

# Группировка спутников ЮЗГУ исследует околоземное пространство и поверхность Земли

С. ЕМЕЛЬЯНОВ, д-р техн. наук, Е. ШИЛЕНКОВ, канд. техн. наук, С. ФРОЛОВ, канд. техн. наук, Е. ТИТЕНКО, канд. техн. наук, Д. ДОБРОСЕРДОВ, Д. ЗАРУБИН, А. ШИТОВ, г. Курск, С. САМБУРОВ, г. Королёв Московской обл., О. АРТЕМЬЕВ, канд. экон. наук, Звёздный городок Московской обл.

(см. статью на с. 7)



Фото 6



Фото 9



Фото 1



Фото 5

## Группировка спутников ЮЗГУ исследует околоземное пространство и поверхность Земли

*Первая работа "Исследование мировых пространств реактивными приборами", научно обосновавшая возможность полёта в космос, была напечатана 120 лет назад в журнале "Научное обозрение" в мае 1903 г. Автором статьи был основоположник мировой космонавтики русский учёный Константин Эдуардович Циолковский. В настоящее время учёные НИИ космического приборостроения и радиоэлектронных систем имени К. Э. Циолковского Юго-Западного государственного университета (г. Курск) совместно со студентами разрабатывают и изготавливают космические аппараты, которые успешно выполняют исследования космического пространства.*

**С. ЕМЕЛЬЯНОВ**, д-р техн. наук, **Е. ШИЛЕНКОВ**, канд. техн. наук, **С. ФРОЛОВ**, канд. техн. наук, **Е. ТИТЕНКО**, канд. техн. наук, **Д. ДОБРОСЕРДОВ**, **Д. ЗАРУБИН**, **А. ЩИТОВ**, г. Курск, **С. САМБУРОВ**, г. Королёв Московской обл., **О. АРТЕМЬЕВ**, канд. экон. наук, Звёздный городок Московской обл.

Современные малые космические аппараты (МКА) формата Cube Sat 3U представляют собой низкоорбитальные роботизированные измерительно-передающие комплексы. МКА являются высокотехнологичными изделиями, имеющими в составе несущей платформы научную аппаратуру и полезную нагрузку (измерения плотности радиоэфира, магнитного поля Земли, фотовидеосъёмка целевых объектов космоса и Земли, организация низкоорбитального сегмента космической связи, мониторинг воздушной обстановки,

космические эксперименты с биоматериалами на борту МКА и др.).

Исторически в малой космонавтике можно выделить два основных направления развития [1]. Первое направление — университетское, оно базируется на критериях "быстрее, лучше, дешевле", т. е. в нём используются недорогие комплектующие, дешёвые студенческие рабочие руки и зачастую бесплатный вывод на орбиту. Создаваемые МКА представляют любительские научно-технические или научно-образовательные проекты. Такие МКА

не призваны решать сложные научные или технические задачи. Запуск МКА направлен на проверку работоспособности служебных систем и модулей полезной нагрузки в условиях космоса перед использованием в дорогостоящих проектах. Второе направление — промышленное, оно инициируется космическими фирмами и агентствами с целью получения коммерчески значимых технических результатов.

По мере постоянного совершенствования платформы МКА, материалов, электронной компонентной базы и тех-

нологии изготовления модулей и служебных систем возникла возможность проведения космических экспериментов (КЭ), ориентированных на создание группировки взаимодействующих МКА формата Cube Sat 3U с улучшенными техническими характеристиками.

Начиная с 2011 г. на борту Международной космической станции (МКС) проводится КЭ "Радиоскаф" с участием Юго-Западного государственного университета (ЮЗГУ) [2—4], в рамках которого осуществлено около 20 успешных запусков МКА с различной научной аппаратурой. Вывод МКА осуществлялся с борта МКС в процессе внекора-

диоскаф" постоянно совершенствовалась конструкция аппарата, улучшались характеристики служебных систем, были успешно апробированы модули научной аппаратуры. Среди реализованной функциональной возможности МКА можно выделить:

- передачу приветственных сообщений на 15 языках;
- передачу телеметрии в процессе движения аппарата по орбите;
- съёмку земной поверхности в ИК-диапазоне;
- научно-образовательные эксперименты по исследованию характеристик вакуума;

лизации (на основе электромагнитных принципов), системы энергообеспечения (увеличение числа фотоэлектрических преобразователей, раскрываемые солнечные панели), системы управления (расширение системы команд, работа в составе сети аппаратов) и др. составляют планы следующих КЭ "Радиоскаф".

Работы по совершенствованию конструкции МКА позволяют:

- увеличить объём и сократить время зарядки аккумуляторных батарей за счёт моделирования и проектирования модуля преобразования солнечной энергии в электрическую с использованием элементов Пельтье;
- повысить продолжительность приёма-передачи за счёт внедрения системы активной ориентации, создаваемой на основе четырёхосевого гиридина и векторного процессора;
- изменять режим работы аппарата в зависимости от объёма накопленной энергии (адаптивная модель управления по остатку энергообеспечения МКА);
- передавать телеметрию и голосовые сообщения в параллельном режиме за счёт модификации блока частотной модуляции;
- изменять полётное задание в реальном режиме времени за счёт расширения системы команд бортового вычислительного модуля;
- повысить эффективность решения задач приёма-передачи данных за счёт создания группировки взаимодействующих МКА.



Фото 2

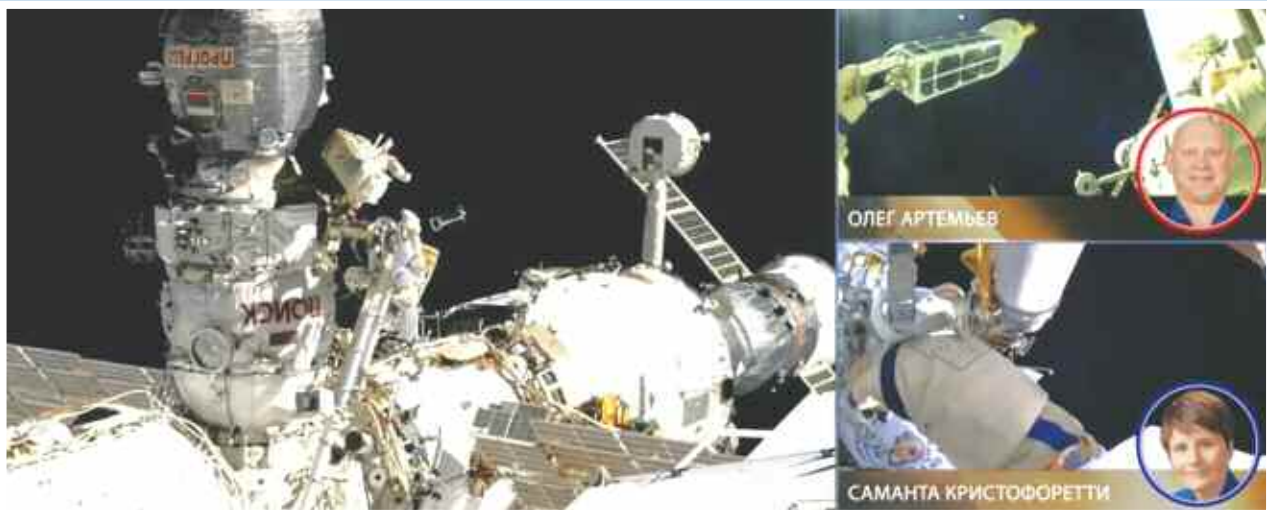


Фото 3

бельной деятельности. Стартовав с университетского направления, КЭ "Радиоскаф" прошёл путь от научно-образовательного проекта до проектов по созданию промышленно-ориентированных аппаратов.

В течение 2011—2022 гг. была создана технология изготовления МКА с улучшенными характеристиками служебных систем, позволяющая интегрировать на борт аппаратов разнотипные модули полезной нагрузки, в том числе с высоким энергопотреблением. Благодаря регулярно выполняемым КЭ "Ра-

— передачу в наземный центр сообщений о состоянии систем МКА и результатов измерений физического состояния околоземной среды;

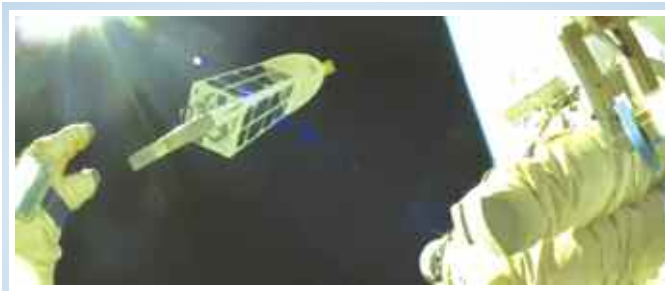
- космический эксперимент по материаловедению;
- тестирование средств связи;
- приём сообщений от системы автоматического зависимого наблюдения-вещания (АЗН-В);
- проверку технических решений по стабилизации МКА и др.

В дальнейшем работы по совершенствованию систем ориентации и стаби-

В состав инфраструктуры космических средств, созданной в ЮЗГУ, также входит наземный центр сбора информации. Наземный центр обеспечивает приём сигналов в двух диапазонах (X- и L-диапазоны). Такая организация системы связи повышает оперативность работы с МКА за счёт синхронизации процедур приёма и управления в совокупности с широким покрытием зон связи сообщества наземных обсерваторий.

В 2022 г. была выведена на орбиту группировка из десяти МКА, ориенти-

рованная на продолжение отработки бортовых систем, узлов и организацию связи между аппаратами на основе принципов самоорганизации. Цель миссии этой группировки — организация и поддержание сети взаимодействующих МКА, способных вести коллективную работу, — позволит в дальнейшем проводить разнесённые в пространстве КЭ на основе однотипной научной аппаратуры и полезной нагрузки и получать увеличенный объём данных об объектах исследования.



**Фото 4**

На **фото 1 на 3-й с.** приведены спутники ЮЗГУ-55, прошедшие все проверки и доставленные в 2022 г. на МКС. На **фото 2** показана подготовка к запуску в НИИ космического приборостроения и радиоэлектронных систем (НИИ КП и РЭС) имени К. Э. Циолковского. Директор НИИ КП и РЭС ЮЗГУ имени К. Э. Циолковского Е. А. Шиленков за работой.

Дальнейшее проведение КЭ "Радиоскаф" направлено на расширение технических возможностей модулей полезной нагрузки и последующее совершенствование конструкции МКА за счёт создания узлов, обеспечивающих работу как служебной системы, так и модуля полезной нагрузки. Такая унификация даёт одновременный эффект в части расширения функционала и экономии энергии на борту аппарата, что продлевает срок его непосредственной работы.

Другое перспективное направление КЭ "Радиоскаф" — измерение магнитного поля Земли, которое изменяется во времени и пространстве. Сейчас идут глобальные процессы переориентации магнитных полюсов Земли, поэтому изменяются линии магнитной напряжённости, меняются границы и местоположение магнитных аномалий (Бразильская, Курская аномалии), возникают новые магнитные домены в местах разломов тектонических плит и др. Накапливаясь, эти изменения приводят к необходимости коррекции мировых карт магнитного поля Земли. Соответственно, кроме измерительной аппаратуры, устанавливаемой на космических аппаратах больших классов (массой 100...1000 кг), оперативный интерес представляют МКА, совершающие восемь-девять оборотов вокруг Земли и способные благодаря трёхкомпонентным магнитным датчикам накапливать и передавать текущие измерения магнитного поля Земли. МКА в рамках КЭ "Радиоскаф" реализуют этот функцио-



**Фото 7**



**Фото 8**



Фото 10

нал. В перспективе возможно проведение других КЭ научной направленности: изучение гравитационного поля Земли, зон электромагнитных бурь, участков сейсмоактивности и др. [5].

Ещё одно направление КЭ, имеющее прикладную востребованность, — создание научной аппаратуры для измерения шумов радиозэфира, что позволяет оценить трафик частотных каналов. Эти измерения позволяют создать карты обобщённой плотности радиозэфира, что позволит более рационально управлять режимами приёма-передачи данных между космическими аппаратами различных классов.

Организационно-техническим итогом ряда КЭ "Радиоскаф" стал вывод на орбиту одновременно десяти наноспутников, осуществлённый 21 июля 2022 г. космонавтом Олегом Артемьевым и астронавтом Самантой Кристофоретти (фото 3).

Кроме собственной полезной нагрузки, эти наноспутники оснащены транспондерами для образования информационной сети и приёма-передачи служебных сообщений. Образование группировки МКА обеспечивает решение не только исследовательских, но и прикладных задач, имеющих народнохозяйственное значение [3]:

- обеспечение дистанционного зондирования Земли;
- поддержка широкополосных интернет-услуг;
- создание низкоорбитального сегмента космической навигационной системы;
- мобильная связь;

— мониторинг воздушных и морских судов;

— измерение характеристик космической погоды и др.

Выводимая группировка МКА состояла из восьми спутников ЮЗГУ-55 (фото 4), предназначенных для комплексного изучения магнитосферы Земли с помощью прецизионного магнитометра, и двух МКА "Циолковский-Рязань", в которых в качестве полезной нагрузки установлен модуль АЗН-В-сообщений для обеспечения безопасности полётов воздушных судов вне зоны наземных станций-ретрансляторов. На фото 5 на 3-й с. показана делегация ЮЗГУ в ЦУПе во время запуска.

Таким образом, в рамках продолжающейся серии КЭ "Радиоскаф" созданы МКА с полезной нагрузкой, имеющей существенное прикладное значение. Наиболее вероятным является расширение области применения МКА в научно-исследовательских, народнохозяйственных и иных задачах (обеспечение безопасности воздушных и морских судов, измерение магнитного поля Земли, контроль природных и техногенных территориально-распределённых объектов — открытые карьеры, вулканы, айсберги, нефтяные пятна, метеорологические наблюдения, измерение характеристик магнитных бурь, исследование биоматериалов в условиях ближнего космоса и др.). Дальнейшие разработки МКА направлены на повышение интеллектуальных возможностей группировки за счёт создания реконфигурируемой сети аппаратов.

Группировка МКА функционирует на методах самоорганизации и искусственного интеллекта [6, 7], что позволит прогнозировать изменения состава и оперативно переназначать работы в случае выхода из строя одного из аппаратов.

Продолжается деятельность по другому совместному между ЮЗГУ и РКК "Энергия" образовательному КЭ "О Гагарине из космоса". За прошедший 2022 г. экипаж МКС-67 в составе О. Артемьева, Д. Матвеева и С. Корсакова провёл 18 сеансов связи с г. Уфой и г. Москвой [4], а экипаж МКС-68 в составе С. Прокопьева, А. Кикиной и Д. Петелина — сеансы со школами № 547 и № 491 из Санкт-Петербурга, г. Азнакаево (Татарстан), станицей Динской Краснодарского края, г. Нижним Новгородом, г. Вологодой, АмГУ (г. Благовещенск), г. Калининградом, г. Екатеринбургом, г. Уфой, г. Саранском, г. Курском.

Космонавты проходят подготовку к полёту, в том числе и по этому эксперименту. На фотографиях показаны тренировки космонавтов О. Платонова (фото 6 на 3-й с.), А. Зубрицкого (фото 7), К. Борисова (фото 8), К. Пескова (фото 9 на 3-й с.), А. Горбунова (фото 10).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абламейко С. В., Саечников В. А., Спиридонов А. А. Малые космические аппараты: пособие для студентов факультетов радиопрофики и компьютерных технологий, механико-математического и географического. — Минск: БГУ, 2012, 159 с.
2. Артемьев О., Самбуров С., Емельянов С., Ларина О., Шиленков Е., Титенко Е., Фролов С., Добросердов Д., Зарубин Д., Щитов А. Радиоловительские проекты на МКС. — Радио, 2021, № 4, с. 7—12.
3. Емельянов С., Шиленков Е., Титенко Е., Щитов А., Добросердов Д., Зарубин Д., Титенко М., Разиньков К. Космический эксперимент "Радиоскаф" на МКС: достижения и перспективы разработки студенческих МКА. — Радио, 2022, № 4, с. 7—11.
4. Емельянов С., Самбуров С., Артемьев О., Шиленков Е., Фролов С., Титенко Е., Добросердов Д., Зарубин Д., Щитов А., Коптев Д. Университетские разработки малых космических аппаратов и космические эксперименты, реализуемые на их основе. — Радио, 2022, № 10, с. 13—17.
5. Потюпкин А. Ю., Данилин Н. С., Селиванов А. С. Кластеры малоразмерных космических аппаратов как новый тип космических объектов. — Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 2017, т. 4, № 4, с. 45—56.
6. Тимофеев Ю. А., Потюпкин А. Ю., Волков С. А., Сергеев А. С. Анализ современных тенденций создания космических систем на основе малоразмерных аппаратов/Научное значение трудов К. Э. Циолковского: история и современность. Материалы 56-х научных чтений памяти К. Э. Циолковского. — Калуга: Эйдос, 2021, ч. 1, с. 27—30.
7. Атакищев О. И., Титенко Е. А., Скорняков К. С. и др. Модель и методы управления сложными техническими объектами на основе производственной парадигмы. — Известия ЮФУ. Технические науки, 2012, № 3(128), с. 181—187.