

УДК 629.78

## ПРОЕКТ «ВУЛКАН»: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

*К.А. Боярчук*

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн РАН (ИЗМИРАН), Троицк Московской области

Первый искусственный спутник Земли был микроспутником по современным стандартам массой всего 80 кг. Дальнейшее развитие космической деятельности привело к созданию крупных космических аппаратов (КА) — целых космических лабораторий с массой до нескольких тонн. Следует отметить, что на первом этапе развития космонавтики в нашей стране вопросам миниатюризации космических аппаратов уделялось меньше внимания, чем за рубежом (в частности США). Такое положение в значительной степени объяснялось тем, что, во-первых, мы располагали ракетоносителями (РН) со значительно большей грузоподъемностью, чем у зарубежных средств выведения, и масса КА не выступала как ограничивающий параметр; во-вторых, уже тогда сказывалось отставание отечественной микроэлектроники для создания бортовых систем, что в целом вело к увеличению массы и габаритов КА. С другой стороны, в первые годы освоения космоса из-за дороговизны экспериментов каждый КА стремились сделать летающей лабораторией, что, естественно, приводило к увеличению полезной нагрузки. А стремление к увеличению срока активного существования и повышению надежности путем резервирования элементов также приводило к увеличению полной массы КА.

В связи с развитием элементной и технологической баз для создания реальных космических аппаратов в 90-х гг. появилась возможность создания новых концепций использования многоспутниковых систем. Основное достоинство малого КА — это ценовая привлекательность, которая дополняется реальной возможностью быстро продать или сдать их в аренду. Низкая цена малого КА позволяет также формировать целые спутниковые системы, которые могут осуществлять непрерывный мониторинг земной поверхности, а также решать вопросы телекоммуникации

и т. п. Глобальные изменения в мировой космонавтике приведут к тому, что все больше стран вступает в «космический клуб» для решения не только вопросов престижа, но и конкретных задач. Наступает эра прагматичного космоса — создание экономических средств, которые должны приносить экономический эффект и в сжатые сроки. Эта тенденция в ближайшее время приведет к тому, что членами клуба будут отдельные крупные компании, обладающие своим собственным космическим сегментом для решения конкретных внутренних задач.

Глобальные по своему применению космические технологии уже вышли из экспериментальной стадии и нашли широкое коммерческое применение. Следует отметить, что наиболее доходными сферами деятельности российской космонавтики на ближайшее десятилетие являются: развитие спутниковой связи и навигации (особенно для удаленных районов и транспорта), космических систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) (картографирование, исследование природных ресурсов, метеообеспечение, экологический мониторинг, природопользование, предупреждение о природных и техногенных катастрофах). Анализ тенденций развития космических технологий показывает, что одним из наиболее перспективных путей их совершенствования является создание и применение малых аппаратов и систем на их основе [1].

В настоящее время жесткая конкуренция космических товаров и услуг на мировом рынке заставляет его участников предоставлять свои возможности в кратчайшие сроки, качественно и по низким ценам без снижения целевой эффективности космических систем. Основным препятствием при продвижении на рынке являются высокая стоимость и продолжительность создания КА, средств выведения, а также высокая стоимость запусков и длительное время их подготовки. Одним из вариантов удешевления запусков, по мнению отечественных и зарубежных специалистов, является радикальное уменьшение массы КА.

Достижения последних 10 лет в области микроэлектроники и микроэлектромеханики позволили создавать малые КА, ни в чем не уступающие большим по целевым характеристикам. Общепринятой классификации спутников в соответствии с их массой пока не сложилось. Тем не менее, обобщив данные отечественных и зарубежных публикаций, можно представить следующую классификацию (в кг) [2]:

пикоспутники .....	0,1–1
наноспутники .....	1–10
микроспутники .....	10–100
мини-спутники .....	100–500
малые спутники .....	500–1000
средние спутники .....	1000–1500
большие спутники .....	> 1500

Как показывает анализ доступной информации, количество реализованных малых КА за период с 1981 по 2001 г. составило 540 аппаратов. Анализ тенденций в рамках развития малой космической техники показывает, что в ближайшей перспективе особое место в космических программах займут микро- и наноспутники (рис. 1).

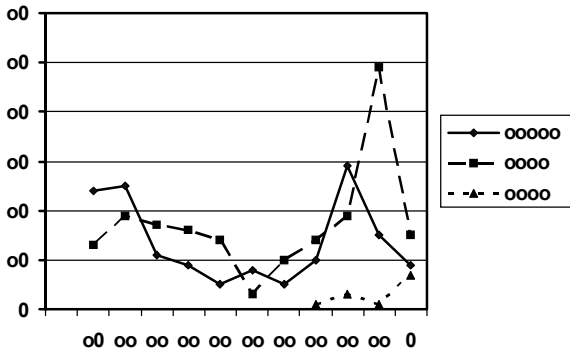


Рис. 1. Успешные запуски малых КА в мире за период 1990–2001 гг.

Рынок космических услуг быстро расширяется в связи с возрастающей потребностью в информации, необходимой для принятия решения в различных сферах хозяйственной деятельности, у государственных и частных учреждений. Например, согласно исследованию маркетинговой компании «Frost & Sullivan», проведенному в 1998 г. «World Commercial Remote Sensing Markets»<sup>1</sup>, всемирный коммерческий рынок космической информации непрерывно повышает годовые доходы (рис. 2). Годовые доходы

<sup>1</sup> Более полную информацию о рынках можно получить на сервере <http://www.frost.com>, но стоит отчет приблизительно 3,5 тыс. дол.

только от продажи данных с аппаратов космического базирования, как ожидается, увеличатся при составном ежегодном темпе роста в 28,6 % из суммарного 120 млн дол. в 1997 г. до 698 млн дол. в 2004 г. Рынок в течение 1998 г. составил 139,3 млн дол.

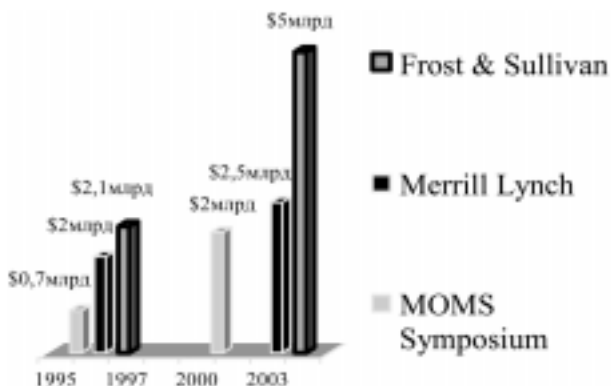


Рис. 2. Динамика рынка космической информации по данным независимых маркетинговых исследований

Однако реальная область использования космической информации на рынке составляет на сегодня лишь малую часть потенциальной. Коммерческое дистанционное зондирование Земли является перспективным и быстро развивающимся бизнесом. По прогнозам представителей компании SPOT Image (Système Probatoire d'Observation de la Terre), в ближайшие годы 65 % мирового рынка будет заполнено снимками с разрешением 1 м и выше, при этом выручка от продажи снимков увеличится с 85 млн дол. в 1999 г. до 1,5 млрд дол. в 2006 г. [3]. Необходимо отметить, что снимки SPOT на сегодня — самые продаваемые в мире. Этому способствуют и высокое качество этих данных, и четкость работы персонала фирмы SPOT Image, широкая сеть дистрибьюторов, и, конечно, доступность каталогов, основной доход компания получает от экспорта продукции, как это видно из диаграммы распределения ее продаж по географическим регионам (рис. 3).

Процесс коммерциализации программ дистанционного зондирования Земли из космоса становится сейчас все более и более массовым. Первыми признав несколько лет назад возможность

существования коммерческой компоненты ДЗ в космосе, США дали возможность реализоваться новым схемам взаимодействия индустрии, финансового и информационного рынков: обеспечение эксплуатации системы Landsat<sup>2</sup> и обработка данных, начиная с 1984 г., были переданы коммерческой компании Eosat<sup>3</sup> (ныне Space Imaging Corp.<sup>4</sup>), которая обрабатывает, архивирует и распространяет данные на коммерческой основе (рис. 4).

Однако весьма высокая стоимость традиционных тяжелых КА типа Landsat, SPOT и «Ресурс-ДК» и др. не позволяет осуществить развертывание необходимых спутниковых группировок, и, кроме того, они вряд ли смогут обеспечить быструю реакцию на запросы пользователей. Наиболее реальный выход из создавшегося положения виден в переходе от тяжелых КА к системам на основе малых КА.

В области телекоммуникаций (рис. 5) перспективными массовыми пользователями могут быть, во-первых, жители, нуждающиеся в связи в полярных широтах и в регионах с низкой плотностью населения. К таким регионам относятся большинство развивающихся стран или около 60% населения планеты. Во-вторых, это подвижные абоненты. Например, в целом мировая потребность в услуге по определению местоположения и передаче данных с транспортных средств с помощью низкоорбитальных систем связи на базе малых КА характеризуется следующими показателями (в млн шт.) [3]:

грузовики	1,8
трейлеры	3,9
морские суда	0,5
малые плавсредства	20,0
поиск угнанных автомобилей	160,0

Коммерциализация всех аспектов разработки, изготовления космических систем и обработки полученной информации с каждым годом усиливается. Ряд зарубежных компаний, например, Alcatel Space, SSTL, Ltd., OHB-Systems, Orbital Science Corp., Israel Aircraft Industries, TRW, Spectrum Astro в течение нескольких лет занимаются созданием мини- и микроспутников.

<sup>2</sup> Более подробную информацию о данных Landsat можно найти на сервере <http://Landsat.gsfc.nasa.gov>.

<sup>3</sup> Earth Observation Satellite Company.

<sup>4</sup> <http://www.spaceimaging.com>.

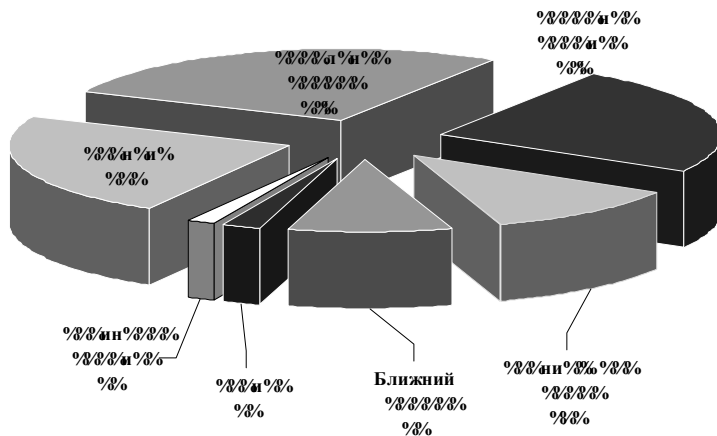


Рис. 3. Основные потребители компании SPOT Image, специализирующейся на экспорте продукции

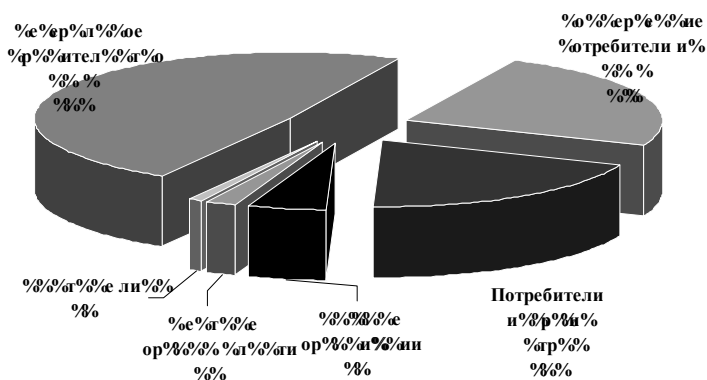
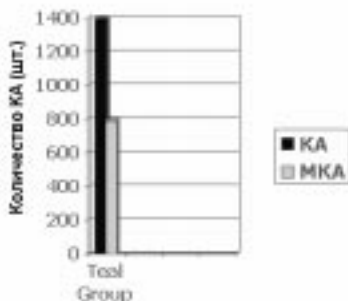


Рис. 4. Потенциальные потребители космической информации по данным компании Eosat (Space Imaging Corp.)

Во-первых, следует отметить компанию SSTL, Ltd. (Surrey Satellite Technology, Ltd.) (Великобритания, г. Гилфорд), которая работает в этой области уже 20 лет и обеспечивает полный технологический цикл. Сейчас компания продвигает свою разработку — космическую систему из пяти спутников для экологического мониторинга Disaster Monitoring Constellation.



*Рис. 5. Особое место в своей экономической значимости на мировом рынке занимают телекоммуникационные космические системы. Этот сегмент рынка по финансовому объему является в настоящее время доминирующим и характеризуется значением ~75 млрд дол., что составляет 75 % всего объема мирового космического рынка. По прогнозам компании Teal Group Corp., на ближайшие 10 лет планируются к запуску ~2150 КА, где 65 % — спутники связи, из них 57 % малых космических аппаратов — МКА*

Система космического мониторинга стихийных бедствий создается совместно космическими ведомствами Великобритании, Алжира, Таиланда, Вьетнама, Китая, Нигерии и Турции. Во-вторых, следует отметить германскую компанию ОНВ-System GmbH (г. Бремен), которую военное ведомство страны выбрало для создания национальной космической системы видовой разведки. Основными отличительными чертами этих фирм являются низкие накладные расходы и использование новейших технологий, что достигается системным подходом: части, которые надо обрабатывать механически, делают по заказам; элементы и подсистемы поставляют исполнители. Только сам проект разрабатывается фирмой. Причем, во многих разработках управлять системой может сам потребитель, используя Интернет. Эти

зарубежные проекты позволяют выявить основные тенденции в развитии аналогичных перспективных систем ведущих стран мира:

- переход от тяжелых платформ к аппаратам малого класса без снижения технических характеристик аппаратуры благодаря применению новых технологий;
- формирование многоспутниковых орбитальных группировок малых аппаратов в целях повышения частоты просмотра, а также надежности и живучести системы.

В настоящее время ведущими космическими странами в рамках прогнозно-целевых и проектно-прогнозных исследований активно прорабатываются концепции создания «кластерных» космических систем (созвездий) на базе микро- и наноспутников с распределенными функциями. Основными экономическими преимуществами космических систем с использованием малых КА являются:

- низкая стоимость разработки и создания;
- короткие сроки;
- возможность серийного производства;
- высокая готовность к модернизации проекта;
- невысокий стоимостной риск реализации проекта.

Все это позволяет создавать высокотехнологические дешевые быстрореализуемые и легко модернизируемые проекты космических систем, максимально учитывающие требования потенциальных потребителей (заказчиков). Низкие стоимость и риск реализации данных проектов делают их весьма привлекательными для заказчиков из развивающихся стран.

В Федеральной космической программе (ФПК) России на 2001–2005 гг., утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации № 288 от 30 марта 2000 г., создание малых КА и особенно научно-технического и технологического задела для них отнесено к приоритетным работам и представлено как целевое направление на предстоящую перспективу. Ожидается, что более широкое развитие и применение малых КА будет возможным в ФПК на период до 2010 г. на основе создаваемого задела.

В области развития средств связи планируется развитие работ «Гонец-М» (ранее в рамках ФКП на период до 2000 г. был



реализован лишь один космический комплекс низкоорбитальной системы спутниковой связи «Гонец» (КА «Гонец-Д1» № 1–6). В период 2001–2005 гг. было запланировано создание персональной системы спутниковой связи с использованием малогабаритных терминалов. Дальнейшее развитие системы на период до 2010 г. предусмотрено в проекте «Сигнал» — создание космического комплекса низкоорбитальной системы спутниковой связи: обеспечение глобальной телефонной связи, передачи данных, определение местоположения объектов [4].

В области дистанционного зондирования Земли основным считается проект «Система» — система малых и микроспутников (800, 300 и 100 кг) для высокооперативных наблюдений, решения задач природопользования, экологического мониторинга и метеорологии. Срок реализации этого проекта отнесен на 2010 г. Основные решаемые задачи [5]:

- рациональное природопользование;
- экологический мониторинг;
- тематическое картографирование;
- информационное обеспечение земельных реформ, инвентаризация земель, контроль землепользования;
- прогноз погоды, региональная метеорология.

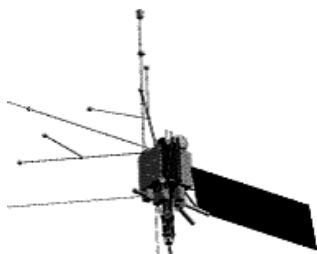
Однако в России, при наличии крупных государственных космических фирм и огромного опыта, нет специализированных организаций, подобных SSTL, Ltd. и OHB-Systems, способных реализовать подобные проекты на коммерческой основе. Существуют только отдельные разработки и проекты, реализуемые научными институтами и КБ.

Исключением является единственная программа по созданию многоспутниковой системы для прогноза и мониторинга природных и техногенных катастроф (тайфунов, ураганов, извержений вулканов и др.), выполняемая под научным руководством Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн Российской академии наук. Данная система создается в рамках Федеральной космической программы России на 2001–2005 гг. Заказчик — Российское авиационно-космическое агентство (в настоящее время Федеральное космическое агентство); головной исполнитель — НИИ Электромеханики НИИЭМ (г. Истра, Московская обл.), соисполнители — ИЗМИРАН и Государственный ракетный центр ГРЦ «КБ им. академика

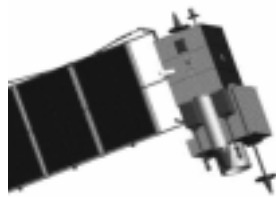
В.П. Макеева» (г. Миасс). Система строится на принципах использования прогрессивных научных методов. В перспективе подобные системы могут объединять все черты вышеописанных проектов и позволяют осуществлять:

- глобальное наблюдение за поверхностью Земли, проведение сбора, обработки и анализа информации о предвестниках и последствиях природных и техногенных катастроф в интересах составления краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных прогнозов, своевременное доведение информации до служб Государственного и коммерческого потребителя;
- спутниковую связь, которая зачастую является единственным возможным видом связи в случае предоставления услуг в труднодоступных и удаленных регионах; спутниковая система обеспечивает возможность передачи одной и той же информации неограниченному кругу пользователей без дополнительных затрат на трансляцию сигнала; в ряде случаев услуги спутниковых операторов по обеспечению широкополосной связи между сотами, между Интернет-провайдерами и между филиалами компании оказываются более привлекательными даже в пределах одного населенного пункта;
- оперативную информацию для медицинских нужд — так называемая «Телемедицина» — обеспечение доступности медицинской помощи населению в первую очередь на районном и областном уровне, в том числе в отдаленных и малонаселенных районах, в экстремальных условиях, чрезвычайных обстоятельствах при гарантированном соблюдении основных прав граждан.

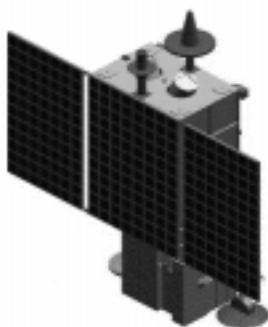
НИИЭМ в кооперации с ИЗМИРАН и ЦНИИМАШ разработал на базе универсальной космической платформы «Вулкан» серию малых КА для дистанционного зондирования Земли (рис. 6): МКА «Вулкан» — базовый аппарат системы с научной аппаратурой для исследования ионосферы, МКА «Вулкан-Астрогон» — аппарат с гиперспектральной аппаратурой на борту, МКА «Вулкан-Э» — аппарат для съемки поверхности с высоким разрешением и МКА «Канопус-Вулкан» — для исследования морской поверхности в различных диапазонах длин волн электромагнитного излучения [6].



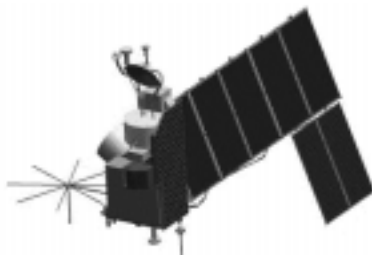
«Вулкан»



«Вулкан-Астрогон»



«Вулкан-Э»



«Канопус-Вулкан»

Рис. 6.

Реализация достоинств этих МКА невозможна без создания соответствующих недорогих и высоконадежных средств их выведения, а также космической инфраструктуры управления КА и технологий получения информации. Запуск малых КА на орбиты реализуется, как правило, тремя основными вариантами (табл. 1):

- одиночный, т. е. целевой запуск одного КА легким носителем;
- групповой — на одном носителе выводятся более двух КА;
- КА выводится в качестве дополнительной нагрузки к основному полезному грузу одним носителем.

Таблица 1

Статистика запусков всех типов МКА в мире с 1996 по 2001 г. [7]

Годы	Одиночные пуски (шт. МКА)	Групповые пуски (шт. МКА) <sup>5</sup>	Дополнительная нагрузка (шт. МКА)	Всего
1996	4	8	5	17
1997	7	64	2	73
1998	4	70	4	78
1999	5	58	6	69
2000	6	25	6	37
2001	5	4	2	11
<b>Итого:</b>	31	229	25	285

Для запуска МКА в этот период было задействовано почти 25 типов РН разных классов производства разных стран. Следует также отметить, что более 80% МКА запускались на коммерческой основе. В целом анализ рынка МКА показывает, что малые КА значительно расширяют диапазон возможностей по решению различных задач, снизив порог финансовой доступности космических исследований.

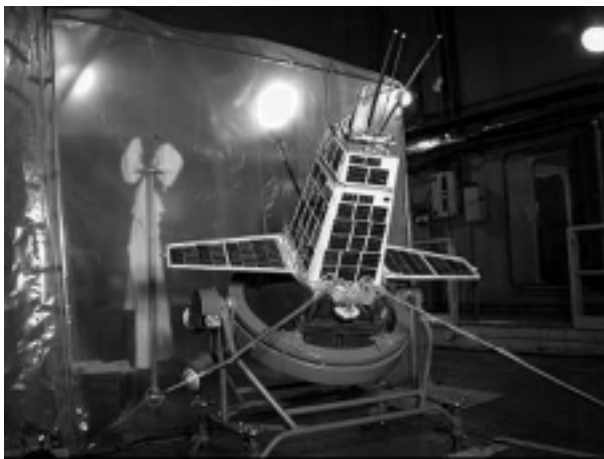
Зарубежные аналитики связывают рост числа запускаемых микро- и наноспутников с появлением на рынке новых относительно недорогих РН. В частности, такой подъем наблюдался в момент начала эксплуатации РН «Минотавр» ВВС США, российских конверсионных РН «Штиль» и «Старт-1», украинско-российской РН «Днепр». По мнению экспертов, указанная взаимосвязь является критически важной для участников рынка малых КА. Так, например, Британская компания Surrey Satellite Technology, Ltd. (SSTL) заключила контракт в 2002 г. с АО «Пусковые услуги» (Россия) на запуск до восьми наноспутников ракетами-носителями типа «Космос-3М». Семь из них являются элементами международной орбитальной группировки, призванной осуществлять контроль за стихийными бедствиями.

В числе первоочередных шагов по созданию системы «Вулкан» — пилотный проект «Компас-2», предусматривающий создание и запуск космического аппарата (проект ИЗМИРАН

<sup>5</sup> Резкое увеличение количества МКА в групповых запусках в 1997–1999 гг. связано с развертыванием в этот период таких систем связи, как Orbcomm, Iridium и Globalstar.

совместно с ГРЦ «КБ им. академика В.П. Макеева») (рис. 7), на котором будут испытаны и отработаны все основные элементы космической системы. В процессе этого пилотного проекта будут испытаны:

- научная и служебная аппаратура, режим работы и диапазоны измеряемых параметров;
- методика выделения предвестников событий и мониторинга последствий;
- методика сбора и обработки информации в режиме текущего времени.



*Рис. 7. Пилотный проект «Компас-2» (МК «Компас») был разработан ГРЦ «КБ им. академика В.П. Макеева» совместно с ИЗМИРАН. Первый запуск был осуществлен в декабре 2001 г., следующий намечен на 2005 г.*

### **Состав КА «Компас»**

КА «Компас» представляет собой космическую платформу, в состав которой входит набор служебных систем, с размещаемой на ее борту научной аппаратурой. Для отработки планируются два спутника с различным составом научной аппаратуры: один комплект (табл. 2) — для измерения электромагнитных характеристик, второй — для мультиспектрального зондирования поверхности Земли в видимом или ИК-диапазонах.

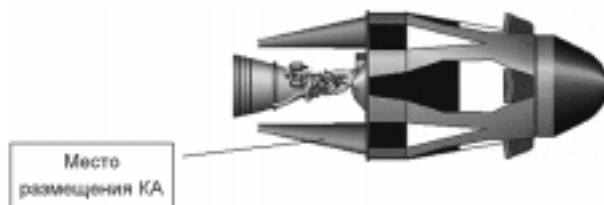
*Состав научной аппаратуры (НА) и измеряемые параметры  
1-го комплекта*

<b>Научная аппаратура</b>	<b>Изменяемые параметры</b>
GPS-приемник —навигационная аппаратура, ГИД-12Т Двухчастотный передатчик RBE-150/400 «Маяк»	Полное электронное содержание радиозатменным методом (радиотомография ионосферы)
Радиочастотный анализатор RFA	Спектр колебаний электромагнитного поля в диапазоне частот 100 кГц — 20 МГц
ОНЧ/КНЧ-волновой комплекс	Волновая форма электромагнитных колебаний по электрическим и магнитным компонентам в диапазоне частот 0,1 Гц — 5 кГц, а также спектральная плотность электромагнитных колебаний в диапазоне частот 1 Гц — 15 кГц

В одном из вариантов формирования космической системы для мониторинга природных и техногенных катастроф предусмотрен одновременный запуск двух космических аппаратов одним носителем (рис.8). Данный проект не имеет себе равных по стоимостным характеристикам. Для этого используются баллистические ракеты подводной лодки (БРПЛ). Переоборудование БРПЛ РСМ-54 (рис. 8) в так называемую РН «Штиль» осуществляется с минимальными добавками на технической позиции. Запуск РН «Штиль» производится со штатной подводной лодки. Полезная нагрузка размещается в специальной капсуле, которая обеспечивает защиту полезной нагрузки от внешних воздействий. Так, например, 7 июля 1998 г. из акватории Баренцева моря был осуществлен пуск РН «Штиль» с двумя германскими спутниками — TUBSAT-N и TUBSAT-N1 с атомной подводной лодки Северного флота из подводного положения [8].

Считается, что в перспективе за рубежом к широкой эксплуатации серийных микро-, нано- и пикоспутников приступят гражданские организации и ведомства из различных секторов экономики. Расширению рынка этих КА будут также способствовать программы национальных космических агентств различных государств. Повышенное внимание к созданию спутниковых систем

на основе малых КА и развитию микротехнологий проявляют развивающиеся страны. Наиболее полной реализации возможностей КА малых форм можно ожидать в период 2010–2020 гг.



*Рис. 8. Переоборудование головной части БРПЛ РСМ-54 в РН «Штиль». В более дорогой модификации РН «Штиль-2» полезная нагрузка размещается в специально разработанном отсеке на переднем шпангоуте под аэродинамическим обтекателем*

Точную величину рыночного спроса на малые КА дать затруднительно, однако можно считать, что при стоимости типового МКА ~10 млн дол. и потребности в ~1200 МКА величина спроса в ближайшие десять лет может превысить 10–12 млрд дол. При этом можно предполагать, что [9]:

- КА будут развиваться по двум направлениям: сверхтяжелые КА и КА малых форм;
- появление КА малых форм существенно «оживит» рынок легких средств выведения;
- развитие КА малых форм стимулирует развитие и совершенствование принципиально новых технологий, например, молекулярной и атомной нанотехнологии;
- один из перспективных рынков – развивающиеся страны, некоторые из которых уже создали национальные космические агентства;
- наиболее полной реализации возможностей микро-КА можно ожидать в период 2010–2020 гг.

Учитывая обширность российских территорий, эти возможности космических систем могут обеспечить необходимыми услугами государство и крупные корпорации в местах их присутствия. Реализация этой программы также даст возможность развития целой космической отрасли, специализирующейся на

создании как отдельных микроспутников различного предназначения, так и космических систем.

Настоящая работа выполнена в рамках Федеральной космической программы РФ; основными информационными материалами являлись исследования автора, открытая коммерческая информация маркетинговых агентств и материалы III Международной конференции-выставки «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке», проходившей в г. Королеве, Московской обл., 27–31 мая 2002 г.

### Литература

1. *Анфимов Н.А.* Тенденции развития космической техники на современном этапе // III Междунар. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке» . 27–31 мая 2002. г. Королев, Моск. обл. ЦНИИМАШ, 2002. Кн. 1. С. 5–10.
2. *Лукьященко В.И., Саульский В.К., Шучев В.А., Смирнов В.В.* Международные тенденции создания и эксплуатации малых космических аппаратов // III Междунар. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке» . 27–31 мая 2002. г. Королев, Моск. обл. ЦНИИМАШ, 2002. Кн. 1. С. 332–348.
3. *Бобылев В.В., Кузьминов В.К., Кучеров С.А., Хегай В.М.* Перспективы развития МКА с учетом потребностей рынка // III Междунар. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке» . 27–31 мая 2002. г. Королев, Моск. обл. ЦНИИМАШ, 2002. Кн. 1. С. 362–368.
4. *Алавердов В.В., Бодин Б.В., Головкин А.В., Голубев Г.Д., Лукьященко В.И., Мальченко А.Н.* Место МКА в решении задач Федеральной космической программы России // III Междунар. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке» . 27–31 мая 2002. г. Королев, Моск. обл. ЦНИИМАШ, 2002. Кн. 1. С. 16–27.
5. *Макриденко Л.А., Викторов А.С., Волков С.Н., Лукьященко В.И., Успенский Г.Н., Саульский В.К., Асташкин А.А.* Существующие и перспективные разработки в области малых спутников ДЗЗ // III Междунар. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке».



- 27–31 мая 2002. г. Королев, Моск. обл. ЦНИИМАШ, 2002. Кн. 1. С. 47–51.
6. *Boyarchuk K.A., Dokukin V.S., Oraevsky V.N., Salikhov R.S., Vladimirov A.V., Sennik N.A., Danilkin V.A., Sleta A.V.* Small Satellites Constellation for Monitoring of Natural and Man-made Disasters // Proc. Intern. Conf. on Recent Advances in Space Technologies RAST. Istanbul, Turkey. Nov. 20–22, 2003.
  7. *Бобылев В.В., Кузьминов В.К., Кучеров С.А., Соловьева А.П.* Анализ основных особенностей рынка малых КА // III Междунар. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке» . 27–31 мая 2002. г. Королев, Моск. обл. ЦНИИМАШ, 2002. Кн. 1. С. 349–361.
  8. *Сытый Г.Г., Козлов С.В., Усолкин Ю.Ю., Таращук Н.В.* Создание ракетно-космических комплексов – новое направление разработок // III Междунар. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке» . 27–31 мая 2002. г. Королев, Моск. обл. ЦНИИМАШ, 2002. Кн. 1. С. 420–426.
  9. *Багно В.И., Разумовский Ю.К., Зайцев И.В.* Анализ современных тенденций и направлений развития малых космических аппаратов за рубежом // III Междунар. конф.-выставка «Малые спутники. Новые технологии, миниатюризация. Области эффективного применения в XXI веке» . 27–31 мая 2002. г. Королев, Моск. обл. ЦНИИМАШ, 2002. Кн. 1. С. 381–387.