Мировые тенденции развития малых спутников

Данилкин Александр Петрович — ученый секретарь Научно-технического совета ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», кандидат технических наук.

Козлов Владимир Александрович — директор Центра исследования отраслевых рынков Института экономических стратегий РАН, доктор технических наук.

УДК 629.78

В условиях информатизации всех сторон человеческой деятельности особую роль приобретает применение космических систем, которые могут обеспечить глобальность, оперативность и высокую периодичность получения и доставки информации потребителям. Обеспечение новых требований к космическим системам обусловливает необходимость создания многоспутниковых (десятки и сотни космических аппаратов) группировок на орбите, что невозможно реализовать на основе использования космических аппаратов, имеющих массу от одной до нескольких тонн, прежде всего по чисто экономическим соображениям. Это приводит к необходимости существенного уменьшения массы и габаритов космических аппаратов.

Ключевые слова
Малые космические аппараты, космические системы, спутниковое производство, новый технологический уровень.

Предпосылками для решения в настоящее время задачи уменьшения массы и габаритов космических аппаратов являются достигнутые в начале XXI в. успехи в области миниатюризации электроники, микромеханики, нанотехнологий, обеспечивающие создание новых материалов, широкое развитие новых методов проектирования (проектные методы управления, автоматизированные методы проектирования и т.д.), создание высокопроизводительных прецизионных автоматических линий производства элементов, деталей и узлов с использованием компьютерных технологий, включая аддитивные технологии на основе использования 3D-принтеров. Накоплен большой опыт в области управления большими техническими системами, создания искусственного интеллекта, внедрения в широкую практику облачных вычислений и др.

Существующий в настоящее время научно-технический задел позволяет уже в ближайшее время создать микро- и нанокосмические аппараты (КА), решающие широкий круг задач (*рис. 1, 2*). Таким

Существует принципиальная возможность удовлетворения возникающих новых потребностей в информатизации общества, что позволяет перейти в деле освоения космического пространства на новый технологический уровень и превратить космос в реальную практически используемую сферу деятельности человечества.

образом, существует принципиальная возможность удовлетворения возникающих новых потребностей в информатизации общества, что позволяет перейти в деле освоения космического пространства на новый технологический уровень и превратить космос в реальную практически используемую сферу деятельности человечества.

Динамика роста создания и запуска МКА в период 2005–2015 гг.

В соответствии с принятой в техническом сообществе классификацией малые космические аппараты (КА) подразделяются по массе на несколько классов: малые КА ≤ 1000 кг, мини-КА 500–100 кг, микро-КА 100–10 кг, нано-КА 10–1 кг, пико-КА 1 кг — 100 г, фемто-КА ≤ 100 г.

Стоимость малых КА и время их активного существования на орбите в значительной мере определяется их массогабаритными характеристиками. Согласно оценкам зарубежных специалистов, стоимость создания МКА для КА массой 500 кг составляет в среднем 30 млн долл., массой 50 кг — 10 млн долл., массой 10 кг — 1 млн долл., массой 100 г — 0,1 млн долл. При этом срок активного существования для мини- и микро-КА составляет 1,5–2 года, а для нано- и пико-КА — до одного года.

В настоящее время такие космические аппараты все активнее создаются и применяются, прежде всего за рубежом. Количество выведенных на орбиту КА рассматриваемых классов за последние годы исчисляется десятками, и их число постоянно возрастает (в 2011–2013 гг. выведено на орбиту 211 мини-, микро- и нано-КА, доля МКА в общем количестве выведенных на орбиту КА в 2012 г. составила 21%, из них доля нано-КА — примерно 60%). В период 2005–2013 гг. было выведено на орбиту 445 МКА. Объем продаж МКА на мировом рынке в 2013 г. достиг 828 млн долл., что составило примерно 8% от общего объема продаж на рынке спутников.

В России среди выведенных на орбиту МКА большинство составляют мини-КА (до 90%), из них до 50% — спутники связи и телекоммуникаций «Гонец» и «Стрела».

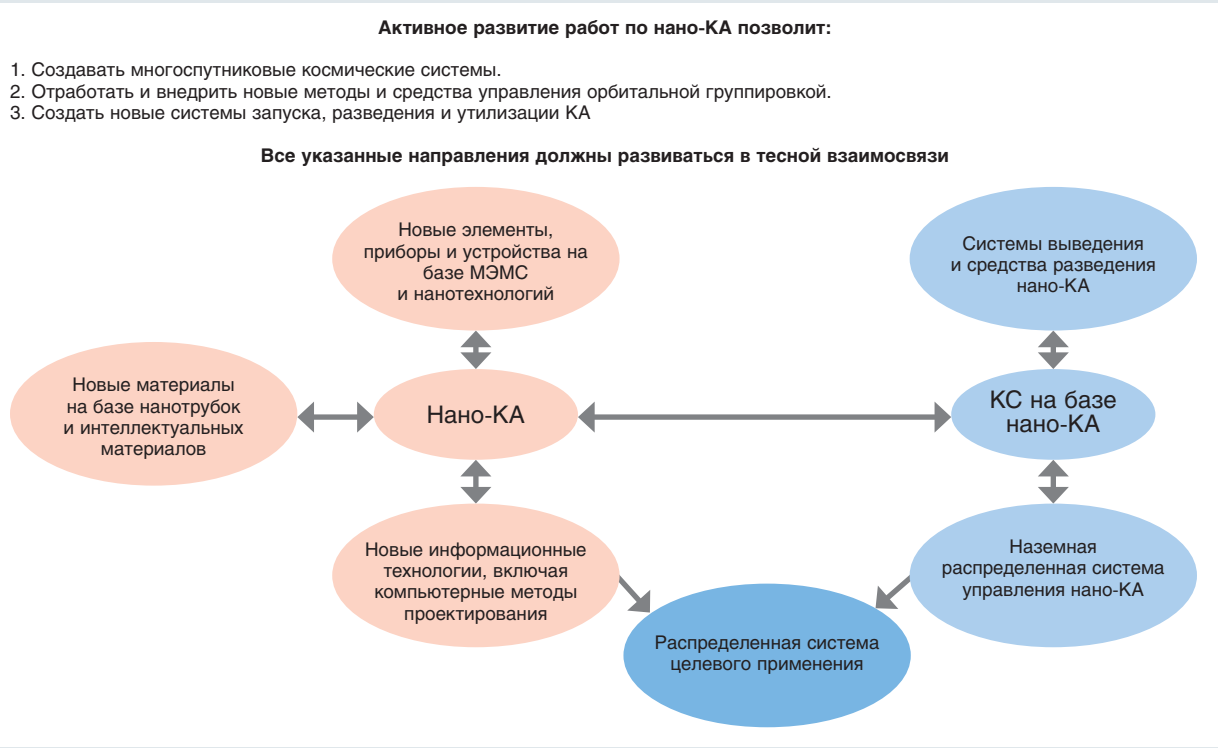
Следует отметить, что для нано-КА в 2003 г. в разработках Калифорнийского политехнического университета США было предложено использовать форму куба. Первый кубсат был выведен в космос в 2006 г., тогда же были заложены конструктивные стандарты нано-КА: кубик U с гранью 10 см, массой 1,33 кг, стоимостью ~100 тыс. долл. Затем появились двойные кубсаты, тройные и даже шестерные, соответственно 2Ucubesat, 3Ucubesat, 6Ucubesat. Для них еще предстоит преодолеть технологические пределы в создании высокоточных систем ориентации и стабилизации для оперативного перенацеливания аппаратуры и бортовых систем энергоснабжения, связи, хранения и передачи данных необходимой мощности — эта задача решена для МКА массой от 50 кг и выше. Тем не менее такие КА быстро эволюционируют и по своим возможностям и значению оцениваются не просто как один из вариантов малых КА, а как новое направление в технологии.

Рисунок 1

Нано-КА — новый класс космических аппаратов

Рисунок 2

Микроминиатюризация космических средств — принципиально новый этап в развитии космонавтики и использовании результатов космической деятельности



Основные направления применения по типоразмерам МКА

Основными направлениями использования МКА в настоящее время являются:

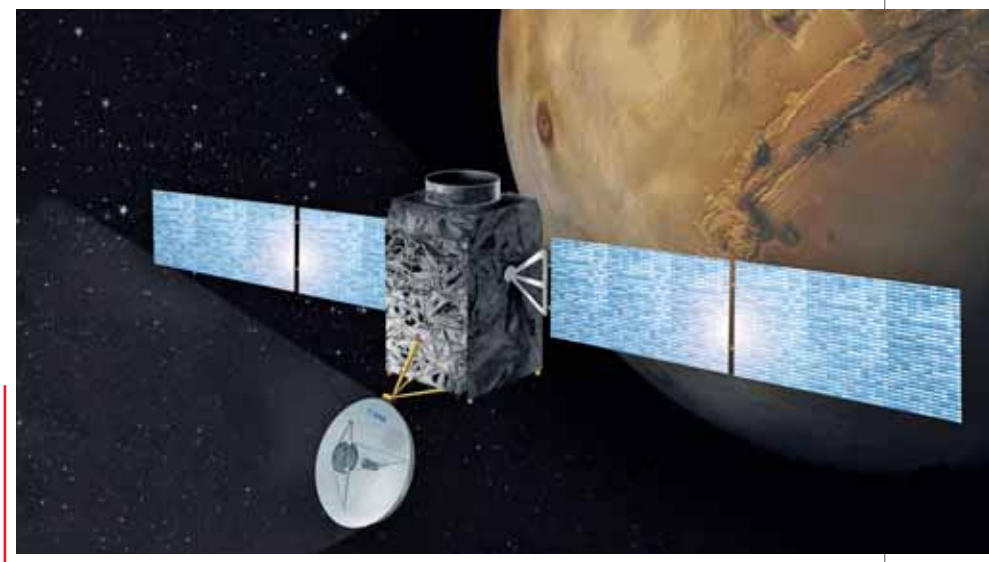
- отработка новых технологий в космосе;
- получение информации в процессе дистанционного зондирования Земли;
- решение задач обеспечения связи;
- решение образовательных задач;
- проведение научных исследований, прежде всего в области исследований верхней атмосферы, ионосферы, магнитосферы, солнечно-земных связей. При этом область применения МКА в значительной мере определяется их типоразмером.

Нано-КА применяются прежде всего с целью отработки новых технологий в космосе: доля решения этих задач в общем объеме задач, решаемых нано-КА, составляет до 85%, в то время как на долю задач в интересах научных исследований приходится 11%, остальное — на прочие задачи [1].

В задачах, решаемых микро-КА, 46% приходится на отработку новых технологий в космосе, 23% — на задачи дистанционного зондирования Земли, 19% — на обеспечение связи и телекоммуникаций, 8% — на проведение научных исследований, остальное — на прочие задачи.

В задачах, решаемых мини-КА, 18% приходится на отработку новых технологий в космосе, 23% — на задачи дистанционного зондирования Земли, 23% — на обеспечение связи и телекоммуникаций, 21% — на проведение научных исследований, остальное — на прочие задачи.

Доля задач ДЗЗ в сегментах микро- и мини-КА неуклонно растет (за исключением кризисного периода 2008–2010 гг.), притом что традиционно основным применением микро- и нано-КА были демонстрации технологий и образовательные проекты.



Наблюдается тенденция к увеличению направлений использования МКА. В настоящее время прорабатывается решение с помощью МКА таких задач, как исследование планет солнечной системы (GRAIL-программа изучения гравитационного поля Луны, *Mars Cube One* (*MarCO*) — отправка двух КА типа «кубсат» к Марсу, включая посадку на планету, и др.), информационное обеспечение тактических звеньев управления войсками (DARPA *See Me* и др.), инспекция различных объектов в космосе и др.

От демонстрации возможностей развитые страны переходят к систематическому целевому использованию МКА.

Основными направлениями коммерческого использования малых КА в настоящее время являются обеспечение связи и ретрансляции информации для государственных и коммерческих потребителей, а также получение информации дистанционного зондирования Земли. Для малых КА ДЗЗ стремление к получению изображений с высоким разрешением обусловливает необходимость использования низких орбит. Данный обзор посвящен в основном именно этому важному классу прикладных задач МКА.

В настоящее время интерес к МКА и развитие рынка МКА ДЗЗ определяют следующие тенденции [1–6]:

- глобальный спрос и повышение требований к получению информации о Земле в реальном времени;
- возможности независимой космической деятельности для стран с ограниченным бюджетом;
- достижения в области миниатюризации компонентов при росте их рабочих характеристик; увеличение разрешения мини-, микро- и нано-КА;
- рост коммерциализации и перспективы использования техники и товарной электроники массового производства при создании космических средств;
- преимущественное использование МКА для узкоспециализированных миссий;
- появление на рынке новых систем выведения;
- возможности формирования многоспутниковых группиро-

вок МКА с оперативным доступом в космос и получением данных о Земле в глобальном масштабе в реальном времени;

- появление новых источников финансирования, возможность быстрой смены бортовых систем МКА способствует привлечению серьезных инвестиций в сектор малых спутников;
- формирование развитой индустрии МКА.

В секторе МКА за рубежом работают многочисленные малые коммерческие и государственные компании. Крупные компании вводят линии производства малых спутников. Так, европейский мировой экспортер КА ДЗЗ и связи *Airbus Defense and Space* (далее — *Airbus*) и французско-итальянская *Thales Alenia Space* и SSTL *Surrey*, ориентируясь на растущий спрос МКА ДЗЗ в странах Азии, Латинской Америки, Среднего Востока, нацелены в ближайшее время в три раза увеличить экспорт МКА (от одного спутника в год до трех в год в классе 100–500 кг) и повысить качество производства. Недавно *Airbus* выиграл контракт на создание высокоразрешающего перуанского КА ДЗЗ *Peru-Sat-1* с планом запуска в 2016 г. на РН *Vega*. Спутник был разработан в короткий срок.

В тандеме с этим проектом *Airbus* показал новую концепцию *Project Factory* своего модернизируемого производства унифицированных малых космических платформ (УМКП) массой 100–500 кг, включая полезные нагрузки (ПН), на основе своего многолетнего опыта изготовления и сборки космических платформ (КП) *Astrobus* и семейства оптической аппаратуры *Naomi*. Используются одинаковые строительные блоки — оптика на основе трехзеркальной системы Корша, перспективный материал SiC как для оптики, так и для конструкции ее крепления, что сокращает время изготовления и повышает стабильность. При изготовлении используется роботизированная техника и вводятся инновационные технологии, такие как 3D-печать элементов КА, помогающие уменьшать и удешевлять цикл производства. Изучается возможность размещения большего количества целевой аппаратуры на малых космических платформах. В результате ожидается поставка спутников с субметровым разрешением в классе МКА. Так, в течение двух лет был создан КА *Peru-Sat-1* массой около 400 кг с разрешением 0,7 м, сравнимым с достигаемым в военных системах [7].

Сегодня экспорт средств ДЗЗ выходит за рамки поставки снимков или отдельных спутников среднего разрешения. Многие страны более заинтересованы в приобретении собственного современного спутникового производства для развития национальных космических программ. Уже нельзя продать спутник ДЗЗ без блока, включающего передачу необходимых знаний, опыта и наземной инфраструктуры. В последние годы *Airbus* увеличил экспорт по таким соглашениям, например, в контракте с Азербайджаном, по которому государственный спутниковый оператор Азербайджана будет использовать недавно выведенный КА *Spot-7* среднего разрешения европейской орбитальной группировки *Spot/Pleiades* (может получать снимки и с КА *Pleiades*) в рамках стратегического сотрудничества. *Airbus* обеспечивает функционирование наземного сегмента и обучение азербайджанских инженеров операциям со спутником. *Thales* недавно выполнила разработку производства возле Анкары по сборке и испытаниям спутников высокого разрешения в рамках контракта с Министерством обороны Турции на построение и запуск КА ДЗЗ *Gokturk-1* массой ~ 1000 кг с разрешением 0,5 м — первого экспортного высокоразрешающего спутника. Таким образом, *Airbus* и *Thales* становятся естественными партнерами стран, развивающих свои космические программы [8].

Как и *Airbus*, крупная американская компания *Boeing* готовит

производство семейства МКА *Phantom Phoenix* с унифицированной архитектурой, программным обеспечением полета, интеграцией различных вариантов полезной нагрузки (ПН) для решения широкого спектра задач от разведки до ДЗЗ и науки. Опытная серия образцов создается в трех конфигурациях:

- в классе 500–1000 кг с запуском одиночно и попарно;
- в классе 180 кг с встроенным адаптером для одновременного запуска до 6 МКА;
- в классе нано-КА массой 4–10 кг (для метеорологии и науки).

На КА может устанавливаться различная целевая аппаратура по запросу заказчика. Конструкция позволяет осуществлять простой монтаж целевой аппаратуры для ISR и науки. Согласно информации представителей фирмы *Boeing*, сложности реализации системы связаны не с конструкцией КА, а с программным обеспечением, разрабатываемым *Boeing* на свои средства [8, 9].

В источнике [3] приводятся экспертные оценки достигнутого уровня качества МКА ДЗЗ:

- за последние 10 лет удалось почти в два раза снизить среднюю массу и сопоставимо сократить стоимость КА. «Усредненный» спутник для съемки Земли стал МКА, хотя для перехода в класс микро и нано еще далеко;
- быстрее всех растут коммерческие и государственные рынки МКА массой от 50–100 до 500 кг, некоторые новаторские компании уже добились успеха и на рынке МКА массой <50 кг; в первую очередь практическое использование находят МКА гражданского применения;
- характеристики МКА в ряде случаев становятся сопоставимыми с возможностями крупногабаритных спутников;
- разрешение получаемых при съемке изображений в классе микро-КА в ближайшее время достигнет 1,5–2,5 м, а для специализированных МКА массой 100 кг и даже 50 кг — 1 м. Предел разрешения для спутников массой до 200 кг с обычной оптикой — 0,5 м.

Многие страны более заинтересованы в приобретении собственного современного спутникового производства для развития национальных космических программ.

На выходе целый ряд инновационных космических технологий, способствующих дальнейшему повышению качества, сокращению массы, стоимости спутников и их запуска, развитию и расширению сферы применений МКА. Среди них:

- 3D-печать и другие формы аддитивных технологий, которые создали новое измерение в сфере производства, ремонта частей и компонентов спутников [10];
- «клеточная» архитектура построения модульных КА из строительных блоков — «клеток» под названием *satlets*, собираемых в функциональные служебные модули спутников. Технология разрабатывается DARPA США по программе *Phoenix* с 2012 г. для повторного использования ценного исправного оборудования отработавших геостационарных спутников путем реактивации его при переносе на недорогие МКА клеточной конструкции. В третьем квартале 2015 г. прошла первая орбитальная демонстрация концепции. Изготовление «сатлэтов» и спутника-демонстратора поручено фирме *Nova Wurks*. По оценке DARPA, стоимость собранного таким образом КА может быть снижена в половину для КА массой 100 кг с использованием 15 «сатлэтов», до 10% для КА массой 1000 кг с использованием 40 «сатлэтов» и еще больше для более крупных спутников [11, 12];
- технологии использования ионных двигателей и солнечного паруса на базе кубсатов для вывода отработавших МКА с орбиты [13, 14];
- совместные разработки американских и европейских фирм по созданию глобальной лазерной спутниковой связи, в том числе с группировками МКА [15];
- реконфигурируемое программное обеспечение [16];
- разукрупнение традиционных многофункциональных крупногабаритных КА на основе распределения их функций на несколько специализированных МКА;
- разработки недорогих и оперативных систем запуска МКА. Ряд гражданских и военных проектов по воздушному оперативному запуску ведется в США (стоимость — 1–10 млн долл. за пуск). Почти по всем направлениям к испытаниям экспериментальных образцов должны приступить в 2016 г. Существующий флот РН приспосабливается к групповому одноразовому и попутному запускам МКА. Активно реализуются пуски с МКС. Разрабатываются РН многоразового запуска фирмами *Space-X* (США) и *Arianespace* (Европа) [8, 16–18].

Достигнутые успехи в снижении массы и стоимости МКА при сохранении высокого качества изображения, как и достижения в оперативном допуске в космос, позволили приступить к решению важнейшей задачи ДЗЗ — почти непрерывному просмотру каждой точки Земли и отслеживанию динамической деятельности на Земле на основе низкоорбитальных многоспутниковых группировок МКА с передачей

В настоящее время Пентагон делает акцент на использовании мини- и микро-КА массой 10–180 кг. Они просты в обслуживании, их замена обходится дешево.

данных в реальном масштабе времени. Большой флот МКА с почти постоянным присутствием над целями увеличивает возможности мониторинга целей в интересах разведки и огневого поражения. Многоспутниковая орбитальная группировка более устойчива к боевым воздействиям противника. Потеря отдельных КА мало повлияет на функциональность всей системы. В настоящее время Пентагон делает акцент на использовании мини- и микро-КА массой 10–180 кг. Они просты в обслуживании, их замена обходится дешево.

В ближнесрочном плане Пентагон ведет разработки, нацеленные на возможность формирования орбитальных группировок нано-КА по типу роя. В нем спутники могут разбиваться на специализированные группы управления, энергоснабжения, целевого назначения и связи. Это дает ценные преимущества: возможность реконфигурирования системы за счет перераспределения функций, высокую боевую устойчивость и в перспективе возможность синтезирования очень крупных оптических и радиолокационных апертур.

К недостаткам низкоорбитальных многоспутниковых группировок относятся сложности функционального управления и наземной инфраструктуры, а также увеличение риска столкновений в космосе и проблема космического мусора, рост объема которого может существенно повыситься, что потребует безотлагательных мер по очистке орбит.

Ниже приводится краткий обзор разрабатываемых и реализуемых орбитальных группировок МКА ДЗЗ массой менее 150 кг.

США

24-спутниковая группировка МКА ДЗЗ коммерческой фирмы *Skybox Imaging* (США). Создаются мини-КА массой 120 кг, имеющие габариты 60×60×95 см. Они оснащены оптико-электронными камерами высокого разрешения (1 м в панхроматическом режиме) и реализуют видеосъемку высокой четкости с разрешением 1,1 м с 30 кадр/с. Орбита солнечно-синхронная, высота орбиты ~ 600 км.

Проект был начат в 2009 г. с целью создания первой коммерческой микроспутниковой орбитальной группировки с субметровым разрешением и видео с беспрецедентным отношением высокого разрешения и малой массы и стоимости с использованием коммерческой элементной базы. В основу концепции положено использование простой оптики Ричи — Кретьена: ∅35см +ФПМ с цифровой ВЗН в сочетании с мощной наземной системой обработки данных с алгоритмами сверхразрешения. Для простоты конструкции бортовая обработка отсутствует [19–25].

В 2014 г. *Skybox* была приобретена интернет-гигантом *Google* для поддержки картографического сервиса *Google Maps* на самом современном уровне.

Первый КА *Sky-Sat-1* выведен в попутном запуске на РН «Днепр» в 2013 г., второй *Sky-Sat-2* — попутно на РН «Союз» в 2014 г., еще 13 КА заказаны, и первые шесть КА должны быть выведены на РН «Минотавр» в 2015 г. Пуск четырех КА выиграла компания *Arianespace* для запуска на РН *Vega*. Запуск в 2015 г. шести КА *Skybox* может обеспечить ежедневную съемку всего земного шара, 12 КА — просмотр два раза в день. Вся группировка должна быть сформирована к 2018 г. Она позволит наблюдать каждую точку Земли 3 раза в день. С точки зрения *Google*, этот бизнес не только предоставляет данные, но полностью меняет представление об экономическом ландшафте человечества и его понимание на основе ежедневно получаемой информации. Бизнес-стратегия использования таких КА основывается на положении, что спрос на космическую съемку будет определяться интересами не государств или крупных компаний, а частных пользователей. Услуги предполагается предоставлять по прямому заказу через Интернет.

Следует отметить, что, согласно мнениям экспертов, экономическая эффективность рассматриваемой системы может быть подтверждена только после выведения на орбиту и начала успешного функционирования не менее 12 КА.

28-спутниковая группировка Flock-1 («Стая»), состоящая из тройных кубсатов (3Ucubesat) *Dove* фирмы *Planet Lab* Силиконовой долины (США), для ежедневной съемки Земли с разрешением 3–5 м с орбиты 450 км.

Технология была продемонстрирована в 2013 г. на четырех прототипах *Dove*. МКА в виде тройного кубсата имеет массу 5 кг, габариты 10 × 10 × 34 см, основную ПН в виде оптического телескопа и бортовой аппаратуры радиолинии, в аппаратуре используется технология смартфонов. Большая часть кубсатов *Dove* была запущена в 2014 г. с диспенсера японского модуля *Kibo* МКС, по три-четыре за восемь попут-

ных полетов к МКС, 11 КА — на РН «Днепр».

Основатели *Planet Lab* — бизнесмены из Австралии, США и Великобритании, работающие по космическим проектам. Они смогли привлечь для создания группировки МКА *Dove* серьезное финансирование, включая 52 млн долл. от миллиардера Юрия Мильнера. Первые снимки будут продаваться *Google Map* и *Archer D.M.* Компания собирает международную сеть наземных станций для поставки данных пользователям через Интернет. К сожалению, в 2014 и 2015 гг. фирма потеряла 34 МКА *Dove* в попутных аварийных запусках к МКС РН «Антарес» и *Falcon-9* [26–31].

60-спутниковая группировка МКА ДЗЗ заявлена фирмой Spaceflight Ind. (США) и ее отделением *BlackSky Global* с 50 кг микро-ИСЗ для съемки с 1-метровым разрешением большей части Земли и выдачи снимков в течение одного-двух часов с момента поступления заказа через Интернет, то есть почти в реальном масштабе времени. Цена снимка должна составить 1/10 цены, существующей на рынке. Пуск первых двух ИСЗ *Pathfinder-1* и *Pathfinder-2* на РН фирмы *Space-X* состоялся в начале 2016 г. для проверки характеристик оптики и наземного сегмента. Оптику поставляет *Exelis* с камерой «военного класса» *Imperx*. К концу 2016 г. компания надеется иметь шесть спутников на орбите, а в 2019 г. — полностью рабочую систему.

Согласно главному технологу проекта Питеру Вегнеру, бывшему директору офиса оперативного запуска (ORS), для группировки выбраны солнечно-синхронные орбиты, предпочитаемые Пентагоном для обеспечения военных «более высокой степенью присутствия на ТВД». Для коммерческих операций это означает, что заказчик получает возможность заказа цветных изображений с 1-метровым разрешением в надире.

Начальный маркетинг показал, что в качестве возможных потребителей получаемой информации могут рассматриваться На-

циональное агентство США по геопространственной информации (NGA) и другие правительственные агентства, крупномасштабный бизнес минеральных ресурсов и сельского хозяйства, организации, осуществляющие экономический мониторинг. Система предоставит видеосъемку фиксированных наземных объектов со скоростью один снимок в секунду, обеспечит критичную во времени оперативную съемку высокоприоритетных целей национальной безопасности, обороны, защиты границ и критичной инфраструктуры. Запуски планируется осуществлять с помощью международного флота РН — «Антарес», «Днепр», «Союз», «Фалкон-9». Организуется наземный сегмент и строится Центр спутниковых операций [32].

В 2015 г. две коммерческие фирмы — Space-X и вновь созданная интернет-спутниковая компания One Web/Google — объявили о планах запуска многомиллиардных широкополосных спутниковых сетей доставки Интернета массовому пользователю во всем мире на базе многоспутниковых орбитальных группировок малых КА.

Президент *Space-X* Илон Маск объявил, что создание группировки из 4000 КА на орбите высотой 1100–1200 км займет 12–15 лет, потребует 10 млрд долл. и обеспечит выходом в Интернет не только удаленные районы Земли, но и первые человеческие колонии на Марсе. Стоимость одного КА составит примерно 500 тыс. долл.

Планируемая фирмой *OneWeb* орбитальная группировка, инициированная основателем компании Грегом Уайлером, будет включать 650 (900) МКА массой менее 150 кг стоимостью по 500 тыс. долл., работающих на орбите высотой 1200 км. Уже предприняты практические шаги к реализации проекта. Для изготовления системы в качестве партнера выбран европейский концерн *Airbus*, обладающий большим опытом и современными технологиями в изготовлении МКА. Первые 10 КА будут построены в Тулузе, а изготовить серию планируется на новом производстве в США. Полная система включает 648 спутников, наземный сегмент, 250 запасных спутников и до 2019 г. должна начать поставлять информацию со скоростью 10 Тбит/с. Первые 10 спутников должны полететь в 2017 г. на орбиту высотой 1200 км для работы в течение 10–12 лет.

Эксперты отмечают, что построение многоспутниковых группировок, подобных *OneWeb*, необходимость быстрого обновления КА с применением новых технологий способствует развитию индустрии малых спутников и средств их запуска и соответствующего рынка. Более новые технологии и более высокие темпы производства МКА могут создать цикл их развития с выработкой собственного закона Мура [33–36].

Блок военного применения малых спутников США включает программы по оперативному запуску тактических микро-КА наблюдения Земли, служебных микро-КА для инспекции, диагностики и ремонта собственных КА, а также реализации разведывательных миссий по осмотру, инспекции и выведению из строя спутников противника. Ведутся программы по разукрупнению КА стратегических орбитальных группировок для сокращения зависимости от нескольких дорогостоящих, с продолжительным циклом изготовления сложных КА. Ближайшей орбитальной группировкой, подходящей для разукрупнения, считается *Milstar*/AEHF защищенной системы спутниковой связи. Эта концепция рассматривается и для космических систем СПРН следующего поколения.

Примером разработки Пентагоном многоспутниковой тактической оперативной оптико-электронной космической системы видовой разведки является программа в интересах

сухопутных войск армии на основе 24–30-спутниковой группировки микро- и нано-КА. Такая система требуется для получения информации на уровне командиров подразделений на ТВД, ее спутники должны запускаться по требованию, пролетать в нужный момент в нужном месте и быстро поставлять информацию. В рамках этого проекта рассматриваются три варианта МКА:

- *Kestrel Eye* — ИСЗ массой 14–15 кг, имеет оптико-электронную камеру ∅25 см с разрешением 1,5 м в полосе 8 км, передает данные в реальном масштабе времени. Минимальное время выполнения задания на съемку — 10 мин. Вывод первого КА в попутном запуске состоялся в 2015 г.;
- *Nano Eye* — ИСЗ массой 80 кг (сухая масса 20,6 кг) с оптико-электронной камерой, аналогичной *Kestrel Eye*, которая с орбиты 175 км обеспечит разрешение 0,45 м, срок службы один год;
- SATS — малый КА массой 32 кг с оптико-электронной камерой ∅15–20 см, которая с высоты 450 км обеспечит разрешение 1,5–2 м в трех режимах: фотосъемку объектов ТВД; фото- и видеосъемку с предварительным планированием и получением изображений размером 5 мегапикселей со скоростью 4 кадра/с с 50-процентным перекрытием между кадрами; видеосъемку в масштабе времени, близком к реальному, с сопровождением заданных объектов со скоростью получения изображений размером 1 мегапиксель — 1–2 кадра/с.

В состав предлагаемой космической системы должны входить связные низкоорбитальные наноспутники для связи вне зоны прямой видимости и недорогая мобильная ракета-носитель. Ожидается, что удельная стоимость выведения МКА может составить 75 тыс. долл/кг, стоимость одного спутника составит порядка 1 млн долл., общая стоимость реализации программы на 2006–2016 гг. — порядка 450 млн долл.

В настоящее время почти все военные ведомства США исследуют возможности малых КА разного класса для решения своих задач и используют имеющиеся возможности проведения недорогих летных испытаний многих технологий и систем в недорогих групповых запусках малых КА. Типичный пример — запуск в конце 2013 г. на орбиту высотой 500 км миссии ORS-3 управления МО/ВВС США по оперативно-тактическим системам (ORS) с 28 кубсатами различных типоразмеров, большинство которых (нераскрываемого назначения) представлено различными военными ведомствами. Стоимость запуска миссии составила ~28 млн долл., то есть ~1 млн долл. на спутник. Использовалась РН «Минотавр» [2, 3, 6, 37–39].

Канада

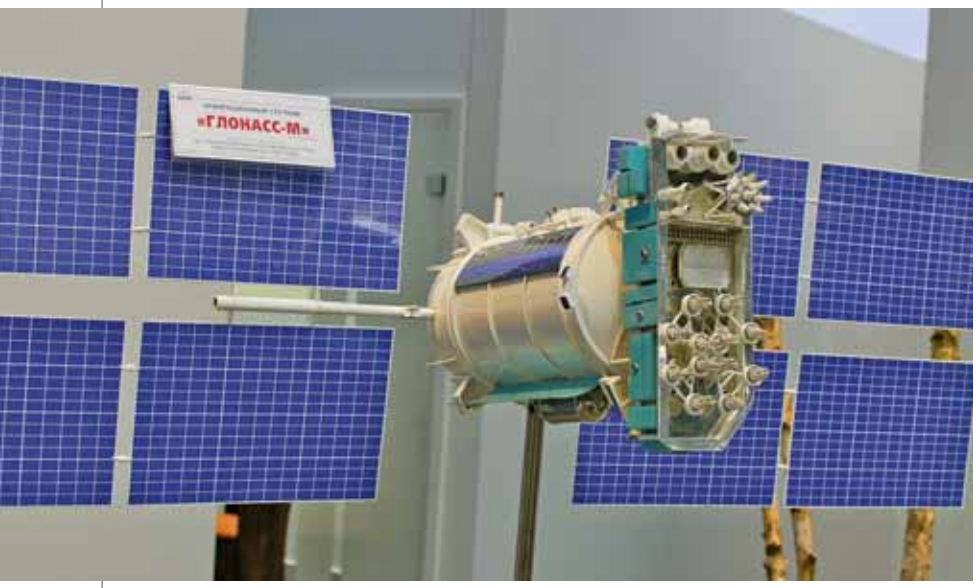
Монреальская фирма *Nor-Star Space Data* планирует реализацию 40-спутниковой космической системы гиперспектрального наблюдения Земли и отслеживания космических фрагментов на низких околоземных орбитах. Космический сегмент системы согласилась построить американская фирма *Nova Wurks* с использованием массового производства модульных строительных блоков *satlets*, которые она разрабатывает по программе DARPA *Phoenix* для Пентагона. Концепция модульного спутника, построенного фирмой *Nova Wurks* по программе DARPA, была продемонстрирована в конце 2015 г. в попутном запуске на солнечно-синхронную орбиту на американских РН вместе с другими малыми КА [12, 40].

Европа строит и выводит на орбиту малые КА для наблюдения Земли, решения научных и военных задач в классе 100–500 кг. Создает космическую систему ДЗЗ «Коперник» для глобального наблюдения окружающей среды и решения задач безопасности на базе КА серии *Sentinel*. Для демонстрации микроспутниковых технологий, в том числе во-

енных, таких как демонстраторы СПРН *Spirale*, используется космическая платформа *Miriade* французского агентства CNES. Для коммерческих запусков концерн *Airbus* предлагает коммерческую версию *Miriade* под названием *AstroSat-100*. На этой космической платформе создан ряд выведенных на орбиту микроспутников ДЗЗ, изготовленных для разных стран — Чили, Алжира, Вьетнама и многих других. Сегодня концерн *Astrium*, входящий в состав *Airbus* и работающий совместно с SSTL и *Thales*, обладает самым современным спутниковым производством, оснащенным инновационными технологиями, и является главным экспортером в мире высокоразрешающих спутников ДЗЗ. Именно эти возможности и опыт в изготовлении МКА обусловили выбор *Astrium* в качестве изготовителя 900-спутниковой космической системы интернет-компании *OneWeb* (США) [41].

Израиль планирует использовать микроспутниковые платформы *LightSat*, разработанные в 2012 г. компанией *Rafael Advanced Defence Systems* по программе оперативного доступа в космос (ORS). Планируется развернуть на орбите высотой 400 км группировку микро- или наноспутников для почти непрерывного обзора областей интереса с использованием системы воздушного запуска. Оцениваются два типа КА массой 100 и 85 кг, полезная нагрузка которых будет состоять из панхроматической и ИК-систем получения изображений с субметровым разрешением. В 2015 г. на орбите была размещена группировка из трех наноспутников для демонстрации полета в точной конфигурации — предпосылки интерферометрической системы со многими микро- или наноспутниками.

В январе 2015 г. Израиль сообщил о разработке миссии *Samson* (*Space Autonomous Mission for Swarming and Geolocation Nano Satellites*) с КА 6Ucubesat массой 8 кг для приема сигналов с Земли и вычисления местонахождения их источника для идентификации терпящих бедствие. В данном случае решается уникальная задача: доказать возможность удержания единой управляемой орбитальной группировки из трех спутников в течение года на орбите 600 км. Запуск намечен на 2016 г. на РН *Vega* вместе с французско-израильским КА агромониторинга *Venus*. В будущем такие системы планируется использовать для отработки быстродействующей системы связи, фотосъемки с высоким разрешением и даже съемки планет вне Солнечной системы [42, 43].



Китай ведет работы по использованию МКА в области ДЗЗ и видовой разведки. Также Китай осуществляет долгосрочную военную программу по созданию стратегической противоспутниковой системы на базе мини- и микро-КА, включая МКА трех типов:

- маневрирующие МКА с целью постановки помех или уничтожения КО противника направленным взрывом;
- незаметные нано-КА-паразиты, способные прикрепляться к спутникам разведки, навигации и связи и выводить их из строя в случае необходимости;
- микро-КА — перехватчики, замаскированные под космический мусор, в критические моменты сближающиеся и сталкивающиеся с КА противника [6].

Япония активно поддерживает концепцию миниатюризации элементной базы КА и создания МКА. Осуществляются программы по использованию микроспутников ДЗЗ и видовой разведки. Усилия акцентируются на создании инновационных и прорывных технологий. В конце 2015 г. появились коммерчески привлекательные аппараты массой около 50 кг для миссий ДЗЗ и фундаментальных научных наблюдений. КА класса кубсатов больше используются для технологических демонстраций и в сфере образования [3, 44].

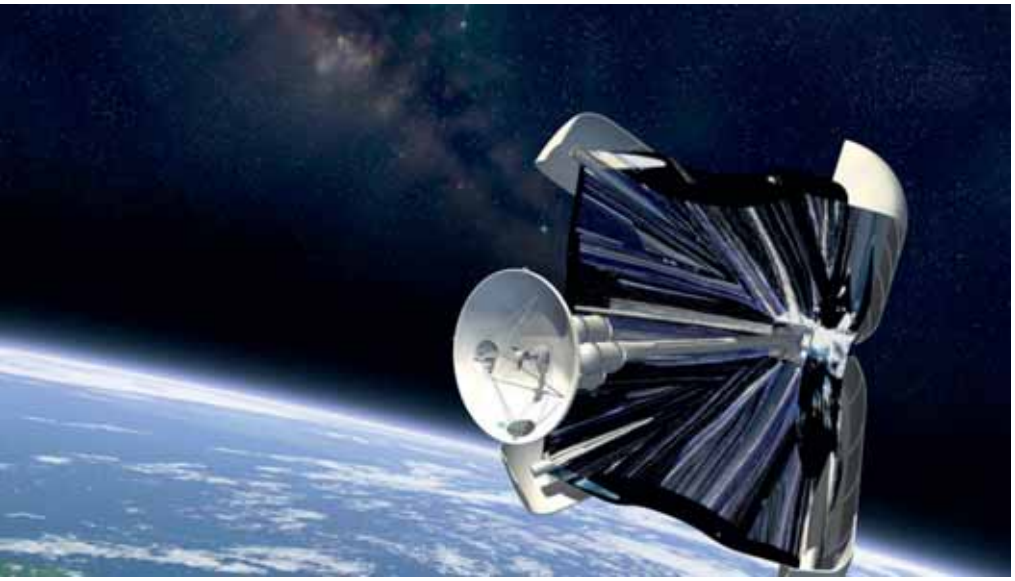
Россия традиционно ориентировалась на разработку крупных спутников с крупными полезными нагрузками. Развитие МКА сдерживалось, особенно в результате существенного снижения госбюджетного финан-

сирования спутников ДЗЗ, начиная с 1990-х годов, что обусловило значительное отставание отечественного приборостроения и элементной базы от мирового уровня. Анализ развития МКА и практические результаты по МКА, достигнутые РФ за последние 15 лет, подробно освещены в работе [6]. Они включали создание ряда унифицированных малых космических платформ (УМКП) в классе 100 кг («Солнечный парус» и «Карат» НПО Лавочкина), в классе 350–500 кг («Яхта» ГКНПЦ им. Хруничева и УМКП ВНИИЭМ) и запуски отдельных МКА разного назначения, в том числе КА ДЗЗ «Канопус-В» массой 380 кг (УМКП ВНИИЭМ) и микро-КА массой от 40 до 85 кг, проект НТЦ «Скан Экс» по запуску КА «Прозрачный мир» массой 15–30 кг с модернизированной ПН ДЗЗ.

Развиваются и реализуются университетские проекты нано-ИСЗ. В Самаре силами ЦСКБ «Прогресс» и СГАУ с участием ряда предприятий отрасли оптического приборостроения создается научная и экспериментальная база для развития и создания МКА класса кубсатов, освоения ниши и создания продукции, соответствующей всем современным требованиям. В конце 2015 г. с космодрома «Восточный» запущен студенческий наноспутник *Samsat-218* и малый КА «Аист-2» массой 380 кг для отработки технологий связи и мониторинга космического мусора в плотных слоях атмосферы. В планах — формирование группировки МКА. Другой наноспутник СГАУ *SamSat*-QB50 выиграл право участвовать в конкурсе в рамках масштабного международного проекта Евросоюза по изучению четырехмерной модели термосферы Земли, в котором участвуют 50 спутников 30 стран из 50 университетов. В июне 2015 г. в Самаре при поддержке российского ФКА на базе СГАУ стартовал Первый российский симпозиум по наноспутникам *RusNanoSat-2015*.

В ближайшие годы можно ожидать существенного увеличения госбюджетного финансирования МКА ДЗЗ согласно Концепции развития российской космической системы ДЗЗ на период до 2025 г. Среди них важное место занимают:

- многоспутниковая группировка из малых КА для мониторинга землетрясений с высокой оперативностью, а также техногенных и природных чрезвычайных ситуаций;
- многоспутниковая группировка из микро-КА для обнаружения лесных пожаров, стихийных гидрометеорологических явлений и решения других задач ДЗЗ, требующих предельно высокой периодичности обзора;
- периодически запускаемые КА типа УМКП, оснащаемые при каждом выведении в космос новыми комплексами приборов ДЗЗ для фундаментального научного изучения Земли.



В связи с этим планируется уделять особое внимание созданию опережающего задела по бортовым приборам и их элементной базе [4, 6, 45].

В заключение можно подтвердить мнение многих экспертов, что в настоящее время МКА переживают настоящий бум и производство малых ИСЗ стремительно развивается, растет рынок коммерческих ИСЗ. В первую очередь это касается низкоорбитальных спутников ДЗЗ и связи. Некоторые называют 2015 г. годом малых спутников. В этом году в космос выходят первые образцы сразу нескольких крупных группировок МКА ДЗЗ, ряда демонстраторов систем воздушного запуска МКА и многие малые ИСЗ для испытания технологий. МКА прошли определенную эволюцию и заняли существенную нишу на рынке. Наиболее полная реализация возможностей МКА ожидается в ближайший период до 2020 г., когда завершится полное развертывание многоспутниковых коммерческих группировок ДЗЗ. Во всех категориях МКА лидирующие позиции занимают США, за ними с большим отрывом следуют крупные страны Европы, Израиль, Китай, Япония, Южная Корея. Однако как скоро технологии малых КА будут достаточно хорошо освоены для поддержки ТВД на земле, в море, воздухе и космосе, еще предстоит узнать. ЭС

ПЭС 16120 / 27.07.2016

Источники

1. Исследование рынка малых космических аппаратов в ретроспективе 2002–2013 гг. и с прогнозом до 2020 г. [Электронный ресурс] // O2Consulting. 2014. URL: http://o2consulting.ru/articles/market-research-mka/
2. White A. Big versus Small Satellites // IHS Jane's IDR, 2015, no. 1, pp. 54–57.
3. Афанасьев И., Воронцов Д. Умелые малыши // Аэрокосмическое обозрение. 2012. № 4. С. 88–93.
4. Попов Д. Наноспутник своими руками // Российский космос. 2015. № 6. С. 14–17.
5. More with Less // AWST, 2012, no. 27, pp. 36–39.
6. Бомштейн Г.К. Разработка и применение малых спутников как актуальное направление развития беспилотной космонавтики // Полет. 2013. № 9. С. 51–60.
7. Svitak A. Factory Retooling // AWST, 2015, 177, no. 11, pp. 114–115.
8. Svitak A. New Deal // AWST, 2015, no. 2, pp. 66–67.
9. См.: AWST, 2013, 15 apr., p. 38.
10. Lundquist E. Аддитивное изготовление и 3D-печать. Искусство, невозможное прежде // Naval Forces, 2014, no. 6, pp. 43–45.
11. Orbiting Recycling // AWST, 2013, no. 4, p. 54.
12. Butler A. Sharing Space // AWST, 2015, no. 47, p. 35.
13. Conversano R.W. et al. // J. Spacecraft and Rockets, 2013, no. 5, pp. 1035–1046.
14. Больше малых ИСЗ // AWST, 2012, no. 27, pp. 36–39.
15. Svitak A. et al. Light Touch // AWST, 2015, no. 5, pp. 54, 59.
16. Cost in Space // AWST, 2015, no. 47, p. 99.
17. Low-cost Launch // AWST, 2012, no. 27, p. 44.
18. Svitak A. In Return // AWST, 2015, no. 12, p. 52.
19. Экспериментальные микроспутники россыпью // Новости космонавтики. 2014. № 1. С. 48–55.
20. Минотавр готовится к запуску ИСЗ Skybox // AWST, 2014, no. 7, p. 12.
21. DiMascio J. High Ground // AWST, 2014, no. 20, p. 34.
22. «Метеор» в хорошей компании // Новости космонавтики. 2014. № 9. С. 33–41.
23. Murhy K. et al. SkySat-1 very high-resolution imagery from a small satellite // SPIE, 2014, vol. 9241, 1E.
24. Google приходит в спутниковый бизнес, заплатив полмиллиарда // Новости космонавтики. 2014. № 10. С. 13–15.
25. Svitak A. Widening the Aperture // AWST, 2015, no. 2, p. 64.
26. Созвездие наноспутников для съемки Земли по заказу // Новости космонавтики. 2013. № 9. С. 46.
27. См.: AWST, 13. 2014. 13 January. С. 18.
28. New Space // AWST, 20 January. 2014, pp. 12, 20.
29. Третий полет «Лебедя» (Dove) // Новости космонавтики. 2014. № 3. С. 24–29.
30. Off the Shelf // AWST, 2014, no. 27, p. 49.
31. См.: AWST, 2014, no. 30, p. 11.
32. Morring Fr. Near Real Time // AWST, 2015, no. 12, pp. 13, 44.
33. Svitak A. Рисковые проекты SpaceX и OneWeb // AWST, 2015, no. 2, pp. 10, 32.
34. Интернет для Марса // Роскосмос. 2015. № 2. С. 18.
35. Svitak A. To Year of Smallsat // AWST, 2015, no. 6, pp. 27, 31–32.
36. Svitak A. Making Production // AWST, 2015, no. 12, p. 30.
37. Перспективные космические системы сухопутных войск США // ЗВО. 2013. № 5. С. 53–54.
38. Минотавр идет на рекорд // Новости космонавтики. 2014. № 1. С. 40–46.
39. Morring Fr. ORS-3: Mission Highlights Growing Cubesat Capability // AWST, 2013, no. 41, p. 18.
40. См.: AWST, 2015, no. 8, p. 14.
41. Continental Constallation // AWST, 2012, no. 27, pp. 39–40.
42. LightSats // AWST, 2012, no. 29, p. 40.
43. Наноспутники полетят строем // Новости космонавтики. 2015. № 3. С. 59.
44. Афанасьев И. Тенденция, однако… // Новости космонавтики. 2012. № 5 С. 30–32.
45. Самарские птицы // Новости космонавтики. 2014. № 3. С. 22–23.

Global Trends in the Development of Small Satellites

Danilkin Aleksandr Petrovich
Federal State Unitary Enterprise «Central Research Institute of Machine Building"
Kozlov Vladimir Aleksandrovich
Institute for Economic Strategies of the Russian Academy of Sciences

Under the conditions of informatization of all human activity aspects special role is acquiring the use of space-based systems that can provide globality, operational efficiency and high frequency of receiving and delivering information to consumers. Following new requirements to space systems necessitates creation of multi-satellite (tens and hundreds of spacecraft) groups in orbit, which cannot be realized through the use of spacecraft with a mass between one and several tons, primarily due to purely economic reasons. This results in the need to significantly reduce weight and size of spacecraft.

Keywords
Small spacecraft, space systems, satellite manufacturing, new technological level.

References

1. *Issledovanie rynka malykh kosmicheskikh apparatov v retrospektive 2002–2013 gg. i s prognozom do 2020 g*. [Small Satellites Market Research in a Retrospective 2002-2013 and with the Forecast Until 2020], O2Consulting. 2014, available at: http://o2consulting.ru/articles/market-research-mka/
2. White A. Big versus Small Satellites. *IHS Jane's IDR*, 2015, no. 1, pp. 54–57.
3. Afanas'ev I., Vorontsov D. Umelye malyshi [Clever Little Ones]. *Aerokosmicheskoe obozrenie*, 2012, no. 4, pp. 88–93.
4. Popov D. Nanosputnik svoimi rukami [Nanosatellite with Own Hands]. *Rossiyskiy kosmos*, 2015, no. 6, pp. 14–17.
5. More with Less. *AWST*, 2012, no. 27, pp. 36–39.
6. Bomshteyn G.K. Razrabotka i primenenie malykh sputnikov kak aktual'noe napravlenie razvitiya bespilotnoy kosmonavtiki [Design and Use of Small Satellites as the Actual Direction of Developing Unmanned Space Exploration]. *Polet*, 2013, no. 9, pp. 51–60.
7. Svitak A. Factory Retooling. *AWST*, 2015, 177, no. 11, pp. 114–115.
8. Svitak A. New Deal. *AWST*, 2015, no. 2, pp. 66–67.
9. *AWST*, 2013, 15 April, p. 38.
10. Lundquist E. Additivnoe izgotovlenie i 3D-pechat' . Iskusstvo, nevozmozhnoe prezhde [Additive Manufacturing and 3D-press. Previously Impossible Art]. *Naval Forces*, 2014, no. 6, pp. 43–45.
11. Orbiting Recycling. *AWST*, 2013, no. 4, p. 54.
12. Butler A. Sharing Space. *AWST*, 2015, no. 47, p. 35.
13. Conversano R.W. et al. *J.Spacecraft and Rockets*, 2013, no. 5, pp. 1035–1046.
14. Bol'she malykh ISZ [More Small Satellites]. *AWST*, 2012, no. 27, pp. 36–39.
15. Svitak A. et al. Light Touch. *AWST*, 2015, no. 5, pp. 54, 59.
16. Cost in Space. *AWST*, 2015, no. 47, p. 99.
17. Low-cost Launch. *AWST*, 2012, no. 27, p. 44.
18. Svitak A. In Return. *AWST*, 2015, no. 12, p. 52.
19. Eksperimental'nye mikrosputniki rossyp'yu [Experimental Microsatellites in Bulk]. *Novosti kosmonavtiki*, 2014, no. 1, pp. 48–55.
20. Minotavr gotovitsya k zapusku ISZ Skybox [Minotaur is Preparing to Launch the Skybox Satellite]. *AWST*, 2014, no. 7, p. 12.
21. DiMascio J. High Ground. *AWST*, 2014, no. 20, p. 34.
22. "Meteor" v khoroshey kompanii ["Meteor" in a Good Company]. *Novosti kosmonavtiki*, 2014, no. 9, pp. 33–41.
23. Murhy K. et al. SkySat-1 very high-resolution imagery from a small satellite. *SPIE*, 2014, vol. 9241, 1E.
24. Google prikhodit v sputnikovyy biznes, zaplativ polmilliarda [Google Comes into the Satellite Business, Having Paid Half a Billion]. *Novosti kosmonavtiki*, 2014, no. 10, pp. 13–15.
25. Svitak A. Widening the Aperture. *AWST*, 2015, no. 2, p. 64.
26. Sozvezdie nanosputnikov dlya s"emki Zemli po zakazu [Constellation of Nano-Satellites to Take Pictures of the Earth on Request]. *Novosti kosmonavtiki*, 2013, no. 9, pp. 46.
27. *AWST*, 2014, 13 January, p. 18.
28. New Space. *AWST*, 20 January, 2014, pp. 12, 20.
29. Tretiy polet "Lebedya" (Dove) [The Third Flight of "Swan" (Dove)]. *Novosti kosmonavtiki*, 2014, no. 3, pp. 24–29.
30. Off the Shelf. *AWST*, 2014, no. 27, p. 49.
31. *AWST*, 2014, no. 30, p. 11.
32. Morring Fr. Near Real Time. *AWST*, 2015, no. 12, pp. 13, 44.
33. Svitak A. Riskovye proekty SpaceX i OneWeb [Risky Projects SpaceX and OneWeb]. *AWST*, 2015, no. 2, pp. 10, 32.
34. Internet dlya Marsa [Internet for Mars]. *Roskosmos*, 2015, no. 2, p. 18.
35. Svitak A. To Year of Smallsat. *AWST*, 2015, no. 6, pp. 27, 31–32.
36. Svitak A. Making Production. *AWST*, 2015, no. 12, p. 30.
37. Perspektivnye kosmicheskie sistemy sukhoputnykh voysk SShA [Advanced Space Systems of the US Land Forces]. *ZVO*, 2013, no. 5, pp. 53–54.
38. Minotavr idet na record [Minotaur Goes on a Record]. *Novosti kosmonavtiki*, 2014, no. 1, pp. 40–46.
39. Morring Fr. ORS-3: Mission Highlights Growing Cubesat Capability. *AWST*, 2013, no. 41, p. 18.
40. *AWST*, 2015, no. 8, p. 14.
41. Continental Constallation. *AWST*, 2012, no. 27, pp. 39–40.
42. LightSats. *AWST*, 2012, no. 29, p. 40.
43. Nanosputniki poletyat stroem [Nanosatellites will Fly in Formation]. *Novosti kosmonavtiki*, 2015, no. 3, p. 59.
44. Afanas'ev I. Tendentsiya, odnako… [The Trend, However ...]. *Novosti kosmonavtiki*, 2012, no. 5, pp. 30–32.
45. Samarskie ptitsy [Samara Birds]. *Novosti kosmonavtiki*, 2014, no. 3, pp. 22–23.