

УДК 629.78

## **Подходы к созданию и направления применения малых космических аппаратов в космической деятельности**

О.М. Алифанов, А.А. Медведев, В.П. Соколов

### **Аннотация:**

В статье описаны инновационные подходы к разработке малых космических аппаратов (МКА) на примере спутника дистанционного зондирования Земли «Монитор-Э», созданного на базе унифицированной космической платформы (УКП) «Яхта». Подтверждена правильность заложенных принципов и выбранных при разработке рассмотренных объектов конструктивно-технологических решений. Приведены характеристики МКА «Монитор-Э» и УКП «Яхта». Дано описание применения малых космических аппаратов в космической деятельности.

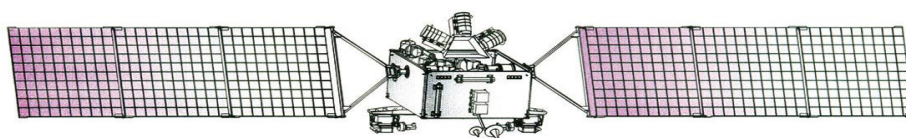
### **Ключевые слова:**

малые космические аппараты; унифицированная космическая платформа; спутник дистанционного зондирования Земли.

В результате выполнения научно-исследовательских работ и на основе накопленного опыта, по созданию малых космических аппаратов (МКА), а также орбитальных космических станций и транспортных кораблей снабжения, в ГКНПЦ имени М.В. Хруничева был сформирован облик унифицированной космической платформы нового поколения (УКП) «Яхта», на базе которой планировалось создание МКА различного назначения (*рис. 1*). В процессе создания УКП «Яхта» были приняты следующие передовые технические решения:

- унифицированное исполнение основных функциональных и конструктивных элементов;
- негерметичное исполнение конструкции на основе сотовых панелей;
- обеспечение тепловых режимов с использованием тепловых труб;

- высокоточное обеспечение ориентации и стабилизации с помощью астроприборов, комплекса управляющих динамических двигателей-маховиков (КУДМ);
- использование электрореактивной двигательной установки с высоким удельным импульсом, обеспечивающей длительное функционирование МКА при ограниченных запасах массы рабочего топлива и высокую чистоту собственной атмосферы МКА;
- использование высокоэффективных арсенид-галиевых гетероструктурных фотопреобразователей для солнечных батарей;
- использование командной радиолинии, совместимой с Государственным наземным автоматизированным комплексом управления РФ.



**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ**

|   |                                   |
|---|-----------------------------------|
| Масса платформы, кг                                 | 350                               |
| Габариты корпуса, м                                 | 1,2x1,2x0,6                       |
| Электрическая мощность СБ, кВт                      | 1...3                             |
| Точность ориентации, град                           | 0,1                               |
| Точность стабилизации, град/с                       | $10^{-3} \dots 1,5 \cdot 10^{-5}$ |
| Время функционирования, лет                         | до 12                             |
| Платформа оснащается электрореактивными двигателями |                                   |

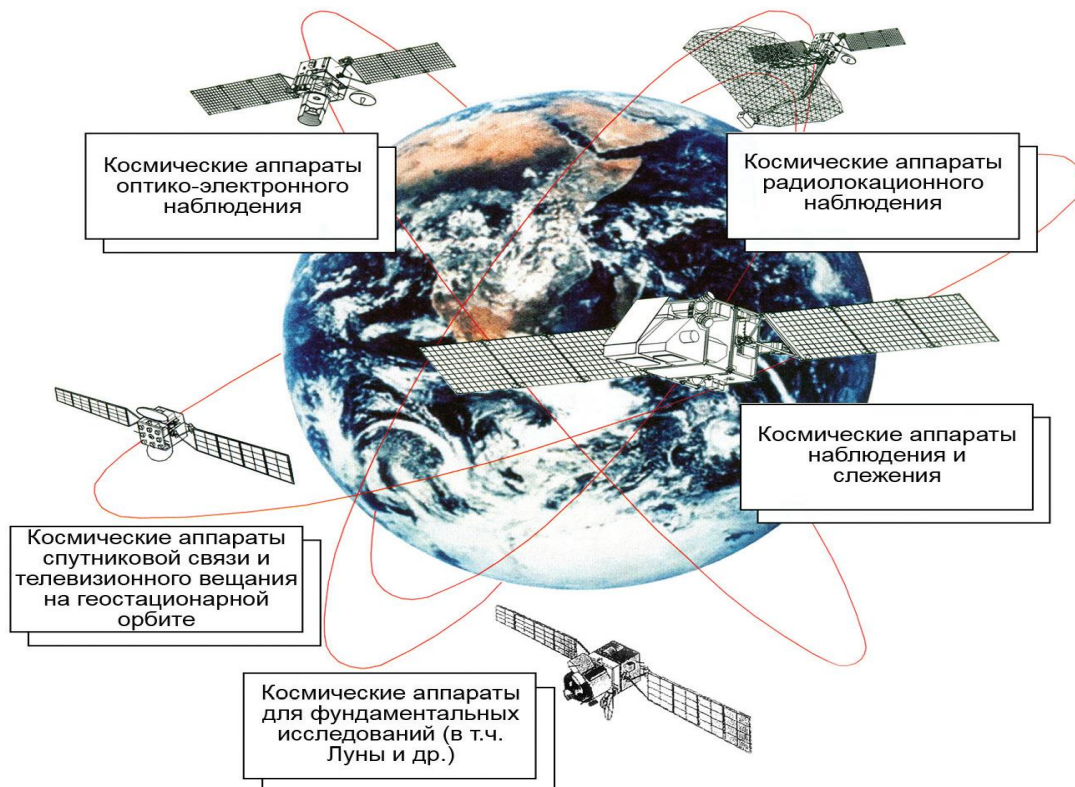


Рис. 1. Унифицированная космическая платформа нового поколения и малые космические

аппараты различного назначения на ее основе

Особое внимание уделялось повышенной степени живучести МКА и соответственно увеличению сроков его активного существования (в т.ч. времени автономного функционирования КА) при различных почти невероятных отказах бортового оборудования, в т.ч. связанных с ухудшением качества российской элементной базы. Здесь в значительной степени сказался опыт создания сложнейших долговременных орбитальных пилотируемых и/или посещаемых человеком комплексов, где ответственность за работоспособность образцов ракетно-космической техники значительно выше, чем при создании автоматических аппаратов. Кроме этого, необходимо было обеспечить возможность проведения профилактических и «ремонтных» работ МКА на орбите с помощью изменения программно-математического обеспечения и управляющих команд из наземного центра управления полетом.

Высокие точности ориентации и стабилизации, обеспечиваемые универсальной космической платформой, высокая степень ее живучести впоследствии были подтверждены реальным полетом (с 2005 г. по н/время) малого КА «Монитор-Э» массой не более 740 кг и позволили с помощью соответствующих оптоэлектронных средств, установленных на нее, получить разрешение на земной поверхности до 0,5 м (в панхроматическом режиме) [1].

В качестве одного из основных средств выведения МКА на базе УКП рассматривалась ракета-носитель (РН) легкого класса «Рокот» с разгонным блоком «Бриз-КС». Запуск на низкие орбиты должен был осуществляться прямым выведением, а для полета на геостационарную орбиту (ГСО) или, например, к Луне предполагалась схема с перелетом МКА, использующим собственную двигательную установку (ДУ) малой тяги. При применении такой схемы время перелета на ГСО может составить от 9 до 12 месяцев в зависимости от массы МКА, параметров промежуточной орбиты выведения и конкретной точки функционирования МКА (для справки: в настоящее время в мировой практике выведение космических аппаратов на ГСО осуществляется только ракетами-носителями среднего и тяжелого классов).

Общий вид и укрупненный состав УКП «Яхта» представлен на *рисунке 2*.

Несколько позднее (вплоть до 2005 г.) совместные работы ГКНПЦ имени М.В. Хруничева и ГЕОХИ РАН имени В.И. Вернадского с привлечением специалистов НПО имени С.А. Лавочкина подтвердили эффективность использования малых космических аппаратов на базе УКП «Яхта» с электрореактивной двигательной установкой для исследования других планет и тел Солнечной системы.

### Сборка конструктивно-технологического макета УПК «Яхта»

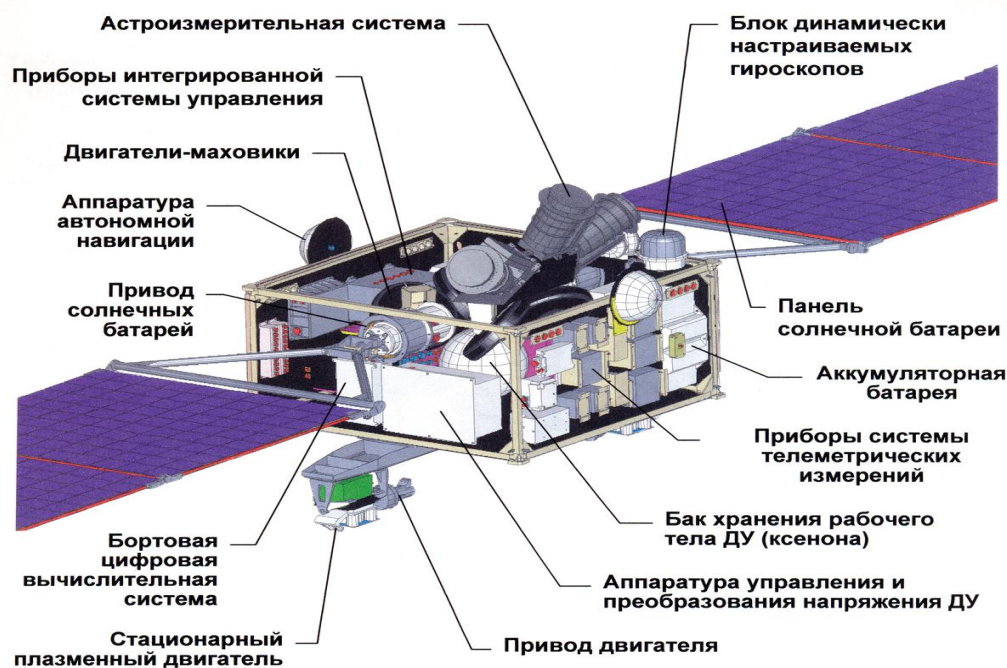
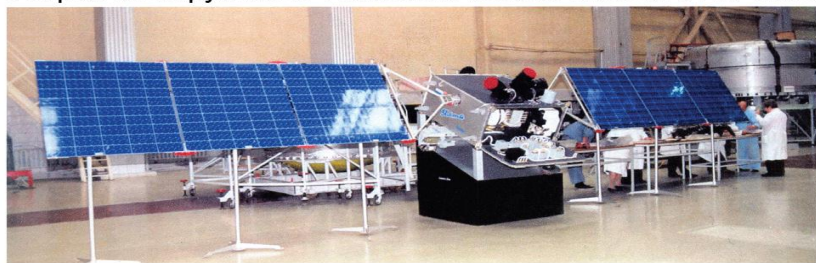


Рис. 2. Унифицированная космическая платформа «Яхта»

В частности, была показана принципиальная возможность применения этого МКА для проведения экспериментов в интересах изучения Луны для решения вопросов фундаментальной геологии: механизма формирования Земли и планет, понимания ранней истории Земли, а также определения наличия воды на Луне, которая может быть сконцентрирована в понижениях рельефа на лунных полюсах, и многого другого. Последнее, в частности, открывает перспективу освоения Луны и создания постоянно действующих станций для научных исследований, разработки ресурсов и использования при межпланетных перелетах. Кроме того, характеристики УПК «Яхта» позволяют использовать для выведения созданных на ее базе МКА ракеты-носители легкого класса «Рокот» и «Ангара» разработки ГКНПЦ имени М.В. Хруничева, что обеспечивает возможность комплексной оптимизации технического облика системы «космическая

платформа — полезный груз — средства выведения на орбиту» для расширения целевых возможностей КА и снижения общей стоимости услуг, включающих его разработку и выведение на различные орбиты (в т.ч. на геостационарную).

### **Космическая система мониторинга и дистанционного зондирования земли**

Однако реальная работа над системой «Монитор» с подключением предприятий-соисполнителей началась практически в 2001 г. после выделения предприятием значительных внебюджетных средств на эту тему. После серьезной переработки программы ГКНПЦ по созданию космической системы мониторинга и дистанционного зондирования Земли «Монитор» в качестве первого шага в ее развертывании было принято решение о разработке системы на базе малого космического аппарата «Монитор-Э» как составляющей части системы «Монитор», утвержденное в октябре 2001 г. Генеральным директором Росавиакосмоса и Генеральным директором ГКНПЦ. При этом наземный сегмент сразу должен был создаваться с возможностью обеспечения функционирования (управления и приема информации) всей орбитальной группировки системы (рис.3).

Детальная проработка составляющих ее элементов, и в первую очередь наземного сегмента, по которому у ГКНПЦ опыт практически отсутствовал, (наземного комплекса управления всей группировкой КА; наземного комплекса приема, обработки и передачи данных потенциальному потребителю), показала, что создание такой системы в утвержденные в программе сроки с заданными характеристиками невозможно, особенно без всесторонней поддержки со стороны государства.

Поэтому в январе 2002 г. во время посещения ГКНПЦ Президентом РФ В.В. Путиным при участии Генерального директора Росавиакосмоса Ю.Н. Коптева было принято окончательное решение о включении этой темы в Федеральную космическую программу на 2001- 2005 гг., утвержденную постановлением Правительства РФ от 30 марта 2002 г. № 228, с долевым финансированием из бюджетных средств с условием передачи Роскосмосу 70% информации, получаемой с помощью МКА «Монитор-Э».

В феврале 2003 г. по результатам технико-экономического обоснования создания этой системы, проведенного совместно с предприятиями-соисполнителями, участвующими в этом проекте, был утвержден план-график и смета затрат на его реализацию, в соответствии с которой основная доля финансирования приходилась на ГКНПЦ (~80% с учетом инфляции), а оставшаяся — на Росавиакосмос (~20%).



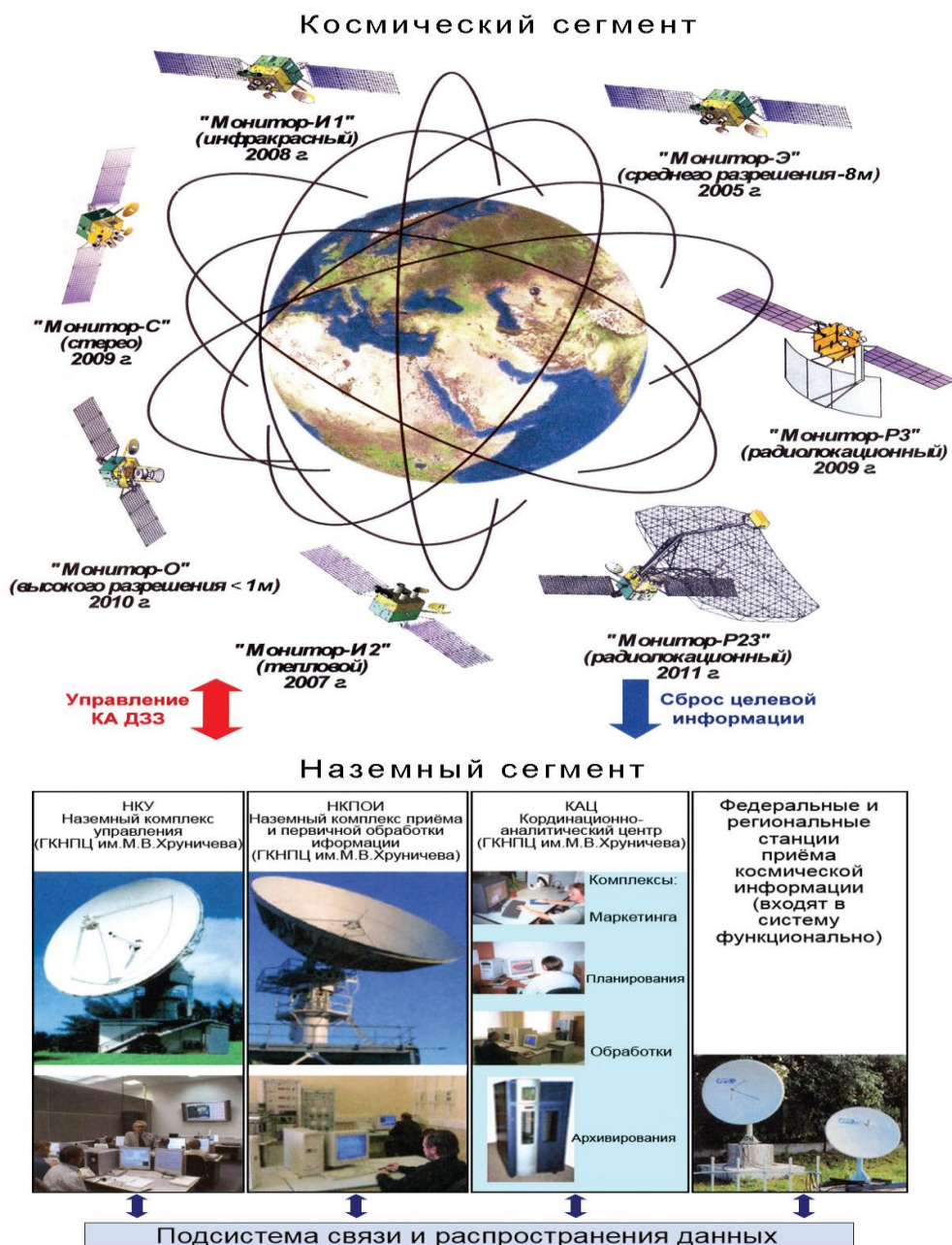


Рис. 3. Укрупненный состав космической системы мониторинга и дистанционного зондирования Земли «Монитор»

Несмотря на сложное финансовое положение, в котором оказался ГКНПЦ с середины 2002-го по 2004 г. в связи со значительным снижением спроса на международном космическом рынке запусков коммерческих КА (для справки: до 2002 г. основной доход (80-90%) предприятие получало от коммерческих пусков РН «Протон»), смета затрат и генеральный план-график были полностью выполнены, и 26 августа 2005 г. МКА «Монитор-Э» был запущен ракетой-носителем легкого класса «Рокот» с космодрома Плесецк на солнечно-синхронную орбиту (ССО).

Малый космический аппарат «Монитор-Э» был разработан на основе иннова-

ционных подходов по модульному принципу, т.е. КА состоял из двух модулей — модуля универсальной космической платформы «Яхта» и модуля целевой аппаратуры (рис. 4). Такое проектное решение позволяет переоснащать КА различной целевой аппаратурой (см. рис. 3) при минимальной модификации бортовых служебных систем. Кроме этого, такой принцип позволяет сократить сроки развертывания всей системы и ее стоимость за счет увеличения серийности изготовления и отработки программно-математического обеспечения бортовой и наземной аппаратуры [2].

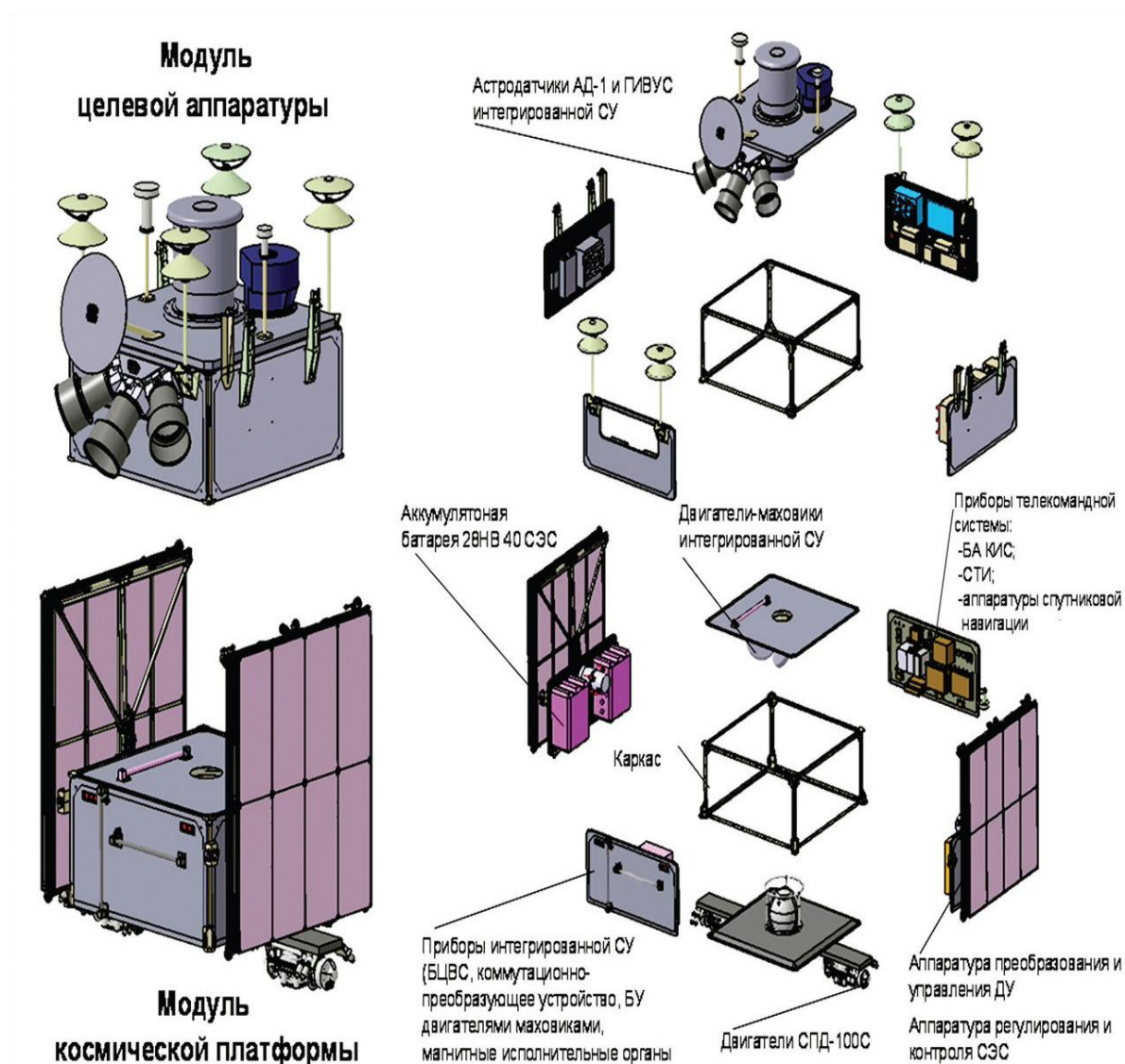
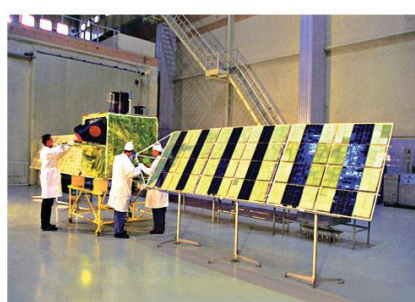


Рис. 4. Конструктивно-технологическая схема МКА «Монитор-Э»

Для обеспечения запуска МКА «Монитор-Э» на РН «Рокот» на ССО требовалось, чтобы его масса составляла не более 720 кг, что для отечественной ракетно-космической

отрасли являлось беспрецедентным случаем, так как ранее практически все российские КА мониторинга и ДЗЗ с аналогичными характеристиками имели массу 2—6,5 т (например, функционирующий в настоящее время КА «Ресурс-ДК1» имеет массу ~6,5 т). Их запуск осуществлялся РН среднего класса с заметно большей начальной массой и, следовательно, стоимостью. Этим и объяснялась необходимость новой разработки почти всей служебной и целевой аппаратуры МКА «Монитор-Э», в т.ч. с повышенным «интеллектом». Именно поэтому в названии КА присутствует индекс «Э» — экспериментальный, поскольку одной из основных задач этого КА была отработка новых бортовых систем, подтверждение правильности заложенных схемных, проектных и конструктивно-технологических решений.

Основные характеристики МКА «Монитор-Э» представлены на *рисунке 5*.



#### Характеристики КА

|                                 |                           |
|---------------------------------|---------------------------|
| Параметры орбиты                |                           |
| - высота                        | 540 км                    |
| - наклонение                    | 97,54°(ССО)               |
| Масса КА                        | 750 кг                    |
| Срок активного функционирования | 5 лет                     |
| Мощность                        | 1400 Вт                   |
| Средства выведения              | РН лёгкого класса «Рокот» |

#### Характеристики целевой аппаратуры

| Показатели                           | Оптико-электронный комплекс           |  |
|--------------------------------------|---------------------------------------|--|
|                                      | Панхроматическая съёмочная аппаратура | Съёмочная аппаратура распределённого доступа |
| Спектральные диапазоны, мкм          | 0,51...0,84<br>(панхром)              | 0,54...0,59<br>0,63...0,67<br>0,78...0,90    |
| Пространственное разрешение, м       | 8                                     | 20/40  |
| Полоса захвата, км                   | 96                                    | 160  |
| Полоса обзора, км                    | 730                                   | 890  |
| Скорость передачи информации, Мбит/с | 122,88                                | 61,44/15,36                                  |
| Максимальная мощность, Вт            | 450                                   | 450  |

#### Конечная продукция:



- Панхроматические и многозональные цифровые изображения стандартных уровней обработки, стереопары:
- изображения, включающие стандартную радиометрическую и геометрическую коррекцию;
  - геокодированные изображения в географической проекции;
  - ортотрансформированные изображения, мозаики;
  - цифровые модели рельефа;
  - цифровые тематические карты.

Рис. 5. Основные характеристики МКА «Монитор-Э» нового поколения



В качестве целевой аппаратуры на КА были установлены две оптико-электронные камеры с разрешением 8 м (панхроматическая съемочная аппаратура — ПСА) и 20 м, 40 м (съемочная аппаратура распределенного доступа РДСА). При проектировании УКП были заложены расширенные возможности, позволяющие проводить съемки из космоса в разных режимах, многие из которых ранее не использовались в отечественных КА.

Это обеспечило, в частности, получение ширины полосы обзора (см. *рис. 5*) для целевого оборудования, превышающей все аналогичные показатели для отечественных и многих зарубежных КА того же назначения, что, в свою очередь, позволяет заметно расширить возможности по времени обновления информации, а также значительно увеличить площади снимаемой поверхности Земли. Выбор характеристик целевой аппаратуры первого МКА был обусловлен:

- наиболее широким охватом задач, решаемых в интересах многих министерств и ведомств в условиях отсутствия соответствующих отечественных КА;
- меньшей стоимостью и сроками создания и изготовления целевой аппаратуры, например, по сравнению с аппаратурой высокого разрешения или радиолокационных систем (например, радиолокационное оборудование для российского КА «Кондор» создается уже более 10 лет);
- достаточно высокой степенью риска потери КА с дорогим оборудованием при первом запуске (установка такого оборудования планировалась на последующих МКА после отработки служебных систем при первом запуске МКА «Монитор-Э» и др.).

Следует отметить, что впервые в России система «Монитор» создавалась как единая: одним головным разработчиком («под ключ»), обеспечивающим в т.ч. выведение КА этой системы. Ранее составные элементы систем разрабатывались различными головными разработчиками, а их увязка производилась на уровне заказчиков. В результате был создан уникальный наземный сегмент, включающий (см. *рис. 3*):

- наземный комплекс управления малыми КА, с помощью которого осуществляется автоматизированное управление МКА совместно с бортовым комплексом управления на орбитальном участке полета с момента отделения от разгонного блока РН (разработчик — РНИИКП по ТЗ ГКНПЦ);
- наземный комплекс приема и первичной обработки информации (НКПОИ), расположенный на территории ГКНПЦ (разработчик — РНИИКП по ТЗ ГКНПЦ);
- координационно-аналитический центр (КАЦ), расположенный на территории ГКНПЦ (разработчик — НИИПТ по ТЗ ГКНПЦ). Основное назначение КАЦ —

планирование съемки, архивация и обработка информации, получаемой с КА ДЗЗ;

- единая система связи и передачи данных (ЕССПД). ЕССПД реализуется существующими и вновь вводимыми оптоволоконными и спутниковыми линиями связи.

Все основные элементы наземной инфраструктуры, представленные выше, на момент их создания превосходили по своим характеристикам все соответствующие эксплуатируемые отечественные средства, а по отдельным элементам — и зарубежные (например, по приемным станциям).

После проведения полной наземной экспериментальной отработки всех составных частей комплекса и окончательной проверки МКА на космодроме Плесецк в соответствии с планом-графиком 26 августа 2005 г. состоялся запуск МКА «Монитор-Э» на РН легкого класса «Рокот». В ходе летных испытаний была отработана технология управления КА, в т.ч. при выходе из штатных ситуаций, возникновение которых на других отечественных КА приводило к их потере (отсутствие связи КА с НКУ, неориентированный полет, сбой при информационном обмене между бортовыми системами и многое другое). Были разработаны и проведены в полете мероприятия, устраняющие влияние этих замечаний и отказов на выполнение целевых задач КА. Например, сразу после выведения МКА на заданную орбиту выяснилось, что связи с ним нет (не прохождение на борт разовых команд и закладок командно-программной информации). Оказалось, что разработанная бортовая цифровая телекомандная система нового поколения не согласуется по методу формирования сигналов со штатными наземными станциями командно-измерительной системы Минобороны России, хотя в ТЗ на ее разработку содержались обязательные требования по такому согласованию. Наземные испытания по проверке этого радиоканала были проведены с помощью наземного оборудования, поставленного разработчиком телекомандной системы в соответствии с нормативно-правовыми документами, действующими в ракетно-космической отрасли и сегодня, что было подтверждено различными (в т.ч. межведомственными) комиссиями. Однако каких-либо отклонений от штатной работы радиоканала выявлено не было. Только еще более углубленный анализ цифровых методов формирования сигналов в этом оборудовании показал, что на всех наземных станциях должны были быть проведены дополнительные доработки, что и было сделано в кратчайшие сроки. Таким образом, телекомандная система нового поколения (ее бортовая и наземная части) была отработана при создании системы «Монитор-Э», что открыло возможность для ее применения в других перспективных отечественных космических системах аналогичного класса. Этот бесценный опыт подтвердил, что при создании новых сложных технических систем необходимо развивать и методы наземной

отработки, а также соответствующую нормативно-правовую базу. Следует отметить, что устранение нештатной ситуации заняло около полумесяца, и все это время МКА «Монитор-Э» находился в автоматическом полете, а после вхождения с ним в связь телеметрическая информация показала, что бортовое оборудование работало в этот период в запланированном для такой ситуации режиме.

Другим наглядным и поучительным примером является отказ в 2007 г. одного из каналов ГИВУС, от которого зависит построение орбитальной системы координат МКА. Он был скомпенсирован с помощью разработки специального программного обеспечения (ПО), в основу которого была положена информация с астродатчика, расположенного на КА. После введения этого ПО по командной радиолинии из центра управления полетом на борт МКА «Монитор-Э» продолжил проводить съемку земной поверхности в среднем в течение 22—22,5 часов в сутки практически без потери точности ориентации и стабилизации. Остальное время пока необходимо для проведения профилактики бортового оборудования. В перспективе оно с помощью специального ПО может быть сведено к минимуму.

В процессе орбитального полета были проверены режимы работы съемочной аппаратуры и системы сбора, накопления и передачи информации, получены качественные видеоизображения, отработана технология планирования работы съемочной аппаратуры, приема, архивирования и обработки информации, командно-программное, навигационно-баллистическое и информационно-телеметрическое управление полетом и многое другое.

Первые снимки с МКА «Монитор-Э» были получены в ноябре 2005 г. За прошедшие 5 лет отработаны тысячи полетных заданий и отснято примерно 100 млн. км<sup>2</sup> земной поверхности — беспрецедентный случай для отечественного космического мониторинга и ДЗЗ. При этом в ходе летной эксплуатации МКА «Монитор-Э» было выполнено несколько сот заявок потребителей на съемку. Для справки: средний срок службы российских КА мониторинга и ДЗЗ не превышает 2-3 лет. Согласно информации геоинформационного портала ГИС-ассоциации (межрегиональной общественной организации содействия развитого рынка геоинформационных технологий и услуг) по снимкам с МКА «Монитор-Э» были определены незаконные вырубки лесов практически по всей территории России. В рамках экологического мониторинга были обнаружены разливы нефти на Каспии и нефтегазовые загрязнения ряда районов Западной Сибири. Минсельхозом данные с «Монитора-Э» использовались для оценки состояния таяния снегов и прогноза урожаев. Значительная информация была получена о состоянии

территорий вокруг объектов инфраструктуры газовой и нефтедобывающей отраслей (буровых вышек, газопроводов, нефтепроводов и др.). Информация с «Монитор-Э» использовалась для получения цифровых карт местности и многого другого. Для справки: аналогичный (с точки зрения точностных характеристик платформы) американский спутник нового поколения *Ikonos* (масса КА — 720 кг) в 1999 г. был утерян, не проработав и часа, а отечественный космический аппарат «Персона», предназначенный для получения изображения земной поверхности высокого разрешения (заказчик — Минобороны РФ), запущенный в июле 2008 г., вышел из строя в феврале 2009 г., практически не приступив к работе, при заданном гарантийном сроке активного существования семь лет (по официальным сообщениям). Новый КА для исследования Солнца и солнечно-земных связей «Коронас-Фотон» (заказчик — Роскосмос, РАН) проработал на орбите в 3 раза меньше нормативного срока (запуск 30 января 2009 г., потеря управления 1 декабря 2009 г.) и пр.

Космическая система мониторинга и ДЗЗ «Монитор-Э» стала первой отечественной системой нового поколения, обладающей функциональной завершенностью, которая позволяет обеспечить весь цикл от запуска космического аппарата до получения конечного продукта. Основным преимуществом системы «Монитор» (см. *рис. 4*) является оптимальная унификация как орбитальных средств, так и элементов наземной инфраструктуры. Применение унифицированной космической платформы и модуля целевой аппаратуры позволит без больших затрат создавать группировки новых КА (с аппаратурой инфракрасного, радиолокационного и других диапазонов, в т.ч. обеспечивающей стереоскопическое и высокое разрешение) при едином (унифицированном) наземном комплексе управления полетом, наземном комплексе приема, отработки и распространения информации и центре планирования съемок, архивации и каталогизации этой информации (КАЦ).

Летные испытания КА «Монитор-Э» и УКП «Яхта» в его составе подтвердили правильность заложенных принципов и выбранных при его разработке конструктивных решений. Некоторые основные характеристики КА оказались даже выше заданных, например точность ориентации и стабилизации. Это позволяет в дальнейшем, как уже отмечалось, рассматривать УКП «Яхта» как перспективную платформу для размещения на ней различной съемочной аппаратуры, в т.ч. высокого разрешения (менее 1 м). В рамках программы «Монитор-Э», выполненной в основном за счет внебюджетных источников, впервые в России были решены задачи не только создания космической техники мирового уровня, которая может быть применена в других перспективных



проектах, но и оперативного доведения информации до потребителей с помощью новых современных наземных технических средств ее приема с КА, обработки и передачи, вопрос о развитии которых в России стоит также остро.

Следует подчеркнуть, что разработка первого отечественного МКА нового поколения «Монитор-Э» позволила многим предприятиям отрасли выйти на качественно новый уровень создания бортовых приборов и использовать полученные заделы, инженерно-технические решения и оборудование на других перспективных КА, создаваемых в РФ: «Электро», «Белка» и др.

### **Библиографический список**

1. Медведев А.А. Унификация как средство повышения эффективности ракетно-космической техники // Российская энциклопедия CALS. Авиационно-космическое машиностроение / Гл. ред. А.Г. Братухин. – М.: ОАО «НИЦ АСК», 2008. – с. 125–149.

2. Медведев А.А. и др. «Модульная конструкция космического аппарата». Патент на изобретение № 2247683. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений РФ 10 марта 2005 г.

Алифанов Олег Михайлович, профессор Московского авиационного института (национального исследовательского университета), д.т.н. член-корреспондент РАН.

МАИ, Волоколамское ш., 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993; тел.: (499)158-58-65; e-mail: [oolifanov@mail.ru](mailto:oolifanov@mail.ru)

Медведев Александр Алексеевич, вице-президент ОАО Научно-производственная корпорация «ИРКУТ», д.т.н.; профессор.

Корпорация ИРКУТ, 125315, г. Москва, Ленинградский проспект, дом 68, стр. 1 тел.: +7 (495) 777-21-01; e-mail: [amedvedev@irkut.com](mailto:amedvedev@irkut.com)

Соколов Владимир Петрович, проректор Российского государственного университета инновационных технологий и предпринимательства, д.т.н. профессор.

РГУИТП, 107078, г. Москва, ул. Новая Басманная, дом 9,  
тел.: +7(495)618-65-70; e-mail: [Vladimir.Sokolov@itbu.ru](mailto:Vladimir.Sokolov@itbu.ru)