

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ, ЗАДАЧИ И ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ГЕОСТАЦИОНАРНОГО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «ЭЛЕКТРО» № 1

Л.А. Макриденко, С.Н. Волков, А.В. Горбунов, В.П. Ходненко

Рассматривается краткая история создания первого российского геостационарного гидрометеорологического ИСЗ «Электро», входящего в систему «Планета-С». Имея ряд преимуществ, метеорологические геостационарные космические аппараты (КА) в начале 70-х гг. прошлого столетия привлекли к себе большое внимание специалистов. Идея создания в нашей стране геостационарных гидрометеорологических КА появилась уже в начале 70-х гг. Отечественный КА получил международное название GOMS (ГОМС – Геостационарный оперативный метеорологический спутник) и стал первым российским геостационарным спутником гидрометеорологического обеспечения. В начале 80-х гг. ВНИИЭМ приступил к созданию космической гидрометеорологической системы «Планета-С» с входящим в её состав геостационарным КА «Электро» с точкой стояния $(76 \pm 0,5)^\circ$ в. д. В ходе создания КА «Электро» были разработаны более 90% всех бортовых и наземных устройств с учётом самых современных на то время требований по надёжности, автономности и длительности гарантированного полётного ресурса КА. Трудности, имевшие место в процессе создания КА «Электро», привели к многолетней задержке его запуска. В результате КА «Электро» был успешно запущен с космодрома Байконур 31 октября 1994 г. ракетой-носителем «Протон» с унифицированным разгонным блоком «ДМ».

Ключевые слова: геостационарный космический аппарат, «точка стояния», бортовая информационная аппаратура, бортовой комплекс управления, телевизионный радиометр, система ориентации, орбитальная коррекция.

Геостационарный гидрометеорологический ИСЗ «Электро» входил в космическую систему «Планета-С», которая совместно со среднеорбитальной метеорологической системой на базе спутников серии «Метеор» образовывала Российскую национальную систему сбора гидрометеорологической информации. Первоначально орбитальный сегмент системы «Планета-С» должен был состоять из трёх геостационарных космических аппаратов (КА), выводимых в районы с подспутниковыми точками над Атлантическим (16° з. д.), Индийским (76° в. д.) и Тихим (144° в. д.) океанами. Наземный комплекс предполагалось развернуть на базе пунктов приёма информации в Москве, Ташкенте и Хабаровске.

Однако в дальнейшем программа была существенно скорректирована в направлении сокращения как орбитального, так и наземного сегментов, а также в расчёте на более тесное международное сотрудничество в вопросах обмена спутниковой метеоинформацией. В результате космическая система «Планета-С» в обновленном составе включала один геостационарный КА «Электро» с точкой стояния 76° в. д., оперативный центр приёма и обработки данных в Москве, наземные станции для ретрансляции данных в Новосибирске и Хабаровске, а также автономные пункты приёма информации (АППИ).

История создания. После успешной демонстрации возможностей первыми зарубежными метеорологическими спутниками TIROS Operational System и Application Technology Satellites (ATS-1 и

ATS-3) стало ясно, что наилучшие результаты в метеорологических наблюдениях могут быть получены при использовании глобальной спутниковой метеорологической системы, состоящей из среднеорбитальных и высокоорбитальных КА. В этой системе среднеорбитальные КА позволяют получить более детальную метеорологическую информацию об отдельных районах земного шара. Высокоорбитальные КА дают возможность получения обобщённой метеорологической информации в глобальном масштабе и её непрерывный приём.

Что касается метеорологических геостационарных КА, то они имеют следующие преимущества [1]:

1. Находясь над одной и той же экваториальной точкой земного шара, КА может непрерывно обзирать заданный район планеты. Этим достигается исключительно высокая оперативность выдаваемой им обзорной метеорологической информации.

2. «Неподвижное», относительно поверхности Земли, положение КА позволяет существенно упростить его бортовые системы и комплексы, например, отказаться от запоминающих устройств и, тем самым, исключить соответствующий режим «запоминания информации».

3. Геостационарные КА могут с большей эффективностью и оперативностью осуществлять сбор различной метеоинформации с наземной гидрометеорологической сети, а также с автоматических метеостанций, шаров-зондов, морских буев, самолётов, кораблей, низколетящих КА и любых других абонентов, находящихся в их поле зрения.

В связи с этим в начале 70-х гг. прошлого столетия большое внимание в мировом космическом сообществе уделялось геостационарным метеорологическим КА.

Координационная группа по метеорологическим спутникам (КГМС) (англ. Corporation Group for Meteorological Satellites) начала функционировать 19 сентября 1972 г., когда представители Европейской организации космических исследований Японии, США, а также наблюдатели от Всемирной метеорологической организации (ВМО) и объединённого центра планирования глобальной программы исследований атмосферы (англ. Joint Planning Staff for the Global Atmosphere Research Programme) встретились в Вашингтоне, чтобы обсудить вопросы совместимости геостационарных метеорологических спутников. Кроме того, позднее в зону ответственности КГМС были отнесены и спутники на приполярных орбитах.

Принципы, провозглашённые КГМС, подразумевали, что информация со спутников, находящихся в системе, распространяется на добровольной и безвозмездной основе.

Первые спутники, вошедшие в глобальную метеорологическую систему GOES, были запущены в США в 1977 г. За ними последовали спутники ЕКА («Meteosat») и Японии («Himawari» (GMS)).

Необходимо отметить, что в СССР с начала 70-х гг., информация с оперативных метеорологических спутников использовалась на регулярной основе прогностическими подразделениями Гидрометслужбы (Росгидромет). В условиях постоянного сокращения плотности сети наблюдений и с учётом особенностей географического положения нашей страны, спутниковая гидрометеорологическая информация (ГМИ) становилась наиболее полным, регулярным (часто единственным) видом метеорологических, гидрологических и океанографических наблюдений. Поэтому дальнейшее развитие и совершенствование отечественной системы метеорологических ИСЗ становилось одной из важнейших задач, по существу определяющей перспективу гидрометеорологического обслуживания различных отраслей экономики страны.

По инициативе ВМО постоянно проводились анализ и систематизация направлений и задач, решаемых с использованием данных оперативных метеорологических спутников, а также требований к спутниковым данным. В результате был сформулирован и ежегодно уточнялся сводный перечень требований ВМО, применительно к следующим областям использования спутниковых данных [2]:

– оперативная метеорология;

– гидрология и агрометеорология;
– мониторинг климата окружающей среды.

СССР присоединился к комитету по метеорологическим спутникам (КМС) только в январе 1973 г., однако идея создания в нашей стране геостационарных гидрометеорологических КА, с пониманием их преимущества, появилась уже в начале 70-х гг. почти одновременно с координацией работ по метеорологическим спутникам в международном масштабе. Так, уже 16 декабря 1972 г. был издан указ о развитии метеорологической системы третьего поколения, которая позже должна была стать частью глобальной сети.

В рамках ВМО, при активном участии России, были сформулированы основные требования к системе геостационарных гидрометеорологических КА. Система предполагала использование пяти геостационарных КА, расположенных «равномерно» вдоль экватора (двух геостационарных спутников США для наблюдения за Западной Атлантикой и Восточной частью Тихого океана, спутника METEOSAT Европейского космического агентства для наблюдения за центральной частью Атлантического океана, российского спутника GOMS/Электро для наблюдения за районом Индийского океана и геостационарного спутника Японии для наблюдения за районом Тихого океана) (рис. 1).

Точки «стояния» указанных КА должны быть равномерно распределены по экватору для одновременного и регулярного наблюдения широтного пояса Земли от 60° ю. ш. до 60° с. ш.

Отечественный КА получил международное название GOMS (ГОМС – Геостационарный оперативный метеорологический спутник) – первый российский геостационарный спутник гидрометеорологического обеспечения.

Положение российского геостационарного спутника на орбите было определено из расчёта обеспечения наилучшего обслуживания результатами наблюдений территории СССР, а также полноценного выполнения функций составного элемента глобальной спутниковой системы наблюдений в рамках ВМО.

В результате было организовано три мировых метеоцентра, одним из которых стал Московский центр. Энтузиастами идеи включения СССР в мировую службу погоды стали директор Московского Гидрометцентра академик В.А. Бугаев и возглавивший Госкомитет по гидрометеорологии академик Ю.А. Израэль.

По инициативе В.А. Бугаева представители ВНИИЭМ уже с 1973 г. стали участвовать в международных совещаниях по согласованию характеристик геостационарных КА.

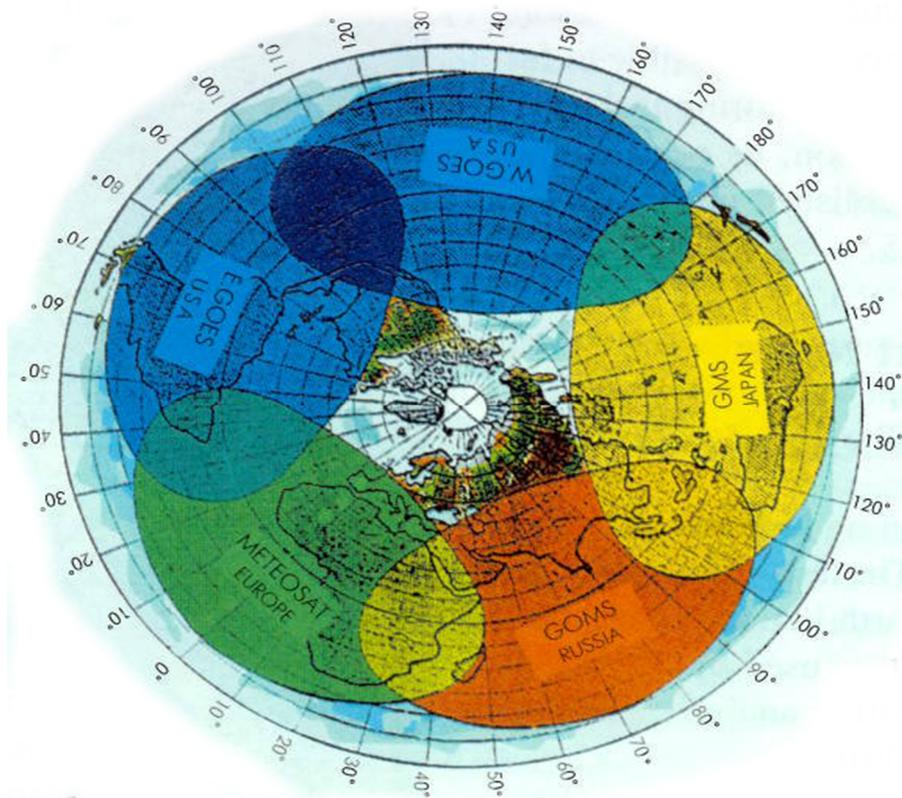


Рис. 1. Система геостационарных гидрометеорологических КА

В начале 70-х гг. вышло специальное постановление Правительства и к концу 70-х было подготовлено ТТЗ на отечественную систему геостационарных КА. Создание системы взяло под контроль Министерство обороны. Министр обороны Д.Ф. Устинов, вместе с другими министрами (МЭТП, МОМ, Миноборонпром и др.), лично утвердил ТТЗ.

Задача, поставленная перед ВНИИЭМ военными и гражданскими метеорологами, была крайне сложной. На этапе выбора концепции разработки главную роль сыграли требования военных, которые выступали в качестве основного заказчика.

При этом учитывалась необходимость решения следующих задач:

- создания самостоятельной отечественной гидрометеорологической системы из трёх геостационарных КА (точки стояния над Атлантическим 14,5° з. д., Индийским 76° в. д. и Тихим 166° в. д. океанами), один из которых с точкой стояния 76° в. д. должен входить в мировую сеть;
- наблюдения Земли, атмосферы и околоземного космоса, а также осуществления функции связи, включая в перспективе межспутниковую связь всех трёх КА;
- обеспечения длительного (до одного месяца) автономного существования КА, т. е. регулярного

сброса гидрометеорологической информации и реализации функций связи без вмешательства наземных служб контроля и управления;

- возможности использования шифрованных радиолиний управления и контроля КА;
- обеспечения полной совместимости параметров гидрометеорологической и гелиогеографической информации, передаваемой по радиолиниям в международных диапазонах частот, а также передачи, при необходимости, этих же данных по специфическим, только для России, радиолиниям в других диапазонах частот.

На первом этапе создания системы планировался запуск одного КА в точку стояния 76° в. д. и этот спутник должен был обеспечивать подразделение Роскосмоса и Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, а также другие специализированные ведомства оперативной гидрометеорологической информацией над своей подспутниковой точкой.

В течение 1977 – 1979 гг. во ВНИИЭМ были проведены проектные проработки различных вариантов отечественного геостационарного КА, и в начале 80-х гг. предприятие приступило к созданию космической гидрометеорологической системы «Планета-С» с геостационарным КА «Электрон».

КА «Электро», входящий в состав гидрометеорологической системы «Планета-С», предназначался для оперативного получения изображений облачности и подстилающей поверхности в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра в радиусе 60° от своей точки стояния.

КА «Электро» должен был получать изображения снежных и ледяных полей, данные о температуре и влажности воздуха, а также температуре морской поверхности и облаков.

Кроме того, КА «Электро» имел другие задачи, а именно:

- проведение непрерывных наблюдений за динамикой атмосферных процессов;
- обнаружение опасных явлений природы в почти реальном времени;
- определение скорости и направления ветра в различных частях земной атмосферы;
- получение информации о потоках частиц солнечного и галактического происхождения, электромагнитного, ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца, а также вариации вектора магнитного поля Земли;
- сбор гидрометеорологических и других данных с российских и иностранных наземных платформ сбора информации;
- обмен между наземными центрами первичными и обработанными данными от метео- и природоресурсных космических систем;
- доведение гидрометеорологической информации до российских и иностранных потребителей.

Общее проектирование гидрометеорологической космической системы «Планета-С» с геостационарным КА «Электро» было завершено в 1979 г., с защитой проекта в мае 1980 г.

Хотя, согласно первоначальным планам, первый из КА «Электро» должен был быть запущен в 1982 г., последовали различные задержки. В период с 1983 по 1987 гг. проект столкнулся с очень большими трудностями технического и экономического характера, и первый тестовый макет КА был завершён только в 1989 г. Основными техническими проблемами являлись разработка математического обеспечения для бортовых ЭВМ, а также создание трёхосной системы ориентации КА.

Всё это проходило на фоне недостаточного финансирования разработки КА «Электро».

Необходимо отметить, что после 1986 г. изменилась геополитическая доктрина Советского Союза, стали резко сокращаться ассигнования на оборонные расходы, военные потеряли интерес к созданию собственной глобальной гидрометеорологической системы, а в дальнейшем и вообще отка-

зались от роли заказчика КА и системы в целом. Это привело к затягиванию программы и к переходу использования ретрансляционной аппаратуры спутника для гражданских приложений.

Справедливости ради необходимо отметить, что для военных пользователей геостационарные метеорологические спутники представляют наименьший интерес.

В метеорологическом обеспечении военной деятельности особое значение имеет точное определение погодных условий в относительно небольших районах – потенциальных областях проведения боевых действий. По этой причине, например после того, как спутники национального управления по изучению океана и атмосферы (НОАА) США стали запускаться на более высокие орбиты, ВВС США создали специализированные низкоорбитальные метеоспутники DMSP для удовлетворения своих специфических нужд, таких как обеспечение полётов и планирование съёмки с разведывательных спутников.

В Советском Союзе такой специализации не наблюдалось, поэтому Вооружённые силы, контролируя все КА, имели возможность получать всю необходимую информацию из единой системы метеонаблюдений. Кроме того, на отечественных спутниках оптической разведки устанавливались бортовые датчики облачности, позволяющие избежать расходования плёнки при наблюдении неблагоприятных погодных условий в районе цели.

Возвращаясь к особым условиям создания КА «Электро», можно отметить, что в период 1988 – 1991 гг. бюджетные ассигнования на заключительные этапы создания КА и наземных средств приёма и обработки информации практически прекратились. Только образование Российского космического агентства (РКА) и понимание его руководством необходимости завершения работ позволили полностью закончить испытания КА «Электро» в 1993 г. и обеспечить выделение необходимых средств на подготовку и проведение его пуска.

Особенности разработки. Необходимо отметить, что объективно предстояло создать уникальный многоцелевой КА, не имевший тогда аналогов в мировой (тем более в отечественной) космической технике, в котором все узлы, приборы, системы и конструкция в целом должны были разрабатываться впервые, почти без материального задела.

КА «Электро» должен был каждые полчаса выдавать многоспектральные изображения видимого диска Земли с высоким пространственным разрешением и точностью измерения, обеспечивать ме-

теоретиков многими видами двухсторонней связи и ретрансляции информации, проводить разнообразные гелиогеофизические измерения в околоземном космосе, поддерживать стабильность точки стояния и многое другое.

В отличие от американских и европейских аппаратов КА «Электро» должен был иметь прецизионную трёхосную ориентацию. Американские геостационарные КА, запускавшиеся в первые двадцать лет, стабилизировались вращением, что было существенно проще, но не обеспечивало необходимых условий для использования ряда важных целевых приборов. Первый подобный космический аппарат GOES NEXT был запущен американцами только в апреле 1994 г., всего на полгода раньше нашего отечественного геостационарного КА.

Необходимо отметить, что требования отечественных военных носили глобальный характер. Как говорилось выше, в СССР предполагалось создать собственную систему из трёх геостационарных КА, осматривающих одновременно весь земной шар, и с помощью межспутниковой связи (ретрансляции) обеспечивать передачу глобальных метеоданных каждые 30 – 60 мин на три отече-

ственных центра – Москва, Новосибирск, Хабаровск.

Кроме того, управление практически всеми системами и устройствами КА «Электро» должно было осуществляться единым управляющим вычислительным комплексом.

Удовлетворение вышеуказанных требований означали необходимость разработки такой структуры спутника, которая с помощью работающего в автоматическом режиме бортового комплекса управления (БКУ) обеспечивала бы следующие функции:

- исполнение программ и режимов работы бортовой информационной аппаратуры, в том числе передачу и ретрансляцию гидрометеорологических и гелиогеофизических данных;
- контроль функционирования всех служебных систем и состояния конструкции;
- диагностику и локализацию отказов и сбоев в системах КА;
- выработку и реализацию мер по восстановлению работоспособности служебных систем и информационных радиолиний;
- обеспечение живучести КА в целом.

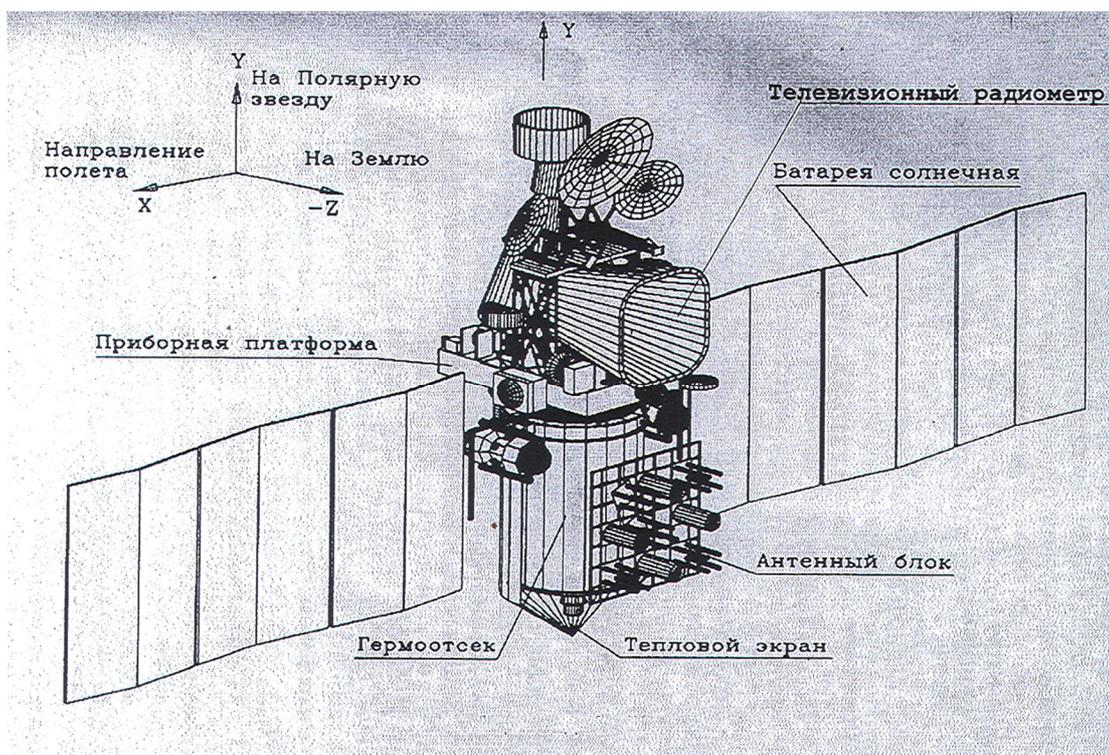


Рис. 2. Общий вид КА «Электро»

Комплекс вышеуказанных требований мог быть выполнен только при создании заведомо сложного КА, причём сам КА, включая его конструкцию, бортовые системы и их узлы, пришлось разрабатывать заново, без использования отработанных ранее аналогов [3].

Были разработаны более 90 % всех бортовых и наземных устройств. Из готовых были применены только блоки бортового стандарта времени и частоты (БСВЧ), никель-кадмиевые аккумуляторы и солнечные батареи (СБ), причём СБ впервые были выполнены двухсторонними.

Общий вид КА «Электро» показан на рис. 2.

Входившие в состав БКУ командно-измерительная система (КИС) и телеметрическая система БАТИ после поставки из РНИИ КП были доработаны ВНИИЭМ на соответствие требованиям автономности.

Коллективом специалистов ВНИИЭМ были созданы новые системы ориентации и стабилизации, энергоснабжения, терморегулирования, орбитальной коррекции, антенно-фидерного устройства.

Большинство приборов бортового комплекса управления, включая вычислительные машины и всё программное обеспечение (ПО), были также разработаны соответствующими подразделениями ВНИИЭМ впервые.

Ещё одной, не менее сложной, научно-технической проблемой было создание во ВНИИ телевидения и ЛОМО телевизионного многоспек-

трального сканирующего радиометра (ТРС) для наблюдения Земли и измерения потоков её излучений.

ТРС по точностным параметрам и измерительным свойствам своего оптико-механического устройства был подобен лучшим зарубежным бортовым информационным комплексам того времени.

Приборы информационного комплекса были созданы различными организациями, но основной, уникальный по точности и надёжности, двухосевой привод сканирования для телевизионного радиометра, а также оригинальный радиационный холодильник для ТРС были также созданы во ВНИИЭМ.

Диагностика и автономное поддержание работоспособности этих устройств, а также устройств, входящих в состав информационных приборов и радиолиний, осуществлялись от управляющих ЭВМ. Это позволило разработчикам БКУ создать глубоко интегрированную во все бортовые устройства единую систему обеспечения автономности КА.

Бортовые комплексы и КА в целом были спроектированы, разработаны и изготовлены с учётом самых современных на то время требований по надёжности, автономности и длительности гарантированного полётного ресурса КА.

Трудности, имевшие место в процессе создания КА «Электро» № 1, привели к многолетней задержке его запуска.

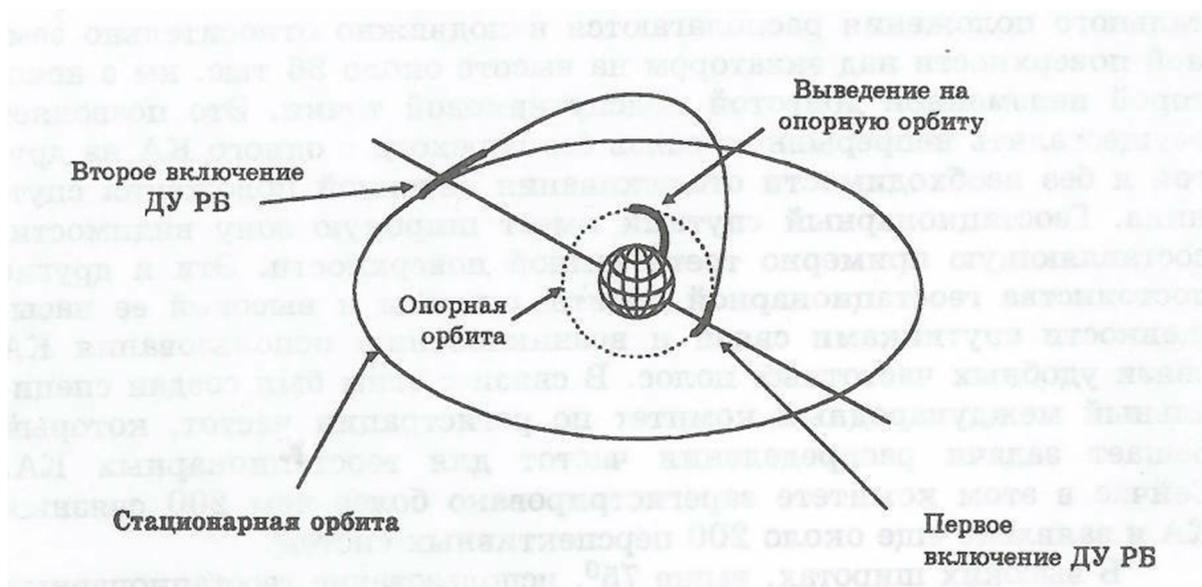


Рис. 3. Схема выведения КА «Электро» № 1 на геостационарную орбиту

В результате КА «Электро» № 1 был запущен с космодрома Байконур 31 октября 1994 г. в 17 ч 30 мин 56 с ракетой-носителем (РН) «Протон» с унифицированным разгонным блоком (РБ) «ДМ» на геостационарную орбиту в промежуточную точку 90° в. д. на экваторе с последующим переводом КА в окрестность рабочей точки $(76 \pm 0,5)^\circ$ в. д. Момент старта был выбран оптимальным по критерию минимума отклонения орбитальной плоскости от экваториальной на трёхгодичном интервале функционирования КА без коррекции наклона орбиты.

Типовая схема выведения КА «Электро» № 1 на геостационарную орбиту показана на рис. 3.

Такая схема вывода обеспечила одновременное решение задач проверки работоспособности бортовых систем и приведения КА «Электро» № 1 в указанный выше рабочий диапазон долгот в требуемый четырёхнедельный срок после выведения КА на орбиту.

Альтернативный вариант непосредственного выведения в рабочий диапазон, по оценкам, требовал большего времени на выведение, совмещения по времени, проверки бортовых систем с процессом стабилизации, требующим большей точности,

чем приведение в рабочий диапазон, а также дополнительной коррекции эксцентриситета орбиты [4].

В дальнейшем успешная трёхлетняя эксплуатация и работоспособное состояние КА «Электро» № 1 полностью подтвердили правильность аппаратных, программных и конструкторских решений, реализованных коллективом ВНИИЭМ и другими участниками работ при создании первого российского гидрометеорологического геостационарного КА.

Литература

1. Электро (космический аппарат) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: /<http://ru.wikipedia.org/wiki>.
2. Геостационарный гидрометеорологический космический комплекс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: /<http://planeta.info.space.ru/electro/html>.
3. Стома С. А., Трифионов Ю. В. Геостационарная космическая система «Электро» (ГОМС): предпосылки создания и структура // Труды ВНИИЭМ. Геостационарный метеорологический космический аппарат «Электро». – 1998. – Т. 98.
4. Трифионов Ю. В., Горбунов А. В. Опыт эксплуатации космических систем и аппаратов «Электро» и «Ресурс-О» // Электротехника. – 1999. – № 6.

Поступила в редакцию 21.01.2015

*Леонид Алексеевич Макриденко, д-р техн. наук, генеральный директор, т. (495) 365-56-10.
Сергей Николаевич Волков, д-р техн. наук, 1-й зам. генерального директора, т. (495) 366-42-56.
Александр Викторович Горбунов, канд. техн. наук, зам. генерального директора, т. (495) 623-41-81.
Владимир Павлович Ходненко, д-р техн. наук, главный научн. сотрудник, т. (495) 624-94-98.
E-mail: vniiem@orc.ru.
(АО «Корпорация «ВНИИЭМ»).*

ORIGINS, TASKS AND DEVELOPMENT FEATURES OF GEOSTATIONARY HIDROMETEOROLOGICAL SPACECRAFT ELECTRO No. 1

L.A. Makridenko, S.N. Volkov, A.V. Gorbunov, V.P. Khodnenko

Brief history of the development of the first Russian geostationary hydro-meteorological satellite Electro is given, which is the part of the Planet-S system. The meteorological geostationary spacecraft attracted a lot of attention from the specialists in the beginning of the 70-s of the previous century due to its multiple advantages. The idea to create the geostationary hydro-meteorological SC in our country manifested in the beginning of the 70-s. National SC obtained an international title GOMS (GOMS – Geostationary Operational Meteorological Satellite) and became the first Russian geostationary satellite of hydro-meteorological support. In the beginning of the 80-s VNIIEM Corporation commenced the creation of Planet-S hydro-meteorological space system including the Electro geostationary SC with the stationary point at $(76 \pm 0,5)^\circ$ east longitude. Over 90% of all on-board and ground devices (including the most up-to-date systems at that time evaluated based on their reliability, sustainability and life) were designed during the creation of Electro SC. Difficulties in the process of Electro SC creation lead to a persistent delay of its launch. For that reason Electro SC was successfully launched from the Baikonur cosmodrome on the 31st of October, 1994 with the help of Proton Launch Vehicle and DM Upper Stage.

Keywords: Geostationary spacecraft, stationary point, on-board data equipment, on-board control complex, TV-radiometer, Attitude Control System, orbital correction.

References

1. Electro (spacecraft) [Digital resource]. – Access mode : /http://ru.wikipedia.org/wiki.
2. Geostationary hydro-meteorological space segment [Digital resource]. – Access mode : /http://planeta.info space.ru / electro/html.
3. Stoma S. A., Trifonov Iu. V. Geostationary space segment Electro (GOMS): origins and structure // VNIEM Studies. Geostationary meteorological spacecraft Electro. – 1998. – Т. 98.
4. Trifonov Iu. V., Gorbunov A. V. Resurs-O and Electro space systems operating experience // Electric engineering. – 1999. – No. 6.

Leonid Alekseevich Makridenko,

Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Director General, tel. (495) 365-56-10.

Sergei Nikolaevich Volkov,

Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), First Deputy Director General, tel. (495) 366-42-56.

Alexandr Victorovich Gorbunov,

Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Deputy Director General, tel. (495) 623-41-81.

Vladimir Pavlovich Khodnenko,

Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Chief Researcher, tel. (495) 624-94-98.

E-mail: vniem@orc.ru.

(JC 'VNIEM Corporation').