавших алгоритмический и программный комплекс автоматической посадки. Наши ученые с кафедры “Космической медицины” совместно с ООО Аналитприбор создавали высокоточные датчики газоанализа, используемые при работе отечественных и зарубежных орбитальных станций. Не прекращались работы в космической тематике и в непростые 1990-е годы. А начиная с 2000 –х ГУАП активно включился в международные проекты, выполняемые ведущими международными центрами космической индустрии. На этом этапе прошла интернационализация наших научных исследований, чему способствовал авторитет международной академии навигации и управления движением, в которых ключевую роль занимают представители ГУАП. Специалисты ГУАП, и в первую очередь Ю. Е. Шейнин, стояли у истоков появления международного стандарта интерфейса информационно-управляющих систем космических аппаратов SpaceWire и внесли важнейший вклад в разработку данного стандарта на международном уровне. Стандартизация SpaceWire-RUS является важной вехой для российской космонавтики и позволила внедрять современные высокоскоростные технологии для новых прорывных космических проектов.

Таким образом, за прошедшие годы в ГУАП накопился большой интеллектуальный потенциал и опыт реализации отечественных и международных проектов в космической индустрии. Кроме научной, проводимые в ГУАП проекты имеют и большую образовательную ценность. Учитывая специфику ГУАП как научно-образовательного центра космического приборостроения в Санкт-Петербурге, работа над нашими проектами позволяет студентам получать практический опыт проектирования, изготовления, испытания и эксплуатации космических аппаратов

и их систем, что безусловно важно для формирования нового поколения молодых специалистов, готовых к работе на самых передовых предприятиях, включая ГК Роскосмос, что подтверждают успехи наших молодежных команд на соревнованиях WorldSkills, FutureSkills и конкурсе профессионалов ГК Роскосмос.

Важную роль в формировании качественных специалистов космической индустрии играет привлечение студентов к современным проектам космической направленности. Одним из примеров таких проектов является разрабатываемая специалистами кафедры аэрокосмических измерительно – вычислительных комплексов ГУАП распределенная система навигации и управления полетом группы взаимодействующих микроспутников. Целью этого проекта является создание на базе орбитальной группировки микроспутников системы радиосвязи для управления из центрального наземного поста удаленными объектами в виде беспилотных летательных аппаратов и наземных роботов, расположенных в труднодоступных районах Земли. Для удешевления конструкции микроспутников было принято решение жестко закреплять приемо-передающие антенны на их корпусах и использовать для наведения антенны пространственную ориентацию всего аппарата, что серьезно усложнило задачи навигации и ориентации микроспутников в группировке и потребовало разработки нового метода определения ориентации одиночного микроспутника. В проекте используются результаты математического моделирования, а также натурального эксперимента, проводимого на разработанном командой участников проекта новом лабораторном стенде, подтверждающие работоспособность предлагаемого метода. Подобные решения являются оригинальными и ранее не применялись в задачах управления малых космических аппаратов. С другой стороны, иностранные партнеры из ряда ведущих университетов и предприятий национальных космических агентств уже проявили заинтересованность в применении полученных нами результатов в совместных проектах, что позволяет рассчитывать на получение коммерческой прибыли по результатам внедрения. Планируемые результаты включают в себя отработку метода взаимной ориентации микроспутников при проведении эксперимента на орбите и реализацию канала удаленной радиосвязи с помощью орбитальной группировки микроспутников. По итогам проводимого в 2021 году отраслевого акселератора по цифровым технологиям, проводимого ГК Роскосмос и фондом “Сколково” данный проект был признан победителем.

С 2021 года в Санкт-Петербургском государственном университете по направлению подготовки “Приборостроение” внедрена новая учебная дисциплина “Инженерия космических систем” (ИКС) [1]. Общей целью этой дисциплины является знакомство учащихся с различными задачами, решаемыми с помощью современных космических аппаратов, а также с особенностями разработки и эксплуатации МКА выполняющих полет на низких орбитах Земли [2]. Эти задачи включают в себя выбор и расчет параметров орбиты полета, оптимизацию состава бортовой аппаратуры, реализацию эффективного метода ориентации и стабилизации, принципы организации системы связи с наземными пунктами. Прикладная часть дисциплины направлена на разработку проекта малого космического аппарата, способного выполнять различные целевые задачи [3]. В процессе изучения дисциплины, обучающиеся знакомятся с современными международными образовательными программами по использованию МКА, решают задачи по управлению движением, навигации и ориентации микро- и наноспутников в том числе в составе орбитальной группировки, изучают особенности использования двигательных установок

на борту МКА. На примере этапов проектирования МКА учащиеся осваивают оптимальные методы теоретических и экспериментальных инженерных исследований [4]. Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с классификацией современных космических аппаратов, основными стадиями и этапами создания МКА, разработкой и имитационным моделированием базовых бортовых систем МКА, компоновкой спутника в современных пакетах 3D конструирования, разработкой бортового специального программного обеспечения, имитациями работы датчиков и систем в программном пакете Labview, освоение навыков работы с 3D принтерами, умениями производить печать спроектированных объектов и функциональные испытания. В феврале 2021 г. в ГУАП состоялось открытие новой научно-исследовательской лаборатории «Инженерия космических систем». Оснащение лаборатории включает учебно-методические комплексы развития знаний и инженерных навыков, востребованных в различных направлениях ракетно-космической отрасли, позволяет вести инженерные практикумы и проектную деятельность в области спутникостроения, наземного приема данных, управления спутниками. Оборудование лаборатории используется для проведения практических занятий со студентами, для получения опыта работы и подготовки к демоэкзамену в формате Futherskills по дисциплине «Инженерия космических систем». Также лаборатория используется для подготовки к инженерным направлениям программы «Дежурный по планете», к компетенциям «Инженерия космических систем» WorldSkills, космическим профилям Олимпиад КД.

Используемый в лаборатории конструктор ОрбиКрафт 3D, являющейся образовательной платформой - конструктором микроспутников, позволяет моделировать полет космического аппарата по орбите Земли [5,6]. При этом учащиеся имеют возможность отрабатывать алгоритмы ориентации и стабилизации с использованием двигателей-маховиков и датчиков; отрабатывать прием и передачу информации по радиоканалу УКВ, имитацию направленной радиосвязи; имитировать процесс дистанционного зондирования Земли; получать навыки программирования, калибровки датчиков, обработки данных с разных типов датчиков

Расположенная в лаборатории учебная станция приема спутниковых данных "Вьюнок" позволяет принимать радиосигналы космических аппаратов (в настоящий момент используется лабораторный передатчик, имитирующий работу орбитального спутника). Он основан на технологии программно-определяемого радио (SDR). Это позволяет с одним и тем же приемником принимать совершенно разные сигналы, используя подходящие программы.

В лаборатории аспиранты и магистранты университета проводят собственные исследования, связанные с отработкой поведения новых приборов в условиях космоса. Имеющееся в лаборатории технологическое оборудование обеспечивает возможность подготовки экспериментальной технической и испытательной базы для развития микроспутниковых технологий. Примером полученных результатов является созданный силами сотрудников кафедры демонстрационный стенд для отработки взаимной ориентации микроспутников. С его помощью решена актуальная научно-техническая задача по обеспечению полета группы микроспутников с учетом малых взаимных расстояний между ними. С учетом высоких скоростей полета выдерживание взаимной ориентации микроспутников в группе потребовало разработки нового метода с использованием обработки изображения, получаемого с помощью бортовой видеокамеры.

В марте 2023 г. состоялось открытие в ГУАП новой учебно-исследовательской лаборатории «Проектирования малых космических аппаратов (МКА)». ориентированной на разработку, сборку, испытания и эксплуатацию малых космических аппаратов (МКА). В рамках создаваемой

лаборатории планируется проведение как лабораторных занятий, так и выполнение прикладных исследований в области бортовых систем МКА. Оборудование лаборатории планируется использовать для проведения практических занятий со студентами, для получения опыта работы и подготовки командных студенческих проектов в партнерстве с фондом содействия инновациям по программе «Space-π» по запуску образовательных спутников, участия в соревновании Космострой SiriusSat-3U и в образовательных программах «Роскосмоса» по поддержке, разработки и запуску российских учебных спутников «Универсат».

Используемые в лаборатории образовательные комплекты SiriusSat-3U и ОрбиКрафт 3D совместимый с платформой Орбикрафт-Про, имеющих архитектуру, аналогичную архитектуре реальных космических аппаратов. Комплекты укомплектованы УКВ приемопередатчиком, позволяющим отправлять и принимать информацию по каналу УКВ на частотах в диапазоне 430-440 МГц, в котором работает большинство «кубсатов». Важнейшая особенность— это управление «спутником» по каналу УКВ, идентичное работе с реальными космическими аппаратами в космосе.

Это позволяют учащимся подготовить собственную миссию, включающую запуск настоящего нано-спутника на орбиту Земли. Комплекты представляют собой конструкторы наноспутников формата CubeSat-3U для проведения занятий по спутникостроению, проектированию, схемотехнике, программированию, экспериментальной физике, проектной деятельности на основе сборки и проведения натурных испытаний учебного образца малого космического аппарата. Модули полезной нагрузки наноспутников позволяют проводить лабораторные оптические эксперименты и имитации фотографирования Земли, исследовать работу датчика звезд, обеспечить систему радио- и лазерной связи 2 и более спутников [7-9].

Используемый лабораторный стенд «Имитатор магнитного поля Земли» на основе колец Гельмгольца позволяет проводить эксперименты по ориентации и стабилизации наноспутника в полете на орбите. Наземная радиостанция для управления спутником на расстоянии и приема данных с его борта и научных приборов по лазерной и радиосвязи. Работа осуществляется на персональном компьютере с помощью имитатора центра управления полетом ЦУП-SS-3U.

В лаборатории студенты и аспиранты университета имеют возможность осуществлять подготовку собственных проектов, связанных со сборкой функциональных моделей космических аппаратов и решением прикладных задач выбору состава, структуры нано- спутника, разработкой и изготовлением собственных нестандартных приборных модулей [10] в формате блоков CubeSat, обеспечением эффективной компоновки оборудования нано- спутника, проведением цикла испытаний.

### **Список литературы:**

1. Инженерия космических систем: учеб. пособие / под ред. профессора Н.Н. Майорова / А.И. Гарютин, А.А. Макаров, В.В. Перлюк [и др.] // СПб. ГУАП, 2021.
2. Федоринов А.Ю., Перлюк В.В. Разработка системы управления движением малых космических аппаратов в группе на основе методов имитационного моделирования с использованием роевого интеллекта // Сборник статей XXV международной научной конференции «Волновая электроника и инфокоммуникационные системы». СПб.: ГУАП, 2022.
3. Небылов А.В., Тимофеев К.Н. Управление аэрокосмическими проектами: учеб. пособие / СПб.: ГУАП, 2022.

4. Федоринов А.Ю., Перлюк В.В. Разработка системы управления движением малых космических аппаратов в группе на основе методов имитационного моделирования / ГНЦ РФ АО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» // ISBN: 978-5-91995-093-6. С. 184-185.
5. Станиславчик Ю.П., Чучуркина А.А., Беляков С.А. Большие Перспективы микроспутников // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2011. №7: [сайт]: – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/bolshie-perspektivy-mikrosputnikov>. EDN: ТАРСЕJ.
6. Белоконов И.В., Тимбай И.А., Николаев П.Н. Анализ и синтез движения аэродинамически стабилизированных космических аппаратов нанокласса формата CubeSat // Гироскопия и навигация. Том 26, № 3 (102), 2018. С.69-91. DOI: 10.17285/0869-7035.2018.26.3.069-091. EDN: YLSPYT.
7. Небылов А. В., Перлюк В. В., Леонтьева Т. С. Исследование технологии взаимной навигации и ориентации малых космических аппаратов в группе // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. – 2019. – Т.18. – №1. – С. 88-93. EDN: ЕКХВVD.
8. Relative navigation and positioning of nanosatellites in formation / A. Nebylov, A. Panferov, S. Brodsky [et al.] // AIRTEC 2017 Congress. Germany, 2018. Vol. 2. - I ssue 1. P. 4.
9. Panferov A., Nebylov A., Brodsky S. Synthesis of a control system for relative motion of closely spaced satellites // Journal of Aeronautics & Aerospace Engineering, 2017.
10. Сорокин А. А. Роевой интеллект и групповая робототехника в решении различных задач / А. А. Сорокин, Р. А. Коваленко, Е. А. Яковлева // Технические науки: проблемы и перспективы: материалы VII Междунар. науч. конф. Казань, июль 2020 г. Казань: Молодой ученый, 2020. EDN: КААКGO.