EDN: UXOXOE DOI: https://doi.org/10.65912/2782-5507.2026.23.4.004

УДК 629.783 *2.2.6*

НОЦ «КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕРВИСЫ» КНИТУ-КАИ – РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР РАЗРАБОТКИ ТЕХНОЛОГИЙ

А.А. Кузнецов, Ш.Р. Валиуллин

Казанский национальный исследовательский технический университет
им. А.Н. Туполева-КАИ
Российская Федерация, 420111, г. Казань, ул. К. Маркса, 10

Аннотация. В статье рассматривается концепция создания и функционирования Научно-образовательного центра «Космические системы и сервисы» (НОЦ «КСиС») на базе Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева-КАИ. Описан накопленный университетом опыт проектирования, изготовления и летных испытаний малых космических аппаратов формата CubeSat в рамках федеральных программ. Особое внимание уделено пионерному опыту интеграции волоконно-оптических измерительных систем и радиофотонных технологий в бортовую аппаратуру спутников. Представлены описания реализующихся проектов перспективных полезных нагрузок для систем управления воздушным движением и навигации, включая приемники АЗН-В и сверхширокополосные системы связи. Обоснована стратегия перехода к концепции «фотонного борта» как основы для формирования единого бесшовного цифрового неба. Описана инфраструктура и вертикально-интегрированная образовательная модель центра, предназначенная для подготовки кадров для ракетно-космической отрасли.

Ключевые слова: малые космические аппараты, CubeSat, волоконно-оптические датчики, радиофотоника, АЗН-В, сверхширокополосная связь, фотонный борт, дополнительное профессиональное образование, НОЦ «Космические системы и сервисы».

Введение

Стратегические ориентиры развития ракетно-космической отрасли Российской Федерации, закрепленные в национальном проекте «Развитие космической деятельности» и федеральном проекте «Кадры для космоса», определяют необходимость перехода к распределенным орбитальным группировкам на базе малых космических аппаратов (МКА), что подтверждается кратным ростом выводимых на орбиту аппаратов в перспективе до 2030 года [1]. Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ), обладающий статусом опорного вуза Госкорпорации «Роскосмос», выступает интегратором фундаментальных исследований и прикладного спутникостроения.

Роль КНИТУ-КАИ, как регионального центра проектов по тематике кубсатов, определяется как пионерскими работами по запуску первых кубсатов республики, так и текущей активной вовлеченностью в реализацию проектов в рамках ФП «Кадры для космоса».

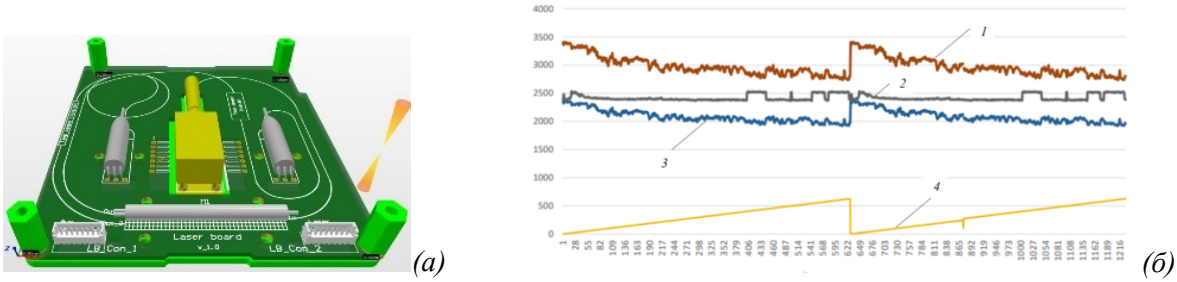
Фундаментальным рубежом стал успешный вывод на орбиту 6 августа 2022 года первого татарстанского спутника «КАИ-1» формата 3U в рамках XIII очереди программы «Дежурный по планете». Аппарат создан проектной командой под руководством Динара Габидуллина, директора СУНЦ КНИТУ-КАИ, в число основных исполнителей вошли Ильнар Хайдаров, Игорь Васильев, Артем Кузнецов, Шамиль Валиуллин и Константин Липатников [2]. Разработчик платформы кубсата – ООО «НИЛАКТ ДОСААФ» (г. Калуга). В настоящее время, при поддержке гранта в рамках федерального проекта «Кадры для космоса», ведутся работы по созданию аппаратов «КАИ-2», «КАИ-3», «КАИ-4» и «КАИ-5»,

ориентированных на отработку фотонных сенсорных устройств, систем управления воздушным движением и перспективных каналов связи. Для координации данных инициатив создан Научно-образовательный центр «Космические системы и сервисы», интегрирующий образование и науку, обеспечивающий реализацию жизненного цикла МКА от проектирования и изготовления до управления аппаратом на орбите.

КНИТУ-КАИ – пионер в применении фотоники в космосе

Одним из наиболее перспективных направлений для бортовых систем, получившим признание в высокорейтинговых международных изданиях, является интеграция фотонных информационно-измерительных систем в бортовую аппаратуру, в том числе, космических аппаратов. Традиционные электронные тензодатчики и термопары, несмотря на высокие метрологические характеристики, обладают существенными ограничениями при эксплуатации в условиях жесткого ионизирующего излучения, их использование также затрудняет создание интеллектуальных элементов конструкции КА со встроенными датчиками. Альтернативу им составляют волоконно-оптические датчики на основе брэгговских структур, обеспечивающие хорошие метрологические характеристики и высокие массогабаритные и эксплуатационные характеристики.

Коллективом КНИТУ-КАИ был реализован пионерский для Российской Федерации проект по адаптации и летной отработке волоконно-оптических измерительных систем на борту МКА. В ходе миссии «КАИ-1» впервые в отечественной практике в космосе была успешно апробирована бортовая волоконно-оптическая измерительная система собственной разработки, обеспечившая непрерывный мониторинг температурных полей несущей конструкции аппарата [3], результаты космического эксперимента и внешний вид полезной нагрузки представлен на рис. 1.



(а) *(б)*

Рис. 1. Полезная нагрузка МКА «КАИ-1»: 3D модель - *а*,
данные с ВБР-датчиков (*1*, *3*), ток лазера (*2*), показания одной из термопар (*4*) - *б*

Переход к следующему этапу эволюции бортовых систем — аппарату «КАИ-2» — ознаменовал собой внедрение технологий радиофотоники. Помимо пассивных волоконных сенсоров, в составе полезной нагрузки будет апробирована аппаратура для первичной обработки радиочастотных сигналов с использованием фотонных методов. Использование радиофотонных трактов позволяет критически снизить массу бортовой кабельной сети и повысить помехозащищенность каналов передачи данных, что является критическим требованием при проектировании перспективных МКА и формировании концепции «фотонного борта».

Системы связи и управления воздушным движением

Современные тренды развития автономных робототехнических транспортных систем, включая их интеграцию в единую систему управления воздушным движением, детерминируют необходимость перехода к глобальному мониторингу воздушного пространства (рис. 2).

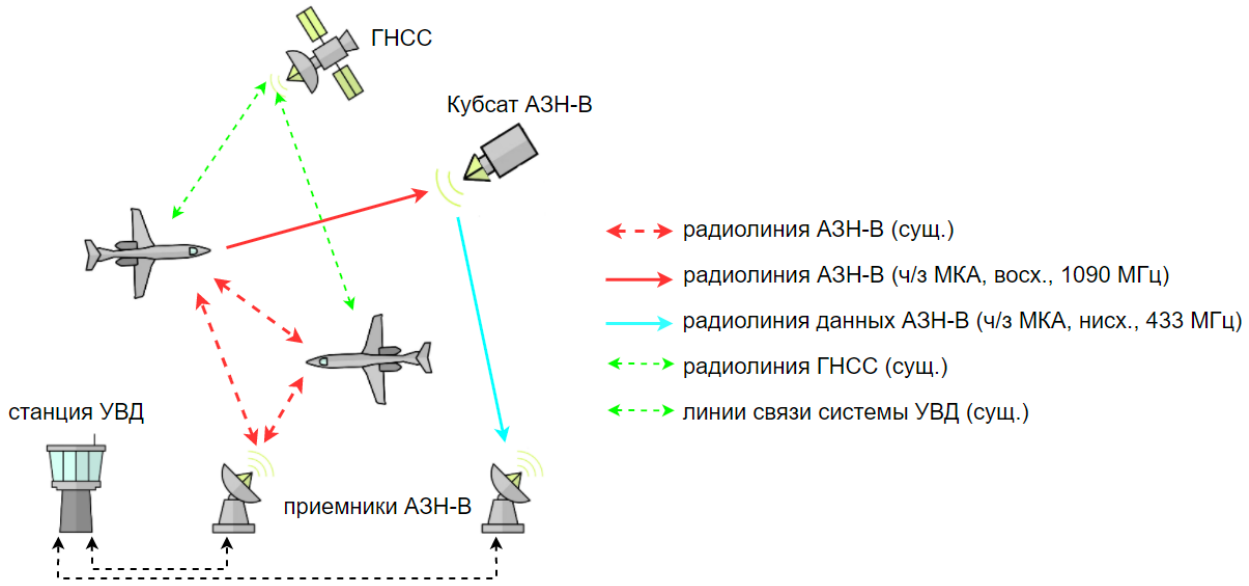


Рис. 2. Архитектура миссии АЗН-В

Традиционные наземные станции системы автоматического зависимого наблюдения — вещания (АЗН-В) не способны обеспечить сплошное покрытие зонами приема над протяженными водными акваториями и труднодоступными регионами, такими как Арктика, Сибирь и акватории Северного Ледовитого океана. В связи с этим, в рамках реализации федерального проекта «Кадры для космоса», проектная команда КНИТУ-КАИ ведет разработку малогабаритного космического сегмента АЗН-В на базе МКА «КАИ-5». Индустриальным партнером проекта выступает АО «Российские космические системы», разработчик платформы – ООО «Геоскан» (г. Санкт-Петербург). Бортовой приемник, функционирующий на стандартной авиационной частоте 1090 МГц (протокол 1090ES), позволит осуществлять непрерывный сбор телеметрических данных от воздушных судов в асинхронном режиме – непосредственный прием данных от самолетных транспондеров, сохранение в памяти МКА и сброс принятой информации во время сеанса связи по УКВ-каналу. Элементом новизны решения является малогабаритная антенна, упрощающая интеграцию премного модуля в МКА.

Параллельно с задачами мониторинга авиации, критическим вектором развития является обеспечение технологического суверенитета в области навигации и связи. В составе полезной нагрузки МКА «КАИ-3», «КАИ-4» и «КАИ-5» будет апробирован отечественный приемопередатчик на базе технологии сверхширокополосных сверхкоротких импульсов (СШП СКИ). Индустриальным партнером проекта выступает ООО Научно-Производственное Предприятие «Новые Технологии Телекоммуникаций» (г. Санкт-Петербург). Использование СШП-сигналов с низкой спектральной плотностью мощности решает две фундаментальные задачи. Во-первых, это организация скрытного и помехозащищенного полудуплексного канала связи «Борт-Земля» и «МКА-МКА». Во-вторых, за счет высокоточной корреляционной обработки временных задержек импульсов, данная система формирует технологический задел для создания автономной системы относительной навигации аппаратов с использованием распределенной наземной инфраструктуры. Такой подход позволяет минимизировать зависимость от зарубежных глобальных навигационных спутниковых систем, что полностью соответствует приоритетам научно-технологического развития Российской Федерации.

Прием и обработка данных от создаваемых систем будут осуществляться с использованием распределенной сети наземных станций, развернутых на базе организаций-партнеров (ООО «НИЛАКТ ДОСААФ», ООО «Геоскан», ООО «НПП «НТТ», Университет Решетнева, Уфимский университет науки и технологий), что обеспечивает высокую надежность канала «Борт-Земля».

Образовательная компонента

Фундаментальным условием достижения технологического лидерства в ракетно-космической отрасли является формирование непрерывной вертикально-интегрированной системы подготовки кадров, начиная со школьной парты и заканчивая программами дополнительного профессионального образования (ДПО) для действующих инженеров. В КНИТУ-КАИ разработаны программы ДПО, ориентированные на реализацию мероприятий национального проекта «Развитие космической деятельности». В рамках вновь введенных программ ДПО слушатели осваивают программирование микроконтроллеров и программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) для обработки потоковых данных полезных нагрузок МКА, а также изучают методы реализации авиационных протоколов на SDR-платформах, программы охватывают сквозной технологический процесс: от проектирования бортовых информационно-измерительных систем и аналого-цифрового преобразования данных с оптических и радиолокационных камер до их глубокой нейросетевой обработки на наземном сегменте и комплексированием данных от различных источников.

Важнейшим элементом образовательной экосистемы НОЦ «КСиС» является ранняя профориентация и вовлечение обучающихся СУНЦ КНИТУ-КАИ и Лицея №35 «Галактика» в реальные инженерные проекты. Данные инициативы стартовали в сентябре 2026 года. Здесь школьники не просто изучают теоретические основы спутникостроения, но и будут принимать непосредственное участие в проектировании миссии МКА, разработке, сборке и наземных испытаниях полезных нагрузок для аппаратов серии «КАИ». Такая практико-ориентированная модель, обеспечивает сквозной переход выпускников образовательных организаций в проектные команды университета и на предприятия Госкорпорации «Роскосмос», обеспечивая отрасль высококвалифицированными кадрами, обладающими практическим опытом создания космической техники.

Перспективы развития: концепция «фотонный борт»

Стратегическим вектором эволюции авиакосмических систем, является переход от традиционных электронных трактов обработки информации к концепции «фотонного борта». В рамках данной парадигмы, разрабатываемой научной школой КНИТУ-КАИ, предлагается создание единой универсальной радиофотонной бортовой платформы авионики и полезной нагрузки [4-5]. Данная платформа выступает в роли единого вычислительного и сенсорного ядра для радиолокационных, навигационных и мультисенсорных систем, что кардинально меняет архитектуру космических аппаратов и перспективных авиационных комплексов.

Научная новизна и технологический потенциал данного направления базируются на фундаментальных исследованиях коллектива. Ключевым элементом концепции является переход к радиофотонному процессингу сигналов [6]. В отличие от классических методов, применение метода тандемной амплитудно-фазовой модуляции позволяет формировать спектрально чистые двухчастотные и полигармонические оптические излучения для генерации сверхширокополосных (СШП) радиолокационных и коммуникационных сигналов непосредственно в оптической области. Это обеспечивает высокую

помехозащищенность, скрытность передачи данных и высокую точность доплеровских измерений.

Особое внимание в рамках концепции «фотонного борта» уделяется развитию комбинированных фотонных мультисенсоров. Интеграция адресных волоконных брэгговских структур с интерферометрами Фабри-Перо приводит к возникновению высокодобротных резонансных структур типа Фано [7-8]. Использование таких структур позволяет осуществлять высокоточный, мультиплексный контроль физических полей (деформации, температуры, давления, концентрации веществ) с компенсацией перекрестных влияний, а опрос сенсоров радиофотонными методами многократно повышает метрологические характеристики по сравнению с амплитудными схемами. Дополнительно, перспективным направлением является синтез антенных решеток, осуществляющих фокусировку СШП электромагнитных полей в зоне ближнего излученного поля [9-10], в том числе на основе радиофотонных диаграммообразующих схем, а также применение искусственных фотонных нейронных сетей для аналоговой оптической обработки сигналов в реальном времени.

Реализация концепции «фотонного борта» на малых космических аппаратах и в авиации обеспечивает критическое снижение массогабаритных характеристик и энергопотребления бортовой аппаратуры при одновременном многократном увеличении информационной емкости. В глобальном масштабе это формирует технологический фундамент для концепции «Единого бесшовного цифрового неба» (рис. 3).

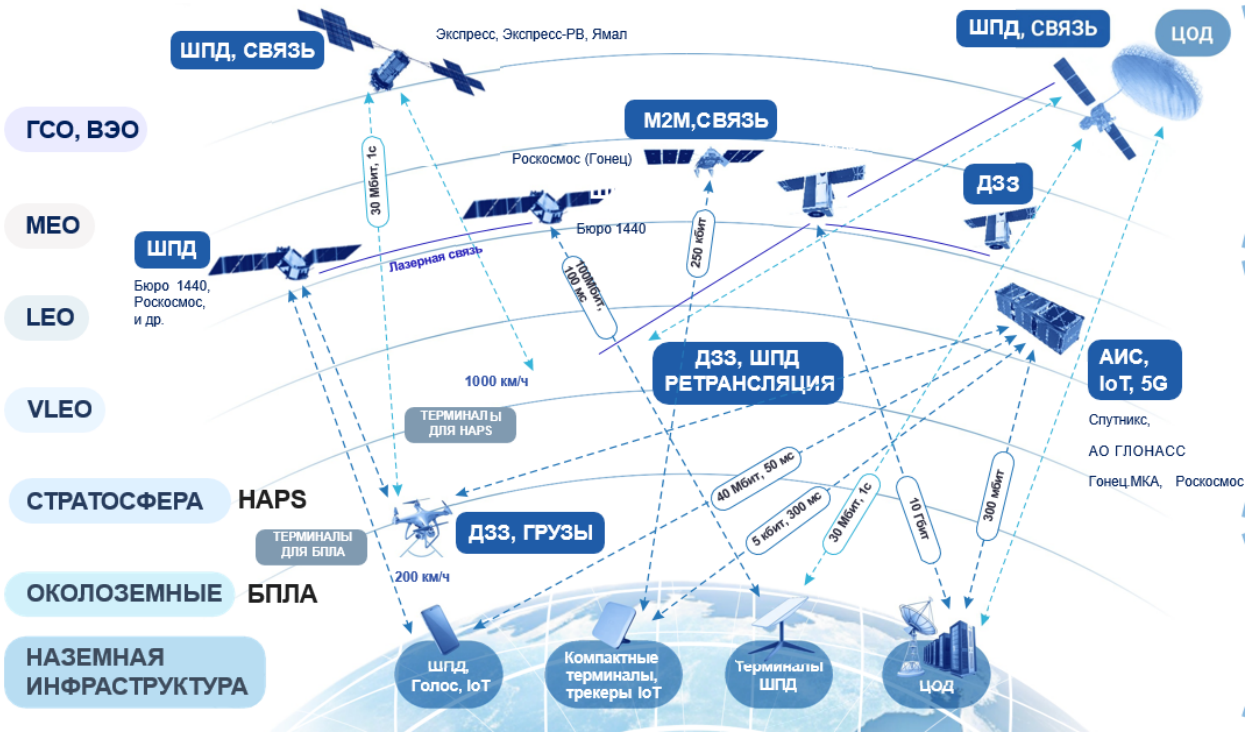


Рис. 3. Архитектура единого бесшовного цифрового неба на базе отечественных спутниковых группировок

Спутниковые группировки, оснащенные радиофотонными полезными нагрузками и СШП-системами связи, станут неотъемлемым элементом интеграции космического и авиационного сегментов, обеспечив создание отказоустойчивой, глобальной и защищенной от средств радиоэлектронной борьбы среды для управления пилотируемой авиацией, беспилотными авиационными системами и орбитальными аппаратами в едином информационном контуре.

Инфраструктура и организационная структура

Для обеспечения полного жизненного цикла создания космической техники — от фундаментальных исследований до летных испытаний и обработки телеметрии — в Казанском национальном исследовательском техническом университете им. А.Н. Туполева-КАИ (КНИТУ-КАИ) формируется уникальная вертикально-интегрированная инфраструктура, институционализированная в виде Научно-образовательного центра «Космические системы и сервисы» (НОЦ «КСиС»). Идеология центра — обеспечение механизмов межфакультетской и межкафедральной координации, а также реализации функции «единого окна» для проектов космической направленности.

Организационно-штатная структура НОЦ «КСиС» представляет собой распределенный научно-производственный комплекс. Ядром инженерной разработки выступает Специализированное конструкторско-технологическое бюро «Малые космические аппараты» (СКТБ «МКА»), где осуществляется проектирование, сборка и проведение испытаний спутников формата CubeSat. Проектируемый наземный сегмент управления и связи представлен многоуровневым Центром управления полетами (ЦУП «МКА»), включающего в себя два антенных поста: удаленный – УКВ-диапазона на базе СОЛ «ИКАР» и УКВ+S-диапазонов на базе 8-го здания КНИТУ-КАИ (рис. 4).



Рис. 4. Проектируемая инфраструктура ЦУП КНИТУ-КАИ

Оснащение инфраструктуры НОЦ «КСиС» в 2026 году базируется на диверсифицированных источниках финансирования, включая программу «Приоритет-2030», субсидии Минобрнауки РФ, гранты Фонда содействия инновациям (ФСИ). Сеть стратегических партнеров Центра, включающая Сибирский государственный университет науки и технологий им. М.Ф. Решетнева, ООО «НИЛАКТ ДОСААФ», ООО «Геоскан», АО «РКС» и АО «ОКБ МЭИ» и АО «Терра Тех», гарантирует не только научную экспертизу

и совместный прием данных с орбитальных группировок, но и прямую интеграцию выпускников университета в кадровый потенциал предприятий ракетно-космической отрасли.

Заключение

Резюмируя вышесказанное, следует подчеркнуть, что Научно-образовательный центр «Космические системы и сервисы» КНИТУ-КАИ выступает драйвером технологического суверенитета КНИТУ-КАИ в аэрокосмической сфере. Интеграция фундаментальных исследований в области радиофотоники и волоконно-оптической сенсорики с прикладным спутникостроением позволяет университету создавать конкурентоспособные полезные нагрузки для МКА. Стратегический переход к концепции «фотонного борта» и формирование единого бесшовного цифрового неба задают инновационный вектор развития систем управления воздушным движением и навигации. Вертикально-интегрированная образовательная модель, охватывающая подготовку кадров от школьников до инженеров предприятий РКТ через программы ДПО, гарантирует обеспечение отрасли высококвалифицированными специалистами. Таким образом, инфраструктура НОЦ «КСиС» обеспечивает полный жизненный цикл инноваций — от лабораторного макета до орбитального аппарата, укрепляя статус КНИТУ-КАИ как ведущего опорного вуза Госкорпорации «Роскосмос».

Научные исследования проведены при финансовой поддержке программы Приоритет 2030.

Личный вклад авторов. Концепция — А.А.; подготовка данных — А.А. и Ш.Р.; написание — оригинальный черновик — Ш.Р.; написание — рецензирование и редактирование — А.А. Все авторы прочитали и согласны с опубликованной версией рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список литературы

1. Паспорт федерального проекта «Кадры для космоса». – Режим доступа: https://base.garant.ru/414424129/, свободный (дата обращения 05.10.2026).
2. Первый спутник Республики Татарстан, который создавали учащиеся «Инженерного лицея-интерната», а также студенты и сотрудники института радиоэлектроники, фотоники и цифровых технологий КНИТУ-КАИ. Спутник предназначен для ДЗЗ. – Режим доступа: https://spacepi.space/satellites/kai-1/, свободный (дата обращения 05.10.2026).
3. Кузнецов, А. А. Бортовая компактная волоконно-оптическая система мониторинга для малоразмерных космических аппаратов / А. А. Кузнецов // Наука и технологии Сибири.– 2025. – № 3(18). – С. 68-71.
4. Андреев, В. Д. Радиофотонные технологии и их преимущества в диаграммообразовании частотно-разнесенных антенн / В. Д. Андреев, П. Е. Денисенко // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2025. – Т. 5, № 5. – С. 55-57.
5. Методы определения доплеровского смещения частоты на основе технологий радиофотоники / К. А. Силаков, А. А. Лустина, О. Г. Морозов [и др.] // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2024. – Т. 80, № 1. – С. 114-122.

6. Андреев, В. Д. Диаграммообразование частотно-разнесенных антенн с помощью амплитудно-фазового формирователя / В. Д. Андреев, П. Е. Денисенко // Электроника, фотоника и киберфизические системы. – 2025. – Т. 5, № 5. – С. 58-60.
7. Исследование условий возникновения резонанса Фано в комбинированных волоконных квазипериодических структурах / Т. А. Аглиуллин, А. Ж. Сахабутдинов, А. А. Кузнецов, Б. И. Валеев // Оптический журнал. – 2025. – Т. 92, № 5. – С. 26-37. – DOI: https://doi.org/10.17586/1023-5086-2025-92-05-26-37
8. Датчик локального контроля малых вибраций на основе волоконно-оптического торцевого интерферометра с открытой полостью / Т. А. Аглиуллин, Б. И. Валеев, Д. И. Нурмухаметов [и др.] // Контроль. Диагностика. – 2026. – Т. 29, № 6(336). – С. 62-71. – DOI: https://doi.org/10.14489/td.2026.06.pp.062-071
9. Гильфанова, А. Ф. Синтез амплитудно-фазовых распределений в линейных антенных решетках для формирования мультисфокусированного электромагнитного поля / А. Ф. Гильфанова, Д. А. Веденькин // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2026. – Т. 29, № 2. – С. 124-131. – DOI: https://doi.org/10.18469/1810-3189.2026.29.2.124-131
10. Веденькин, Д. А. Линейные и плоские антенные решетки, сфокусированные по широкополосным сигналам в задачах радиосвязи, микроволновых технологий и неразрушающего контроля / Д. А. Веденькин // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. – 2025. – Т. 28, № 1. – С. 95-110. – DOI: https://doi.org/10.18469/1810-3189.2025.28.1.95-110

SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL CENTER "SPACE SYSTEMS AND SERVICES" – A REGIONAL CENTER FOR SPACE TECHNOLOGY DEVELOPMENT

A.A. Kuznetsov, Sh.R. Valiullin

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI
10, K. Marx St., Kazan, 420111, Russian Federation

Absrtact. This paper examines the concept of establishing and operating the Scientific and Educational Center "Space Systems and Services" (SEC "SSS") at the Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI (KNRTU-KAI). It outlines the university's accumulated expertise in the design, manufacturing, and flight testing of CubeSat small spacecraft within the framework of federal programs. Special emphasis is placed on the pioneering experience of integrating fiber-optic measurement systems and radio-photonic technologies into satellite onboard equipment. The results of developing advanced payloads for air traffic management and navigation systems, including ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) receivers and ultra-wideband communication systems, are presented. The strategic transition to the "photonic onboard architecture" concept is substantiated as a foundational step toward establishing a unified seamless digital sky. Furthermore, the infrastructure and the vertically integrated educational model of the center, which ensure the training of highly qualified personnel for the aerospace industry, are described.

Keywords: small spacecraft, CubeSat, fiber-optic sensors, radio photonics, ADS-B, ultra-wideband communication, photonic onboard architecture, continuing professional education, Scientific and Educational Center "Space Systems and Services"

Статья представлена в редакцию 05 октября 2026г.