

## ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ УНИФИЦИРОВАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ ПЛАТФОРМ

А. Н. КОРОЛЕВ, Ю. Г. ПИЧУРИН, А. В. РАДЬКОВ, В. Б. РУДАКОВ

*„НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“,  
141091, Московская область, г. Королев, Россия  
E-mail: niiks@khrunichev.com*

Рассматриваются предпосылки и особенности создания малых космических аппаратов (МКА) на базе унифицированных космических платформ (УКП). Проведен анализ новых прогрессивных технических решений, реализация которых обеспечивает высокий уровень совершенства МКА, разрабатываемых на базе УКП, проанализированы также реализованные технические решения, направленные на повышение надежности КА. Рассмотрены проблемные вопросы технической реализации УКП, в частности, их приспособленность к построению КА, из которых можно создать „созвездие“ с гибкой архитектурой для решения широкого круга задач. Сделан вывод, что построение унифицированных космических платформ как базовой основы создания космических средств различного целевого назначения является одной из важнейших тенденций космического приборостроения.

**Ключевые слова:** *малый космический аппарат, полезная нагрузка, унифицированная космическая платформа, модульность, миниатюризация, снижение массы и габаритов*

Благодаря достижениям в микроэлектронике и информатике, созданию микропроцессорных систем, появлению твердотельных радиоэлектронных приборов, микроэлектромеханических систем, миниатюрных гироскопов и более эффективных солнечных батарей (фотопреобразователей) было начато производство миниатюрных элементов для космических систем, что позволило, наряду с высокой информативностью, обеспечить снижение массы и габаритов космических аппаратов (см. таблицу). Постепенное снижение стоимости и уменьшение массогабаритных характеристик электрорадиоизделий нового поколения лежит в основе создания относительно недорогих миниатюрных электронных систем космического применения [1].

Подсистемы КА	Направления снижения энергомассовых характеристик подсистем КА	Ожидаемый эффект
Конструкция, материалы	Конструкционный эпоксидный графитопластик. Негерметичная компоновка. Легкие сплавы. Термостабильные полимеры. Материалы с тепловой памятью	Снижение массы в 2-3 раза
Подсистема двигателей и двигательных установок	Композиционная керамика для двигателей. Миниатюрная автоматика. Новые топливные пары. Газовые баллоны, топливные баки из легких сплавов и композиционных материалов	
Подсистема энергопитания	Улучшенные планарные кремниевые фотоприемные устройства. Арсенид-галлиевые фотоприемные устройства. Каркасы и ячеистые структуры из композиционных материалов для солнечных батарей. Никель-водородные, серебро-цинковые, серно-натриевые, литий-ионные, литий-азотно-кислые химические батареи	Снижение массы в 1,5-2 раза

Продолжение таблицы

Подсистемы КА	Направления снижения энергомассовых характеристик подсистем КА	Ожидаемый эффект
Подсистема ориентации и управления движением	Звездные датчики ориентации. Солнечные датчики. Датчики горизонта. Магнитные, гравитационные датчики. Бесплатформенная инерциальная навигационная система. Маховичные устройства, силовые гироскопы. Автономная система определения положения	Уменьшение массы и энергопотребления в 3-5 раз
Подсистема управления бортовым комплексом	Бортовой вычислитель. Аналогово-цифровое устройство. Цифровой преобразователь. Оперативное и постоянное запоминающие устройства. Бортовые волоконно-оптические линии. Интерфейс	
Подсистема обеспечения теплового режима	Открытая компоновка. Тепловые трубы. Активные нагреватели и охладители. Новые микродатчики температуры	Уменьшение массы и энергопотребления в 2-3 раза
Подсистема телеметрии и внешних траекторных измерений	Электрические микродатчики температуры, усилий, давления, расхода компонентов. Преобразователи быстрых параметров. Коммутаторы цифровых потоков телеметрической информации. Формирователь кадров	
Бортовая подсистема связи	Новая приемопередающая аппаратура ДМ-, СМ- и ММ-диапазонов. Устройства защиты от помех. Устройства шифровки, дешифровки и сжатия информации. Малогабаритные антенно-фидерные устройства	Уменьшение размеров и массы в 5 раз, снижение энергопотребления в 1,5-2 раза
Программно-математическое обеспечение (ПМО)	ПМО с искусственным интеллектом. ПМО обработки видеoinформации. ПМО функционирования служебных подсистем. ПМО сжатия информации	Улучшение характеристик КА, снижение энергопотребления в 1,5-2 раза

В результате миниатюризации КА удалось снизить массу некоторых тяжелых и больших КА и создать новые аппараты аналогичного назначения с массой в несколько сотен килограмм. В связи с этим и в США, и в России существенно изменились приоритеты по разработке КА — на орбиту в основном запускаются средние (масса до 2,5 т) и малые (до 1000 кг) космические аппараты [2].

Малые КА (МКА) — это узкоспециализированные аппараты, имеющие, как правило, монофункциональную целевую аппаратуру, негерметичную конструкцию корпуса, компактные солнечные батареи, минимум резервирующих элементов. В их производстве используются новейшие конструкционные материалы и достижения микроэлектроники, для наблюдения применяются сложные, но компактные оптические схемы.

Две основные составляющие космических аппаратов — полезная нагрузка, включающая приборы, определяющие назначение КА (приборы наблюдения для дистанционного зондирования Земли, аппаратура связи и вещания, навигационная аппаратура и т.п.), и служебные (обеспечивающие) системы. Одним из основных принципов разработки МКА является модульный конструктивный подход, когда служебные системы объединяются в один модуль, получивший название космическая платформа, а целевая аппаратура объединяется в другой модуль [3]. Модульный подход позволяет разнести этапы разработки целевой и служебной аппаратуры. Исходя из зарубежного и российского опыта, этап разработки комплекса целевой аппаратуры составляет 5—8 лет, что существенно превышает срок создания платформы, составляющий примерно 3 года [4].

Основа МКА — малогабаритная космическая платформа, обеспечивающая точную трехосную ориентацию, программные повороты КА, достаточное электропитание и современное автоматическое управление полезной нагрузкой и служебными функциями. В Федеральной космической программе 2016—2025 гг. специально предусмотрено создание целой серии МКА на базе космических платформ [5].

Использование космических платформ имеет ряд преимуществ по сравнению с индивидуальным изготовлением космических аппаратов [6]:

- уменьшение расходов на проектирование в связи с серийностью производства и возможностью распределения стоимости проектирования платформы между всеми КА серии;
- увеличение надежности КА благодаря многократной проверке и отработке их систем;
- уменьшение времени производства КА до 18—36 месяцев.

При реализации космических проектов все шире используются унифицированные космические платформы (УКП). Принцип унификации заключается в возможности построения космических платформ, соответствующих по своим тактико-техническим характеристикам проектируемым на их основе КА, из набора надежных, отработанных, в том числе имеющих летную квалификацию, блоков и устройств [7].

Конструктивно УКП является законченным модулем; предусматривается два варианта размещения на ней целевой аппаратуры:

- непосредственная установка приборов целевой аппаратуры на конструкцию (агрегатную панель) УКП;
- формирование самостоятельного конструктивного модуля целевой аппаратуры, устанавливаемого на конструкцию УКП.

В основу унифицированной космической платформы закладывается комплекс бортового оборудования, который может быть адаптирован под решение различных целевых задач. При этом в зависимости от функционального назначения КА комплекс бортового служебного оборудования может иметь различную конфигурацию, предусмотренную построением платформы. Это позволяет в заданных границах изменять характеристики КА, определяющие схемы полета, орбиты функционирования, управление движением при решении целевой задачи, а также схемы энергоснабжения, размещения и работы целевой аппаратуры.

МКА, разрабатываемые на базе УКП, имеют высокий уровень технического совершенства, что обеспечивается реализацией новых прогрессивных технических решений:

- негерметичное исполнение конструкции УКП позволяет уменьшить массу и габариты МКА, упростить технологию сборки и испытаний, а также использовать платы, на которых установлены приборы, в качестве радиационных поверхностей для сброса тепла с этих приборов;

- разработка бортового комплекса управления на современной элементной базе обеспечивает реализацию функции управления с применением микропроцессорных устройств, а также автономность функционирования МКА на орбите;

- применение активной системы ориентации и стабилизации обеспечивает высокую точность ориентации МКА по осям орбитальной системы координат ( $6'$ ), стабильность ориентации по каждой оси ( $0,001$  °/с) и оперативную переориентацию в пределах  $\pm 30^\circ$  по крену и тангажу в течение 2 мин, включая время „успокоения“ МКА после разворота;

- наличие в составе модуля служебных систем корректирующей двигательной установки обеспечивает компенсацию ошибок выведения МКА на орбиту, формирование заданного орбитального построения системы, поддержание стабильности орбитальной структуры в течение всего срока активного существования, увод МКА с орбиты в конце срока его эксплуатации;

- использование в составе механических систем солнечных батарей электромеханических приводов позволяет снизить динамические нагрузки при раскрытии панелей солнечных

батарей и тем самым уменьшить количество дефектов фотоэлектрических преобразователей на начальном этапе ввода МКА в эксплуатацию;

— комплекс мер, основанных на отборе и сертификации элементной базы, применение схемных и технических решений с использованием аппаратного и функционального резервирования, проведение отработочных и ресурсных испытаний отдельных приборов обеспечивают надежность служебных систем МКА в течение срока активного существования (не менее 5—7 лет).

Особенность УКП состоит в „глубоком проникновении“ прецизионной электромеханики, микроэлектроники и нанотехнологий в их структуру и служебные системы — системы ориентации и стабилизации КА, системы управления, электропитания и терморегулирования, т.е. практически во все, что составляет суть космической платформы и обеспечивает работу КА.

Модульный принцип построения УКП обеспечивает возможность их гибкой адаптации для решения различных задач как за счет использования тех или иных модулей, так и за счет их собственной комплектации. Модульность конструкции платформы позволяет автономно проводить монтаж и проверку отдельных систем и агрегатов, а также совершенствовать те или иные модули практически независимо друг от друга, создавая тем самым новые модификации МКА. Это в перспективе, при негерметичном исполнении, позволит обеспечить легкость орбитального ремонта и замены блоков и узлов.

Совершенствование последующих поколений базовых УКП может быть достигнуто за счет применения новых материалов, микро- и нанотехнологий. К обязательному применению на всех МКА, создаваемых на базе модернизированной космической платформы, должны быть приняты уже реализованные технические решения, направленные на повышение надежности КА, основные из которых следующие:

- замена бортового оборудования, имеющего многократные отказы при летной эксплуатации, на оборудование с подтвержденными в полете показателями надежности;
- применение радиационно стойкой элементной базы;
- применение усовершенствованной системной логики контроля и диагностики процессов управления;
- применение комплекса мероприятий по улучшению защиты бортовой аппаратуры от радиационной электризации.

При анализе технического уровня унифицированных космических платформ обычно используют ограниченное количество показателей эффективности, характеризующих их возможности, основными из которых являются [8, 9]:

- *несущая способность платформы*, оцениваемая отношением предельно возможной массы полезной нагрузки, которая может быть установлена на нее, к массе самой платформы;
- *электрическая мощность*, приходящаяся на единицу массы платформы;
- *срок активного существования КА*, созданного на базе платформы, в орбитальном полете;
- *точностные характеристики ориентации и стабилизации КА*, обеспечиваемые платформой.

Одним из проблемных вопросов технической реализации УКП является их приспособленность к построению КА, из которых можно создать „созвездие“ с гибкой архитектурой, способное решать широкий круг задач. Можно сказать, что проблемы построения УКП аналогичны проблемам создания перспективной группировки МКА, которые лежат в основном в следующих областях [10]:

- создание новейших информационных технологий и средств управления;
- проектирование новых средств и схем выведения;
- разработка конфигурации „созвездия“ как единого распределенного объекта;
- формирование схем восполнения перспективной группировки МКА;

- создание системы показателей надежности и критериев эффективности;
- разработка оптимальных способов применения новых космических систем.

Среди задач, которые необходимо решать при создании новых космических систем малых КА на основе космических платформ малой и средней размерности, первостепенными являются [11]:

- разработка высокоэффективных источников энергии и систем ориентации и коррекции;
- обеспечение связи и повышение требований к управлению движением;
- увеличение количества запусков МКА и относительно частое восполнение.

МКА на базе унифицированных космических платформ продолжают совершенствоваться: благодаря микроминиатюризации и применению компактных бортовых компьютеров расширяются их возможности — по пространственному разрешению, сроку активного существования и скорости передачи данных МКА дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) вплотную приблизились к „большим“ спутникам.

МКА ДЗЗ, связи и вещания, создаваемые на базе УКП малой и средней размерности, имеют большое будущее. Развитие данного направления напрямую связано с реализацией инновационных проектов по созданию космических платформ нового поколения.

Построение унифицированных космических платформ как базовой основы создания космических средств различного целевого назначения — одно из основных направлений, повышающих надежность КА, снижающих сроки создания и стоимость разработок. В России разработка и применение унифицированных космических платформ выполняется практически всеми организациями, участвующими в создании КА, что может трактоваться как одна из современных тенденций отечественного космического приборостроения.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Севастьянов Н. Н., Бранец В. Н., Панченко В. А.* и др., Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли // Тр. МФТИ. 2009. Т. 1, № 3.
2. *Болсуновский М. А.* Перспективные направления развития дистанционного зондирования Земли из космоса // Геоматика. 2009. № 2 (3). С 12—15.
3. *Алифанов О. М., Медведев А. А., Соколов В. П.* Подходы к созданию и направления применения малых космических аппаратов в космической деятельности // Тр. МАИ. 2011. № 49. С. 1—13.
4. *Макриденко Л. А., Волков С. Н., Ходненко В. П.* Концептуальные вопросы создания и применения малых космических аппаратов // Вопр. электромеханики. 2010. Т. 114. С. 15—26.
5. Федеральная космическая программа России, 2016—2025 годы [Электронный ресурс]: <[www.roscosmos.ru/22347](http://www.roscosmos.ru/22347)>, 2016.
6. *Косенко В.* Новые технологии и перспективы развития космических платформ и полезных нагрузок отечественных спутников связи и вещания // Информационные спутниковые системы. 2008. № 6. С. 15—17.
7. *Медведев А. А.* Унификация как средство повышения эффективности ракетно-космической техники // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А. Г. Братухин. М.: ОАО „НИЦ АСК“, 2008. С. 125—149.
8. *Волоцув В. В., Ткаченко И. С., Сафронов С. Л.* Выбор проектных параметров универсальных платформ малых космических аппаратов // Вестн. Самарского гос. аэрокосм. ун-та. 2012. № 2 (33). С. 35—46.
9. *Горбунов А. В.* Методы разработки космических аппаратов для обеспечения качества информации дистанционного зондирования Земли. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2002.
10. *Макаров М. И., Рудаков В. Б., Медведев А. А., Вахниченко В. В., Галантерник Ю. М.* Основные тенденции и направления развития КА. Миниатюризация и многофункциональность // Стратегическая стабильность. 2012. № 2(59). С. 20—25.

11. Макаров М. И., Рудаков В. Б., Кузин А. И., Леонов М. С., Галантерник Ю. М. Перспективы создания бортового оборудования микро КА на основе новых технологий // Стратегическая стабильность. 2012. № 2(59). С. 26—29.

#### Сведения об авторах

- Александр Николаевич Королев** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник; „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; первый заместитель директора, главный конструктор; E-mail: niiks@khrunichev.com
- Юрий Георгиевич Пичурин** — „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; заместитель начальника комплекса; E-mail: niiks@khrunichev.com
- Александр Васильевич Радьков** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник; „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; начальник комплекса; E-mail: niiks@khrunichev.com
- Валерий Борисович Рудаков** — д-р техн. наук, профессор; „НИИ КС имени А. А. Максимова“ – филиал АО „ГКНПЦ им. М. В. Хруничева“; главный научный сотрудник; E-mail: niiks@khrunichev.com

Поступила в редакцию  
26.02.18 г.

**Ссылка для цитирования:** Королев А. Н., Пичурин Ю. Г., Радьков А. В., Рудаков В. Б. Техническая реализация унифицированных космических платформ // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 8. С. 678—684.

## TECHNICAL REALIZATION OF UNIFIED SPACE PLATFORMS

A. N. Korolev, Yu. G. Pichurin, A. V. Radkov, V. B. Rudakov

A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch  
of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC,  
141091, Moscow Region, Korolev, Russia  
E-mail: niiks@khrunichev.com

Prerequisites and peculiarities of small spacecraft (SSC) creation based on unified space platforms (USP) are considered. An analysis of new progressive technical solutions is performed; implementation of the solutions is anticipated to provide a high level of perfection for SSC, developed on the base of the USP concept. Implemented technical solutions aimed at improving the spacecraft reliability, are also analyzed. Several problematic issues of the technical implementation of the USP are discussed. One of the problems relates to the USP adaptability to construction of a "constellation" of spacecrafts with a flexible architecture for solving a wide range of problems. It is concluded that construction of unified space platforms as the base for development of space vehicles for various special purposes, is one of the most important trends in space instrumentation.

**Keywords:** small spacecraft, payload, unified space platform, modularity, miniaturization, weight and size reduction

## REFERENCES

1. Sevast'yanov N.N., Branets V.N., Panchenko V.A. et al. *Proceedings of MIPT*, 2009, no. 3(1). (in Russ.)
2. Bolsunovskiy M.A. *Geomatics*, 2009, no. 2(3), pp. 12–15. (in Russ.)
3. Alifanov O.M., Medvedev A.A., Sokolov V.P. *Trudy MAI*, 2011, no. 49, pp. 1–13. (in Russ.)
4. Makridenko L.A., Volkov S.N., Khodnenko V.P. *Voprosy elektromekhaniki*, 2010, no. 114, pp. 15–26. (in Russ.)
5. *Federal'naya kosmicheskaya programma 2016–2025 gody (FKP 2016)* (Federal Space Program 2016–2025 (FPC 2016)). (in Russ.)
6. Kosenko V. *Informatsionnyye sputnikovyye sistemy*, 2008, no. 6, pp. 15–17. (in Russ.)
7. Medvedev A.A. *Rossiyskaya entsiklopediya CALS. Aviatsionno-kosmicheskoye mashinostroyeniye* (Russian Encyclopedia of CALS. Aerospace Mechanical Engineering), Moscow, 2008, pp. 125–149. (in Russ.)
8. Volotsuyev V.V., Tkachenko I.S., Safronov S.L. *VESTNIK of the Samara State Aerospace University*, 2012, no. 2(33), pp. 35–46. (in Russ.)
9. Gorbunov A.V. *Metody razrabotki kosmicheskikh apparatov dlya obespecheniya kachestva informatsii distantsionnogo zondirovaniya Zemli* (Methods of Development of Spacecrafts for Ensuring Quality

- of Information of Remote Sensing of Earth), Candidate's thesis, 2002, 157 p. (in Russ.)
10. Makarov M.I., Rudakov V.B., Medvedev A.A., Vakhnichenko V.V., Galanternik Yu.M. *Strategicheskaya stabil'nost'*, 2012, no. 2(59), pp. 20–25. (in Russ.)
  11. Makarov M.I., Rudakov V.B., Kuzin A.I., Leonov M.S., Galanternik Yu.M. *Strategicheskaya stabil'nost'*, 2012, no. 2(59), pp. 26–29. (in Russ.)

**Data on authors**

- Alexander N. Korolev** — PhD, Senior Scientist; A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; First Deputy Director, Chief Designer; E-mail: niiks@khrunichev.com
- Yury G. Pichurin** — A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Deputy Head of the Complex; E-mail: niiks@khrunichev.com
- Alexander V. Radkov** — PhD, Senior Scientist; A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Head of the Complex; E-mail: niiks@khrunichev.com
- Valery B. Rudakov** — Dr. Sci., Professor; A. A. Maksimov Space Systems Research Institute – Branch of Khrunichev State Research and Production Space Center JSC; Chief Scientist; E-mail: niiks@khrunichev.com

**For citation:** Korolev A. N., Pichurin Yu. G., Radkov A. V., Rudakov V. B. Technical realization of unified space platforms. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 8. P. 678–684 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-8-678-684