

МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ В ДИСТАНЦИОННОМ ЗОНДИРОВАНИИ ЗЕМЛИ

© 2019 г. И. Н. Гансвинд

Научный геоинформационный центр РАН, Москва, Россия

E-mail: ignik-1g@yandex.ru

Поступила в редакцию 18.04.2019 г.

Рассмотрены инновационные технические решения, которые привели к разработке малых космических аппаратов (МКА), новые возможности организации ДЗЗ на основе группировок малых спутников, позволившие удовлетворить потребность в систематической сплошной съемке с минимальным временным интервалом между просмотрами любого района при оправданных затратах. Целью работы является исследование возможностей, как и ограничений, связанных с использованием МКА в области ДЗЗ, анализ проблем проектирования, развертывания и эксплуатации группировок малых спутников, обеспечения пользователей оперативной информацией.

Ключевые слова: малые космические аппараты, орбитальные группировки, дистанционное зондирование Земли, использование МКА

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0205-96142019582-88>

ВВЕДЕНИЕ

Спутники на низких околоземных орбитах открыли возможность получать изображение любого участка планеты или объектов на ее поверхности, вести наблюдение суши, океана, атмосферы и криосферы в интересах наук о Земле. Дистанционное зондирование Земли прежде всего потребовалось видовой разведке, предъявившей к космической съемке требования детального разрешения на местности и точной привязки.

Первый коммерческий спутник ДЗЗ Ikonos, изготовленный корпорацией Lockheed Martin, имел разрешение в панхроматическом канале 0.81 м и срок активного существования 16 лет (1999–2015).

Источником финансирования для создания и запуска коммерческих аппаратов ДЗЗ второго поколения стало Управление геопространственной разведки NGA (National Geospatial–Intelligence Agency), заинтересованные в привлечении ресурсов коммерческих КА для решения задач обзорной видовой разведки. Спутники третьего поколения, World View-3, выведенный на солнечно-синхронную орбиту (ССО) в августе 2014, и World View-4 (ранее GeoEye-2), запущенный в ноябре 2016 г., обладали 30-сантиметровым пространственным разрешением.

Совершенствование съемочных систем и служебной аппаратуры было достигнуто за счет увеличения массы спутников: КА Ikonos весил 726 кг, масса World View-3 увеличилась до 2800 кг. Рост массы повлек за собой резкое удорожание стоимости проектов: общая стоимость спутника

сверхдетального наблюдения World View-4, с учетом затрат на запуск и страхование достигла 235 млн долларов. Как и у спутника World View, разрешение на местности аппаратуры World View-4 составляет в панхроматическом диапазоне 0.31 м и 1.24 м в мультиспектральных каналах. Общая задача этих спутников состоит в сборе обзорной информации по районам и объектам для планирования съемки аппаратурой более детального наблюдения военных КА класса Evolved Enhanced Crystal с пространственным разрешением около 0.15 м в перигейном участке орбиты с высотой 270 км.

Преобладание на мировом рынке геоданных от компаний, ориентированных преимущественно на запросы видовой разведки, объясняет истоки проблем современных интерфейсов, таких как Virtual Earth:

— длительность полного покрытия съемкой в несколько суток ограничивает возможность его систематического обновления, используя снимки достаточно высокого разрешения, кроме того, ими охвачены далеко не все районы Земли;

— одновременность съемки приводит к нестыковкам и не сочетаемости снимков в силу изменчивости местности и отличий в характеристиках съемочных систем;

— не обеспечен обзор любого района Земли с минимальным временным интервалом, если необходимы оперативная оценка обстановки и информационное обеспечение аварийно-спасательных работ в местах стихийных бедствий или природно-технической ситуации опасного характера.

ИЗМЕНЕНИЯ В КОСМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ, СВЯЗАННЫЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАЛЫХ СПУТНИКОВ

В одной из первых монографий, посвященных МКА (Helvajjan, Janson, 2009), малые космические аппараты определяются как спутники малой массы и размера, обычно с весом не более 500 кг. Отмечается, что малые спутники, такие как пико-спутники, нано-спутники, кубсаты используются в качестве платформ, малый вес которых позволяет запускать их в космос при стоимости в несколько миллионов долларов, что открывает некосмическим странам, компаниям и образовательным учреждениям доступ в космос с низкой величиной затрат.

Существует несколько различающихся вариантов классификации МКА. Согласно классификации Немецкого космического агентства (DLR) большими считаются КА с массой от 1000 кг и выше, к спутникам мини относят МКА с массой от 200 до 1000 кг, к спутникам микро — аппараты с массой от 50 до 200 кг, спутники нано занимают диапазон от 5 до 50 кг и спутники пико — до 5 кг. Шире распространена классификация, которая к спутникам среднего размера относит аппараты с массой от 500 до 1000 кг, к спутникам мини — находящиеся в диапазоне масс от 100 до 500 кг, спутники микро занимают промежуток от 10 до 100 кг, спутники нано имеют массу от 1 до 10 кг и спутники пико — те, что легче 1 кг. Последние три подкласса — микро, нано и пико с такими же различиями в массах рассматриваются в работе (Каширин, Глебанова, 2016), кроме того, в статье (Костев и др., 2016) упоминаются спутники фемто с массой меньше 0.1 кг и спутники пико — между 0.1 кг и 1 кг.

Отдельное место в становлении МКА занимает стандарт CubeSat типоразмера $10 \times 10 \times 10$ см с массой около 1 кг, который предложил Роберт Твиггс (Robert Twiggs), профессор Стэнфордского университета (Пало-Альто, шт. Калифорния, США), имея в виду, что каждый сможет создать собственный спутник нано. Стоимость создания «кубсата» оценивалась в 50 тыс. долларов с учетом целевой аппаратуры и запуска в составе дополнительного груза. Эндру Калман (E. Kalman), основатель фирмы Pumpkin Inc и консультант этого университета, помог Р. Твиггсу сократить время изготовления «кубсата» до нескольких месяцев в соответствии с учебным планом.

Компания Pumpkin Inc выпустила на рынок типовой набор CubeSatKit для сборки «кубсатов». Набор состоит из алюминиевого корпуса, модуля с материнской платой, памятью, стандартной

электроникой, программного обеспечения с использованием протоколов Space Plug-and-Play Architecture (SPA-1) и процессоров, прошедших испытания на вибростенде, в термо- и барокамере. Стоимость набора 7500 долларов. В 2010 г. Pumpkin Inc начала производить CubeSatKit 3U для спутников нано размера $10 \times 10 \times 34$ см и массой 4.5 кг. Модели 1U — 3U относятся к спутникам, занимающим в международной классификации по массе место между спутниками пико (до 1 кг) и спутниками микро (от 10 до 100 кг).

Стандартизация позволила сократить время разработки КА от замысла до готовности к запуску и затраты на производство. Отказ от комплектующих космического назначения и переход к электронике из каталогов (components-off-the-shelf), использование программируемых логических интегральных схем (ПЛИС) привели к снижению стоимости модели 1U CubeSat до 65–80 тыс. долларов, около половины из них приходится на услуги по запуску. При переходе от больших КА (с массой, превышающей 1000 кг) к спутникам нано затраты на один килограмм массы снижаются с 3.16 до 0.4 млн долларов (Каширин, Глебанова, 2016). Многократное снижение затрат сравнительно с большими спутниками по всему жизненному циклу проекта с учетом стоимости разработки, изготовления, испытаний и запуска позволило перейти к массовому производству МКА. Современные возможности проектирования и разработки МКА достигнуты благодаря преодолению технологических барьеров, созданию микроэлектроники и микросистем (Verhoeven et al., 2011; Севастьянов и др., 2009).

Летные испытания и отработка МКА проводятся много быстрее, чем с большими аппаратами. Запуск сразу многих однотипных аппаратов позволяет выявить весь спектр замечаний, поэтому в устранении недостатков и просчетов на передний план выходят летно-конструкторские испытания. Поиск оптимальной конструкции происходит за счет быстрого внедрения новых решений и их проверки на орбите. Невысокая стоимость производства МКА, доставки на орбиту позволяет использовать их для отработки и получения летной квалификации новых элементов аппаратов и систем, демонстрации перспективных технологий.

Индийское космическое агентство ISRO разработало универсальную спутниковую платформу нано для размещения различных экспериментальных полезных нагрузок в демонстрационных миссиях продолжительностью от полугода до года, платформа массой 5 кг может нести полезную нагрузку до 5 кг. Выведенный 15 февраля 2017 г. на

ССО носителем PSLV—XL C37 вместе с другими полезными нагрузками индийский спутник нано INS-1B массой 9.7 кг с научной аппаратурой для измерения количества нейтрального атомарного водорода в экзосфере Земли несет также экспериментальную камеру с оригами-оптикой. Линза типа «оригами» разработана в Университете Калифорнии в Сан-Диего (США). Она имеет диаметр 6 см, толщину всего 5 мм и дает высококачественное изображение сравнимое с тем, которое можно получить с помощью фотообъектива с фокусным расстоянием 38 мм и большой апертурой. Линза собирает узкой кольцевой областью свет, идущий по внешнему краю, затем лучи несколько раз отражаются в толще кристалла фторида кальция и собираются в центральной части, где размещена светочувствительная матрица. Обращенная к объекту съемки поверхность линзы (кроме кольца) представляет собой плоское зеркало, задняя поверхность состоит из кольцевых асферических отражателей.

Малые спутники прочно заняли свою нишу в области ДЗЗ. В 2016 г. выведены на орбиты 150 МКА, из них 59 — спутники ДЗЗ. Преобладают аппараты класса нано (1–10 кг), среди 106 которых 45 с аппаратурой ДЗЗ. Малых спутников размером микро, мини и среднего запущено 44, 15 из них имеют на борту оптико-электронную съемочную аппаратуру (Новости космонавтики, 2017).

Группировка компании Planet с миссией ежедневно получать изображение всей поверхности Земли при разрешении не хуже 5 м состоит из более 200 действующих спутников Dove (Flock), 13 спутников субметрового разрешения SkySat и находящейся под управлением компании Planet системы глобального сельскохозяйственного мониторинга RapidEye (Лебедев, Гансвинд, 2010).

Основой конструкции КА Flock и SkySat служит стандарт CubeSat. Наноспутник Flock, кубсат 3U, имеет при старте габариты 10×10×32 см и массу 5–6 кг. Целевая аппаратура, оптико-электронная система с телескопом по схеме Максудова—Кассегрена, диаметр апертуры которого 91 мм и фокусное расстояние 11460 мм, занимает 11/12 объема наноспутника (более 21%). Служебные системы: управления движением и ориентации, электропитания, управления бортовым комплексом и взаимодействием с наземной инфраструктурой занимают объем в 0.25 л. Рекордная плотность компоновки достигнута благодаря микроминиатюризации комплектующих, электроники и МЭМС (микроэлектромеханическим системам), а также схемным решениям: совместное использование ресурсов (процессоров, ПЛИС) разными системами при отсутствии бортовой кабельной сети

как таковой. Съемочная аппаратура предназначена для получения изображений в четырех спектральных каналах с разрешением 3.5 м (с высоты 400 км): красном (610–700 нм), зеленом (500–590 нм) и синем (420–530 нм), а также в ближнем ИК (770–900 нм). Съемка производится постоянно при пролете над сушей с частотой один раз в секунду. Детектор расположен на расстоянии 320 мм от мениска и вынесен в цилиндрическую «приставку» на противоположной от антенны стороне. Оптико-электронное преобразование выполняется одной ПЗС-матрицей с фильтром Байера и временной задержкой накопления. Формат файлов после наземной обработки GeoTIFF. Матрица имеет емкость 29 Мпикс. Радиометрическое разрешение 12 бит. Точность геопривязки около 20 м.

Управление спутниками в УКВ и S-диапазонах и прием изображений в X-диапазоне производятся на станциях приема с антеннами диаметром 5 м находящихся в Европе, США, Австралии и Новой Зеландии. Облачная обработка изображений выполняется на серверах Amazon Service с предоставлением услуг удаленного клиентского доступа к данным через онлайн-каналы при задержке меньше суток после съемки. Объем реально скачиваемых данных со спутников к весне 2017 г. достиг 4.5 терабайт в сутки. Необходимость обработки обновляемых изображений привела к новому подходу в работе с геоданными, объединившему возможности аэрокосмических, геоинформационных и сетевых технологий — геопорталов и интерфейсов. Создан проект, в рамках которого в сети интернет размещены спутниковые и аэрофото изображения всей земной поверхности, карты Google и Google Earth с использованием трехмерной модели при помощи интерфейса Direct X и Open GL.

Массово-геометрические характеристики кубсатов с небольшой нагрузкой на мидель при произвольной ориентации аппарата, неустойчивого в набегающем потоке приводят к существенному аэродинамическому торможению на высоте орбиты МКС, куда они доставляются автоматическим грузовым кораблем Cygnus для запуска в дальнейшем. Чтобы меньше тормозить, спутник должен быть ориентирован торцом корпуса и ребром солнечной батареи к потоку. Спутники Flock не оснащены двигательной установкой (ДУ), поэтому для поддержания структуры группировки была создана и отработана в полете методика модулирования аэродинамического сопротивления спутника при помощи изменения его ориентации. Разведение по фазе 28 МКА заняло 35 суток, при этом было уточнено значение коэффициентов аэродинамического сопротивления (Foster et al, 2016). Срок

баллистического существования большинства МКА, запущенных с МКС, не превышает одного года. Так, за 2014 год успешно выведен с МКС 51 спутник, однако, до конца года прекратили существование из-за торможения в атмосфере 28 КА серии Flock-1a. В 2015 году с МКС запущены 50 МКА пятью группами, но из них лишь 38 сохранились на этой высоте (Новости космонавтики, 2016).

Стандарт на форм-фактор CubeSat, возникший благодаря развитию микроминиатюризации и нанотехнологий позволил резко упростить и удешевить изготовление МКА классов «нано» и частично «микро». Стандартный интерфейс к ракете-носителю обеспечил возможность попутных запусков значительного числа кубсатов.

В августе 2018 г. на Конференции по малым спутникам в Логане, штат Юта, компания Aerospace Corporation предложила новый стандарт МКА класса «микро», названный Launch Unit (Launch-U) массой от 60 до 80 кг, размером 45×45×60 см. Требования стандарта относятся к расположению центра масс спутника, основной частоте его упругих колебаний, другим характеристикам и параметрам, необходимым для интеграции полезных нагрузок, запускаемых на ракете (Афанасьев, 2018).

Потребность в систематической сплошной съемке земной поверхности с минимальным временным интервалом между просмотрами любого района с приемлемыми затратами привела к коренным изменениям структуры космических средств ДЗЗ. Переход от съемки тех или иных объектов или территорий тяжелыми спутниками сверх детального разрешения к систематической глобальной съемке обеспечили многосоставные спутниковые группировки МКА на низких околоземных орбитах при поддержании структуры размещения спутников в нескольких орбитальных плоскостях и восполнении численности по истечении срока активного существования или схода аппарата с орбиты.

Попутный запуск ракетами среднего класса не отвечает требованию быстрого и гибкого доступа МКА на орбиты, поскольку сроки запуска попутных нагрузок определяются основной миссией ракеты-носителя. Создание легкого носителя позволит снизить затраты на выведение килограмма массы и удовлетворить растущий спрос на услуги запуска малых спутников. Существует устойчивая тенденция уменьшения массы космических аппаратов, по прогнозу Space Works до 2022 г. будет запущено порядка трех тысяч КА массой до 50 кг, что в разы больше ожидаемого количества пусков больших с массой превышающей 1000 кг (Костев и др., 2016).

Спутники SkySat размещены в четырех орбитальных плоскостях, разведение аппаратов по фазе в каждой из них и поддержание структуры группировки при эксплуатации достигается с помощью КДУ состоящей из четырех микродвигателей тягой по 1 Н, работающих на «зеленом» топливе LMP-1035. Масса спутника около 110 кг, габариты (в полете) 0.6×0.6×0.95 м. Созданная стартапом SkyBox Imaging (позднее Terra Bella) запатентованная съемочная аппаратура позволяет получать в панхроматическом диапазоне спектра изображения с разрешением 90 см при съемке в надир в четырех спектральных каналах со стандартной расстановкой RGB и ближнем ИК (разрешение на местности 2 м). Возможна также видеосъемка с разрешением 1.1 м в панхроматическом канале с частотой 30 кадров в секунду.

Масса полезной нагрузки составляет 23 кг, телескоп выполнен по схеме Ричи-Кретьена, не имеет сферической аберрации и комы, диаметр апертуры 35 см, фокусное расстояние 3.6 м. Гиперболические зеркала телескопа изготовлены из карбида кремния. Сборка фокальной плоскости состоит из трех детекторов — КМОП-матриц CIS2521F размером 2560×2160 пикселей фирмы Fairchild Imagin. Размер пикселя составляет 6.5 мкм. Матрицы расположены в шахматном порядке (с небольшим перекрытием). Верхняя половина каждой матрицы используется для съемки в панхроматическом диапазоне, нижняя — для мультиспектральной съемки; осуществляется многократная перекрывающаяся съемка целей (технология Pushframe), временная задержка с накоплением на высокоскоростные матрицы с последующей обработкой на земле. Радиометрическое разрешение 11 бит. Ширина полосы захвата 8 км. Обработка изображений на борту проводится по алгоритму JPEG 2000, дальнейшая обработка проводится на Земле (Хромов, 2014).

Для калибровки изображений со спутника SkySat-1 использовались:

- участок пустыни в Сомали размером 10×10 км, который сняли Peliades –1A и SkySat-1;
- кадр, снятый Peliades с наложением изображений, полученных с трех матриц SkySat;
- геопространственная коррекция изображений каждой матрицы проводится по сетке размером 17×17 точек;
- для калибровки сигналов отдельных фотоприемников использовали 1100 равномерно белых снимков облаков в полярных районах;
- для снятия частотно-контрастной характеристики используется мира NASA Stennis Space Center (Хромов, 2014).

Данные группировки компании Planet доступны пользователям через онлайн-сервис Planet-Platform. Сервис «Мониторинг чрезвычайных ситуаций и стихийных бедствий» позволяет:

- определить степень ущерба и оценить возможность доступа групп быстрого реагирования к необходимой инфраструктуре;
- принимать прямые меры реагирования на основе анализа данных субметрового разрешения;
- планировать восстановительные операции в ходе развития событий.

Основой стандартизации МКА форм-факторов «микро» и «мини», которые используются для создания группировок оперативно-го мониторинга быстротекающих явлений и состояния окружающей среды, служит разработка платформ, несущих служебные системы для обеспечения работы целевой аппаратуры малых спутников разных классов. Компания SSTL (Surrey Satellite Technology Ltd), ведущая в космической деятельности Великобритании, разработала ряд платформ. На базе платформы SSTL-300S1 с массой 218 кг построена группировка российских спутников ДЗЗ «Канопус» массой 465 кг, на платформе SSTL MicroSat-150 — спутники группировки сельскохозяйственного мониторинга Rapid Eye массой 154 кг, спутник Carbonite-2 с массой 100 кг построен на платформе SSTL-42.

Совместно с компанией UrtheCast компания SSTL создает группировку спутников ДЗЗ Urthe Daily, запуск которой запланирован на 2020 г. для получения мультиспектральных снимков высокого разрешения предназначенных для работы в геоаналитике. МКА создаются на платформе SSTL-250. Спектральные каналы подобраны так, чтобы быть сопоставимыми со снимками действующих КА Landsat-8, Sentinel 2, RapidEye и Delmos-1.

Проект Black Sky Global предусматривает формирование к 2020 г. орбитальной группировки из 60 спутников ДЗЗ для глобальной мультиспектральной съемки и видеосъемки с метровым пространственным разрешением. В состав группировки войдут два аппарата на полярных орбитах и 58 МКА в восьми плоскостях на наклонных орбитах в расчете на максимальную частоту пролета до 40–60 пролетов в сутки для районов с широтами между 55° с. ш. и 55° ю. ш., где проживает 90% населения Земли. Наземный комплекс будет располагать семнадцатью станциями приема и управления. Первый экспериментальный спутник Black Sky Pathfinder-1 разработан на базе платформы Sentry-400 с габаритами 0.84×0.98×0.41 м.

Малые спутники ДЗЗ сохранили двойное назначение. Американские военные твердо уверены, что в дальнейшем все орбитальные группировки будут строиться исключительно на основе МКА, причем их суммарные функциональные возможности будут выше, чем у всех существующих орбитальных группировок Пентагона, состоящих из крупных спутников последнего поколения находящихся на орбите сейчас (Черный, 2018).

Основные по стоимости предложения операторов низкоорбитальных спутниковых группировок связаны с предоставлением снимков земной поверхности, а также услуг связи (телефония, широкополосный интернет). Загрузка снимков со спутников должна происходить практически в реальном времени, к тому же существуют ограничения по бортовому хранению информации, как и ее воспроизведению. Поэтому необходим широкий канал связи для сброса информации и связь МКА с наземными пунктами в любой точке орбиты. Помимо расширения глобальной сети наземных станций разрабатываются облачные платформы, интегрирующие неиспользуемые мощности существующих пунктов приема и обработки информации.

Космическая деятельность России в области МКА еще не достигла уровня, отвечающего интересам использования возможностей малых спутников в таких направлениях, как:

- подготовка студентов к практической деятельности по проектированию, изготовлению, испытаниям, управлению полетами научно-образовательных спутников;
- оперативный мониторинг суши и океана для контроля чрезвычайных ситуаций;
- летная квалификация инновационной служебной и целевой аппаратуры с помощью демонстрационно-технологических спутников;
- расширение покрытия скоростным интернетом территории России;
- получение данных для оперативного прогноза погоды;
- космические исследования.

Потребность России в малых спутниках вызывает необходимость разработки отечественного стандарта МКА начиная с унифицированных платформ. Унифицированные платформы для определенных весовых классов МКА, как показывает опыт компании SSTL, играют ключевую роль в технологии малых спутников. В России в расчете на КА среднего размера РКЦ «Прогресс» создал платформу массой 330 кг для спутника ДЗЗ «Аист-2Д» массой 530 кг выведенного на ССО высотой 490 км, имеющего разрешение 1–2 м

и полосу захвата 39.6 км. Попутный запуск малых спутников ракетами среднего класса не отвечает требованию быстрого и гибкого доступа МКА в космос, поскольку сроки запуска попутных грузов и орбиты выведения определяются основной миссией ракеты-носителя.

Россия, располагая возможностями создания МКА для различных применений и средствами для их выведения на орбиты, упускает перспективы присутствия на растущем рынке МКА.

Разработка отечественного стандарта малых спутников, типовых платформ и создание ракет-носителей легкого класса типа «Союз 1ЛК» позволили бы войти в мировой рынок МКА и занять на нем достойное место.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Афанасьев И.* После кубсатов. Предложен новый стандарт для малых спутников // *Новости космонавтики.* 2018. № 09. Т. 28. С. 49.
- Каширин А.В., Глебанова И.И.* Анализ современного состояния рынка наноспутников как прорывной инновации и возможности его развития в России // *Молодой ученый.* 2016. № 7. Т. 1. С. 15–23.
- Костев Ю.В., Мезенова О.В., Позин А.Л., Шершаков В.М.* Система запуска малых космических аппаратов / *Изв. Вуз. Приборостроение.* 2016. Т. 59. № 6. С. 482–488.
- Лебедев В.В., Гансвинд И.Н.* Проектирование систем космического мониторинга/ М.: Наука. 2010. 388 с.
- Сводная таблица космических запусков, осуществленных в 2016 году // *Новости космонавтики.* 2017. № 3. Т. 27. С. 49–51.
- Сводная таблица космических запусков, осуществленных в 2017 году // *Новости космонавтики.* 2018. № 3. Т. 28. С. 22–25.
- Севастьянов Н.Н., Бранец В.Н., Панченко В.А., Казинский Н.В., Кондранин Т.В., Негодяев С.С.* Анализ современных возможностей создания малых космических аппаратов для дистанционного зондирования Земли // *Труды МФТИ.* 2009. Т. 1. № 3. С. 15–23.
- Хромов А.* Спутники ДЗЗ Sky Sat // DAURIA aerospace URL: www.Dauria.ru/blog/SkySat (дата обращения: 16.04.2019).
- Черный И.* Пентагон хочет свою низкоорбитальную сеть с “Блэджком” и малыми спутниками / *Новости космонавтики.* 2018. № 10. Т. 28. С. 52–54.
- Foster C., Hallam H., Manson J.* Orbit determination and Difference Drag Control of Planet Labs Cube Sat Constellation // AAS15–524.
- Helvajani H., Jansun S., editors* Small satellijes: Past, Present and Future/ The Aerospace Corporation Published by Aerospace Press, 2009. 800 p.
- Verhoeven C.J.M., Bentum M J., Monna G.L.E., Rotteveel J., Guo J.* On the orijin of satellite swarm / *Acta Astronautica,* 68 (7–8) (April –May 2011), pp.1392–1398.

Small Satellites in Remote Sensing of the Earth

I. N. Gansvind

Scientific Geoinformation Center RAS, Moscow, Russia

Innovative technological advances are considered as was used for brings for gave rise to small satellite, new opportunities for remote sensing based on multitudinous constellations of small satellites whereby it makes possible to meet the need for systematic continuous shooting with a minimum interval between views of any area of the Earth at reasonable cost. The aim of the work is to study possibilities and limitations associated with the use of small satellites in the field of remote sensing. This is an area of the study the consideration of design, deployment and operation problems of small satellites constellations The main problems to use of small satellites in Russian space activities identified and their overcoming in the development of the small satellites Russian standard is proposed.

Keywords: small satellites, small satellite constellations, remote sensing, satellite platform and target equipment

REFERENCES

- Afanas'ev I.* Posle kubsatov. Predlozhen novyi standart dlya malykh sputnikov [After the cube. Proposed a new standard for small satellites] // *Novosti kosmonavtiki.* 2018. № 09. V.28. P. 49. (In Russian).
- Chernyi I.* Pentagon khochet svoyu nizkoorbital'nyu set' s "Blekdzhekom" i malymi sputnikami [The Pentagon wants its low-orbit network with Blackjack and small satellites] // *Novosti kosmonavtiki,* 2018. № 10. V.28. P. 52–54. (In Russian).
- Foster C., Hallam H., Manson J.* Orbit determination and Difference Drag Control of Planet Labs Cube Sat Constellation // AAS15–524.
- Helvajani H., Jansun S., editors* Small satellijes: Past, Present and Future/ The Aerospace Corporation Published by Aerospace Press, 2009. 800 p.
- Kashirin A.V., Glebanova I.I.* Analiz sovremennogo sostoyaniya rynka наноспутников как прорывной инновации и возможности его развития в России [Analysis of the current state of the market of nanosatellites as a breakthrough

- innovation and the possibility of its development in Russia] // *Molodoi uchenyi*. 2016. № 7. V.1. P. 15–23. (In Russian).
- Khromov A.* Sputniki DZZ Sky Sat [Sky Sat Earth remote sensing satellites] // DAURIA aerospace URL: www.dauria.ru/blog/SkySat (access date: 16.04.2019). (In Russian).
- Kostev Yu.V., Mezenova O.V., Pozin A.L., Shershakov V.M.* Sistema zapuska malykh kosmicheskikh apparatov [Small spacecraft launch system] // *Izv. vuzov. Priborostroenie*. 2016. V. 59. № 6. P. 482–488. (In Russian).
- Lebedev V.V., Gansvind I.N.* Proektirovanie sistem kosmicheskogo monitoringa [Design of space monitoring systems]. M.: Nauka. 2010. 388 p. (In Russian).
- Sevast'yanov N.N., Branets V.N., Panchenko V.A., Kazinskii N.V., Kondranin T.V., Negodyaev S.S.* Analiz sovremennykh vozmozhnostei sozdaniya malykh kosmicheskikh apparatov dlya distantsionnogo zondi-rovaniya Zemli [Analysis of the modern possibilities of creating small spacecraft for remote sensing of the Earth] // *Trudy MFTI*. 2009. V.1. № 3. P. 15–23. (In Russian).
- Svodnaya tablitsa kosmicheskikh zapuskov, osushchestvlenykh v 2016 godu [Summary table of space launches carried out in 2016] // *Novosti kosmonavtiki*. 2017. № 3. V.27. P. 49–51. (In Russian).
- Svodnaya tablitsa kosmicheskikh zapuskov, osushchestvlenykh v 2017 godu [Summary table of space launches carried out in 2017] // *Novosti kosmonavtiki*. 2018. № 3. V.28. P. 22–25. (In Russian).
- Verhoeven C.J.M., Bentum M.J., Monna G.L.E., Rotteveel J., Guo J.* On the orijin of satellite swarm // *Acta Astronautica*. V. 68. № 7–8. P. 1392–1398.