

УДК 629.7

© Макаров М.И., Рудаков В.Б., Медведев А.А., Вахниченко В.В., Галантерник Ю.М.
Makarov M., Rudakov V., Medvedev A., Vakhnichenko V., Galanternik Yu.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КА. МИНИАТЮРИЗАЦИЯ И МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОСТЬ

BASIC TRENDS AND DIRECTIONS OF SPACECRAFT DEVELOPMENT. MINIATURIZATION AND MULTIFUNCTIONALITY

Аннотация. Обосновывается необходимость создания и применения космических аппаратов (КА) малой размерности – микроКА для решения перспективных задач в области космической деятельности. На примере автоматических космических аппаратов (АКА) для систем спутниковой связи и телевидения анализируются основные тенденции их развития в современных условиях. Выделяются три базовых направления, определяющих перспективы развития АКА и основные принципы создания микроКА.

Annotation. The article puts forward a requirement for an urgent development and introduction of small-size spacecraft to ensure future space exploration. Unmanned space vehicles for telecom and television purposes are scrutinized from the perspective of their potential operation in the present-day situation. The article offers a detailed description of the three factors, driving the development of unmanned and small-size space vehicles.

Ключевые слова. Космический аппарат (КА); орбитальная группировка (ОГ); космическая система; перспективы развития орбитальных группировок.

Key words. Spacecraft; space vehicle; orbital group; space system; orbital group development prospects.

Возникнув в середине прошлого века в результате реализации единичных и уникальных военных и научных государственных проектов, космическая деятельность в настоящее время по некоторым направлениям достигла стадии промышленного производства. Услуги, предоставляемые космическими системами, стали массовым и обычным явлением в жизни населения большинства стран мира. К таким системам относятся, прежде всего, автоматические космические аппараты, с помощью которых обеспечивается реализация систем спутниковой телекоммуникации, дистанционного наблюдения, контроля месторасположения и навигации.

Большинство космических систем по своему

функциональному назначению являются информационными системами. Поэтому основные задачи, решаемые такими системами, можно отнести к классу информационных задач.

Современное состояние и перспективы развития космической отрасли [2] свидетельствуют о настоятельной необходимости и неизбежности создания в космосе единого информационного пространства с постоянной актуализацией базы получаемых данных. Важнейшими элементами единого информационного космического пространства являются орбитальные группировки (ОГ) космических аппаратов (КА), входящие в состав космических систем (КС). Научные исследования показывают,

Макаров Михаил Иванович – доктор технических наук, профессор, директор-главный конструктор, НИИ КС им. А.А. Максимова-филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, тел. (495) 755-58-93;

Рудаков Валерий Борисович – доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ КС им. А.А. Максимова-филиала ФГУП «ГКНПЦ им. М.В. Хруничева;

Медведев Александр Алексеевич – доктор технических наук, профессор, вице-президент по специальным проектам, ОАО НПП «Иркут»;

Вахниченко Владимир Васильевич – доктор технических наук, советник генерального директора, ФГУП ЦНИИмаши;

Галантерник Юрий Михайлович – доктор технических наук, доцент, главный специалист, НИИ ТП.

Makarov Mikhail – doctor of science (tech.), professor, director – designer general of AA. Maksimov Space Systems Research Institute- Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center, Phone: (495) 755-58-93;

Rudakov Valeriy – doctor of science (tech.), professor, principal research scientist of AA. Maksimov Space Systems Research Institute-Branch of FSUE Khrunichev State Research and Production Space Center;

Medvedev Aleksandr – doctor of science (eng), professor, JSC NPP Irkut, Vice-President for Special Projects;

Vakhnichenko Vladimir – Doctor of science (Eng), FSUE TsNIIMash, Advisor to the Director General;

Galanternik Yuriy – doctor of science (eng), associate professor, NII TP, Chief Specialist.

что в ближайшем будущем для существенного повышения устойчивости ОГ, увеличения зоны покрытия средствами космического наблюдения и связи, обеспечения потребителей информацией в реальном масштабе времени потребуются значительное увеличение числа космических аппаратов в составе ОГ. Решение этой задачи возможно только за счет создания ОГ на базе микро-КА, а в перспективе – на базе нано-КА.

Важнейшим в рассматриваемой проблематике является и военный аспект. Так, в качестве одной из компонент американской Национальной противоракетной обороны предполагается использовать орбитальную группировку из 15-20 тыс. спутников массой 8-10 кг, называемых наноперехватчиками. Один «Шаттл» способен доставить на орбиту за один раз 3 тыс. таких аппаратов.

В свое время разработка программы Стратегической оборонной инициативы (СОИ) натолкнулась на проблемы, связанные с необходимостью запуска в космос на несколько порядков большего, чем это было возможно в те годы, числа космических аппаратов. Только в этом случае можно было говорить о ее эффективности, точнее даже о целесообразности применения. Запуск и эксплуатация орбитальной группировки из сотен и тысяч КА, имеющих массу в несколько сотен и тысяч кг, а также большое число сложных в управлении и эксплуатации подсистем, требующих больших центров управления полетом, принципиально невозможен. Очевидно, именно тогда США сделали ставку на разработку в перспективе микро- и нано-КА.

Противоракетная оборона и противоспутниковая борьба также становятся возможными при использовании многочисленных ОГ как атакующих, так и выполняющих информационные задачи, и являющихся мало уязвимыми для атакующих средств противника. Вывод о необходимости создания многочисленных ОГ для решения военных задач был сделан еще в 80-е годы при анализе Стратегической оборонной инициативы. Многочисленная орбитальная группировка из сверхмалых КА оказывается малоуязвимой и сверхнадежной относительно существующих космических систем. Это обеспечивается малыми размерами самого КА, использованием принципиально иной элементной базы КА, относительной его простотой с точки зрения конструктивного исполнения, многократного дублирования функционирования отдельных КА в космической системе друг с другом, низкой стоимостью производства, запуска и эксплуатации одного КА, значительным сокращением времени создания КА, относительной легкостью наращивания и выполнения орбитальной группировки, необходимостью

проведения противником массовой атаки для вывода ОГ из строя.

Следующим весьма существенным аспектом является необходимость проведения натуральных космических экспериментов с целью отработки новых технических решений и технологий для перспективных космических средств. Оперативное осуществление таких экспериментов на базе использования крупных энергоемких КА, имеющих массу до нескольких тонн, экономически не выгодно и требует значительных затрат времени на их создание.

Таким образом, создание в космосе единого информационного пространства с постоянной актуализацией получаемых данных, рассмотренные военные аспекты построения и функционирования орбитальных группировок, необходимость оперативного проведения натуральных космических экспериментов и другие задачи можно решить только на основе космических систем (КС), которые должны использовать в качестве базовых микро-КА, а в дальнейшем наноспутники, что повлечет за собой в перспективе существенное сокращение затрат на разработку, производство и развертывание КС за счет внедрения новых технологий и перехода к средствам доставки легкого класса.

На рис. 1 и 2 представлен экономический выигрыш от перехода к использованию КА малой размерности (уменьшение массы и габаритов).

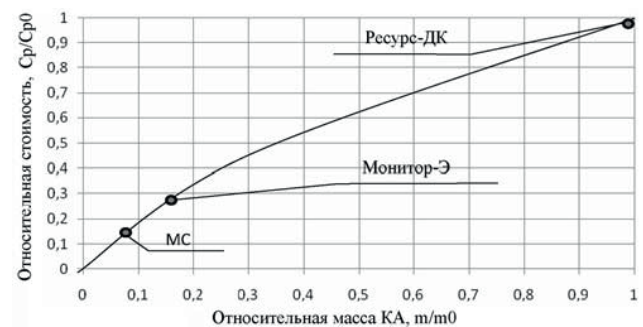


Рис. 1. Зависимость относительной стоимости разработки от отношения масс КА

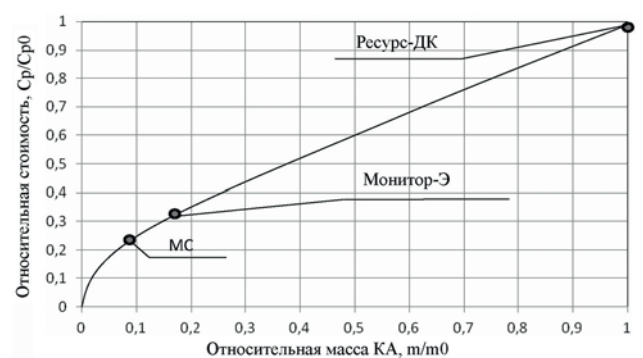


Рис. 2. Зависимость относительной стоимости изготовления от массы КА

Это обусловлено следующими обстоятельствами:

1. Уменьшением стоимости разработки и изготовления, зависимость которых от массы иллюстрируется графиками на рис. 1 и 2. Одновременно сокращаются сроки разработки и изготовления КА.

Эти зависимости построены на основе обобщения представительного объема эмпирических данных, связывающих стоимость и массу КА [3].

2. Возможностью создания многоспутниковых орбитальных группировок (ОГ) из разнотипных КА благодаря уменьшению как стоимости самих КА, так и затрат на выведение, которое может быть реализовано в вариантах групповой или попутной доставки КА на орбиту с помощью ракет-носителей с низкой удельной стоимостью выведения ОГ.

3. Использованием при создании микро-КА унифицированных рядов бортовых служебных систем, полученных в результате анализа совокупности задач, решение которых целесообразно с использованием микро-КА. Из имеющихся работ (например, [4, 5]) следует, что унификация может дать экономию затрат до 40% (при насыщенной ОГ) и в среднем ~ до 25%.

4. Созданием «унифицированных» КА, т.е. КА для решения нескольких задач на одной базовой конструкции космического аппарата, что позволяет исключить затраты на разработку целевой аппаратуры и служебных систем для каждой задачи. К таким задачам относятся, например, задачи получения детальной видеoinформации, топографической съемки и обзорного наблюдения, которые можно решить на основе одной базовой конструкции КА при запуске на разные орбиты, что, как показывают расчеты, может обеспечить экономию затрат в диапазоне от 30% до 80% в зависимости от количества КА каждого целевого применения (в пределах от 1 до 6 КА для решения каждой из перечисленных выше задач). Таким образом, преимущества создания и применения микро-КА для решения задач в космосе достаточно очевидны.

Вместе с тем, как отмечалось, условия рыночной экономики с ограниченным финансированием космических проектов, выход космической отрасли на мировой рынок, для которого характерна жесткая конкуренция по всем аспектам космической деятельности, диктуют свои законы и требуют новых подходов к разработке и реализации космических проектов. Такими подходами являются:

- ориентация космического проекта на производство продукции с необходимым спектром услуг на конечного потребителя;
- управление созданием проекта с минимизацией рисков всех видов и на всех этапах;

- обеспечение высокого качества продукции и ее конкурентоспособности при жестких ограничениях по временным и материальным затратам на ее создание.

Внедрение этих подходов в практику создания автоматических микро-КА, требует, с одной стороны, тщательного анализа тенденций современного состояния и развития конструктивных и технологических принципов создания оборудования КА, а с другой стороны, анализа и совершенствования методологии работ, связанных с обеспечением и подтверждением требуемого уровня качества создаваемых объектов.

С целью выявления проблемных вопросов в состоянии с обеспечением и контролем требуемых характеристик объектов космической техники проведем анализ тенденций в их развитии на примере АКА для систем спутниковой связи и телевидения [2].

До середины девяностых годов прошлого столетия спутниковая система связи и телевидения Российской Федерации базировалась на использовании разработанных в НПО ПМ КА «Молния-3», «Радуга», «Горизонт» и «Экран». Емкость сетей спутниковой связи (ССС) на базе перечисленных КА составляла около 4% общей протяженности телефонной сети России, что было явно недостаточно. Значительно улучшилось положение после создания и ввода в эксплуатацию в 1995 году геостационарного КА связи «Экспресс», имеющего в 3 раза большую пропускную способность, чем заменяемые КА «Горизонт», и технический ресурс на уровне 5 лет. Однако перечисленные аппараты и создаваемые на их базе системы космической связи и телевидения не могли обеспечить потребности страны с учетом перехода к рыночной экономике, и тем более создание конкурентоспособных на международном рынке систем и услуг связи.

Начало кардинальному изменению сложившегося положения с развитием связи в стране было положено в 1999 году путем создания и ввода в эксплуатацию отечественных СССР на базе геостационарных КА негерметичного исполнения с 10-летним сроком активного существования (САС) «Ямал-100» разработки РКК «Энергия» и «Экспресс-М» разработки НПО ПМ. Это увеличило долю Российской Федерации в мировом рынке спутниковых систем связи до 1,7%. А после ввода в эксплуатацию в 2004 году КА «Ямал-200» и КА «Экспресс-АМ» с расчетным САС 12 лет этот показатель увеличился до ~3%. Однако до настоящего времени по числу находящихся в эксплуатации транспондеров Россия уступает многим странам, в том числе и не относящимся к крупнейшим странам мира. Устранение этого отставания возможно лишь путем повышения инвестиционной привлекательности проектов

создания КА, что в первую очередь требует значительно-го роста САС КА.

Данные, представленные на рис. 3, показывают, что при современном уровне развития технологий оптимальные значения технико-экономических показателей эффективности проектов создания КА обеспечиваются при САС КА на уровне 10...15 лет [2]. Именно экономическими причинами объясняется рост требований к САС КА, динамика которого показана на рис. 4 применительно к отечественным АКА.

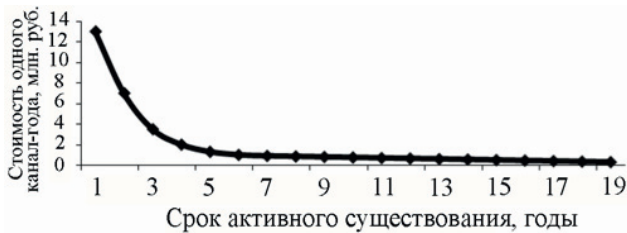


Рис. 3. Зависимость стоимости одного канал-года в ССС «Интелсат» от САС АКА

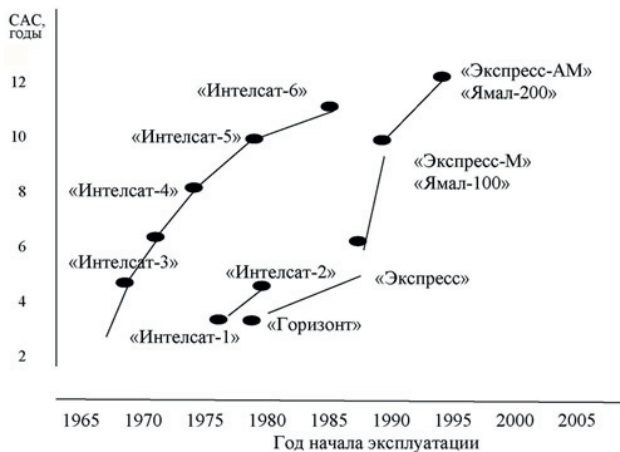


Рис. 4. Динамика реализации требований к САС АКА

Технические трудности создания конкурентоспособных КА обусловлены не только ростом требований к САС, но также и постоянным ростом функциональной сложности аппаратов, связанным с расширением функциональных возможностей спутниковых систем связи. Обобщенные данные о росте сложности радиоэлектронных ССС INTELSAT различных лет разработки (серий 2...6), оцениваемой количеством применяемых в них активных комплектующих ЭРИ, приведены в таблице.

Обобщенные данные о функциональной сложности КА

Серия АКА «Интелсат»	2	3	4	5	6
Общее количество активных ЭРИ в оборудовании КА, шт.	5000	7000	17000	19000	43000

Приведенные данные показывают, что одновременно с ростом требований к САС происходит более чем

8-кратный рост функциональной сложности радиоэлектронных систем КА.

Таким образом, изложенное выше свидетельствует о том, что основными тенденциями в развитии автоматических КА является то, что с одной стороны, постоянно растут требования к САС КА, а с другой – повышается функциональная сложность аппаратов, которая связана с расширением функциональных возможностей спутниковых систем связи. Эти тенденции в развитии автоматических КА вызывают большие экономические трудности, требуют постоянных инвестиций, что, как следствие, удорожает их эксплуатацию и снижает конкурентоспособность на мировом рынке.

В современных условиях выходом из создавшегося положения, в том числе и при создании микро-КА, является практическая реализация трех направлений

Первым направлением увеличения функциональной сложности и сроков активного существования микро-КА при одновременном снижении удельных затрат на создание и обеспечение единицы полезной нагрузки является *конструкторское* направление, которое состоит в использовании свободонесущей схемы КА, реализованной на КА типа «Ямал». Основное ее содержание состоит в следующем.

В недалеком прошлом все КА выполнялись по моноблочной конструктивно-компоновочной схеме с расположением аппаратуры преимущественно в гермоотсеках [2]. Моноблочная схема представляет собой герметичные и негерметичные отсеки, соединенные в единый моноблок, который выводится на орбиту ракетой-носителем под обтекателем или без него. К достоинствам моноблочной схемы следует отнести возможность применения гермоотсеков большого объема для расположения аппаратуры, требующей поддержания определенных режимов давления газовой среды и температуры. Оболочки гермоотсеков при этом используются как несущая конструкция, что позволяет достаточно успешно решать задачу обеспечения прочности корпуса КА. К недостаткам такой схемы следует отнести относительно большую массу конструкции, кабелей и арматуры, различных гермовыводов, гермоплат, предназначенных для обеспечения герметичности отсеков, штуцеров для создания атмосферы и продувок в процессе эксплуатации. Это вызывает сложности эксплуатации, утяжеляет космический аппарат, уменьшает возможности наращивания потенциала полезной нагрузки, повышения надежности и САС КА. Указанных недостатков лишена свободонесущая схема. По этой схеме силовая конструкция выполняется в виде рамы, фермы или их различных сочетаний, к которой

крепятся аппаратура и агрегаты, обеспечивающие полет, а также целевая аппаратура. При этом бортовая аппаратура и комплектующие элементы должны обладать способностью работать в вакууме, а их тепловой режим обеспечивается пассивной системой терморегулирования. Свободнонесущая схема обеспечивает минимальную массу силовых и обеспечивающих конструкций. Масса полезной нагрузки подобных КА может достигать 50...60% массы КА, что является важным технико-экономическим показателем для КА связи.

При свободнонесущей схеме появляется возможность в случае модернизации и необходимости перекомпоновки бортовой и целевой аппаратуры без большого объема доработок обеспечивать наилучшие условия для реализации модульных и адаптивно-модульных конструкций. При этом конструктивно и функционально КА разделяется на две части: служебную (обеспечивающую) и целевую (полезную). В служебную часть входят конструкция и бортовые системы, гарантирующие существование КА в течение заданного времени на орбите и необходимые условия для функционирования целевой аппаратуры. Конструктивный и функциональный интерфейс с целевой аппаратурой определяется более или менее жестко и в процессе перекомпоновки целевой аппаратуры, практически не меняется либо подвергается незначительным изменениям. Модульное построение КА может быть реализовано до уровня систем и агрегатов, например: модуль системы управления, модуль системы терморегулирования, модуль системы энергоснабжения. Это позволяет гибко наращивать нужные потребителю функции. Например, можно увеличить энергообеспеченность КА, установив два модуля системы энергоснабжения. Таким образом, КА становится универсальным средством для размещения различной полезной нагрузки в рамках определенных функциональных ограничений.

Кроме сказанного, свободнонесущая схема в отличие от моноблочной характеризуется большей технологичностью как в изготовлении, так и в процессе экспериментальной отработки и испытаний КА. Благодаря этому существенным образом снижаются технические риски и сроки изготовления КА, что значительно удешевляет проект и делает его конкурентоспособным и инвестиционно привлекательным.

Вторым направлением обеспечения высокого качества микро-КА, повышением их конкурентоспособности при ограничениях по временным и материальным затратам на их создание является повышение надежности элементной базы и развитие новых перспективных технологий.

Вопросы, связанные с развитием новых технологий и возможности их использования при создании бортового оборудования перспективных микро-КА будут рассмотрены отдельно в следующей статье. Что же касается вопроса повышения надежности элементной базы, то об этом можно сказать следующее.

Современная практика показывает, что роста надежности элементной базы, а соответственно, и реализуемых на ее основе приборов и оборудования, в последние годы не наблюдается, причем это касается ЭРИ всех классов и групп. Например, опыт работы ведущих предприятий космической отрасли показывает, что в настоящее время при решении проблемы обеспечения качества и надежности автоматических КА необходимо ориентироваться не на недостаточные темпы роста надежности ЭРИ, а по отдельным классам и типам ЭРИ, а также по ряду предприятий-изготовителей ЭРИ – на реальное снижение качества и надежности электронной компонентной базы. Это связано и с большой чувствительностью микроэлектронной базы, применяемой в бортовом оборудовании КА, к технологическим воздействиям, режимным и эксплуатационным факторам. В то же время темпы роста технологического совершенствования отечественных аппаратостроительных предприятий, поставляющих оборудование для КА с длительными САС, явно не соответствуют сложности решаемых задач.

Из этого следует, что в современных условиях качестве первоочередной задачи, решение которой радикальным образом повлияет на выполнение требований к качеству и надежности создаваемых микрокосмических аппаратов, необходимо рассматривать *задачу проведения качественной экспериментальной отработки, приемки и производства изделий ракетно-космической техники*. Причем, особую значимость эта задача имеет для предприятий космической отрасли, которые создают законченные изделия космического назначения с участием большого количества предприятий-смежников, уровень качества продукции которых непосредственно влияет на результаты деятельности предприятий, создающих микро-КА в целом.

Все изложенное свидетельствует о том, что для решения существующих и перспективных задач в космосе, обеспечения эффективной деятельности космической отрасли в условиях рыночной экономики, жестких ограничений по временным и материальным затратам на создание микро-КА, повышения конкурентоспособности космических проектов, их инвестиционной привлекательности, внедрения новых подходов в практику разработки космической техники, о которых гово-

рилось выше, актуальным и значимым является третье направление – *направление совершенствования методологии проведения работ, связанных с обеспечением и подтверждением требуемого качества и надежности оборудования космических аппаратов при их экспериментальной отработке и производстве.*

Политические и социально-экономические изменения, произошедшие в России, реформирование всех сфер жизнедеятельности государства привели к значительному сокращению расходов на решение актуальных задач в космической отрасли. Кроме того, в области планирования и распределения бюджетных средств был осуществлен переход от сметного планирования, характерного для советского времени, к целевому бюджетированию, ориентированному на получение конкретного результата в соответствующей области народного хозяйства. Иными словами, при планировании и распределении расходов во главу угла поставлены следующие важнейшие вопросы:

- доказательного обоснования необходимых сумм расходов;
- жесткого контроля за расходованием выделенных средств;
- подтверждения эффективности их использования для достижения конечного результата.

Таким образом, в современных условиях выполнение задач космической отраслью непосредственно связано с экономическими аспектами и механизмами их реа-

лизации, которые в свою очередь определяют планирование ее развития и управление ее состоянием, ориентированным на достижение конкретных конечных результатов. Поэтому для решения существующих и перспективных задач в космосе, обеспечения эффективной деятельности космической отрасли в условиях жестких ограничений по материальным и временным затратам на создание космической техники, повышения конкурентоспособности космических проектов на мировом рынке, их инвестиционной привлекательности одним из главных направлений, помимо других, является направление совершенствования методологии проведения работ, связанных с обеспечением и подтверждением требуемого качества и надежности оборудования космической техники. Актуальность данного направления и необходимость его практической реализации в современных условиях еще более подчеркивается существующим состоянием и основными тенденциями развития космической техники, которые характеризуются, с одной стороны, увеличением функциональной сложности создаваемых космических аппаратов, что связано с обеспечением возможностей решения более широкого спектра задач, увеличением сроков их активного существования в космическом пространстве, а с другой стороны, с устойчивым снижением массово-габаритных характеристик космических аппаратов за счет внедрения новых технологий и существенным ограничением экономических затрат на их создание.

Литература

1. Концепция создания и применения микроспутников (проект). – НИИ КС, 2008. – С. 17.
2. Koelle D.E. *Raumfahrtforschung*, 15, Heft 5, s.182-197 (1971); Heft 1, s.1-14 (1972).
3. Меньшиков В.А., Еремеев В.В., Полетаев А.М. *Технико-экономические аспекты разработки и эксплуатации космических систем ДЗЗ // «Полет»*. – 2007. – № 10. – С. 28-31.
4. Иванов К.Б. *Приближенная оценка экономии затрат за счет использования унифицированных модулей служебных систем // Ракетно-космическая техника*. – 2007. – Серия XII. – Вып. 3–4.
5. Севастьянов Н.Н., Верхотуров В.И. *Управление техническими рисками в проектах создания КА спутниковых систем связи // Вестник МАИ*. – 2005. – Т. 12. – № 2. – С. 91–100.
6. *Разработка перспективных методов комплексирования испытаний для обеспечения работоспособности, надежности и ресурса КА связи и навигации длительного функционирования с целью снижения затрат средств и времени на отработку и контроль штатных изделий с учетом опыта РКК «Энергия» и передового зарубежного опыта: отчет о НИР (этап 1, этап 2) / РКК «Энергия»*. – 2006. – 68 с. – 2007. – 85 с.

Материал поступил в редакцию 1. 03. 2012 г.