

Научная статья

УДК 629.78

DOI: [10.34759/trd-2022-127-21](https://doi.org/10.34759/trd-2022-127-21)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ СОВРЕМЕННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПО МОНИТОРИНГУ ОБЪЕКТОВ В ОКОЛОЗЕМНОМ КОСМИЧЕСКОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Андрей Николаевич Малетин¹, Андрей Александрович Глущенко²,

Ольга Александровна Мишина³✉

^{1,2,3}Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского,

Санкт-Петербург, Россия

³Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»

имени Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, Россия

¹vka@mil.ru

³olga_a_mishina@mail.ru✉

Аннотация. Приведены результаты анализа современного состояния и перспектив развития зарубежных автоматических космических аппаратов нового поколения, разработанных на базе унифицированных космических платформ. Рассмотрены современные тенденции в развитии космической техники. Проанализированы назначение, возможности и технические характеристики современных зарубежных космических средств по мониторингу объектов в околоземном космическом пространстве. Представленные результаты могут быть использованы отечественными разработчиками унифицированных космических платформ и

космических аппаратов при решении задач анализа современного технологического уровня в данной предметной области.

Ключевые слова: космический аппарат, унифицированная космическая платформа, технические характеристики, околоземное космическое пространство

Для цитирования: Малетин А.Н., Глущенко А.А., Мишина О.А. Исследование возможностей современных космических средств по мониторингу объектов в околоземном космическом пространстве // Труды МАИ. 2022. № 127. DOI: [10.34759/trd-2022-127-21](https://doi.org/10.34759/trd-2022-127-21)

Original article

INVESTIGATION OF THE CAPABILITIES OF MODERN SPACE FACILITIES FOR MONITORING OBJECTS IN NEAR-EARTH SPACE

Andrey N. Maletin¹, Andrey A. Glushchenko², Olga A. Mishina³✉

^{1,2,3}Military Space Academy named after A.F.Mozhaisky,
Saint-Petersburg, Russia

³Baltic state technical university «VOENMEH»,
Saint-Petersburg, Russia

¹vka@mil.ru

³olga_a_mishina@mail.ru✉

Abstract. The researches of near and far outer space is relevant in scientific and practical terms. For science, it is the study of the Solar system (including asteroids, comets, distant Galaxies). From a practical point of view, this is the control of space objects and the monitoring of the contamination of near-earth space with space debris.

The world's leading space powers continue to work on the creation of space facilities designed to solve the problems of testing technologies for remote inspection, autonomous rendezvous with specified objects, maintenance, repair, reconfiguration, modernization, refueling, changing orbit parameters, monitoring "space debris" and other necessary operations. This approach can be used to extend the service life of serviced spacecraft.

Based on the tactical and technical characteristics known from open sources, the article presents the results of the analysis of the current state and prospects for the development of foreign automatic spacecraft of a new generation developed on the basis of unified space platforms.

The introduction of advanced technologies has made it possible to significantly reduce the mass and size characteristics of spacecraft and the consumption of all types of resources, which has reduced the cost of developing, manufacturing and launching small spacecraft. New miniaturization technologies make it possible to create small spacecraft capable of performing tasks that 20 years ago were available only to large-class spacecraft.

The mass of such devices does not exceed 100-150 kg, the overall characteristics may be less than 1 m³. At the same time, the period of active existence can reach 5-7 years, the reserve of the characteristic speed is more than 400 m/s, the positioning accuracy is no more than 10-50 m, and the orientation accuracy is 10-15 angular s. The optical–electronic means of spacecraft have high resolution, allowing to observe geostationary spacecraft from low Earth orbit.

Theoretical and experimental studies have been brought to the stage of creating real groupings of small spacecraft that demonstrate very high capabilities for solving problems

of monitoring near-Earth space. First of all, this indicates a high level of theoretical and applied scientific research in this direction and the prospects for the miniaturization of space technology. In addition, this fact explains the priority of these studies, both for the state and for private companies developing modern space systems and complexes.

Keywords: spacecraft, unified space platform, technical characteristics, near-Earth space

For citation: Maletin A.N., Glushchenko A.A., Mishina O.A. Investigation of the capabilities of modern space facilities for monitoring objects in near-Earth space. *Trudy MAI*, 2022, no. 127. DOI: [10.34759/trd-2022-127-21](https://doi.org/10.34759/trd-2022-127-21)

Введение

Ведущие мировые космические державы продолжают работы по созданию космических средств, предназначенных для решения задач отработки технологий дистанционного обследования, автономного сближения с заданными объектами, обслуживания, ремонта, реконфигурации, модернизации, заправки, изменения параметров орбиты, контроля «космического мусора» и осуществления других необходимых операций [1–9]. Такой подход может использоваться для продления срока эксплуатации обслуживаемых космических аппаратов (КА). Рассматриваемые КА также могут использоваться для проведения космических экспериментов и решения различных прикладных научно-исследовательских задач [9-11].

Одним из приоритетных направлений развития технологий создания КА нового поколения в настоящее время является тенденция широкого использования в их основе унифицированных космических платформ (УКП). Под УКП понимается единая космическая платформа, используемая в качестве основы для построения

различных типов КА, бортовая целевая аппаратура которых имеет, как правило, схожие массогабаритные и энергетические параметры, а также характеристики условий функционирования.

Разработка новых КА на базе УКП имеет ряд преимуществ [9, 12-15]:

- использование единой стандартизованной открытой архитектуры и программного обеспечения, а также максимально унифицированной элементной базы, обеспечивающей простоту адаптации и переконфигурирования УКП под различные целевые системы;

- унификация не только отдельных элементов бортовой аппаратуры КА, но и бортовых систем, а также их составных частей;

- использование новых технических решений при разработке бортовых систем, прогрессивных технологий их изготовления, применения новых конструкционных материалов;

- оптимизация технологии сборки полезной нагрузки и её стыковки с УКП;

- уменьшение расходов на проектирование и создание КА в связи с серийностью производства и возможностью распределения стоимости разработки платформы между всеми аппаратами серии;

- уменьшение времени производства УКП вследствие возможности автономного проектирования, разработки, испытаний её блоков независимо от создания полезной нагрузки для КА;

- увеличение надежности КА из-за многократных проверок и испытаний всех систем УКП, в том числе имеющих лётную квалификацию.

Также на сегодняшний день существует тенденция в развитии современной космической техники, связанная с миниатюризацией всех её компонентов и систем. Именно благодаря внедрению передовых технологий стало возможным значительное уменьшение массогабаритных характеристик КА и расхода любых видов ресурсов, что обеспечило снижение затрат на разработку, производство и запуск малых КА и открыло новые возможности по созданию многоспутниковых космических систем и комплексов [15].

Кроме того, использование орбитальных средств мониторинга имеет немало преимуществ по сравнению с наземными:

- возможность круглосуточного, не зависящего от погодных условий, мониторинга в оптическом и инфракрасном диапазонах;
- большая доступная для текущего мониторинга зона наблюдения;
- отсутствие атмосферного поглощения и рефракции.

На сегодняшний день научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в данной предметной области наиболее активно ведутся в Соединённых Штатах Америки (США), Франции, Германии, Великобритании и Китае. Теоретические и экспериментальные исследования на текущий момент доведены до стадии создания реальных группировок на основе малых КА, которые демонстрируют значительные возможности по решению широкого круга задач [12].

Основная часть

Информация о возможностях, технических характеристиках и компоновке современных зарубежных КА весьма ограничена. Поэтому, анализ характеристик УКП проведен применительно к наиболее известным из них. Основные

характеристики зарубежных КА мониторинга объектов в околоземном космическом пространстве (ОКП) представлены в таблице 1 [16-23].

КА *SBSS (Space Based Space Surveillance)* предназначен для обнаружения и сопровождения космических объектов (таких как КА, ступени ракет-носителей и их фрагменты), находящихся на геостационарной орбите (ГСО), для получения информации в интересах поддержания каталога космических объектов космического командования военно-воздушных сил (ВВС) США. Кроме того, *NASA (National Aeronautics and Space Administration)* может использовать данные об орбитальных параметрах космических объектов для прогнозирования опасных сближений. Полезная нагрузка КА функционирует в видимом диапазоне [16,18,19].

Таблица 1 – Характеристики зарубежных КА мониторинга объектов в ОКП

Характеристика	КА					
	<i>SBSS</i>	<i>SAPPHIRE</i>	<i>GSSAP</i>	<i>ANGELS</i>	<i>MYCROFT</i>	<i>EAGLE</i>
Тип УКП	<i>BCP-2000</i>	<i>SSTL-150</i>	<i>GEOStar-2</i>	<i>ESPASat</i>		<i>ESPASat</i>
Масса КА, кг	1030	150	700	100		1086
Высота орбиты, км	650	780	35900–36100			
Тип орбиты	низкая круговая		квазигеостационарная			
Страна-производитель	США	Канада	США			
Количество	1		6	1		
Год запуска	2010	2013	2014, 2016, 2022	2014	2018	

Основную полезную нагрузку КА *SBSS* составляет трёхзеркальный анастигматический телескоп с апертурой 30 см. В качестве фотоприёмного устройства используется 2,4-мегапиксельная ПЗС-матрица. Поле зрения системы составляет 3л страд. Широкопольный телескоп установлен в двухступенном бериллиевом карданном подвесе с приводом повышенного быстродействия.

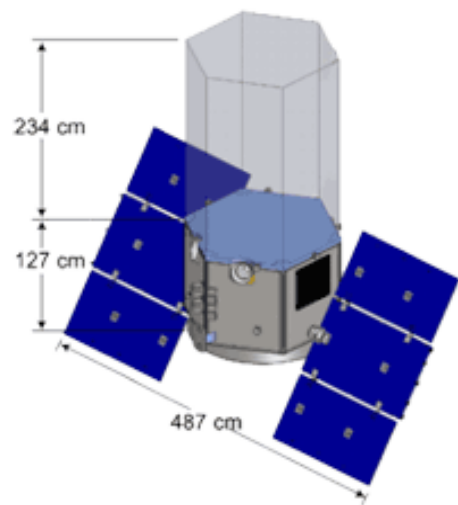
КА оснащен бортовым компьютером для обработки полученных изображений, имеется возможность перепрограммирования (установки обновленных версий программного обеспечения) в ходе полёта.

На рисунке 1 приведен внешний вид КА *SBSS* на базе УКП *BCP-2000*.

В качестве отличительной особенности УКП *BCP-2000* следует отметить расширенные возможности по адаптации к миссиям различного назначения. Целевыми орбитами для использования УКП являются околоземные орбиты с высотой от 400 до 900 км в большом диапазоне наклонений. Шестиугольная структура УКП позволяет разметить полезную нагрузку на её гранях, что снижает габариты разрабатываемых аппаратов [20].



а)



б)

Рисунок 1 – КА *SBSS* (а) на базе УКП *BCP-2000* (б)

Внешние панели платформы могут служить для сброса тепла и терморегулирования температуры. Подсистема управления питанием позволяет подавать энергию напрямую к полезной нагрузке, избегая необходимости

размещения дополнительных модулей. Солнечные батареи осуществляют зарядку аккумуляторов, которые обладают возможностью регулировки напряжения.

Двигательные установки *VSP-2000* используют однокомпонентное топливо (гидразин) для осуществления маневрирования. Общее количество ускорителей составляет 4 штуки, каждый из которых выдает около 5,3 Н тяги и позволяет перемещаться КА в трёх плоскостях.

Система ориентации *VSP-2000* обеспечивает трёхосевую стабилизацию КА. В состав управляющих и измерительных средств входят двигатели-маховики, инерциальные и звёздные датчики, а также навигационная аппаратура потребителя (НАП) спутниковой навигационной системы (СНС) *GPS*. По желанию заказчика на УКП могут быть установлены датчики Солнца и магнитометры. Помимо этого, для миссий мониторинга объектов в ОКП на УКП могут устанавливаться внешние гироскопы.

Бортовая система управления состоит из выделенного компьютера, внешней системы контроля времени, системы сбора и хранения информации о телеметрии и твердотельного накопителя. Система позволяет загружать на борт новое программное обеспечение.

Основные характеристики УКП *VSP-2000* приведены в таблице 2 [16, 18-20].

Таблица 2 – Основные характеристики УКП *VSP-2000*

Характеристика	Значение
Масса (средняя, КА на УКП), кг	960
Масса топлива (гидразин), кг	95
Масса полезной нагрузки (максимальная), кг	500
Габариты, м	4,87×2,34×1,27
Скорость передачи данных, кБит/с	80000
Количество звёздных датчиков, шт.	2

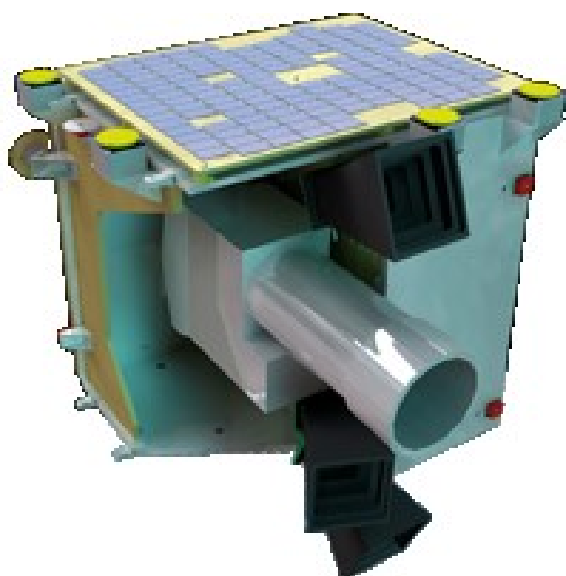
Характеристика	Значение
Срок активного существования, лет	5
Емкость системы хранения информации, Мбит	56000
Точность наведения, угл. с	10,5
Точность управления, угл. с	10,5
Точность стабилизации, угл. с/с	0,5
Точность позиционирования, м	30
Запас характеристической скорости, м/с	200
Напряжение питания, В	24–35
Мощность, Вт	840
Емкость аккумуляторов (литиево-ионных), А·ч	66
Площадь солнечных батарей, м ²	7,3
Диапазон передачи данных	S/X-диапазон

С четвертого квартала 2022 г. запланированы запуски модернизированных КА *SBSS follow-on* [23].

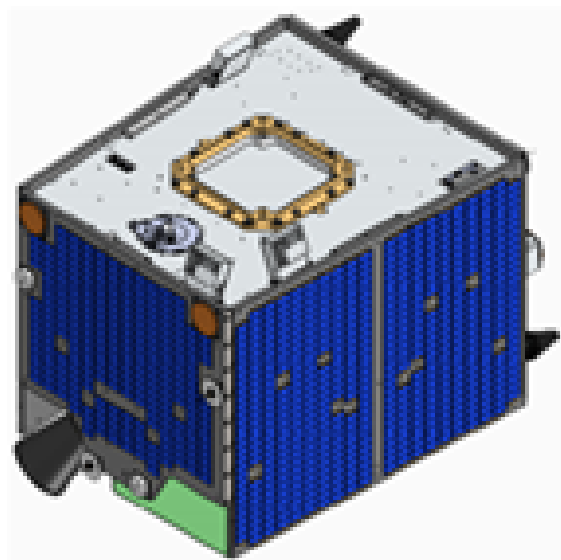
КА *SAPPHIRE* предназначен для наблюдения за космическими объектами на орбитах высотой 6000–40000 км. Он выведен на низкую круговую орбиту с наклоном 98,6° и периодом обращения 100,4 мин. По планам космического командования ВВС США КА *SAPPHIRE* должен входить в состав системы контроля космического пространства США в качестве привлекаемого средства [20].

Предположительно, КА оснащён бортовой оптико-электронной камерой и трёхзеркальным анастигматическим телескопом с апертурой 15 см и полем зрения 1,4°.

При создании данного КА применена УКП *SSTL-150* британской компании «*Surrey Satellite Technology*». КА *SAPPHIRE* на базе УКП *SSTL-150* представлен на рисунке 2.



а)



б)

Рисунок 2 – КА *SAPPHIRE* (а) на базе УКП *SSTL-150* (б)

Особенностями УКП *SSTL-150* являются размещение солнечных батарей (на основе арсенида галлия) на корпусе с трёх сторон и наличие ионного электрореактивного двигателя коррекции, работающего на ксеноне.

Бортовой оптико-электронный комплекс КА *SAPPHIRE*, производства компании «*ComDev International*» (Канада), включает в себя два разнесенных аппаратных блока: подсистему обработки данных и управления, а также оптико-электронное средство на основе ПЗС-матрицы *CCD 47-20* производства компании «*Teledyne e2v*» [20].

Основные характеристики УКП *SSTL-150* приведены в таблице 3 [20].

Таблица 3 – Основные характеристики УКП *SSTL-150*

Характеристика	Значение
Масса УКП, кг	100
Масса полезной нагрузки, кг	50
Срок активного существования, лет	5–7
Скорость передачи данных, Мбит/с	80
Материал конструкции	алюминий
Мощность полезной нагрузки, Вт	50–100
Объем системы хранения данных, Гбайт	16
Точность наведения, угл. с	25

Характеристика	Значение
Точность управления, угл. с	36
Точность стабилизации, угл. с/с	1,5
Точность позиционирования, м	10
Емкость аккумуляторов (литиево-ионных), А·ч	15
Площадь солнечной батареи, м ²	1,15
Напряжение питания, В	28 – 33
Система охлаждения	пассивная
Диапазон передачи данных	X-диапазон

КА *GSSAP* (*Geosynchronous Space Situational Awareness Program*) решают задачи обнаружения, распознавания (определения геометрических размеров) и классификации КА других стран, а также определения параметров их движения [21]. При этом рассматриваемые аппараты способны маневрировать в целях сближения с заданным объектом наблюдения. Расчётный срок активного функционирования такого КА составляет два года.

Они размещены парами ниже и выше ГСО, дрейфуя вдоль неё в восточном и западном направлениях, что позволяет вести наблюдение за КА со стороны, обращённой к Земле, и с обратной стороны, соответственно. Основным оборудованием данных КА является аппаратура оптико-электронного наблюдения, радио- и радиотехнического мониторинга.

Так, на одном из этапов функционирования КА *GSSAP-1* на орбите с высотой на 25 км ниже геостационарной двигался с угловой скоростью 0,5° в сутки для детального обзора ГСО. Одновременно *GSSAP-2* на орбите с высотой на 10 км ниже геостационарной дрейфовал медленнее, периодически останавливаясь для более детального дополнительного наблюдения отдельных КА [22].

Система управления данных КА обеспечивает ориентацию и стабилизацию по трём осям с помощью двигателей-маховиков, магнитных стержней, солнечного и

звёздного датчиков, а также гироскопов. Навигация осуществляется с помощью НАП СНС *GPS*.

Данные КА разработаны на основе УКП *GEOStar-2*, как представлено на рисунке 3.



а)

б)

Рисунок 3 – КА *GSSAP* (а) на базе УКП *GEOStar-2* (б)

Основные характеристики УКП *GEOStar-2* приведены в таблице 4 [20].

УКП *GEOStar-2* является модульной, разработанной с целью снижения времени сборки КА. К корпусу, изготовленному из композитных материалов, крепится полезная нагрузка и солнечные батареи.

Таблица 4 – Основные характеристики УКП *GEOStar-2*

Характеристика	Значение
Масса (сухая), кг	800–1500
Масса полезной нагрузки, кг	500
Габариты, м	1,75×1,7×1,8
Режим стабилизации	3-х осевой
Запас характеристической скорости, м/с	750–1000
Точность ориентации, мрад	0,4
Точность позиционирования, м	50
Мощность полезной нагрузки, Вт	до 5500
Тип материалов	композит и алюминий
Напряжение питания, В	24–36
Тип аккумуляторов	литиево-ионные
Скорость передачи данных, Мбит/с	до 100
Диапазон передачи данных	X-диапазон

Напряжение от двух панелей солнечных батарей и литиево-ионной батареи с электронным управлением составляет до 36 В для полезной нагрузки КА. Обмен командной и телеметрической информацией проходит под управлением процессора *MIL-STD-1750A*, что обеспечивает отказоустойчивое управление КА.

Основные двигательные установки платформы *GEOStar-2* используют двухкомпонентное топливо, а вспомогательные системы – однокомпонентное.

В соответствии с массогабаритными характеристиками данная УКП совместима с большинством доступных средств выведения, что максимизирует возможности по запуску КА. Поскольку платформа позволяет осуществлять спаренные запуски, то имеется возможность снизить стоимость пуска полезной нагрузки.

Двадцать первого января 2022 года был осуществлён успешный запуск ещё двух КА *GSSAP* [24].

КА *ANGELS* (*Automated Navigation and Guidance Experiment for Local Space*) предназначен для мониторинга ОКП. Он функционирует на ГСО на удалении до нескольких десятков километров от кооперируемых КА с задачей контроля. Предполагается, что КА *ANGELS* оснащён аппаратурой для детального наблюдения в видимом диапазоне и для съёмки в средневолновом ИК-диапазоне, причём и те, и другие должны использоваться одновременно.

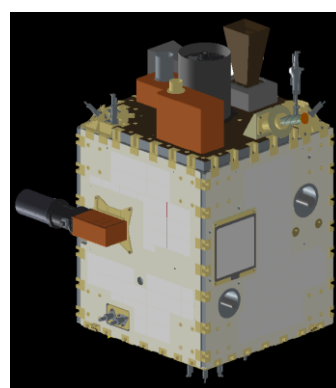
Дополнительной полезной нагрузкой *ANGELS* является НАП СНС *GPS*, рассчитанная на использование на более высокой орбите, чем орбиты самих навигационных КА, и обеспечивающая почти непрерывное определение местоположения за счёт приёма боковых лепестков их сигналов [21].

Кроме того, КА имеет высокоточные акселерометры, а также экспериментальные датчики и бортовую систему обеспечения безопасности сближения с кооперируемым объектом, что позволяет уменьшить вероятность их столкновения.

Ведутся работы по снижению массогабаритных характеристик *ANGELS* до уровня нано КА (1–10 кг). Данный КА разработан на базе УКП *ESPASat*, как представлено на рисунке 4.



а)



б)

Рисунок 4 – КА *ANGELS* (а) на базе УКП *ESPASat* (б)

Основные характеристики УКП *ESPASat* приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Основные характеристики УКП *ESPASat*

Характеристика	Значение
Масса УКП с полезной нагрузкой, кг	100
Масса полезной нагрузки, кг	30
Масса топлива (гидразин), кг	22,7
Габариты, см	57×57×70
Площадь солнечных батарей, м ²	1,25
Мощность солнечной батареи, Вт	до 265
Емкость аккумулятора (литиево-ионного), А·ч	24
Запас характеристической скорости, м/с	более 400
Точность ориентации, мкрад	менее 70
Точность позиционирования, м	менее 10
Мощность полезной нагрузки, Вт	30–60
Срок эксплуатации, лет	3–5

Дополнительно рассмотрим КА *EAGLE*, который несёт на своем борту малый КА *MYCROFT*, разработанный на базе УКП *ESPASat*.

EAGLE (*ESPA Augmented Geostationary Laboratory Experiment*) – экспериментальный КА, разработанный исследовательской лабораторией ВВС США, выведен на ГСО в апреле 2018 г. [20]. На нём было установлено 5 полезных нагрузок общей массой до 1086 кг, одна из которых – малый КА *MYCROFT*, а четыре других – неотделяемые полезные нагрузки, обеспечивающим модулем которых является *EAGLE*. Срок его активного существования около 1 года.

Целями полёта *EAGLE*, вероятно, являются развитие технологии повышения космической ситуационной осведомленности, отработка нового способа получения изображений КА на высоких орбитах, а также доставка на целевую орбиту отделяемой полезной нагрузки.

КА *EAGLE* разработан на основе УКП *ESPASat*, которая, как основу, для своей структуры использует модифицированный кольцо-адаптер (разгонный блок) ракеты-носителя и заимствует технологии у УКП серии *GEOSTar*. КА *EAGLE* на базе УКП *ESPASat* изображен на рисунке 5.



Рисунок 5 – КА *EAGLE* на базе УКП *ESPASar*

У данного КА имеются системы навигации, ориентации, телеметрии и другие. В двигательной установке используется 12 двигателей с силой тяги 1 Н для осуществления ориентации и 4 – для коррекции орбиты с силой тяги 22 Н.

Основные характеристики УКП *ESPASar* приведены в таблице 6 [20].

Таблица 6 – Основные характеристики УКП *ESPASar*

Характеристика	Значение
Масса, кг	780
Масса топлива, кг	310
Масса полезной нагрузки, кг	1086
Габариты, см	Ø157,5×61
Скорость передачи данных на Землю	256 кбит/с – 1,6 Мбит/с
Запас характеристической скорости, м/с	400–800
Точность ориентации, мкрад	20
Мощность, Вт	1200
Емкость аккумуляторов (литий-ионных), А·ч	96
Напряжение питания, В	28
Тип топлива	гидразин

MYCROFT – это экспериментальный КА по заказу научно-исследовательской лаборатории ВВС США, разработанный на основе орбитальной УКП *ESPASat*, как представлено на рисунке 6.



Рисунок 6 – КА *MYCROFT* на базе УКП *ESPASat*

Целью запуска КА является отработка технологий орбитального обслуживания. Для этого он в ходе своей работы должен отделиться от КА *EAGLE*, отлететь от него на 10 км и произвести осмотр при помощи установленных на борту оптических сенсоров. На КА установлена система ориентации с использованием звёздных датчиков. Таким образом, КА *MYCROFT* является развитием программы *ANGELS*.

Одной из задач *MYCROFT* является осмотр на орбите малого американского разведывательного КА *S5*, у которого возникли проблемы.

Основные характеристики КА *MYCROFT* приведены в таблице 7 [20].

Таблица 7 – Основные характеристики КА *MYCROFT*

Характеристика	Значение
Масса КА, кг	100
Масса топлива, кг	22,7
Масса полезной нагрузки, кг	до 30
Запас характеристической скорости, м/с	более 400
Точность ориентации, мкрад	70
Точность позиционирования, м	10
Тип топлива	гидразин

Заключение

Анализ технических характеристик зарубежных КА мониторинга ОКП показал, что масса таких аппаратов не превышает 100–150 кг, габаритные характеристики могут быть менее 1 м³. При этом срок активного существования может достигать 5–7 лет, запас характеристической скорости – более 400 м/с, точность позиционирования не более 10–50 м, а точность ориентации – 10–15 угл. с. Оптико-электронные средства КА имеют высокое разрешение, позволяющее наблюдать геостационарные КА с низкой околоземной орбиты. То есть новые технологии миниатюризации позволяют создавать малые КА, способные выполнять задачи, которые 20 лет назад были доступны лишь КА большого класса.

В системах ориентации КА используются, в основном, звёздные датчики. Для навигации применяется НАП СНС *GPS*, а для повышения точности при выполнении манёвров дополнительно используется информация с интегрирующих акселерометров. Небольшие массогабаритные характеристики позволяют выводить данные КА на орбиты попутным запуском.

Таким образом, за последние годы в зарубежных странах сделан значительный задел по созданию космических систем и комплексов на основе миниатюризации

космической техники. Теоретические и экспериментальные исследования доведены до стадии создания реальных группировок малых КА, которые демонстрируют очень высокие возможности по решению задач мониторинга ОКП. Это свидетельствует, во-первых, о высоком уровне теоретических и прикладных научных исследований в данном направлении, во-вторых, о перспективности миниатюризации космической техники и, в-третьих, о приоритетности данных исследований, как для государства, так и для частных компаний, разрабатывающих современные космические системы и комплексы [16, 18].

Список литературы

1. Пикалов Р.С., Юдинцев В.В. Обзор и выбор средств увода крупногабаритного космического мусора // Труды МАИ. 2018. № 100. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=93299>
2. Баркова М.Е. Космический аппарат для утилизации космического мусора в околоземном пространстве // Труды МАИ. 2018. № 103. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=100712>
3. Соколов Н.Л. Метод определения орбитальных параметров космического мусора бортовыми средствами космического аппарата // Труды МАИ. 2014. № 77. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=52950>
4. Ашурбейли И.Р., Лаговиер А.И., Игнатъев А.Б., Назаренко А.В. Возможности использования авиационной лазерной системы для борьбы с космическим мусором и поддержания орбит космического аппарата // Труды МАИ. 2011. № 43. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=24856>

5. Зиновьев Ю.С., Мишина О.А., Захаров А.Ю., Хатанзейская М.А. Методика оценки характеристик обнаружения оптико-электронной системы ГЕОДСС наземного базирования // Труды МАИ. 2019. № 109. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=111397>. DOI: [10.34759/trd-2019-109-16](https://doi.org/10.34759/trd-2019-109-16)
6. Капелетти Ш., Гуардуччи Ф., Паолилло Ф., Ридолфи Л., Баттаглиере М.Л., Грациани Ф., Пьержентили Ф., Сантони Ф. Группировка микроспутников для обнаружения космического мусора // Труды МАИ. 2009. № 34. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=8237>
7. Вениаминов С.С., Червонов А.М. Космический мусор – угроза человечеству. – М.: Изд-во Института космических исследований РАН, 2012. - 192 с.
8. Баркова М.Е. К вопросу о построении трассы космического аппарата для утилизации космического мусора и объекта космического мусора // Труды МАИ. 2022. № 125. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=168147>
9. Катъкалов В.Б., Морозова М.Л. Унифицированные платформы космических аппаратов зарубежных государств // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 3. С. 86–96.
10. Меньшиков В.А., Перминов А.Н., Рембеза А.И., Урличич Ю.М. Основы анализа и проектирования космических систем мониторинга и прогнозирования природных и техногенных катастроф. – М.: Машиностроение, 2014. – 736 с.
11. Королев В.О., Гудаев Р.А., Куликов С.В., Алдохина В.Н. Решение задачи распознавания типа объекта на основании использования диаграммы направленности антенны в качестве признака // Труды МАИ. 2017. № 94. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=81109>

12. Ардашов А.А., Силантьев С.Б., Фоминов И.В. Состояние и перспективы развития универсальных космических платформ для малых КА // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского. 2013. № 640. С. 34–41.
13. Романов А.В. Платформы служебных систем для МКА // Труды II Международной конференции - выставки «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризации. Области эффективного применения в XXI веке». - Королев: ЦНИИмаш, 2000. - С. 272-278.
14. Басотин Е.В., Мосин Д.А., Перфильев С.А. Перспективы развития средств развертывания, наращивания и восполнения орбитальных группировок на основе малых КА // Международный военно-технический форум «Армия-2016» (Кубинка, 6–11 сентября 2016): сборник докладов. - М.: МО РФ, 2016. С. 130–132.
15. Алифанов О.М., Медведев А.А., Соколов В.Н. Подходы к созданию и направления применения малых космических аппаратов в космической деятельности // Труды МАИ. 2011. № 49. URL: <https://trudymai.ru/published.php?ID=28039>
16. Фатеев В.Ф. Космическая оборона зарубежных стран на технологиях малых космических аппаратов // Труды ВКА имени А.Ф. Можайского. 2013. № 640. С. 140–156.
17. Васильев В.А., Федюнин П.А., Беляев М.П., Манин В.А. Анализ возможностей космической разведки по информационному обеспечению управления авиацией при выполнении огневых задач // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2021. № 17. С. 47–56.

18. Фатеев В.Ф. Космический эшелон воздушно-космической обороны на технологиях миниатюризации космических аппаратов // Воздушно-космическая оборона. 2013. № 6. С. 24–34.
19. Меньшаков Ю.К. Техническая разведка из космоса. - М.: Academia, 2013. - 656 с.
20. Хабаров Е., Мурманов Л. Канадские космические аппараты контроля космического пространства // Зарубежное военное обозрение. 2015. № 4. С. 75 – 78.
21. Лисов И.А. «Ангелы» и «стражи» для геостационара // Новости космонавтики. 2014. Т. 24. № 9 (380). С. 54–57.
22. Афанасьев И.Б. Орбитальный патруль // Новости космонавтики. 2016. Т. 26. № 10 (405). С. 27–29.
23. Павельцев П.А. Космос цвета «хаки» // Русский космос. 2019. № 11. С. 58–63.
24. Лукьянова Л.А., Свитнев И.В., Харитонов Е.А., Гаврилов И.Е. Метод дистанционного контроля радиационных параметров космических аппаратов на основе рентгенофлуоресцентного анализа // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2022. Т. 22. № 4. С. 650–658.
DOI: [10.17586/2226-1494-2022-22-4-650-658](https://doi.org/10.17586/2226-1494-2022-22-4-650-658)

References

1. Pikalov R.S., Yudintsev V.V. *Trudy MAI*, 2018, no. 100. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=93299>
2. Barkova M.E. *Trudy MAI*, 2018, no. 103. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=100712>

3. Sokolov N.L. *Trudy MAI*, 2014, no. 77. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=52950>
4. Ashurbeili I.R., Lagovier A.I., Ignat'ev A.B., Nazarenko A.V. *Trudy MAI*, 2011, no. 43. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=24856>
5. Zinov'ev Yu.S., Mishina O.A., Zakharov A.Yu., Khatanzeiskaya M.A. *Trudy MAI*, 2019, no. 109. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=111397>. DOI: [10.34759/trd-2019-109-16](https://doi.org/10.34759/trd-2019-109-16)
6. Kapeletti Sh., Guarduchchi F., Paolillo F., Ridolfi L., Battagliere M.L., Gratsiani F., P'erzhentili F., Santoni F. *Trudy MAI*, 2009, no. 34. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=8237>
7. Veniaminov S.S., Chervonov A.M. *Kosmicheskii musor – ugroza chelovechestvu* (Space debris is a threat to humanity), Moscow, Izd-vo Institut kosmicheskikh issledovani RAN, 2012, 192 p.
8. Barkova M.E. *Trudy MAI*, 2022, no. 125. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=168147>
9. Kat'kalov V.B., Morozova M.L. *Vozdushno-kosmicheskaya sfera*, 2021, no. 3. pp. 86–96.
10. Men'shikov V.A., Perminov A.N., Rembeza A.I., Urlichich Yu.M. *Osnovy analiza i proektirovaniya kosmicheskikh sistem monitoringa i prognozirovaniya prirodnykh i tekhnogennykh katastrof* (Foundations of space systems analysis and design for natural and manmade disasters monitoring and forecasting), Moscow, Mashinostroenie, 2014, 736 p.

11. Korolev V.O., Gudaev R.A., Kulikov S.V., Aldokhina V.N. *Trudy MAI*, 2017, no. 94. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=81109>
12. Ardashov A.A., Silant'ev S.B., Fominov I.V. *Trudy VKA imeni A.F. Mozhaiskogo*, 2013, no. 640, pp. 34–41.
13. Romanov A.V. *Trudy II Mezhdunarodnoi konferentsii - vystavki «Malye sputniki. Novye tekhnologii, miniatyurizatsii. Oblasti effektivnogo primeneniya v XXI veke»*, Korolev, TsNII mash, 2000, pp. 272-278.
14. Basotin E.V., Mosin D.A., Perfil'ev S.A. *Mezhdunarodnyi voenno-tekhnicheskii forum «Armiya-2016»: sbornik dokladov*, Moscow, MO RF, 2016, pp. 130–132.
15. Alifanov O.M., Medvedev A.A., Sokolov V.N. *Trudy MAI*, 2011, no. 49. URL: <https://trudymai.ru/eng/published.php?ID=28039>
16. Fateev V.F. *Trudy VKA imeni A.F. Mozhaiskogo*, 2013, no. 640, pp. 140–156.
17. Vasil'ev V.A., Fedyunin P.A., Belyaev M.P., Manin V.A. *Vozdushno-kosmicheskie sily. Teoriya i praktika*, 2021, no. 17, pp. 47–56.
18. Fateev V.F. *Vozdushno-kosmicheskaya oborona*, 2013, no. 6, pp. 24–34.
19. Men'shakov Yu.K. *Tekhnicheskaya razvedka iz kosmosa* (Technical intelligence from space), Moscow, Academia, 2013, 656 p.
20. Khabarov E., Murmanov L. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2015, no. 4, pp. 75 – 78.
21. Lisov I.A. *Novosti kosmonavtiki*, 2014, vol. 24, no. 9 (380), pp. 54–57.
22. Afanas'ev I.B. *Novosti kosmonavtiki*, 2016, vol. 26, no. 10 (405), pp. 27–29.
23. Pavel'tsev P.A. *Russkii kosmos*, 2019, no. 11, pp. 58–63.

24. Luk'yanova L.A., Svitnev I.V., Kharitonova E.A., Gavrilov I.E. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki*, 2022, vol. 22, no. 4, pp. 650–658. DOI: [10.17586/2226-1494-2022-22-4-650-658](https://doi.org/10.17586/2226-1494-2022-22-4-650-658)

Статья поступила в редакцию 21.11.2022

Статья после доработки 23.11.2022

Одобрена после рецензирования 05.12.2022

Принята к публикации 26.12.2022

The article was submitted on 21.11.2022; approved after reviewing on 05.12.2022; accepted for publication on 26.12.2022