

## Микро- и нанокосмические аппараты —



УДК 629.78

Понимая всю сложность решения проблемы создания микро- и наноспутников в нашей стране, Институт экономических стратегий РАН совместно с МНИИПУ приняли решение сформировать большое экспертное мнение относительно необходимости скорейшего развития этого направления, а затем сформулировать обоснованные предложения. С этой целью был организован и проведен научно-практический семинар на тему «Микро- и нанокосмические аппараты — проблемы и перспективы создания и применения», прошедший в Москве 21 декабря 2017 г. На заседании было принято решение подготовить документ на основе форсайт-исследования по упомянутой тематике. Он может стать тем инструментом, который позволит создать благоприятную среду для реализации проектов и достижения намеченных целей.

*Ключевые слова*

Форсайт-исследование, микро- и нанокосмические аппараты, космос, ракетно-космическая техника, спутники.

## проблемы и перспективы создания и применения



### «Потом» настало

**А.И. Агеев,**  
генеральный директор Института  
экономических стратегий РАН и Между-  
народного научно-исследовательского  
института проблем управления,  
доктор экономических наук, профессор

В статье «Концентрация ключевых факторов конкурентоспособности российского государства в борьбе с доминированием в стратегических сферах бизнеса и мировой экономики» [1] показано военное значение космоса, приведены данные о военных программах, которые реализуют практически все ведущие космические державы. И второй принципиально важный момент — показано, что и коммерческие сферы также имеют стратегическое и военное значение, потому что любая космическая станция легко превращается в космическое средство, имеющее двойное назначение, а не только сугубо военное. В 500 млрд долл. космического рынка, который сформируется уже в ближайшие годы, не менее 200 млрд будет приходиться на спутники той или иной разновидности. Все, что касается микро-, наноспутников и вообще всех спутниковых группировок нового поколения, это магистральный путь развития космоса.

Многие годы, по крайней мере четверть века, к космосу относились, как мне кажется,

### Micro- and Nano-Spacecrafts — Problems and Prospects of Creation and Application

Realizing the whole complexity of the problem of creating micro- and nano-satellites in our country, the RAS Institute for Economic Strategies jointly with the International Research Institute of Management Problems (MNIIPU) decided to form a large expert opinion on the need for this direction quick development, and then to formulate well-substantiated proposals. To this end, a scientific and practical seminar on “Micro- and nano-space devices — problems and perspectives of creation and application” was organized and held in Moscow on December 21, 2017. At the meeting it was decided to prepare a document based on the foresight research on the above-mentioned subjects. It can become a tool that will create a favorable environment for implementing projects and achieving the goals.

*Keywords*

Foresight research, micro- and nano-spacecrafts, space, rocket and space equipment, satellites.

неправильно. Во вступительном слове в наш журнал «Космос как НАКАЗание» [2] отмечалось, что космос стал для государства не источником триумфа, а головной болью, обузой, обременением, досадным препятствием на пути к рыночному триумфу. Высшим чиновникам приходилось им заниматься вопреки их желанию и их принципам. России была уготована сырьевая участь, а сырьевая Россия могла обойтись и без космоса. Однако та, космическая, Россия не умирала, а работала, выполняя вымученные, как кость с барского стола, задания, создавала товары народного потребле-

ния, чтобы выжить, прорывалась на международные рынки без шума, что-то уберегала от разграбления, что-то продолжала мастерить и конструировать на всякий случай, на потом, когда это потом все-таки наступит.

И это «потом» настало! Теперь, при всех проблемах, которые есть, нужно создавать проекты, формулировать стратегии продвижения. Если где-то в руководящих инстанциях нет должного понимания, значит, нужно это понимание формировать со всей нашей экспертной настойчивостью.

### Многоспутниковые системы — новое направление развития ракетно-космической техники

**В.В. Хартов,**

*генеральный конструктор автоматических космических систем и комплексов, заместитель генерального директора ФГУП ЦНИИмаш, доктор технических наук*

Спутники, начиная с 1957 г., прошли определенный путь развития. Первый этап на этом пути — создание и выведение спутника на околоземную орбиту, когда сам факт наличия спутника на орбите рассматривался как огромное достижение. На втором этапе спутники стали решать отдельные полезные задачи. А третий этап — это этап их практического (прикладного, коммерческого, военного) применения. При этом возникают уже другие требования. Например, для реализации коммерческой системы необходимо, чтобы все затраты вписывались в бизнес-план, срок службы спутника позволял бы не только погасить затраты, но и получить прибыль и т.п. С этой точки зрения микро- и наноспутники находятся на втором этапе.

Учитывая особенность малых спутников, можно констатировать, что путь к их прикладному применению — это путь к многоспутниковости. В этом случае они в самом деле станут востребованными. Например, при многоспутниковости возникают новые возможности для решения задач связи — если спутники летают низко, есть целый ряд плюсов с точки зрения клиента: меньше задержки при передаче информации, пакеты информации быстрее доставляются, аппаратура абонента становится компактной. При решении задач дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) свои требования: нужно, чтобы период контроля любой зоны земной поверхности был минимальным.

Решения, наработанные в рамках первых двух этапов, доказали, что можно создать малые спутники, в том числе массой в несколько килограммов. Это вызывает психологическую ломку у тех, кто привык делать многотонные спутники. В настоящее время очень многие фирмы, включая российские, заинтересованы в создании многоспутниковых систем, которые вышли бы на рынок.

С коммерческой точки зрения надо решить несколько технологических задач. Фирма *OneWeb*, которая сегодня является наиболее продвинутой в этой сфере, ставит задачу создать орбитальную группировку первого этапа из 640 спутников связи. Уже заказан 21 пуск ракеты-носителя «Союз» с разгонным блоком «Фрегат», деньги выплачены. *Airbus* делает первые десять прототипов КА, которые должны быть запущены в 2018 г. с полигона Куру с помощью наших средств выведения, а до 2020 г. планируется сделать еще 20 пусков. По 32 спутника за один раз должны выводиться на орбиту высотой примерно 800 километров, дальше они все идут своим ходом на орбиту высотой 1200 километров. Чтобы делать такое количество спутников, во Флориде строится специальная фабрика, поскольку никакая логистика привычных спутниковых производств не сможет добиться, чтобы в день выпускали три спутника. А задача стоит именно такая: делать не менее трех спутников в день. Это одно решение. Второе: технологии должны позволять реализовать КА массой порядка 150 килограммов. И третье: началь-





А.И. Агеев



В.В. Хартов

ная планка стоимости создания таких КА должна была составлять 350 тысяч долларов. Это порядок совсем другой, чем привычная стоимость спутника для промышленного космоса. Понятно, что университетский спутник может быть дешевым, но при решении практических задач микро(нано)спутник должен работать несколько лет и выполнять все заданные функции. И хотя это очень низкая цена, ее надо обеспечить. Иначе говоря, создание многоспутниковых систем может быть выгодно коммерчески, если:

- а) спутники будут иметь малую массу (будут легкими), иначе затраты на выведение станут очень велики;
- б) спутники будут дешевыми, тогда суммарная стоимость группировки не будет выходить за разумные рамки;
- в) спутники будут спроектированы так, чтобы их можно было делать по три штуки в день.

Эти решения сейчас пытается реализовать *OneWeb*, которая активно взялась за реализацию своего проекта, подключила и *Intelsat*, и *Hughes Network Systems*, и *Qualcomm*, специализирующуюся на начинке смартфонов. В результате может быть создана абонентская аппаратура размером приблизительно со смартфон, она свяжется со спутником, а спутник — с наземной станцией.

Следующий этап развития многоспутниковых систем — превращение спутниковой группировки в сеть. Мы привыкли управлять спутниками в телекомандном режиме, когда летает дорогостоящий большой спутник, а с Земли закладывают программу и постоянно контролируют телеметрию. Это хорошо, когда спутник один или их два, наконец, десять. Но в случае управления космическими аппаратами системы ГЛОНАСС, которых примерно 30, функционирование наземного комплекса управления становится серьезной проблемой. А если спутников 640? В планах *OneWeb* создание более

двух тысяч спутников. Как они будут ими управлять, пока нет никаких данных. Если же говорить о полноценной сети большого количества спутников, то эта сеть должна обладать свойствами самоорганизации, то есть должна быть самодостаточной, обладать свойствами интеллекта, решать вопросы распределения задач, маршрутизации, определения взаимного положения, управления положением в Сети. Одна из сложных задач в любой большой группировке — сохранение взаимного положения спутников, чтобы эта группировка была группировкой с баллистической точки зрения. Это двигатели коррекции, расход рабочего тела, энергии. Для малых спутников создание эффективных двигателей, которые бы позволяли в течение длительного времени обеспечить выполнение заявленных требований, — непростая задача. Это один из ключевых вопросов.

С точки зрения сетевой структуры, когда спутники должны образовывать сеть, возникает, конечно, масса технологий, которые надо развивать. Это взаимное определение местоположения, выработка оптимальных решений по восстановлению орбитальной группировки из-за ее деградации. Причем маневры эти должны быть оптимальными, максимально эффективными как с точки зрения расхода рабочего тела, так и с точки зрения решения целевой задачи. Маршрутизация, автономное интеллектуальное существование — чрезвычайно важная, интересная тема, как и межспутниковая связь, и надо найти оптимум между мощностью межспутниковой связи и степенью, глубиной обработки информации на каждом борту. Это совокупность методов, задач, которые надо решить, чтобы перейти к полноценному применению многоспутниковых систем, образующих достаточно разумную сеть вокруг Земли.

Сейчас в технике существует еще один тренд, связанный с возможностью оптимально распределять на спутнике ресурсы, в частности, полностью программно определяемые радиотехнические системы. Например, представители одной из ведущих европейских фирм высказали следующую мысль (разговор шел о спутниках связи): наши спутники сегодня летают столько, сколько надо, но существует две проблемы. Во-первых, идет моральное старение, меняются протоколы, требования клиентов и прочее, поэтому мы сейчас все силы бросаем на то, чтобы сделать программно определяемые полезные нагрузки, когда высокочастотный сигнал используется в первом контуре, а дальше идет

цифра. Тогда за счет программного обеспечения можно очень сильно менять функции такой системы, она в один момент может делать одно, в другой — другое. Расширять возникающие проблемы можно в полете за счет доработки борта, используя соответствующее программное обеспечение. Во-вторых, ограничены запасы рабочего тела на борту спутника, поэтому в мире активно развиваются работы по системе заправки спутников в космосе.

Безусловно, у многоспутниковых систем есть еще один плюс — в процесс их создания и использования могут включаться новые игроки, новые участники. Традиционные фирмы заняты своим привычным делом, у них уже есть государственные и коммерческие заказы и осво-

енные технологии, а здесь выход в другую плоскость — двигатели, миниатюрные датчики, маховики, приводы. И все это несколько другого уровня, чем то, что применяется для больших спутников, но в то же время позволяет сделать объект, который можно использовать в прикладных целях. Безусловно, сохраняется роль малых спутников как учебных спутников, на них хорошо учить новые поколения инженеров, там уже совсем другие допустимые риски, другая задача. Там должна быть новизна.

Тема, безусловно, крайне актуальная. Следующий этап развития космоса — это именно многоспутниковые разумные околоземные сети. Поэтому, не теряя времени, надо начинать активно работать в рассматриваемом здесь направлении.

### Основные направления применения малых космических аппаратов для научных исследований

**А.А. Петрукович,**

*директор Института космических исследований РАН (избран 29 мая 2018 г.),  
член-корреспондент РАН*

Рассмотрим график (рис. 1), на котором представлена масса всех спутников, запущенных с 1975 г. для исследования ионо- и магнитосферы. По вертикали в логарифмической шкале представлена масса спутников в килограммах. И вот что интересно: масса магнитосферных спутников — это зеленые точки, расположенные примерно горизонтально, — варьирует где-то в пределах от двухсот до тысячи килограммов, а вот масса спутников для исследования ионосферы снижается с линейным трендом. Этот линейный тренд упирается в ноль в 2015 г.

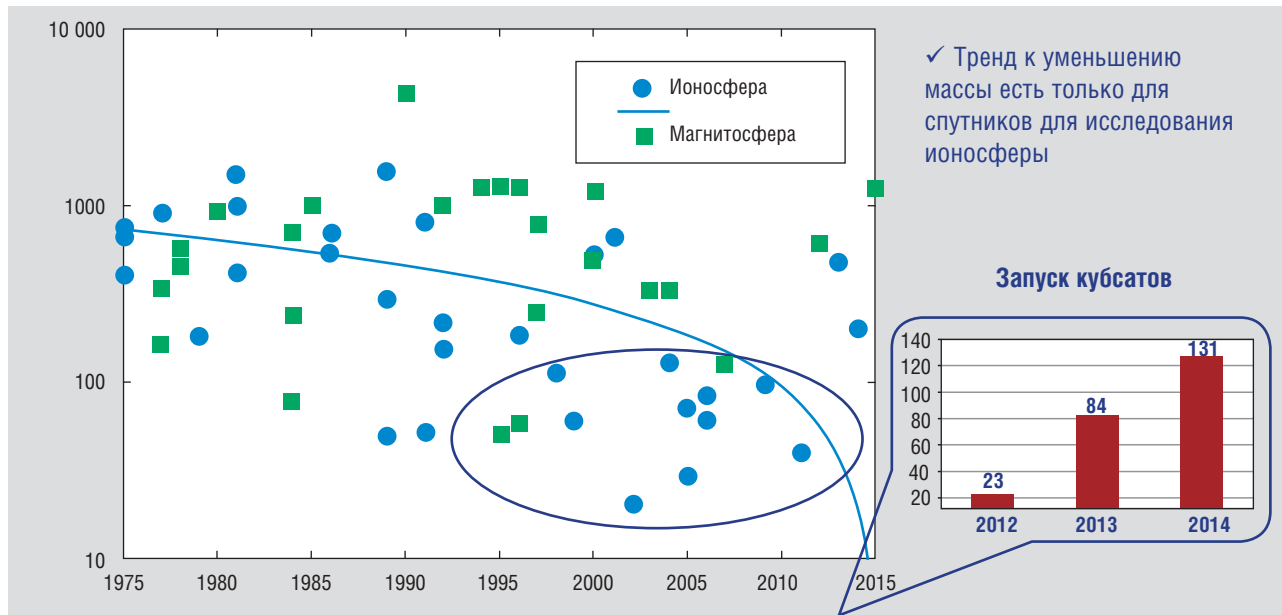
Иначе говоря, это уже в некотором смысле форсайт, определяющий, когда должны появиться кубсаты. На этом графике кубсатов еще нет. И действительно с 2012 г. пошли массовые запуски, а в 2014 г. у нас количество кубсатов увеличилось до сотни, то есть в принципе, безусловно, малые спутники — это нишевая технология, которая где-то применяется, где-то нет, и в исследовании ионосферы она активно используется.

Если мы говорим об ионосфере, то здесь у нас спутники есть и по несколько сотен килограммов. Как правило, сюда уместается уже полный комплект приборов, поскольку на самом деле

в ионосфере проводить измерения немного легче. А научная отдача такого проекта — несколько сотен статей за пять — десять лет эксплуатации. Количество научных публикаций — это стандартный способ измерения научной востребованности. В принципе это проекты немного подешевле и попроще, и науки тут поменьше по количеству статей. При исследовании ионосферы используются и микроспутники, то есть спутники массой меньше 100 килограммов. Как правило, при этом решается достаточно узкая научная задача, стоит несколько приборов.

За последние десять лет было запущено примерно 15 кубсатов по ионосферной тематике и два-три больших спутника. Иначе говоря, практически вся наша ионосферная наука сейчас использует кубсаты, решавшие достаточно сложные научные задачи, и это отражается в научных статьях. Практика показывает, что один кубсат — это примерно пять статей. Значит, если мы хотим получить тысячу научных статей отдачи, нам надо запустить примерно 200 кубсатов. Ясно, что это невозможно, поэтому кубсаты предназначены для нишевых задач, где можно добиться каких-то прорывных результатов путем тщательного подбора целей.

Масса всех спутников, запущенных с 1975 г. для исследования ионо- и магнитосферы



Как все-таки добиться научной отдачи кубсата? Прежде всего надо подбирать уникальные задачи. Первая уникальная задача — это работа на нестабильных орбитах. Например, вы запускаете с МКС спутник, время его падения на Землю составляет примерно три месяца. Использовать на этих высотах большой спутник невыгодно, он упадет, практически не отработав свою стоимость, а вот кубсат вполне можно использовать. Малое время существования компенсируется массовым запуском и относительно низкой стоимостью. Здесь фактически можно организовать краудсорсинговый проект.

Еще одна уникальная задача для группировки спутников — томографические измерения мелкомасштабных вариаций ионосферы. Например, мы хотим изучать полярное сияние, чья структура имеет пространственный размер порядка километра. Что происходит внутри, никто не знает, с Земли мы можем снять порядка десяти километров. Чтобы определить такую нестационарную многомерную структуру с характерными масштабами расстояния порядка единиц или десятка километров, надо залететь туда, желательно роением спутников. Такой рой живет несколько месяцев, потом распадается, гибнет, но за это время он успевает несколько раз пройти через авроральную дугу и получить нужную информацию.

Интересно, что у нас кубсаты немножко оттесняют микроспутники. Хотя мы все говорим, что

микроспутники размерностью 50, 100 килограммов — это продукт, который позволяет нам удешевить технологию, разработку, но опыт показывает, что на самом деле практически все микроспутники — штучный продукт. Один-два запустили — и все, через три года еще раз запустили — и все, сдулись. Вот если Airbus действительно запустит 600 спутников, это будет практически первый случай, когда спутник массой 100 кг ушел в серию. Поэтому, когда мы перешли от малых спутников к микроспутникам, у нас не случилось технологического прорыва, все равно это осталось единственным продуктом. Технологический прорыв произошел, когда мы перешли к серии, и он случился именно с кубсатами (порядка 10 килограммов).

Эти технологии позволяют создать кубсаты формата 6U, 12U (это 15–25 килограммов), которые в принципе могут иметь функциональность, сравнимую со спутником массой 100 килограммов, сделанным по стандартной компоновке.

Если мы хотим получить передовые научные знания с помощью микро- и наноспутников, то должны четко формулировать научную задачу и это прежде всего относится к научно-образовательным спутникам.

У нас сейчас меняется парадигма космической науки, сегодня ситуация такая, что спут-

ник живет 15 лет, стоит миллиард, мы его делаем десять лет, соответственно, за свою жизнь научный сотрудник может участвовать в лучшем случае в создании двух спутников, поставить два эксперимента. Права на ошибку у него практически нет, конкуренция настолько велика, что если его выкинут из графика, он больше туда не вернется.

Кубсаты, или микроспутники, позволяют решить задачу за пять лет. Можно быстро сделать спутник, вывести его на орбиту, проверить, что и как работает, улучшить немножко, запустить второй раз и получить данные с учетом проб и ошибок. Это то, что наши американские кол-

леги пропагандируют как некую парадигму эксперимента.

Последнее, на что я хотел еще обратить внимание, отвлекаясь от чисто научных спутников, — это оздоравливающее влияние на отрасль. Появление микроспутников и наноспутников заставило большие компании повышать конкурентоспособность, снижать цены, уменьшать вес. И это оздоравливающее влияние на отрасль, я совершенно уверен, гораздо важнее, чем непосредственные выгоды от каждого конкретного проекта. Потому что большие корпорации во всем мире сейчас начали двигаться быстрее, поскольку чувствуют, что могут потерять рынок.

### Предложения по созданию цифровой платформы для группового управления малыми космическими аппаратами

**П.О. Скобелев,**

*заведующий кафедрой «Электронные системы и информационная безопасность» Самарского государственного технического университета, доктор технических наук*

На рис. 2 показано, как мы из эры персональных компьютеров потихоньку идем в Интернет, добрались до коммуникационного Интернета и сейчас уже не представляем себе жизни без сотовых телефонов. А дальше мы попадаем в зону Интернета семантического, где есть понимание содержания страничек в Интернете. Ну а дальше идем к умному Интернету вещей. С ростом объемов информации, сложности задач, если мы не будем строить распределенные системы, в которых за каждый блок отвечают интеллекты, способные к взаимодействию и самоорганизации, то будем, как сейчас говорят, захлебываться той информацией, которую получаем.

В течение длительного времени, скоро уже более двадцати лет, мы занимаемся мультиагентными

технологиями, то есть технологиями, которые приходят на смену объектному программированию, где впервые появляется автономный объект. Это некая маленькая программка, ее нельзя вызвать, ее можно только попросить, и она, имея обязательства перед другими программными объектами, будет с ними передоговариваться для того, чтобы выполнить ваш запрос или дать предложение. И вот на этой парадигме, парадигме самоорганизующейся системы, начинают строить сложные системы для решения задач в разных областях. Начали также смотреть, можно ли таким образом управлять группировкой, когда за каждый космический аппарат, за каждую наземную станцию, за каждую задачу отвечает свой программный объект, имеющий возможность принимать решения и эти решения согласовывать со своими соседями. И то же самое мы должны научиться строить в информационных интеллектуальных системах.

Что это дает, стоит ли игра свеч? На наш взгляд, стоит, так как это дает возможность за счет кооперации повышать эффективность, обеспечивать высокую автономность, то есть система может сама принимать решения, адаптироваться к среде и реагировать на разные ситуации. Возникают гибкость, устойчивость, ну а если добавить еще и обучаемость, то в общем-то строится новая модель интеллекта, в которой, скорее всего, будет умный Интернет вещей, где каждая вещь (объект)



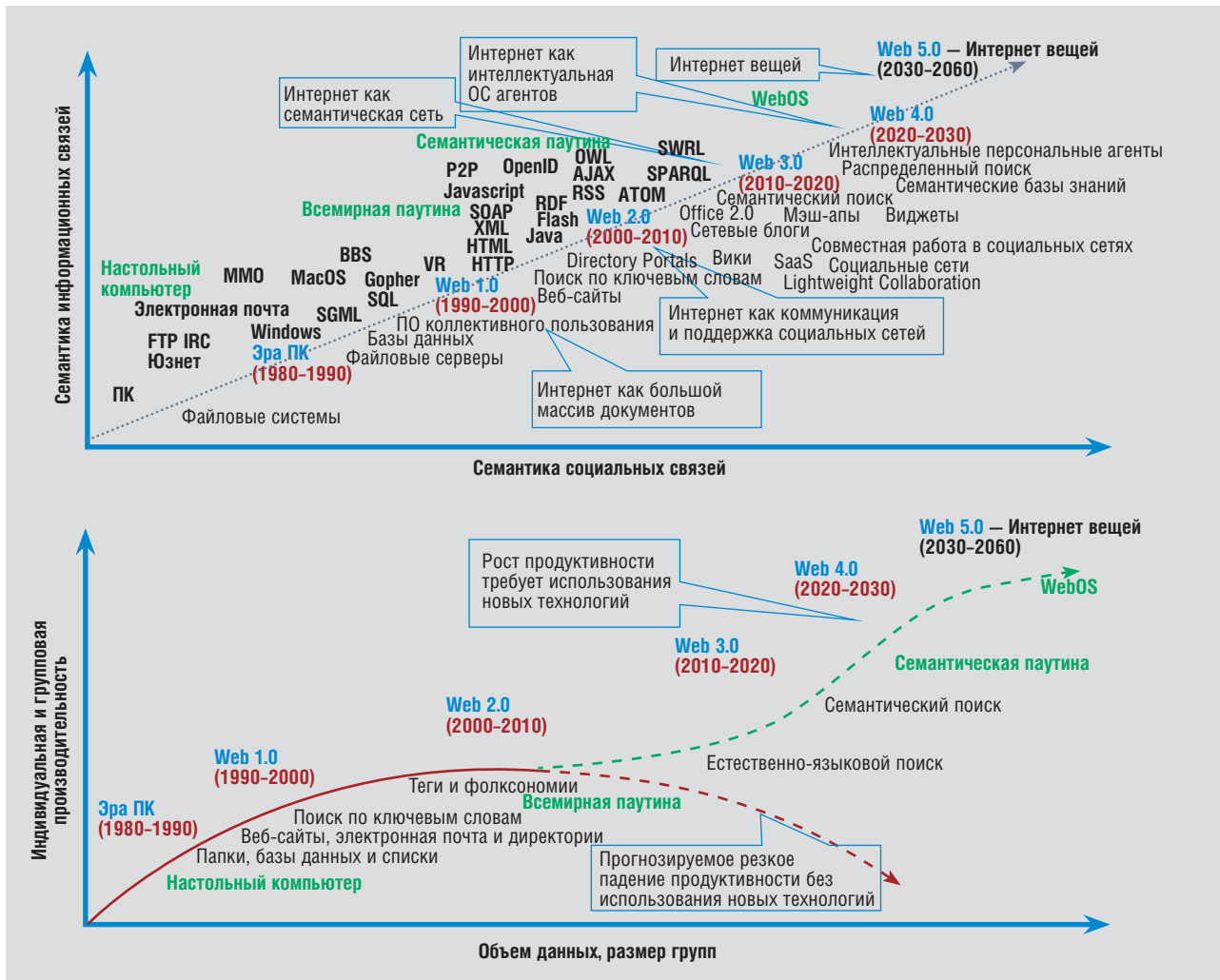
А.А. Петрухович



П.О. Скобелев



Индустрия 4.0 — информационные технологии будущего для повышения продуктивности и эффективности бизнеса



получает информацию, планирует, перепланирует свою работу и согласовывает эти планы со своими соседями. Тогда в чем, например, устойчивость такой орбитальной группировки? Если пропадет один из объектов, то другие просто перераспределят задачи между собой.

В рассматриваемой области наибольший прогресс достигнут в США, где разработан целый ряд замечательных программ в области Министерства энергетики, космоса и Министерства обороны. В 2009 г. была очень интересная программа ДАРПА HART (*Heterogeneous Aerial Reconnaissance Team*), которая обеспечивает автоматизированное управление объектами. Очень важно, что каждый объект (элемент) делает автоматизированное планирование своего графика работы и договаривается с другими в случае каких-то из-

менений. Программа ДАРПА CODE (*Collaborative Operations in Denied Environment*, 2014 г.) тоже очень интересная: автономное взаимодействие, которое позволяет существенно улучшить, усилить возможности существующих летательных аппаратов, когда снижается стоимость и повышается эффективность за счет составления гиперагентных группировок, то есть группировок не одинаковых, а наоборот: один аппарат смотрит, например, за земной поверхностью в видимом диапазоне, другой — в инфракрасном, третий — в СВЧ-диапазоне.

Объединение разнородной информации позволяет в сумме получить то, что не может получить ни один из аппаратов в отдельности. Несомненно, актуальная задача, но в области космоса, как ни странно, очень мало информации.



## Микро- и наноспутники как катализаторы развития высокотехнологичной экономики

**И.В. Белоконов,**

*заведующий межвузовской кафедрой «Космические исследования» Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, доктор технических наук.*

Отличительные особенности наноспутников, построенных по стандарту «кубсат», — это модульность, открытая архитектура, унифицированные механические и электрические интерфейсы, стандартизованные подсистемы. Развитие таких наноспутников породило не только рынок подсистем и комплектующих, но и рынок транспортно-пусковых контейнеров, которые можно приобрести для запуска спутника. Это также обуславливает дешевизну и короткие сроки создания наноспутников.

В настоящее время можно выделить четыре основные области применения наноспутников:

- *образовательные задачи*: подготовка университетами кадров, обладающих компетенциями, соответствующими передовому уровню развития космических технологий и новому технологическому укладу;
- *прикладные задачи по развитию космических технологий*: тестирование и верификация алгоритмов и технологий управления, навигации и связи, новых материалов, электронных компонентов и технических решений и т.д.;
- *фундаментальные задачи*: мониторинг и исследование геофизических полей, «космическая» погода, создание измерительных сетей для контроля изменений атмосферы, климата, прогнозирования землетрясений и т.д.;
- *создание новых сегментов бизнеса*: предоставление услуг по запросу, например, изображений

Земли, сбор и передача данных от удаленных терминалов, мониторинг транспортных средств.

Какие, на наш взгляд, существуют препоны, тормозящие развитие наноспутников у нас в стране? Во-первых, сегодня при создании космической техники необходимо применение нормативно-технической базы, ориентированной на создание традиционных космических аппаратов по госбюджету. Во-вторых, недоступны регулярные запуски наноспутников при помощи российских средств выведения. Безусловно, к проблемным вопросам следует отнести достаточно сложные разрешительные процедуры, а также отсутствие доступной испытательной базы.

Развитие наноспутников также затрудняет отсутствие заинтересованности в развитии этого класса космических аппаратов как со стороны государства в лице государственной корпорации «Роскосмос», так и со стороны бизнеса. Нет государственной целевой программы развития малоразмерных космических аппаратов, которая должна быть ориентирована на создание прорывных технических решений в области создания космической техники в университетах. Ведь космос всегда являлся и будет являться локомотивом развития высокотехнологичной экономики.

## Создание малых космических аппаратов дистанционного зондирования Земли и научного назначения

**А.В. Никитин,**

*ведущий инженер-конструктор РКЦ «Прогресс»*

Первым микроспутником, который был создан в Ракетно-космическом центре «Прогресс», является космический аппарат «Аист». Раньше подобных аппаратов у нас не было. Микроспутник был создан за три года совместно с Самарским аэрокосмическим университетом (сегодня Самарский национальный исследовательский университет

имени академика С.П. Королева), масса его составляет 39 килограммов. Так как он изготавливался в ракетно-космическом центре «Прогресс», то для подтверждения работоспособности прошел полный комплекс испытаний: статических, динамических, тепловакуумных и электрорадиотехнических. Также был создан опытный образец космического аппарата, который полностью повторяет летный образец, 19 апреля 2013 г. летный образец

микроспутника был запущен совместно с космическим аппаратом БИОН М № 1. Опытный образец микроспутника был запущен 28 декабря 2012 г. на ракете-носителе «Союз-2» этапа 1В с разгонным блоком «Волга» в рамках квалификационного запуска новой ракеты-носителя. Таким образом, было запущено два микроспутника, с которых мы получали телеметрическую и научную информацию.

Говоря о научных проектах, следует отметить, что недавно был разработан проект мини-космического аппарата научного назначения с комплексом научной аппаратуры «Микон-2» разработки НИИЯФ МГУ. Эта аппаратура предназначена для проведения экспериментов по исследованию космических лучей. Также был разработан про-



И.В. Белоконов



С.П. Присяжнюк

ект космического аппарата микрокласса с аппаратурой идентификации судов. В соответствии с этим проектом космический аппарат имеет массу около 70–80 кг, при этом корпус КА имеет вид куба с размером ребра 65 см.

## Определение научных прорывных направлений развития

**С.П. Присяжнюк,**

*директор Института телекоммуникаций, доктор технических наук, заслуженный деятель науки РФ, Санкт-Петербург*

К ключевым проблемам создания орбитальных группировок наноспутников, на мой взгляд, следует отнести:

- разработку эффективных источников энергии для микро- и нанокосмических аппаратов;
- организацию межспутниковой связи в роях, включая разработку бортовой и наземной аппаратуры, протоколов взаимодействия и т.д.;
- создание малогабаритных эффективных антенных систем, которые требовали бы мало энергии и были эффективно управляемыми.

Очень хорошо, что подключаются экономисты. Это позволит не только рассматривать проблемы создания микро- и наноспутников в техническом аспекте, но и четко их гармонизировать в плане экономического и социального. Мы выпускаем журнал «Информация и космос», в нем есть философский раздел. Так вот, философы последнее время все активнее пишут о космосе, о его роли в развитии человеческой цивилизации. Это большая социальная и духовная задача. Решение вопросов создания сетевых структур на базе микро- и нанокосмических аппаратов позволит существенно продвинуться в плане информатизации общества и всей жизни на Земле.

## Перспективные технологии создания оптико-электронной аппаратуры дистанционного зондирования Земли для малых КА

**Д.В. Кузнецов,**

*начальник сектора филиала АО «Корпорация „Комета“» — Научно-проектного центра оптоэлектронных комплексов наблюдения, Санкт-Петербург*

Есть два основных направления, по которым идет развитие малых спутников. Первое направление условно можно назвать университетским. Здесь используются самые доступные компоненты, не проходящие сертификацию, и обычно космические аппараты имеют негерметичное исполнение. Второе направление — промышленное. В его рамках космические фирмы и агентства реализуют сложные проекты, при этом используются современные технологии, включая нанотехноло-

гии, проводится сертификация комплектующих и применяются современные достижения в электронике, материаловедении и нетрадиционные подходы к проектированию.

Мы рассматривали именно промышленное направление, когда комплектующие совершенно определенно должны проходить сертификацию, должны быть резервированы ключевые компоненты, обеспечена радиационная стой-

кость и проведен комплекс наземной отработки с целью выявления дефектов и повышения надежности. Основной особенностью малых космических аппаратов является прежде всего необходимость снижения сроков и стоимости разработки, что требует высокого уровня унификации бортового оборудования и конструкции, применения модульного принципа построения КА и наличия необходимой компонентной базы.

Говоря о нетрадиционных способах проектирования, можно ввести такое понятие, как комплексное моделирование оптико-электронной аппаратуры, которое включает всестороннюю априорную оценку оптической системы до начала изготовления. Цель подобной оценки — анализ факторов, влияющих на оптическое качество, в том числе и объединение всех технических дисциплин, централизация технических данных, па-



Д.В. Кузнецов



А.П. Данилкин

раметризация сквозного процесса, оптимизации, проведение анализа чувствительности, моделирование неопределенностей и уменьшение рисков. Наши западные партнеры активно работают в этом направлении. Европейское космическое агентство разработало интерфейс управления комплексным междисциплинарным анализом для проектирования полезных нагрузок.

### Проблемы и задачи «роя» малых КА

**А.А. Пожарницкий,**  
*инженер РКК «Энергия»*

Отработку технологии решений проблемы «роя» наноспутников предлагается вести прежде всего в ходе космических экспериментов, которые будут производиться на борту МКС в российском сегменте. Сроки проведения работ — 2018–2019 гг., с подготовкой документов, с защитой и прочим. В 2019 г. планируется начать реализацию такого подхода. Для разработки «роя» малых космических аппаратов организован консорциум.

Предлагаемая концепция опирается на разработку Г.М. Чернявского, предложившего кон-

цепцию «роя» в виде трехмодульной системы, когда есть один ведущий аппарат, так называемая матка, и два ведомых аппарата, при этом ведущий модуль корректирует работу ведомых модулей и общение с Землей производит именно он, то есть информация с ведомых модулей сбрасывается на ведущий, а ведущий модуль уже непосредственно передает ее на Землю. Реализацию предлагаемого подхода планируется осуществить в рамках космического эксперимента с использованием трех космических аппаратов в виде кубсатов, так как эта платформа уже наиболее отработана и имеется очень удобный формат со средствами запуска.

### Мировой опыт использования малых КА. Первоочередные направления развития работ по микро- и нано-КА

**А.П. Данилкин,**  
*главный специалист ФГУП ЦНИИмаш, кандидат технических наук*

Создание многоспутниковых орбитальных группировок обусловлено новыми требованиями к космическим системам, прежде всего в части высокой периодичности наблюдения и оперативности доставки информации потребителям. Если в начале XXI в. созданием малых КА в мире занимались главным образом университеты и небольшие частные компании, то в последнее десятилетие к таким разработкам ак-

тивно и успешно подключились крупные корпорации.

На рис. 3 представлены актуальность и предпосылки создания микро- и нано-КА.

Количество выводимых в течение года на орбиту малых космических аппаратов сегодня уже перевалило за сотню. По оценке европейской

консалтинговой фирмы *Consulting*, количество микро- и наноспутников для решения задач ДЗЗ за 10 лет, с 2018 по 2027 г., составит порядка 1100 спутников и порядка 3000 спутников по системам связи. На *рис. 4* представлены задачи, которые могут в ближайшей перспективе решаться микро- и нанокосмическими аппаратами, в то время как сегодня они решаются большими космическими аппаратами.

NASA в 2017 г. организовало конкурс среди девяти университетов США на предмет решения задач с использованием микроспутников. При этом подход у них такой: выделяется 200 тысяч долларов на два года на каждый выбранный проект с обязательным участием не только университета, но и специалистов NASA.

Другое направление, которое NASA активно развивает, это обслуживание на орбите. Но чтобы обслуживать космические аппараты на орбите, нужно отработать задачи сближения, в том числе некооперируемого. Этому также посвящены две миссии, которые NASA сегодня прорабатывает и собирается их решать с использованием кубсатов массой порядка 2,5 килограмма. Кроме того, в рамках этих миссий отработывается антенная система нового класса, которая

должна позволить поднять пропускную способность для наноспутников с 10 Кбит/сек до 100 Мбит/сек. Исследования планируется проводить не только в околоземном пространстве, но и на Луне (речь идет об определении наличия воды в структурах лунного грунта).

Тенденция развития, создания и использования микро- и нано-КА существует во всем мире. Почему же у нас в стране это направление развивается так медленно и слабо? Почему не удается получить государственную поддержку? Мне кажется, что во многом это связано с разрозненностью действий отдельных интересных и энтузиастов рассматриваемого направления. Возможно, это связано еще и с тем, что пытаются пробиться наверх с какими-то частными задачами без серьезного обоснования перспектив, в том числе экономических и социальных, применения микро- и нано-КА. Поэтому предлагается провести форсайт-исследование на предмет определения будущего развития направления микро- и нано-КА на временном горизонте 10–15 лет в интересах научных задач, социально-экономической сферы, национальной безопасности. Если мы создадим экспертную команду под руководством Института экономических стратегий РАН, в котором проходит этот семинар и который се-

Рисунок 3

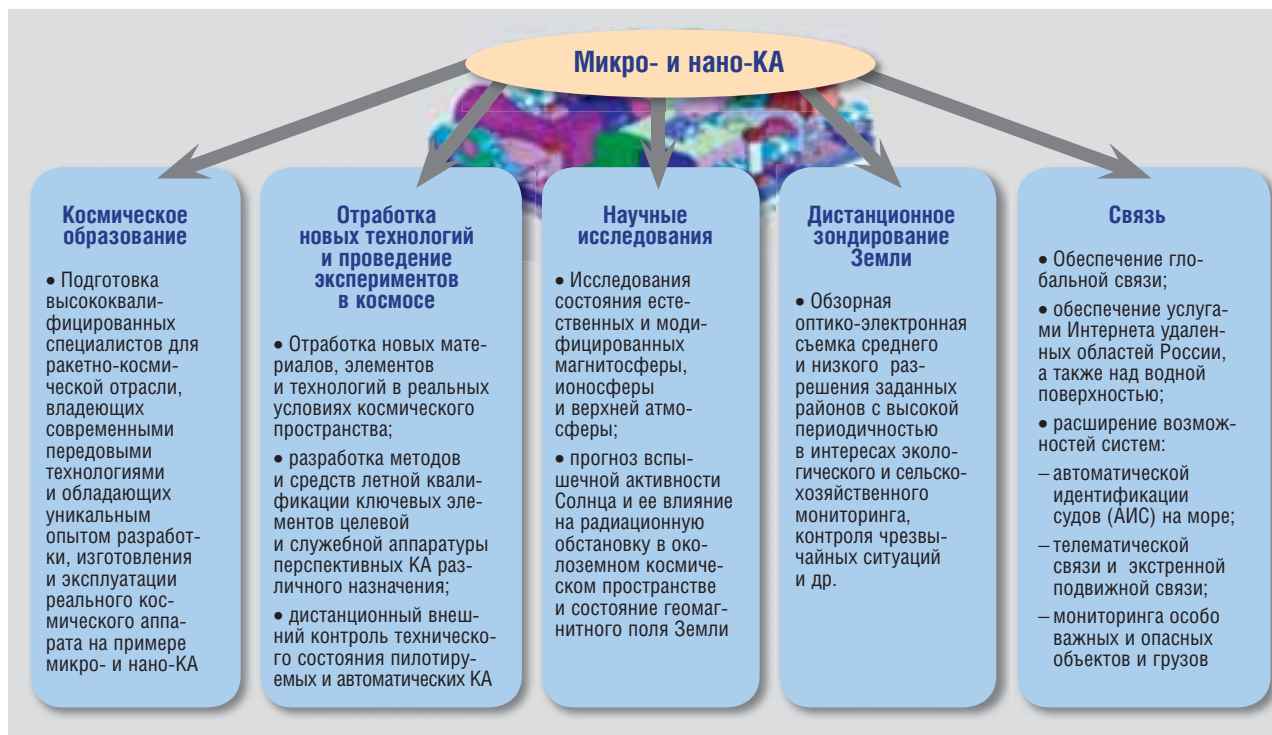
Новый класс космических аппаратов — микро- и нано-КА





Рисунок 4

Возможные задачи, решаемые космическими системами на базе микро-КА



годня в нашей стране признан одним из ведущих научных учреждений по разработке таких форсайт-исследований, то с результатами этих исследований можно будет обращаться в различные государственные инстанции с целью активного развития этого направления в России.

Существует два пути решения этой задачи. С одной стороны, можно провести экспресс-исследование с оценкой ожидаемых результатов реализации предлагаемого направления работ и определения путей достижения этих результатов. Затем предложить открыть соответствующие НИОКР, например, в рамках Федеральной космической программы. А с другой стороны, можно встроиться в одну из реализуемых сегодня государственных программ, например в программу «Национальная технологическая инициатива», если говорить о гражданской сфере. В указанной программе есть подпрограмма «Аэронет», которая пока сконцентрирована только на работах по беспилотным аппаратам, хотя она и заявлена как авиационно-космическая.

Представляется, что такая ситуация обусловлена тем, что космическое сообщество сегодня не проявляет достаточной инициативы и не стремится войти в упомянутую программу или раз-

работать свою подпрограмму «SpaceNet». А это одно из направлений, где можно, на мой взгляд, получить определенные финансовые средства, потому что деньги на эту программу выделяются серьезные. Поэтому помимо проведения собственно форсайт-исследования необходимо разработать предложения в подпрограмму «AeroNet» («SpaceNet») Национальной технологической инициативы в части микро- и нано-КА, включая план мероприятий, или, как сегодня модно говорить, дорожную карту по проекту создания микро- и нанокосмических аппаратов.

На рис. 5 представлены те направления, которые могли бы быть включены в проект. Это, по сути, те проблемы, которые мы все сегодня видим при создании микро- и нано-КА: общесистемные работы, связанные с построением орбитальной и наземной структуры, их взаимосвязью; новые методы проектирования и изготовления самих аппаратов. Важны принципиально новые технические и технологические решения, связанные с созданием целевой аппаратуры. Начинаешь говорить с представителями госкорпорации «Роскосмос», все спрашивают: а как вы будете решать задачу, какие сейчас есть средства, целевая функция, как она обеспечивается? Поэтому вопрос целевой аппаратуры архиважен, на мой взгляд.



Ну и управление, мне кажется, тоже обязательно должно войти в эту подпрограмму как одно из направлений. Ранее уже было несколько докладов по этому вопросу.

Также предлагается разработать инженерную записку, которая могла бы быть приложена к результатам форсайт-исследований с тем, чтобы убедительно показать перспективы данного направления. При этом один из важных вопросов — это роль и место микро- и нано-КА в решении различных задач космическими средствами. **ЭС**

ПЭС 18020 / 30.01.2018

*Подробнее см. стенограмму научно-практического семинара [3]*

### Источники

1. Агеев А.И., Логинов Е.Л. «Космическая» стратегическая матрица: концентрация ключевых факторов конкурентоспособности российского государства в борьбе за доминирование в стратегических сферах бизнеса в мировой экономике // Экономические стратегии. 2014. № 5. С. 16–27.
2. Агеев А.И. Космос как НАКАЗание // Экономические стратегии. 2014. № 5. С. 5.
3. Микро- и нанокосмические аппараты: проблемы и перспективы создания и применения. Стенограмма научно-практического семинара Института экономических стратегий — Международного научно-исследовательского института проблем управления. М.: Институт экономических стратегий, РУБИН, 2018. 84 с.

### References

1. Ageev A.I., Loginov E.L. “Kosmicheskaya” strategicheskaya matritsa: kontsentratsiya klyuchevykh faktorov konkurentosposobnosti rossiyskogo gosudarstva v bor’be za dominirovanie v strategicheskikh sferakh biznesa v mirovoy ekonomike [“Space” Strategic Matrix: Concentration of the Russian Competitiveness Key Factors in the Struggle for Dominance in Strategic Business Areas of the Global Economy]. *Ekonomicheskie strategii*, 2014, no 5, pp. 16–27.
2. Ageev A.I. Kosmos kak NAKAZanie [Space Like a Punishment]. *Ekonomicheskie strategii*, 2014, no 5, p. 5.
3. Mikro- i nanokosmicheskie apparaty: problemy i perspektivy sozdaniya i primeneniya. Stenogramma nauchno-prakticheskogo seminaru Instituta ekonomicheskikh strategiy — Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel’skogo instituta problem upravleniya [Micro- and Nano-Spacecrafts: Problems and Prospects of Creation and Application. Transcript of the Scientific-Practical Seminar of the Institute for Economic Strategies — International Research Institute of Management Problems]. Moscow, Institut ekonomicheskikh strategiy, RUBIN, 2018, 84 p.