

НАНОСПУТНИКИ – НАИБОЛЕЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЙ КЛАСС МАЛЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В.Ю. Ключников, гл. науч. сотр. ФГУП Центральный научно-исследовательский институт машиностроения, д-р техн. наук, проф., *klyushnikovvy@tsniimash.ru*
С.А. Клементьев, нач. отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *klements@extech.ru*

В статье рассмотрены цели и задачи развития технологий исследования, освоения и использования околоземного космического пространства с применением малых космических аппаратов нано-класса. Проведен анализ инновационных разработок и конструкторских решений, применяемых при создании нано-КА.

Ключевые слова: космические системы, малые космические аппараты, космические аппараты нано-класса, инновационные разработки и технологии.

NANO-SATELLITES – THE MOST PROMISING SMALL SPACECRAFT

V.Y. Klyushnikov, Chief Researcher, R&D Institute Central Research Institute of Mechanical Engineering, Ph.D. of Engineering, Professor, *klyushnikovvy@tsniimash.ru*
S.A. Klement'ev, Head of Department, SRI FRCEC, *klements@extech.ru*

The article describes the goals and objectives of R&D, development and utilization of near-earth space with the use of small satellites of nano-class. Analysis of innovative developments and design solutions used during creation of nano-spacecraft is carried out.

Keywords: space systems, small spacecraft, spacecraft of nano-class, innovative design and technology.

В настоящее время одним из современных трендов развития малых космических аппаратов (далее – КА) является внедрение инновационных технологий для разработки КА нано-класса (табл. 1).

К областям систематического целевого использования малых КА нано-класса относятся:

- отработка новых технологий и проведение экспериментов в космосе;
- исследования атмосферы и океана;
- метеорологические наблюдения;
- связь;
- навигация;
- решение образовательных задач.

Следует указать также на перспективные направления использования кластерных орбитальных структур малых КА нано-класса и меньшей размерности в военных целях:

- тактическая связь;
- видовая тактическая и стратегическая разведка;
- радиотехническая разведка;
- предупреждение о ракетном нападении;
- прецизионное наведение на цель высокоточных боеприпасов;
- защита космических средств на орбите от инспекции и поражения;
- контроль космического пространства и др.

Преимущества малых КА nano-класса проистекают из недостатков полноразмерных КА, среди которых необходимо назвать:

- сложность конструкции;
- большие сроки проектирования и производства, составляющие сегодня от 5 до 10 лет;
- увеличение затрат на создание и без того очень дорогих КА;
- низкая надежность из-за появления непрогнозируемых отказов.

Таблица 1

Размерный ряд космических аппаратов

Размер	Масса	Стоимость изготовления, млн	Время активного существования
Большие	1000 кг	300	Более 10 лет
Малые	<1000 кг	100	3–5 лет
Мини	500 кг	30	2 года
Микро	50 кг	10	1.5 года
Нано	1–10 кг	1	1 год
Пико	100 г	0,1	менее 1 года
Фемто	< 100 г	< 0,1	менее 1 года

Множество различных приборов, устанавливаемых на одном аппарате, приводит к тому, что при задержке разработки и поставки любого из них, общая стоимость КА и сроки его изготовления существенно возрастают.

После создания КА поломка самого незначительного узла ценой в 100 долл. или ошибка в программном обеспечении может привести к выходу из строя всего комплекса ценой в несколько млрд долл.

В результате КА, создаваемые в течение 5–10 лет и сохраняющие в неизменном виде все заложенные технические и технологические решения на весь срок активного существования (до 20 лет) быстро морально стареют.

На диаграмме на рис. 1 представлена зависимость затрат (в млн долл.) на создание и запуск КА от их массы [10].

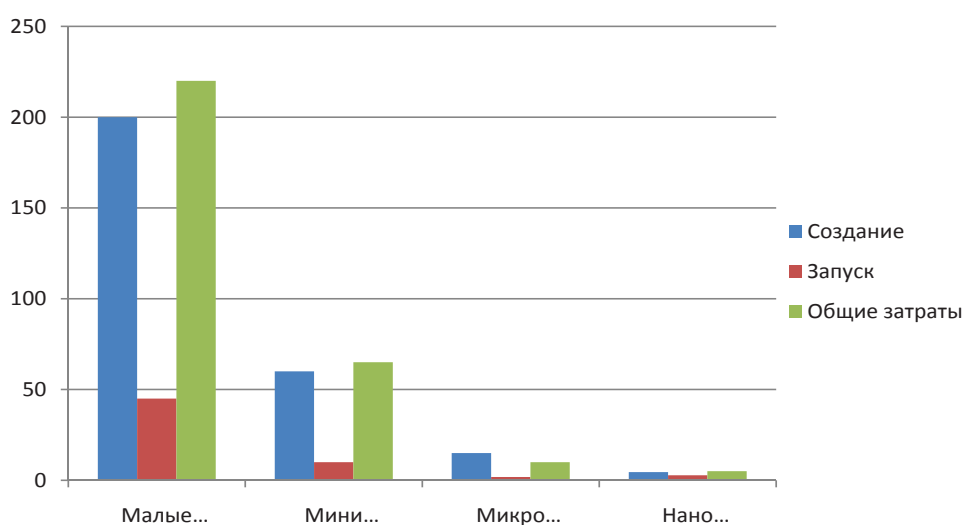


Рис. 1. Зависимость затрат (в млн долл.) на создание и запуск КА от их массы (типоразмера)

Можно выделить несколько лидирующих групп разработчиков нано-КА: фирма Surrey Satellite Technology Ltd (SSTL, Великобритания); немецкие фирмы ведомства DLR (Astro- und Feinwerktechnik Aldershof GmbH, OHV-system, Vectronic Aerospace GmbH) и университеты (Технические университеты Берлина, Мюнхена, Штутгарта и Вюрцбурга); разработчики французского космического агентства CNES; итальянские фирмы (ASI, Carlo Gavazzi Space) и университеты Рима, Милана и Неаполя.

В России разработку сверхмалых спутников, программного обеспечения, различных систем и устройств для них ведут ОАО «Российские космические системы», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Московский авиационно-технологический институт, ОАО «ИТЦ СканЭкс», Московский физико-технический институт, Институт прикладной математики РАН им. М.В. Келдыша, Рязанский государственный радиотехнический университет, Фрязинский филиал Института радиотехники и электроники РАН им. В.А. Котельникова, Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского, Самарский государственный аэрокосмический университет им. акад. С.П. Королева и другие организации.

Один из первых аппаратов этого нано-класса – «SNAP-1», производства фирмы SSTL, запущенный в 2000 г. (рис. 2). Пока что «КА SNAP-1» является единственным наноспутником с жидкостным ракетным двигателем. На борту аппарата были установлены 4 оптико-электронные камеры с разрешением 1 км и ПЗС-матрицей 512×512 элементов, система стабилизации по 3-м осям, приемник сигналов GPS. КА предназначался для отработки технологий поиска и сближения с другими КА и фотографирования поверхности Земли. КА «SNAP-1» весил 6,5 кг и обошелся разработчикам в 1,5 млн долл. Эксперимент показал ограниченные возможности наноспутников по дистанционному зондированию Земли.



Рис. 2. Малый КА нано-класса «SNAP-1»

При финансовой поддержке Управления перспективных исследовательских проектов МО США DARPA в Государственном Университете шт. Аризона был разработан нано-КА «ASUSat» [4].

Среди технологических решений, использованных при создании КА, следует отметить преимущественное применение композитных материалов для конструкции, разработанную студентами систему ориентации, GPS-приемник производства компании «Trimble Navigation»,

передатчик производства компании «Махон», механизм разворачивания гравитационной штанги, жидкостной демпфер гравитационной системы стабилизации, а также разработанные студентами центральный процессор и систему энергоснабжения.

В собранном виде аппарат представляет собой призму с 14 боковыми гранями высотой 25,4 см и максимальным поперечным размером основания 34,3 см. Масса конструкции, выполненной из композитного материала, составляет 1,1 кг, причем толщина стенок составляет 0,8 мм. Ориентация осуществлялась по датчикам, размещенным на каждой боковой грани группами по четыре (один датчик Солнца и три датчика Земли). Точность ориентации составляла $\pm 10\%$. На каждой из боковых граней были прикреплены также 30 фотоэлементов размером 2×2 см, созданных компанией Applied Solar Energy Corp. на основе арсенида галлия, имеющие КПД 18,5%. 90 таких же фотоэлементов прикреплены к верхнему основанию. Две шестиэлементные никель-кадмиевые буферные батареи обеспечивают мощность 8–10 Вт.

Цифровые камеры позволяли проводить съемку в видимом красном и ближнем инфракрасном спектре (600–800 нм), а также в видимой синей и зеленой частях спектра в диапазоне 420–550 нм. Каждая камера имеет разрешение 496×365 пикселей и обеспечивали разрешение примерно 0,65 км/пиксел с высоты 700 км.

Обе камеры размещались в специальном отсеке размером 5,1×6,3×16,5 см и имели массу всего 397 г. При этом каждая имела свой процессор и память объемом 1 Мб для хранения изображений.

Управление аппаратом осуществлялось из Университета Аризоны в 2-метровом диапазоне длин волн. Для радиолюбителей была предусмотрена возможность передачи голосовых сообщений. В сообщениях о запуске указывается, что масса спутника составляет 5,9 кг [5].

В канадском университете г. Торонто (UTIAS/SFL) разработана серия нано-КА «CanX». Первый аппарат «CanX-1» был выведен на орбиту в 2003 г., КА — «CanX-2» — в 2007 г. С помощью этих КА исследовались искажения навигационных сигналов системы GPS, проводились эксперименты в области получения новых материалов, отработан ряд новых технологий, в том числе многослойные солнечные батареи, миниатюрные Li-Ion аккумуляторные батареи, CMOS-камера, гироскопическая датчиковая система на основе нанотехнологий, датчик Солнца и др.

Наноспутники «CanX-4» и «CanX-5», работавшие совместно в составе кластера, производили затененное зондирование атмосферы по сигналам GPS.

В октябре 2007 г. канадским университетом UTIAS/SFL и компанией «COM DEV International Ltd» был начат проект «CanX-6». Цель проекта — создание наноспутника весом 6,5 кг для демонстрации ключевых элементов технологии AIS, а также отработки конструкторских решений, внедряемых в систему оперативного наблюдения. Этот КА известен также под названием NTS — наноспутник для сопровождения судов (Nano-satellite Tracking Ships).

Масса нано-КА «CanX-1» и составляла 3,5 кг. Размер нано-КА серии «CanX» составляет 200×200×200 мм. Срок активного существования («CanX-6») — около 6 месяцев.

Первым российским наноспутником стал технологический наноспутник «ТНС-0» № 1, разработанный в ОАО «Российские космические системы». Масса спутника составляла 5,0 кг, диаметр — 170 мм, длина — 550 мм. Спутник предназначался для экспериментальной отработки в условиях реального космического полета системы приема и передачи данных, новых технологий однопунктного управления космическими аппаратами, технологий дистанционного зондирования Земли, других элементов, устройств и приборов. Запуск «ТНС-0» № 1 был успешно произведен космонавтом Салижаном Шариповым вручную 28 марта 2005 г. во время выхода в открытый космос.

Одной из основных задач первого наноспутника «ТНС-0» № 1 стала проверка возможности использования низкоорбитальной спутниковой системы связи «Глобалстар» для управления космическими аппаратами. С помощью спутникового модема, установленного на

борту нано-КА, осуществлялся информационный обмен между «ТНС-0» № 1 и центром управления полетом (ЦУП). С борта на Землю передавались измерительные и служебные данные, а с Земли на борт – командно-программная информация. Благодаря использованию спутникового модема по-существу удалось создать прототип наземного комплекса управления КА, состоящий только из ноутбука, выполнявшего роль ЦУП, и сотового телефона (терминала связи).

В табл. 3 представлена массовая сводка нано-КА «ТНС-0» № 1.

Таблица 3

Массовая сводка нано-КА «ТНС-0» № 1

Система	Масса, г	Система	Масса, г
Модем ГЛОБАЛСТАР (стандарт Qualcomm)	280	Магнитная система ориентации	150
Антенно-фидерное устройство (АФУ) ГЛОБАЛСТАР	250	Магнитные демпферы	100
Аварийный радиобуй (АРБ) КОСПАС-САРСАТ	600	Литиевая батарея	2000
АФУ АРБ	70	Кабельная сеть	100
Системный блок	200	Установочная панель	500
Датчик солнца	50	Элементы крепления	150
Датчик горизонта	50	ИТОГО:	4500

Нано-КА «ТНС-0» № 2 разрабатывался для системы аварийного оповещения судов и самолетов «Коспас-Сарсат». Он весил 4,65 кг и питался от солнечных батарей.

В США разрабатывается семейство малых КА нано-класса военного назначения по технологии «SmartBus» (технология КА «шестидневной готовности»). В рамках технологии «SmartBus» реализуется открытый протокол взаимодействия элементов КА (система «plug, sense, and play»), без специальных программ или драйверов. Такая технология позволяет существенно упростить КА, сократить финансовые затраты и время на его разработку.

Программа «SmartBus» финансируется в рамках SBIR (Small Business Innovation Research).

Система КА типа «SmartBus» может быть развернута на театре военных действий и использована для связи, разведки, противодействия инспекции и поражению своих космических средств и т. д.

Широкую известность получили также малые КА нано-класса под названием «CubeSat» (рис. 3). Проект «CubeSat» – международный проект по сотрудничеству более 40 университетов, колледжей и частных фирм.

Сейчас «CubeSat» – формат нано-КА для исследования космического пространства, телекоммуникаций, дистанционного зондирования и т. д., имеющих объем 1 литр и массу не более 1,33 кг [6]. Спецификации «CubeSat» были разработаны в 1999 г. Калифорнийским политехническим и Стэнфордским университетами с тем, чтобы упростить создание малых спутников широкому кругу частных производителей и учебных заведений. Однако некоторые крупные компании, например, «Boeing», также создавали нано-КА на базе стандарта «CubeSat».

КА «CubeSat» запускаются при помощи специальной платформы Poly-PicoSatellite Orbital Deployer [7].

Стандарт допускает объединение 2 или 3 стандартных кубов в составе одного спутника (обозначаются 2U и 3U и имеют размер 10×10×20 или 10×10×30 см). Один P-POD имеет размеры, достаточные для запуска трех спутников 10×10×10 см или меньшего количества,

общим размером не более 3U [8]. На борту широко используют COTS-технологии (Commercial Off-The-Shelf).

По состоянию на 2004 г. спутники в формате CubeSats могли быть изготовлены и запущены на околоземную орбиту за 65–80 тыс. долл. [9].



Рис. 3. Малые КА nano-класса «CubeSat»

Группа ученых, студентов и инженеров из Массачусетского технологического института (MIT) разрабатывает оригинальный проект наноспутника (по технологии «CubeSat»), предназначенный для поиска землеподобных экзопланет и проведения спектрального анализа их атмосферы [17].

Нано-КА под названием «ExoplanetSat» будет иметь размеры 30×10×10 см. Стоимость одного спутника составит около 5 млн долл. Для сравнения: стоимость космического телескопа «Kepler» – \$ 600 млн).

Предполагается, что множество нано-КА «ExoplanetSat» будут в течение длительного времени исследовать какую-либо перспективную с точки зрения потенциальной обитаемости, звездную систему.

Кроме того, в отличие от телескопа «Kepler», наноспутники будут исследовать не далекие, а ближайšie к земле звезды. В то время как «Kepler» представляет собой обзорный инструмент, сосредоточенный на крошечном участке неба, наноспутники «ExoplanetSat» будут точно ориентированы на конкретные ближайšie звездные системы.

К настоящему времени разработаны и изготовлены сверхточный гироскоп с точностью выставки до 60–100 угловых секунд, цифровая камера на ПЗС-матрице из металл-оксидных

¹ COTS-технологии – технологии, нормативная база которых развивается и поддерживается как в рамках международных (IEC/МЭК, ISO) и национальных (ANSI, DIN, IEEE, ГОСТ) организаций по стандартизации, так и в рамках крупных профессиональных международных консорциумов (ARINC, PCISIG, VITA, PICMG, GroupIPC и т. д.). Стандартизация ведется совместными усилиями большого числа конкурирующих, в том числе наиболее крупных компаний-производителей. Главным фактором начала процесса стандартизации конкретной открытой компьютерной технологии является ее широкое признание рынком, то есть большим числом фирм-производителей и потребителей, работающих в различных вертикальных и горизонтальных секторах рынка: промышленных системах, телекоммуникации, машиностроении и робототехнике, стационарных и бортовых военных встраиваемых системах и т. д. Пример открытых COTS-технологий системного уровня для приложений повышенной надежности – магистрально-модульные шинные интерфейсы: VMEbus, CompactPCI, сетевые и коммуникационные интерфейсы: Ethernet, MIL-STD-1553, RS422/485, ARINC-429/629 и т. д.

полупроводниковых элементов. Матрицей будет управлять пьезоэлектрический привод, перемещающий ее по двум осям. При всей простоте конструкции это позволит наводить камеру в пределах от 60 до нескольких угловых секунд.

Проведенный анализ инновационных разработок и конструкторских решений используемых в настоящее время при создании КА nano-класса позволил сформировать перечень (табл. 4) базовых технологий их миниатюризации.

Таблица 4

Базовые технологии миниатюризации, используемые при создании КА nano-класса

№ пп	Система nano-КА	Краткое описание технологии	Масса, г
1	Целевая аппаратура наблюдения (ЦАН)	применение серийной потребительской съемочной аппаратуры (ЦФК) и других COTS-компонент	300–1000
2	Система ориентации и стабилизации (СОСт)	– использование систем ориентации по геомагнитному полю; – миниатюризация элементов маховиков и других элементов СОСт на базе микро- и нанозлектромеханических систем (МЭМС и НЭМС-технологий)	500–800
3	Система энергопитания	– использование литий-ионных аккумуляторов, солнечных батарей на GaAs, гибких солнечных батарей; – оптимальные режимы работы КА (с минимальным энергопотреблением)	700–1500
4	Командная и телеметрическая системы	– максимальное объединение каналов приема/передачи командотелеметрической информации; – применение каналов связи через спутниковые системы связи (ССС); – сброс высокоплотных ТЛМ-потоков по каналам передачи данных ДЗЗ	200–300
5	Радиоканал передачи данных ДЗЗ	развитие способов сжатия передаваемых изображений – применение радиолинии L-диапазона	500–700
6	Бортовая АСН	– миниатюризация элементной базы; – двухсистемные (ГЛОНАСС/GPS) приемники	300–500
7	ДУ коррекции и ориентации КА	– высокоэффективные импульсные плазменные ракетные двигатели (РД); – малорасходные РД на сжатом газе	1000–1500
8	Система обеспечения теплового режима (СОТР)	– применение пассивных способов обеспечения тепловых режимов; – рациональное конструктивное построение наноспутника	500–1000
	По nano-КА в целом	– максимальное конструктивное и функциональное совмещение служебных и целевых подсистем – внедрение микро- и наносистемных технологий	Конструкция – не более 2 кг. Общая масса – не более 10 кг

Анализ применения наноспутников российскими и ведущими зарубежными странами, позволил определить основные преимущества КА nano-класса:

- высокая технологичность;
- низкая стоимость изготовления;
- значительное сокращение затрат на наземные и летные испытания КА;
- сокращение сроков создания и летных испытаний систем nano-КА или их отдельных компонентов до 1 года;
- относительная простота выведения на орбиту.

В качестве недостатков КА nano-класса выделены:

– малый объем для полезной нагрузки (миниатюрность спутников не позволяет устанавливать на них мощные приемники, передатчики и другие приборы);

– небольшой срок активного существования (так, например, отечественный наноспутник серии «ТНС» может «прожить» на орбите всего 3 мес., после чего сгорает в атмосфере).

Тем не менее, во многих случаях «плюсы», бесспорно, перекрывают «минусы». Именно поэтому, к примеру, на смену большим спутникам дистанционного зондирования Земли стоимостью сотни миллионов евро и весом в несколько тонн, на разработку которых необходимо до 10 лет, приходят малые космические аппараты.

Таким образом, создание КА nano-класса с применением передовых инновационных исследований и разработок является перспективным направлением развития технологий освоения и использования космического пространства.

Статья подготовлена по материалам научно-исследовательской работы, выполненной ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ по заданию № 2.39.2016/НМ Министерства образования и науки России на выполнение работ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности.

Список литературы

1. Овчинников Н.Ю. Малые мира сего // «Компьютерра» № 15, 2007, с. 37–43.
2. Military space systems: the road ahead. Available at: <http://www.thespacereview.com/article/563/2>.
3. Пичугина Т. Наноспутники. Младшие братья // В мире нано, № 4, 2010, с. 24–26 / Available at: www.nanorf.ru.
4. Осипов В. Сверхмалые КА – космический мусор или революционный подход к построению перспективных космических систем? Available at: <http://www.avia.ru/press/10158>.
5. Агапов В. Одиннадцать спутников на орбите – итог экспериментального пуска // Новости космонавтики, № 3, 2000 г. С. 15–16.
6. Храмов Д.А. Миниатюрные спутники стандарта «Cubesat» // Космічна наука і технологія. 2009. Т. 15. № 3. С. 20–31.
7. Educational Payload on the Vega Maiden Flight – Call For CubeSat Proposals. European Space Agency (2008).
8. Matthew R.C. NPS CubeSat Launcher Design, Process And Requirements. Naval Postgraduate School.
9. Leonard D.C. Tiny Spacecraft, Huge Payoffs. Available at: <http://www.space.com/308-cubesats-tiny-spacecraft-huge-payoffs.html>.
10. Селиванов А.С., Вишняков В.М. Наноспутники серии ТНС для отработки технологий создания перспективных космических систем // III Международная конференция «Земля из космоса. Наиболее эффективные решения». 4–6 декабря 2007 г.
11. Наноспутники STRaND под управлением Microsoft Kinect готовятся к отправке в космос. Available at: <http://www.dailytechinfo.org/tags/%CD%E0%ED%EE%F1%EF%F3%F2%ED%E8%EA>.
12. Орлов Г. Британский наноспутник ориентируется с помощью Kinect. Available at: http://www.infox.ru/hi-tech/tech/2012/05/28/Britanskiy_nanosputn.phtml.
13. System F6. Available at: http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/System_F6.aspx.
14. System F6 On-Orbit Demonstration Testbed. Solicitation Number: DARPA-BAA-12-32.
15. DARPA создаст спутники-зомби. Available at: <http://texnomaniya.ru/kosmos/darpa-sozdast-sputniki-zombi.html>.
16. IADC-WG4 Action Item 18.4: Influence of Small Satellites on Space Debris Population. Final Report.
17. О разработке аппаратов ExoplanetSat. PKT № 34, 2012, с. 1–2.

18. В космической разведсъемке назревают революционные перемены/ Экспертная группа / R&D. CNews. Available at: http://rnd.cnews.ru/reviews/index_science.shtml?2009/01/27/335802_2.

References

1. Ovchinnikov N.Yu. (2007) *Malye mira sego [Small ones of the world] Komp'juttera [Computerra]*, No. 15, pp. 37–43.
2. Military space systems: the road ahead. Available at: <http://www.thespacereview.com/article/563/2>.
3. Pichugina T. (2010) *Nanosatellites. Mladshie brat'ja. V mire nano [Younger brothers. In the world of nano]*, vol. 4, pp. 24–26. Available at: www.nanorf.ru.
4. Osipov V. *Sverhmalye KA – kosmicheskij musor ili revoljucionnyj podhod k postroeniju perspektivnyh kosmicheskikh sistem? [Ultra-small SPACECRAFT and space debris or a revolutionary approach to the construction of future space systems?]*. Available at: <http://www.avia.ru/press/10158>.
5. Agapov V. *Odinnadcat' sputnikov na orbite – itog jeksperimental'nogo puska [Eleven satellites in orbit – the result of the pilot run] Novosti kosmonavтики [Novosti kosmonavtiki]*, No. 3, 2000, pp. 15–16.
6. Khramov D.A. (2009) *Miniatjurnye sputniki standarta «Cubesat» [Miniature satellites standard «Cubesat»] Kosmichna nauka u tehnologija [Space science and technology]*, T. 15. No. 3, pp. 20–31.
7. (2008) Educational Payload on the Vega Maiden Flight Call For CubeSat Proposals. European Space Agency.
8. Matthew Richard Crook NPS CubeSat Launcher Design, Process And Requirements. Naval Postgraduate School.
9. Leonard David Cubesats: Tiny Spacecraft, Huge Payoffs. Available at: <http://www.space.com/308-cubesats-tiny-spacecraft-huge-payoffs.html>.
10. Selivanov A.S., Vishnyakov V.M. (2007) *Nanosputniki serii TNS dlja otrabotki tehnologij sozdaniya perspektivnyh kosmicheskikh system. III Mezhdunarodnaja konferencija «Zemlja iz kosmosa. Naibolee jeffektivnye reshenija». 4–6 dekabrja 2007 g. [Nano series TNS for development of technologies of creation of perspective space systems. III international conference «Earth from space. The most effective solutions». On December 4–6, 2007]*.
11. *Nanosputniki STRaND pod upravleniem Microsoft Kinect gotovjatsja k otpravke v kosmos [The nano-satellite STRaND with Microsoft Kinect ready to be sent into space]*. Available at: <http://www.dailytechinfo.org/tags/%CD%E0%ED%EE%F1%EF%F3%F2%ED%E8%EA>.
12. Orlov G. *Britanskij nanosputnik orientiruetsja s pomoshh'ju Kinect [British nano-satellite uses Kinect]*. Available at: http://www.infox.ru/hi-tech/tech/2012/05/28/Britanskiy_nanosputn.phtml.
13. System F6. Available at: http://www.darpa.mil/Our_Work/TTO/Programs/System_F6.aspx.
14. System F6. On-Orbit Demonstration Testbed. Solicitation Number: DARPA-BAA-12-32.
15. *DARPA sozdast sputniki-zombi [DARPA creates satellites-zombies]*. Available at: <http://texnomaniya.ru/kosmos/darpa-sozdast-sputniki-zombi.html>.
16. IADC-WG4 Action Item 18.4: Influence of Small Satellites on Space Debris Population. Final Report.
17. *O razrabotke apparatov ExoplanetSat [About construction ExoplanetSat]*. PKT, No. 34, 2012, pp. 1–2.
18. *V kosmicheskoi razveds'emke nazrevaut revoljucionnie peremeni [At space research begining revolution changes] Expertnaia grupa [Group of expert] R&D. CNews*. Available at: http://rnd.cnews.ru/reviews/index_science.shtml?2009/01/27/335802_2.