

МНОГОЦЕЛЕВАЯ ПЛАТФОРМА „СИНЕРГИЯ“ БЛОЧНО-MOДУЛЬНОГО ТИПА ДЛЯ СБОРКИ НАНОСПУТНИКОВ

Д. В. МАЛЫГИН

*Лаборатория проектирования сверхмалых космических аппаратов „Астрономикон“,
190000, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: Malygin.DV@astronomikon.ru*

Представлено описание методов построения и использования наноспутников. Проведен анализ стандарта CubeSat. Рассматривается технология построения наноспутников на базе многоцелевой платформы „Синергия“ блочно-модульного типа.

Ключевые слова: *малый космический аппарат, наноспутник, пикоспутник, платформа, CubeSat*

Разработка и внедрение микро- и наноспутников — одно из перспективных направлений техники и технологий в аэрокосмической отрасли. Благодаря постоянной эволюции, при сохранении невысокой стоимости, малые космические аппараты (МКА) становятся гибким инструментом для проведения научных, образовательных и технологических экспериментов в космическом пространстве [1]. В основу многоцелевой платформы „Синергия“, разработанной в Лаборатории „Астрономикон“ (Санкт-Петербург), положен блочно-модульный принцип построения [2]. Этот проект направлен на создание, внедрение и всестороннее развитие наноспутников в России. Ключевая особенность проекта заключается в том, что выбор комплектующих элементов наноспутника осуществляется из коммерческой элементной базы, не предназначенной для работы в условиях космического пространства.

К наноспутникам относят КА, масса которых не превышает 10 кг, а объем базовой единицы не более 1 дм³ [3, 4]. Актуальность создания МКА стала очевидной в начале XXI в. с появлением элементной базы, использование которой позволяет создавать КА указанных массы и объема [5]. На протяжении последних 15 лет летные испытания прошли несколько сотен аппаратов данного класса. Многие из них успешно эксплуатируются [6]. Одной из важнейших проблем проектирования является достижение оптимального (или рационального) соотношения показателей качества, стоимости и эффективности функционирования КА [7]. Изготовление таких изделий ведут небольшие группы исследователей, а также коммерческие фирмы. В Российской Федерации следует отметить, помимо платформы „Синергия“ (рис. 1, а), несколько подобных проектов: ООО „Даурия Аэроспейс“ — платформа „Персеус“ [8], ООО „Спутникс“ — платформа „ТаблетСат“ [9], Самарский университет — платформа „SamSat“ [10] — рис. 1, б, в, г соответственно.

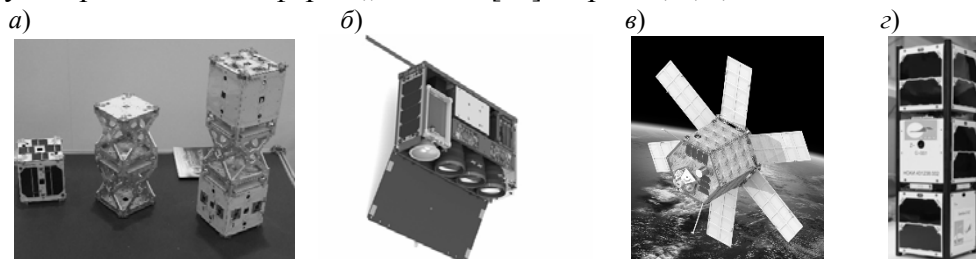


Рис. 1

Классификация космических аппаратов строится исключительно по массовым показателям: микро — 10...100 кг, нано — 1...10 кг, пико — 0,1...1 кг, фемто — менее 100 г.

Мировой рынок сверхмалых КА растет скачкообразно, в 2001—2011 гг. среднегодовой темп роста составлял около 7 % (анализ представлен для последних 15 лет) [11]. Различие данных в натуральном и денежном выражении объясняется разницей цен на аппараты разных классов, т.е. стоимость наноспутника может быть в 100 раз меньше стоимости миниспутника. Миниатюризация и рост технических возможностей этого класса аппаратов являются основными тенденциями мирового рынка, среди которых выделим ключевые:

- увеличение числа задач, решаемых с помощью МКА, например: полеты к другим планетам, выполнение научных экспериментов, повышение обороноспособности наземных войск, инспекция различных объектов в космосе, сбор космического мусора и др.;
- стандартизация платформ и серийное производство МКА;
- повышение интереса крупных компаний (Boeing, EADS) к данной тематике;
- выход на рынок развивающихся стран (Перу, Вьетнам, Эквадор, Алжир, Ирак, Пакистан, Уругвай — в качестве разработчиков или заказчиков);
- рост числа университетских КА;
- снижение среднего веса КА при увеличении функциональных возможностей.

Рассмотрим ретроспективу российского рынка. В период 2001—2011 гг. ежегодно в среднем запускалось 4 аппарата, что характеризуется большой волатильностью. Из этого следует, что на развитие российского рынка влияют высокая роль государства в секторе, низкий уровень частных инвестиций, отставание российской электронной компонентной базы от мировой.

После 2011 г. наиболее активно стал расти сегмент наноспутников: так, в 2013 г. запущено 90 КА массой до 10 кг (в середине 2017 г. уже более 100). При этом значительные отличия в сегментах нано-, микро- и миниспутников [12—14] оказывают существенное влияние на рынок. Выделим ключевые факторы:

- активное развитие таких технологий, как микроэлектроника, создание новых материалов и программного обеспечения;
- активное привлечение венчурных инвестиций в отрасль (Skybox, PlanetLabs и др.);
- появление и развитие концепции коммерческой электроники „с полки“;
- увеличение количества предложений по средствам выведения — легким ракетам-носителям и авиатехнике;
- рост количества программ с участием МКА, например: QB50 — проект Фон Кармановского института гидродинамики (Бельгия) по созданию 50 КА, период выведения — 2013—2016 гг.; NRO Colony I — программа по созданию 12 КА стандарта CubeSat; NRO Colony II — программа по созданию 20—50 КА; DARPA Airborne Launch Assist Space Access (ALASA) — программа по разработке и выведению 36 КА с 2015 г.;
- увеличение рынка космических услуг более чем в 2 раза в период 2002—2013 гг. (с 56 до 120 млрд долл.).

Активный рост числа наноспутников вызван, в первую очередь, возможностью получения летной квалификации, при небольших затратах, для перспективных космических технологий; значительная часть миниспутников используется в целях связи, науки и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ): успешные примеры — DMC, RapidEye (ДЗЗ), Orbcomm, Globalstar (телеком). Важно отметить, что в денежном выражении наибольший рост показал сегмент МКА ДЗЗ [15—17]; основными потребителями таких КА в мире являются университеты, военные ведомства и космические агентства [18—20].

Практика космических исследований показала высокую эффективность наноспутников, несущих на борту, как правило, один научный прибор (реже несколько), позволяющий решить несколько важных задач [21]. Заложенные в конструкцию КА новые технические решения наделяют их качествами, труднодостижимыми при традиционном подходе [22]. В этом случае можно создать аппарат, предназначенный для решения следующих задач:

- установление и поддержание связи, метеорологические наблюдения, навигация, изучение и наблюдение земной поверхности;
- наблюдение Луны, Солнца, планет солнечной системы, астероидов и комет, фотографирование космических объектов, измерение их гравитационных и магнитных полей, изучение радиации и окружающей плазмы;
- слежение за перемещением объектов в космическом пространстве; исследование микрочастиц в космосе;
- обеспечение радиолюбительской связи;
- отработка новых технологий и апробация научных гипотез;
- измерение параметров ионосферы при спокойных условиях и возмущениях с помощью разнесенных спутников;
- изучение полярных сияний над Северным и Южным полушариями;
- проведение научных экспериментов и испытаний сложных систем в космическом пространстве в течение длительных интервалов времени;
- проведение уникальных и сложных химических, биологических, медицинских и иных экспериментов в условиях глубокого вакуума.

Таким образом, формируется экономически целесообразная ниша применения сверхмалых КА как наукоемкой продукции. Для реализации спутника как самостоятельного продукта (в том числе, его комплектующих) или продажи услуг, предоставляемых КА, строятся различные бизнес-модели и оцениваются потенциальные объемы рынка. Следствием такого подхода является рынок результатов космической деятельности, в 130 раз превышающий рынок КА, а наибольший потенциал имеют бизнес-модели с выходом на конечного потребителя. Добавим, что уникальные свойства МКА позволят реализовать конечный продукт на массовом рынке, обеспечивая появление новых бизнес-моделей. Если же рассмотреть прогноз до 2020 г., то существующий задел технологий позволит создавать КА, которые меняют характеристики конечного продукта, что приведет к изменению контингента потребителей космических услуг. При дальнейшем увеличении объемов работ по теме МКА ключевое направление развития технологии будет связано с созданием эффективных „роев“ микро- и наноспутников (formation flying) с возможностью развертывания группировки за несколько дней [23, 24].

При широком разнообразии конфигураций МКА наиболее распространенным стандартом является CubeSat. Такая структура и идеология построения КА не имеет аналогов в мировой практике [25]. Сама концепция, предложенная в 1998—1999 гг., состоит в следующем: универсальный типоразмер — $10 \times 10 \times 11$ см, масса не более 1,33 кг (в некоторых источниках $10 \times 10 \times 10$ см, масса 1 кг) и объем 1 дм³, который обозначается „1U“ („1 Unit“, т.е. „1 модуль“); при этом минимальный размер КА не меньше 0,5U, а максимальный не превышает 3U; применение в качестве форм-фактора плат подсистем формата PC/104 с 104-контактным разъемом, что позволяет монтировать платы параллельно друг другу; сроки создания — 1-2 года; стоимость миссии не превышает 10—20 млн руб.; в проекте участвуют молодые исследователи и студенты. Иначе говоря, спецификация CubeSat подразумевает базовые геометрические параметры, остальные характеристики — на усмотрение разработчика.

В литературе по наноспутникам, например в работах [22, 25, 26], часто используются понятия „стандарт“, „унификация“, „модульность“ и „платформа“, поэтому целесообразно данные термины пояснить.

Платформа — совокупность основных компонентов КА, набор комплектующих, типовые конструктивные и технологические решения, используемое оборудование. Платформа применяется для унификации процесса производства комплектующих, что позволяет снизить стоимость создания новых изделий, повысить серийность и уровень автоматизации процессов, при этом сокращаются издержки и время на разработку новых моделей. Унификация

в данном случае понимается как разновидность систематизации, задача которой — распределение компонентов в определенной последовательности, образующей четкую систему, удобную для применения. Использование принципа унификации в конструкции платформы позволяет упростить последующую модернизацию изделий и их приспособление к новым условиям, что достигается с помощью метода базового агрегата, компаундирования, модифицирования, агрегатирования (принцип модульности). Таким образом, для платформы характерны короткие сроки проектирования, изготовления и ввода КА в эксплуатацию, что исключает моральное старение как одного аппарата, так и орбитальной группировки в целом.

Преимущества платформы: сокращение расходов на разработку новых моделей КА и уменьшение времени наладки производства для их выпуска; гибкое взаимодействие между отдельными предприятиями, что позволяет заказывать производство комплектующих у разных компаний; более широкое использование возможностей предприятий за счет стандартизации производства; оптимизация запасов деталей и компонентов; возможность различных применений; повышение качества конечной продукции за счет уменьшения номенклатуры компонентов; высокая востребованность низкобюджетных КА.

Недостатки: невозможность внесения изменений в платформу, обусловленная частичной несовместимостью конструктивных элементов, производимых разными разработчиками; высокая вероятность отзыва из эксплуатации большого числа деталей по причине обнаружения их дефектов при работе в условиях космоса.

На основании приведенных аргументов можно утверждать, что преимущества стандартизации/унификации при разработке наноспутников массой 1...10 кг нивелируют недостатки, поскольку применение таких КА позволяет снизить стоимость их разработки, испытаний, запуска и эксплуатации [23, 24]; сократить сроки разработки и интеграции служебных подсистем и полезной нагрузки; облегчить поиск ракет-носителей для запуска; обеспечить масштабируемость спутниковых систем [23, 27].

Проанализировав открытые источники [3, 21, 22, 25, 28—32] и оценив разработки КА сверхмалого класса и их составных частей [6, 8, 9, 14], созданных по стандарту CubeSat, представим архитектуру КА:

- бортовое кибернетическое устройство/бортовой комплекс управления;
- система энергообеспечения/система электропитания;
- бортовой радиотехнический комплекс;
- система телеметрического контроля;
- система ориентации и стабилизации;
- полезная нагрузка;
- радиомаяк;
- бортовая кабельная сеть;
- контрольно-измерительные приборы;
- антенно-фидерное устройство;
- навигационная аппаратура;
- система обеспечения тепловых режимов.

К наноспутникам, как правило, не предъявляются жесткие требования в связи с малым сроком активного существования и низким воздействием на аппаратуру факторов космического пространства, что обусловлено орбитой КА [29]. К факторам космического пространства относятся: глубокий вакуум; ускорения, перегрузки, микроудары; тепловое воздействие и, как следствие, тепловые удары; радиационное воздействие: быстрые протоны, тяжелые частицы, ионное излучение и, как следствие, накопленная доза.

Принимая во внимание, что в России практически отсутствуют массовые разработки наноспутников (за исключением SamSat-218, SibCube и Томск-ТПУ-120 [33—35]), представим принципиально иной подход к разработке КА: в качестве стартового варианта унифицированного

инструмента, построенного по модульному принципу (или принципу „Lego“), выступает многоцелевая блочно-модульная платформа „Синергия“, выполненная в соответствии со спецификацией CubeSat в конструктивных форматах 1U, 2U и 3U (см. рис. 1).

Платформа „Синергия“ относится к изделиям ракетно-космической техники, преимущественно к сверхмалым космическим аппаратам (нано- и пикоспутникам), запускаемым групповым или одиночным, а также попутным способами, и может быть использована, в частности, при создании искусственных спутников планет [36]. Основные задачи, решаемые при создании КА на базе платформы „Синергия“, — обеспечение надежности, соответствие виброударной прочности, устойчивость к воздействию факторов космического пространства.

Собираемый таким образом КА имеет произвольную конфигурацию и форм-фактор, при этом главные принципы — сборка, интеграция полезной нагрузки, наземные функциональные испытания — всегда одинаковы. В основу предлагаемой технологии положен блочно-модульный принцип построения наноспутника из типовых служебных подсистем и полезной нагрузки, что позволяет формировать масштабируемую архитектуру и технические характеристики аппарата по принципу конструктора. Подход основан на применении открытых PnP [37] спецификаций (построение бортовой кабельной сети по принципу компьютерной технологии Plug-n-Play), описывающих механические, электрические, информационные интерфейсы между служебными системами и полезной нагрузкой [38]. Таким образом, PnP-подход пронизывает всю архитектуру платформы „Синергия“ по умолчанию. При этом базовой единицей конструкции платформы является модуль объемом 1 дм³ и массой 1...3 кг; модули других типовых размеров (2U, 3U и т.д.) с большим резервом по массе и энергетической мощности под полезную нагрузку собираются посредством увеличения количества однотипных модулей 1U. Выбранный форм-фактор обусловлен исключительно возможностями и удобством запуска КА, собранного на базе платформы в качестве попутной нагрузки (по аналогии с CubeSat).

Конструкция платформы „Синергия“ рассматривается как базовая для целого семейства сверхлегких узкоспециализированных КА различного назначения и определена стремлением облегчить адаптацию аппарата к задачам научных экспериментов. Этой цели служит последовательно проводимый принцип децентрализации, который выражается в предоставлении максимальной автономии всем бортовым подсистемам — в базовой конструкции платформы предусмотрено максимальное разнообразие способов их интеграции в единый комплекс. Это касается всех уровней интеграции: механической, энергетической и информационной. Так, на информационном уровне задача интеграции сводится к разработке необходимого программного обеспечения. На уровне механических интерфейсов цель достигается отказом от использования гермоотсека для размещения аппаратуры. Базовый модуль платформы, по существу, представляет собой универсальное шасси, на котором монтируется все необходимое оборудование. Термостабилизация каркаса платформы позволяет свободно размещать на нем приборные блоки, что упрощает задачу компоновки; таким образом, наибольшей автономностью обладают компоненты подсистем: микроконтроллеры, ОЗУ, ПЗУ, однокристалльные/многокристалльные ПЛИС; микропроцессоры.

Служебные подсистемы имеют максимальное разнообразие интерфейсов для сторонних разработчиков и на этом основании рассматриваются как структурообразующие элементы конструкции платформы. Первостепенное значение в платформе приобретает динамическая частота КА, т.е. возможность проследить непрерывную историю его движения на больших интервалах времени [39].

Так как в платформе „Синергия“ особое место отводится спецификации PnP, реализуемая архитектура построена на базе открытой спецификации SpaceWire (SPA), но адаптированной для наноспутников. SPA — это работающая в полнодуплексном режиме телекоммуникационная сеть для КА с пропускной способностью до 400 Мбит/с, узлы которой соединя-

ются с помощью последовательных соединений типа точка-точка. Пример построения сети SpaceWire представлен на рис. 2.

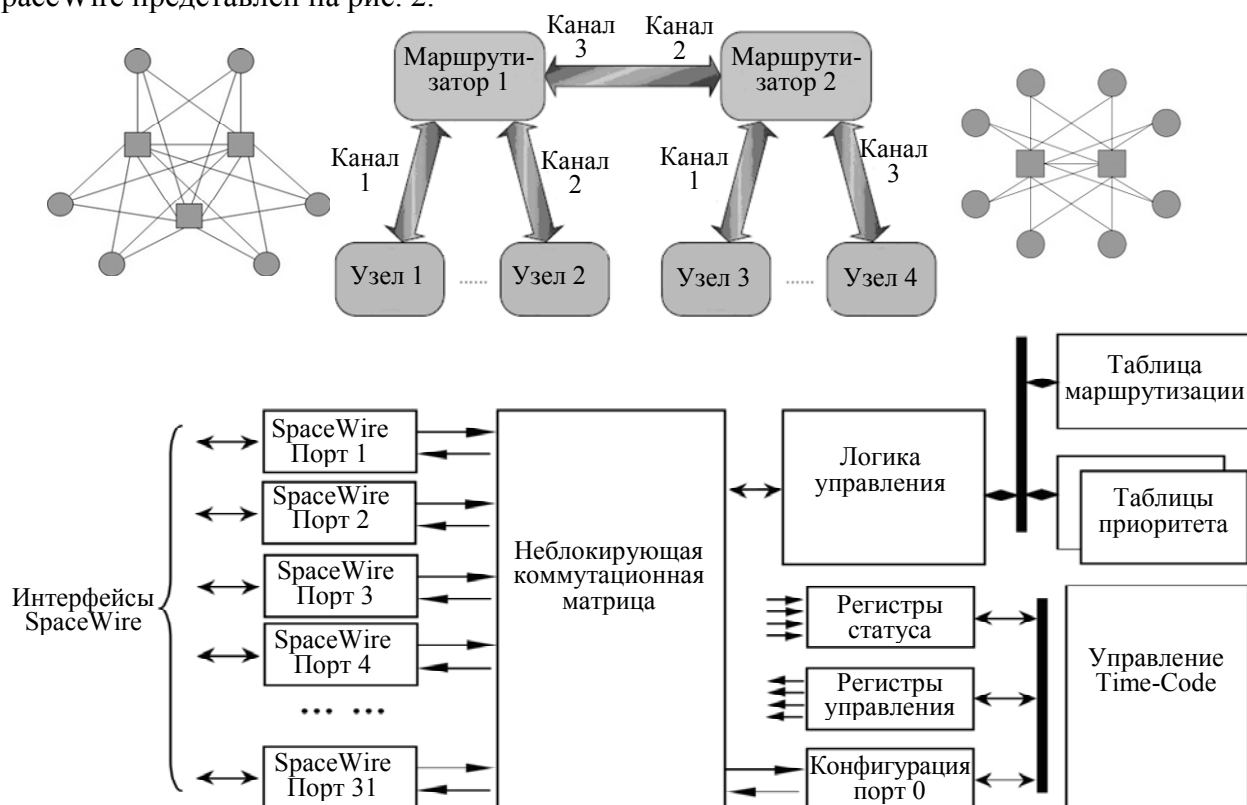


Рис. 2

Платформа сочетает оригинальные разработки в области SpaceWire-электроники: интерфейсы обеспечивают подключение различных устройств к шине SPA; таким образом, платформа содержит следующие двунаправленные переходники (так называемые интеллектуальные мосты): USB-SPA; Ethernet-SPA; CAN-SPA; UART-SPA; I²C-SPA; SPI-SPA; MFBSP-SPA; CSI-SPA non SPA-PnP-SPA.

Представленная в статье многоцелевая платформа „Синергия“ блочно-модульного типа демонстрирует принципиально новый подход к идеологии построения отечественных МКА научного и социально-экономического назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2014/07/03/578020>
2. <http://www.astronomikon.ru/>
3. <http://www.cubesat.ru/ru/cubesats.html>
4. <http://www.nanosats.eu/>
5. <http://www.spacecorp.ru/directions/nano/function/>
6. <http://www.amsat.org>
7. <http://www.tsniimash.ru/>
8. <http://www.dauria.ru/platformi/mka-h>
9. <http://www.sputnix.ru/ru/analytics/item/296-ot-mnogosputnikovykh-sistem-k-sistemnym-sputnikam>
10. <http://www.ecoruspace.me/SamSat-218.html>
11. http://www.cnews.ru/top/2014/03/14/rynok_nanosputnikov_vyrastet_v_27_raza_k_2019_g_564420
12. http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/System_F6.aspx

13. <https://www.directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/colony-1>
14. <https://www.qb50.eu/>
15. <http://www.planet.com/pulse/planet-launches-satellite-constellation-to-image-the-whole-planet-daily/>
16. http://www.press.scanex.ru/index.php/ru/news/item/4288-launches_2013
17. <http://www.russia.dauria.ru/wp-content/uploads/2015/03/ИТОГИ-ДЗЗ-20141.pdf>
18. <http://www.darpa.mil/program/space-enabled-effects-for-military-engagements>
19. <http://www.tsonline.ru/articles2/sputnik/mobiljnaya-svyazj-5g-na-baze-nanosputnikov>
20. <http://www.nasa.gov/news/budget>
21. Ключников В. Ю. Развитие малых космических аппаратов нанокласса // Актуальные вопросы проектирования автоматических космических аппаратов для фундаментальных и прикладных научных исследований: Тез. докл. науч.-техн. конф. Химки: НПО им. С. А. Лавочкина, 2015. С. 134—146.
22. Ключников В. Ю., Клементьев С. А. Наноспутники — наиболее перспективный класс малых космических аппаратов // Инноватика и экспертиза. 2016. Вып. 2 (17). С. 97—105.
23. Иваницкая В. В. Частные космические организации и коммерциализация космических проектов // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. 2015. Т. 2. С. 300—302.
24. Каширин А. В., Глебанова И. И. Анализ современного состояния рынка наноспутников как подрывной инновации и возможностей его развития в России // Молодой ученый. 2016. № 7 (111) С. 855—867.
25. <http://www.cubesat.org/resources/>
26. Инфраструктура малых космических аппаратов / Под ред. В. Ф. Фатеева. М.: Радиотехника, 2011.
27. Малые космические аппараты информационного обеспечения / Под ред. В. Ф. Фатеева. М.: Радиотехника, 2010.
28. <http://www.cta.ru/cms/f/437023.pdf>
29. http://www.csmonolit.ru/netcat_files/19/136/h_da6fb5fa76d77e0da465542e5a2b2926
30. <http://www.ssau.ru/files/science/conferences/vsudnla2016/2p63-67.pdf>
31. <http://www.cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-proektno-ballisticheskikh-parametrov-nanosputnika-na-uglovoe-dvizhenie-pri-snizhenii-s-nizkih-krugovyh-orbit>
32. <http://www.naukarus.com/sistema-orientatsii-pervogo-rossiyskogo-nanosputnika-tns-0-1>
33. Белоконов И. В., Тимбай А. И., Николаев П. Н. Проблемы и особенности навигации и управления движением космических аппаратов нанокласса: опыт разработок и уроки миссий // Сб. тр. XXIV Санкт-Петербургской междунар. конф. по интегрированным навигационным системам. СПб: ЦНИИ „Электроприбор“, 2017. С. 376—394.
34. Зуев Д. М., Пятков А. Г., Мовчан П. В., Смирнов Д. В., Костюков А. С. SibCube — проект студенческого космического аппарата СибГАУ класса CubeSat // Вестн. СибГАУ. 2014. № 4(56). С. 160—166.
35. <http://www.news.tpu.ru/news/2016/02/02/24769/>
36. Малыгин Д. В. Универсальная платформа „Синергия“ блочно-модульного исполнения // Материалы XV Междунар. науч. конф. „Решетневские чтения“. Красноярск: Изд-во „ИСС им. М. Ф. Решетнева“, 2011. С. 377—378.
37. https://www.en.wikipedia.org/wiki/Plug_and_play
38. http://www.keldysh.ru/papers/2015/prep2015_32.pdf
39. Малыгин Д. В. Динамическая модель многоцелевой платформы „Синергия“ // Сб. науч. тр. Форума аспирантов и молодых ученых с международным участием „Космическое приборостроение“. Томск, 2013. С. 41—44.

Сведения об авторе

Денис Владимирович Малыгин

— Лаборатория „Астрономикон“, генеральный директор;
E-mail: Malygin.DV@astronomikon.ru

Поступила в редакцию
08.05.18 г.

Ссылка для цитирования: Малыгин Д. В. Многоцелевая платформа „Синергия“ блочно-модульного типа для сборки наноспутников // Изв. вузов. Приборостроение. 2018. Т. 61, № 8. С. 692—700.

MULTI-PURPOSE BLOCK-MODULAR TYPE PLATFORM “SYNERGY” FOR NANOSATELLITES ASSEMBLING

D. V. Malygin

JSC Nanosatellite Design Laboratory "Astronomikon",
190000, St. Petersburg, Russia
E-mail: Malygin.DV@astronomikon.ru

Methods of design and employment of nanosatellites are described. A review of the CubeSat standard is presented. Technology of construction of nanosatellites on the base of multi-purpose platform "Synergy" of block-modular type is considered.

Keywords: small spacecraft, nanosatellite, picosatellite, platform, CubeSat

REFERENCES

1. <http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2014/07/03/578020>.
2. <http://www.astronomikon.ru/>.
3. <http://www.cubesat.ru/ru/cubesats.html>.
4. <http://www.nanosats.eu/>.
5. <http://www.spacecorp.ru/directions/nano/function/>.
6. <http://www.amsat.org>.
7. <http://www.tsniimash.ru/>.
8. <http://www.dauria.ru/platformi/mka-h>.
9. <http://www.sputnix.ru/ru/analytics/item/296-ot-mnogosputnikovykh-sistem-k-sistemnym-sputnikam>.
10. <http://www.ecoruspace.me/SamSat-218.html>.
11. http://www.cnews.ru/top/2014/03/14/rynok_nanosputnikov_vyrastet_v_27_raza_k_2019_g_564420.
12. http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/System_F6.aspx.
13. <https://www.directory.eoportal.org/web/eoportal/satellite-missions/c-missions/colony-1>.
14. <https://www.qb50.eu/>.
15. <http://www.planet.com/pulse/planet-launches-satellite-constellation-to-image-the-whole-planet-daily/>.
16. http://www.press.scanex.ru/index.php/ru/news/item/4288-launches_2013.
17. <http://www.russia.dauria.ru/wp-content/uploads/2015/03>.
18. <http://www.darpa.mil/program/space-enabled-effects-for-military-engagements>.
19. <http://www.tssonline.ru/articles2/sputnik/mobiljnaya-svyazj-5g-na-baze-nanosputnikov>.
20. <http://www.nasa.gov/news/budget>.
21. Klyushnikov V.Yu. *Aktual'nye voprosy proektirovaniya avtomaticheskikh kosmicheskikh apparatov dlya fundamental'nykh i prikladnykh nauchnykh issledovaniy* (Topical Issues of Design of Automatic Spacecrafts for Basic and Applied Scientific Research), Khimki, Scientific and production association of S.A. Lavochkin, 2015, pp. 134–146. (in Russ.)
22. Klyushnikov V.Yu., Klement'ev S.A. *Innovatics and Expert Examination*, 2016, no. 2(16), pp. 97–105. (in Russ.)
23. Ivanitskaya V.V. *Aktual'nye problemy aviatsii i kosmonavтики*, 2015, no. 2, pp. 300–302. (in Russ.)
24. Kashirin A.V., Glebanova I.I. *Molodoy uchenyy* (Young Scientist), 2016, no. 7(111), pp. 855–867. ISSN 2072-0297. (in Russ.)
25. <http://www.cubesat.org/resources/>.
26. Fateev V.F., ed., *Infrastruktura malykh kosmicheskikh apparatov* (The Infrastructure of Small Satellites), Moscow, 2011. (in Russ.)
27. Fateev V.F., ed., *Malye kosmicheskie apparaty informatsionnogo obespecheniya* (Small Spacecrafts of Information Support), Moscow, 2010. (in Russ.)
28. <http://www.cta.ru/cms/f/437023.pdf>.
29. http://www.csmonolit.ru/netcat_files/19/136/h_da6fb5fa76d77e0da465542e5a2b2926.
30. <http://www.ssau.ru/files/science/conferences/vsudnla2016/2p63-67.pdf>.
31. <http://www.cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-proektno-ballisticheskikh-parametrov-nanosputnika-na-uglovoe-dvizhenie-pri-snizhenii-s-nizkih-krugovykh-orbit>.
32. <http://www.naukarus.com/sistema-orientatsii-pervogo-rossiyskogo-nanosputnika-tns-0-1>.
33. Belokonov I.V., Timbay A.I., Nikolaev P.N. *24th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems*, St. Petersburg, 2017, pp. 376–394. (in Russ.)
34. Zuev D.M., Pyatkov A.G., Movchan P.V., Smirnov D.V., Kostyukov A.S. *Vestnik SibGAU*, 2014,

- no. 4(56), pp. 160–166. (in Russ.)
35. <http://www.news.tpu.ru/news/2016/02/02/24769/>.
36. Malygin D.V. *Reshetnevskie chteniya-2011*, XV International Scientific Conference, Krasnoyarsk. 10–12 November 2011, pp. 377–378. (in Russ.)
37. <https://en.wikipedia.org/wiki/SpaceWire>.
38. http://www.keldysh.ru/papers/2015/prep2015_32.pdf.
39. Malygin D.V. *Kosmicheskoe priborostroenie* (Space Instrument Making), Proceedings of the Forum of Postgraduate Students and Young Scientists with International Participation, Tomsk, 2013, pp. 41–44. (in Russ.)

Data on author

Denis V. Malygin — JSC Laboratory "Astronomikon", CEO; E-mail: Malygin.DV@astronomikon.ru

For citation: Malygin D. V. Multi-purpose block-modular type platform "Synergy" for nanosatellites assembling. *Journal of Instrument Engineering*. 2018. Vol. 61, N 8. P. 692—700 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2018-61-8-692-700