

# СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ МЕТЕОРОЛОГИИ

УДК 551.5

## ИТОГИ РАЗРАБОТКИ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЁТНЫХ ИСПЫТАНИЙ И ОПЫТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КА «ЭЛЕКТРО» № 1

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

*Первый оперативный российский геостационарный гидрометеорологический КА «Электро» (GOMS) был выведен на геостационарную орбиту 01.11.1994 с точкой стояния 76 в. д. ракетой-носителем «Протон» с разгонным блоком и успешно функционировал в течение почти четырёх лет. GOMS входил в состав глобальной метеорологической системы совместно с GOES (США), METEOSAT (ЕКА), GMS (Япония). При разработке КА «Электро» был решён ряд сложных научно-технических проблем. На первом этапе лётных испытаний удалось перевести КА в стабильный энергетический и тепловой режимы, провести необходимую коррекцию орбиты, установить и удерживать КА в «рабочей» точке стояния. В ходе дальнейших действий была разработана и реализована программа восстановления трёхосной орбитальной ориентации КА и установлен нормальный режим трёхосной ориентации (точность по крену и тангажу 2' и 5' по рысканию, точность стабилизации не хуже 0,001 град/с). В период с августа 1995 г. по сентябрь 1998 г. проводилась опытная эксплуатация КА «Электро» № 1, который использовался по целевому назначению в интересах Гидрометцентра, Института прикладной геофизики и др. В сентябре 1998 г. произошёл отказ центрального процессора бортовой вычислительной машины, что привело к потере ориентации на Солнце и разряду химической батареи. В связи с этим Госкомиссия решила закрыть работы с КА «Электро» № 1 и передать КА на слежение с ЦККП.*

**Ключевые слова:** космический аппарат, космическая система, бортовой телевизионный комплекс, бортовая управляющая система, система коррекции и разгрузки, датчик вертикали, датчик Полярной звезды, система ориентации, коррекция орбиты, лётные испытания.

В соответствии с решениями директивных органов в середине 1980-х годов началась разработка и создание отечественной высокоорбитальной космической гидрометеорологической системы «Планета-С» с геостационарным космическим аппаратом (КА) «Электро» (рис. 1). Система создавалась с целью получения оперативной гидрометеорологической и гелиогеофизической информации в интересах обороны страны, народного хозяйства, науки о Земле и Солнце и международного сотрудничества.

Первый оперативный российский геостационарный гидрометеорологический КА «Электро» (GOMS) 01.11.94 г. был выведен ракетой-носителем (РН) «Протон» с разгонным блоком на геостационарную орбиту с точкой стояния 76° в. д. и успешно функционировал в течение почти четырёх лет.

GOMS входил в состав глобальной метеорологической системы совместно с GOES (США), METEOSAT (Европейское космическое агентство), GMS (Япония).

С запуском КА «Электро» начала действовать двухъярусная Единая космическая система гидрометеорологического обеспечения «Планета», состоящая из высокоорбитального КА «Электро» и среднеорбитальных КА «Метеор-3».

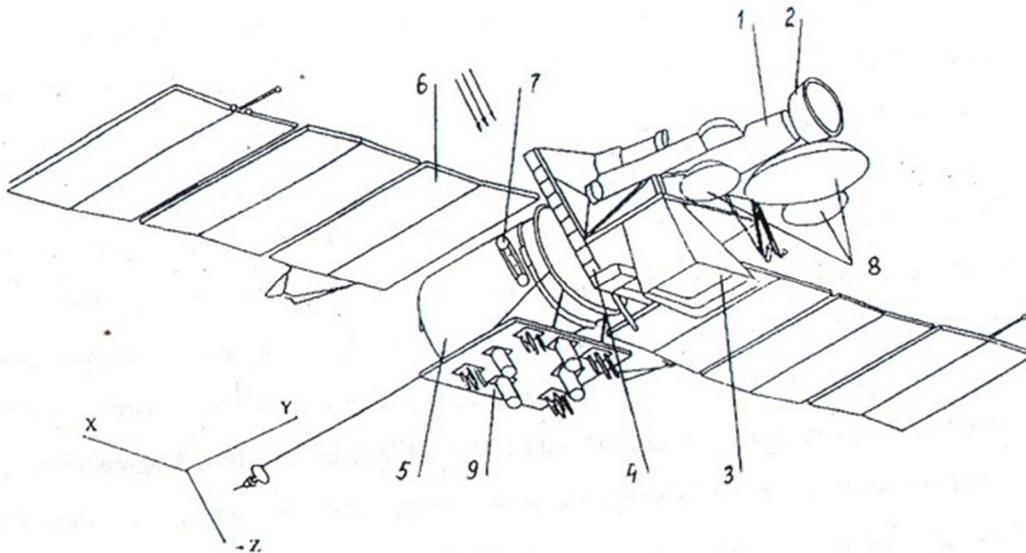
КА «Электро» создавался для обеспечения надёжной работы на орбите в течение нескольких лет. КА точно ориентировался в пространстве и стабилизировался по угловой скорости, осуществлял автоматическое управление бортовыми системами, имел необходимые динамические и энерге-

тические характеристики для получения качественных телевизионных изображений высокого разрешения, а также осуществлял одновременную передачу и ретрансляцию информации по различным направлениям в нескольких диапазонах частот без взаимных помех.

Для обеспечения длительного (около одного месяца) автономного функционирования и общей продолжительности работы КА «Электро» (не менее трёх лет) потребовалась высокая степень автоматизации, детальная диагностика состояния и управления резервами систем КА. Этого можно было достичь только при широком использовании бортовой вычислительно-управляющей системы с развитым программным обеспечением и возможностью коррекции КА с наземного комплекса управления в процессе орбитального полёта.

При разработке КА «Электро» были решены сложные научно-технические проблемы, позволившие создать:

1. Прецизионную (до двух угловых минут) трёхосную электромеханическую систему ориентации и стабилизации с использованием двигателей-маховиков, солнечного координатора, датчика Полярной звезды и микропроцессорной ЭВМ, что позволило иметь существенные преимущества перед аналогичными зарубежными спутниками в части реализации технических проблем, связанных с вопросами установки некоторых видов информационной аппаратуры, управления КА, передачи и ретрансляции информации и др.



**Рис. 1. Общий вид КА «Электро»: 1 – бортовой телевизионный комплекс (БТВК); 2 – радиационный холодильник БТВК; 3 – бленда БТВК; 4 – приборная платформа; 5 – корпус гермоконтейнера; 6 – солнечные батареи (СБ); 7 – электроракетная двигательная установка (ЭРДУ); 8 – антенный комплекс; 9 – платформа**

2. Бортовую управляющую систему (БУС) с трёхпроцессорной ЭВМ, собственной разработки ВНИИЭМ, осуществляющую программно-временное управление работой бортовых систем, диагностику их состояния, управление в нештатных ситуациях и формирование оперативных сообщений для передачи на Землю с периодичностью 1 ч.

3. Автономную электромеханическую систему ориентации солнечных батарей (СБ), позволяющую осуществлять четыре раза в сутки перекидку двухсторонних СБ на угол  $\pm 90^\circ$ .

4. Систему коррекции и разгрузки (СКР) двигателей-маховиков (ДМ) с использованием в качестве исполнительных органов электронагревных реактивных двигателей тягой 15 г и работающих на аммиаке – для начального успокоения, штатной ориентации и коррекции орбиты с целью приведения КА в заданный долготно-широтный диапазон и удержания в нём в процессе всего срока активного существования.

5. Пассивный радиационный холодильник для охлаждения инфракрасного приёмника, бортовой телевизионной аппаратуры.

6. Принципиально новый электромеханический прецизионный (с точностью до долей угловых секунд) привод сканирования телевизионной системы с лазерным интерферометром.

7. Методы обеспечения надёжности работы КА в орбитальном полёте с использованием автономного процесса диагностики состояния и управления резервными системами КА при наличии БУС, развитого программно-математического обеспечения (ПМО) и оперативной коррекции ПМО, а также функциональной избыточности бортовых систем, особенно при управлении ориентацией КА.

8. Способы обеспечения работоспособности КА при воздействии факторов космического пространства, в первую очередь собственной внешней атмосферы (СВА), радиационной электризации и наличия потоков заряженных частиц.

9. Автоматизированную испытательную систему, построенную на базе многопроцессорных вычислительных устройств.

Пуск КА «Электро» № 1 был осуществлён с космодрома Байконур 31 октября 1994 г.

В соответствии с выбранной схемой запуска, КА был выведен ракетой-носителем (РН) «Протон» с унифицированным разгонным блоком (РБ) «ДМ» в промежуточную точку на экваторе с географической долготой  $\lambda \approx 90^\circ$  [1].

Расчётное значение периода обращения на первом витке (24 ч 01 мин 54 с) было выбрано исходя из обеспечения (при любой ошибке выведения по периоду  $\delta T$  в пределах  $\pm 270$  с) начального дрейфа

КА в направлении рабочей «точки» и заданного максимума длительности начальной коррекции до трёх недель.

Для дальнейшего перевода в заданную «точку стояния» ( $76 \pm 0,5$ )° в. д. и стабилизации положения КА на орбите в этой «точке» использовалась бортовая электроракетная двигательная установка (ЭРДУ) СКР с двигателями, обеспечивающими проведение корректирующих маневров в плоскости орбиты.

В дальнейшем события развивались следующим образом.

Первый телеметрический сеанс связи с КА сразу после отделения от ракеты-носителя свидетельствовал о том, что связь с аппаратом была устойчивой, все узлы раскрытия элементов конструкции отработали штатно.

Бортовая управляющая система начала функционировать нормально, система ориентации и стабилизации обеспечила ориентацию КА по грубому датчику Солнца и начала поиск Земли.

Однако второй сеанс связи принес неутешительный результат: система ориентации находилась в режиме непрерывного поиска Земли, а датчик вертикали (ДВ) и обслуживающие его устройства сопряжения с бортовым компьютером переключились на резервные каналы. Таким образом, система диагностики выявила отказ датчика вертикали (ДВ) и, исчерпав все возможные резервы, требовала вмешательства НКУ. Анализ телеметрической информации позволил определить причину отказа – отсутствие вращения привода сканирующего зеркала ДВ.

Попытки восстановить работоспособность датчика вертикали средствами НКУ окончилась безрезультатно.

Однако функциональная избыточность системы ориентации КА «Электро» давала принципиальную возможность его ориентации в орбитальной системе координат по датчику Полярной звезды (ДПЗ) и солнечному координатору (СК).

В данной ситуации был реализован способ перехода в режим ориентации по ДПЗ и СК с использованием контроля ориентации КА средствами НКУ по сигналам бортовых радиопередатчиков и видеоинформации ТРС. Для этого была проведена существенная коррекция программного обеспечения системы ориентации (СО) по радиоканалу и отладка этого ПО при условии обеспечения на это время нормальных тепловых и энергетических режимов КА и коррекция орбиты для перевода КА в «точку стояния».

Указанные задачи были решены практически штатными средствами ориентации. С НКУ был выдан запрет на использование ДВ, и при этом СО перешла в режим одноосной ориентации оси крена (ось  $X$ ) на Солнце с использованием ГДС.

Такая ориентация, кроме обеспечения нормального теплового режима КА, дала возможность два раза в сутки включать двигатели коррекции (ДК) для перевода КА из «точки выведения» в «точку стояния».

К концу ноября КА «Электро» был установлен в штатное положение – над точкой 76° в. д. в плоскости экватора.

Помимо коррекции орбиты в этот период проводились работы по автономной проверке работоспособности всех устройств и систем КА, которые предполагалось использовать в предстоящей работе.

Операция по установлению режима трёхосной орбитальной ориентации началась 1 февраля 1995 г., когда была выдана команда на закрутку КА вокруг оси  $X$ , которая в это время должна была совпадать с направлением на Солнце, а угол между направлением на Солнце и направлением на Землю – близок к прямому.

При прохождении оси курса через надир была выдана команда на торможение КА. Через 9 мин после выдачи этой команды произошел захват Полярной звезды с помощью ДПЗ и последний подключился к контуру управления. В результате КА «Электро» был застabilизирован в орбитальной системе координат, и при этом ошибки по угловым скоростям не превышали 0,001 град.

Примерно через 30 мин после установления требуемой ориентации был обеспечен штатный сеанс ТРС, который подтвердил факт наличия орбитальной ориентации: диск Земли располагался в центре кадра, а центральная строка проходила через зоны полюсов. Был получен первый снимок Земли в ИК-диапазоне [2].

Начало функционирования КА «Электро» в режиме трёхосной ориентации совпало с завершением корректирующего манёвра по удержанию аппарата в «точке стояния».

В дальнейшем, в ходе ЛКИ КА «Электро» была отработана методика проведения регулярных коррекций в направлении «Восток – Запад» для поддержания постоянного положения аппарата на геостационарной орбите в интервале долгот  $\pm 0,5^\circ$  около заданной «точки стояния».

Управление КА осуществлялось с помощью бортового и наземного комплексов управления (НКУ). Последний был построен как совокупность

средств автоматизированного управления КА «Электро» с использованием соответствующего математического обеспечения. Взаимодействие НКУ с бортовой аппаратурой управления осуществлялось следующим образом. При штатной работе в «точке стояния» обеспечивалось командное управление с НКУ. В промежутках между сеансами управление осуществлялось по программам автоматического управления с помощью бортовой управляющей системы БУС-1.

Автоматический режим управления выполнялся по временным программам, корректировка которых проводилась с НКУ не чаще одного раза в 15 сут.

Отличительной особенностью управления КА являлось использование общеобъектовой информации для оперативного контроля состояния КА без нарушения его автономной работы. Общеобъектовая информация (ООИ) формировалась в БУС-1 и вместе с целевой информацией каждый час передавалась в Центр обработки данных.

Результаты обработки поступали по каналу связи в центр управления полётами.

Приём, первичная обработка и регистрация поступающей с КА «Электро» № 1 гелиогеофизической и общеобъектовой информации (ГГИ и ООИ), сбор данных с платформ сбора данных, а также распространение факсимильной (ФИ), буквенно-цифровой (БЦИ), цифровой информации (ЦИ) передачи сигналов ВЫЗОВ ПСД производилась наземным комплексом приёма, обработки, регистрации и распространения информации (НКПОР).

Информация с КА «Электро», через радиорелейную линию (РРЛ), передавалась в центр обработки данных (ЦОД) НПО «Планета» в г. Москве на микропроцессорный комплекс для обработки, и затем поступала на вычислительные средства вторичной обработки.

Результатом вторичной обработки являлись тематические карты, таблицы, схемы облачности, карты температур и т. д.

Информация от ПСД через КА поступала на средства приёма и регистрации ОЦПОД НПО «Планета», выделялась по соответствующим адресным группам, и затем поступала на вход аппаратуры системы передачи данных (АСПД) «Погода» Главного гидрометцентра и далее потребителям. Кроме того, имелась возможность распространения сообщений от ряда ПСД через КА на автономные пункты приёма информации (АППИ).

Установленные в Обнинске, Новосибирске и Хабаровске технические средства предназначались

для обеспечения информацией через КА «Электро» между соответствующими центрами.

Имелась также возможность передачи этим пунктам функций выносного пункта приёма информации (ВППИ) в п. Медвежьи Озера.

### Проведение ЛКИ КА «Электро» № 1

К 1 февраля 1995 г., после решения проблемы с ориентацией КА (о чём говорилось выше) и проведения начальной фазы тестирования КА «Электро» № 1 был признан годным к эксплуатации в Восточном полушарии.

В июне 1996 г. КА начал ретрансляцию изображения в инфракрасном диапазоне.

На рис. 2 показаны границы зоны радиовидимости (тонкая линия) и зоны получения качественной телевизионной информации (жирная линия).

После проведения начального этапа летных испытаний отмечались случаи потери космическим аппаратом штатной ориентации из-за ошибок ПО, допущенных в процессе разработки КА или в результате корректировок программного обеспечения на орбите.

Однако за первый год эксплуатации КА отладка ПО была закончена, и в течение последующих трёх лет КА «Электро» находился в штатном режиме ориентации около 95 % времени, причём указанные потери возникали в основном за счёт сбоев при управлении КА средствами НКУ.

Другим существенным обстоятельством явилось отсутствие с самого начала работы КА качественной телевизионной информации в видимом диапазоне спектра.

Последующий анализ показал, что этот дефект связан с допущенной при проектировании ТРС (его оптико-механического комплекса) конструкторской ошибкой, приведшей к паразитной засветке приемников излучения. Устранить этот дефект на данном аппарате не представлялось возможным, в связи с чем пришлось ограничиться получением информации только в ИК-диапазоне. Поскольку ИК-информация считается основной, указанный дефект не привёл к существенному снижению эффективности КА.

КА «Электро», с помощью ЭРДУ, был приведён в рабочую точку  $76^\circ$  в. д. и удерживался в ней с заданной точностью в течение почти четырёх лет.

Расчётный запас рабочего тела ЭРДУ оказался достаточным для планируемых перспективных сроков функционирования геостационарных КА (7 – 10 и более лет).

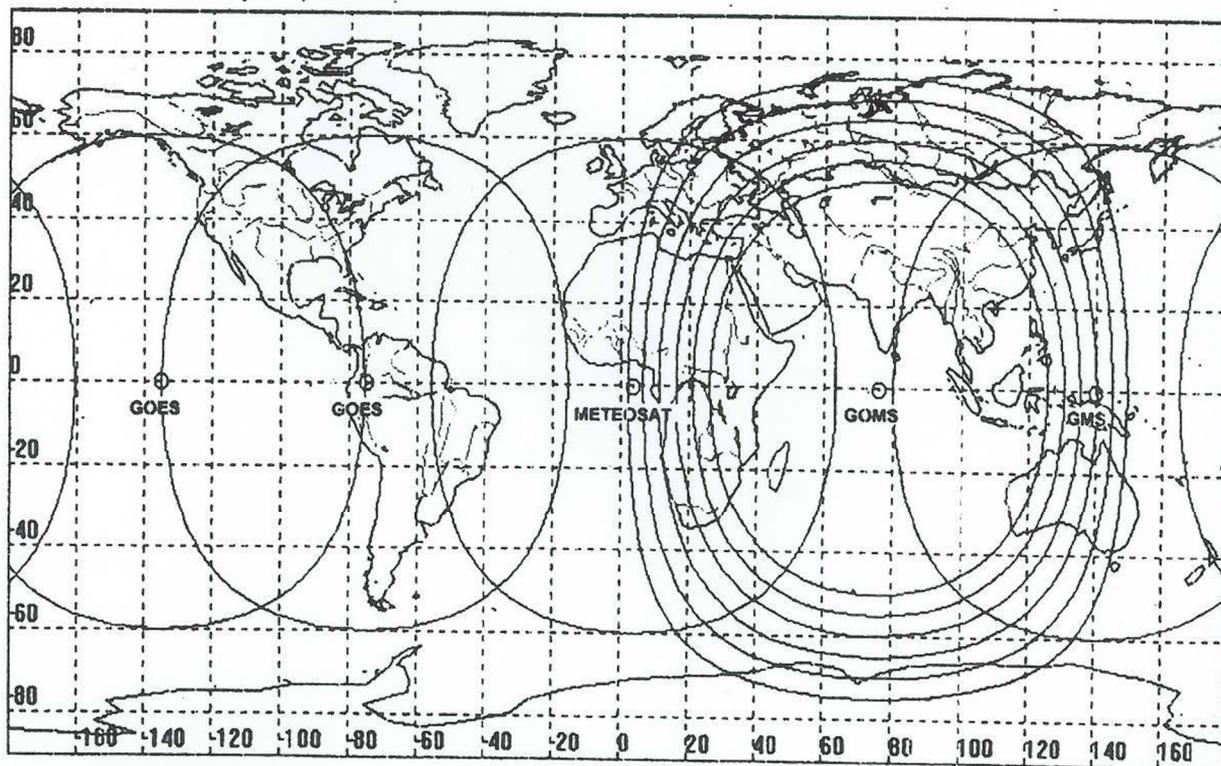


Рис. 2. Зоны радиовидимости КА «Электро» (GOMS)

Несмотря на обнаруженные неисправности на борту КА «Электро» № 1 удалось обеспечить штатный режим работы КА благодаря наличию функциональной избыточности в основных системах, возможности корректировки бортового ПО в полёте и оперативного управления от НКУ.

Бортовые служебные системы обеспечили предусмотренный режим ориентации, энергоснабжения и терморегулирования.

Командно-измерительная система и аппаратура телеизмерений позволили проводить регулярный контроль состояния бортовой аппаратуры и систем управления с участием средств НКУ.

БУС выполнила задачи автономной диагностики бортовых систем управления.

Информационная аппаратура (телевизионный комплекс и радиационно-магнитометрическая система) регулярно представляли полезную информацию.

За время эксплуатации от КА было принято около 20000 изображений Земли в ИК-диапазоне спектра (рис. 3), проводилось не менее 17 сеансов получения изображений ежедневно. Эта информация с июня 1995 г. оперативно использовалась Гидрометцентром для анализа и прогноза погоды. Потребителям регулярно выдавались температур-

ные карты поверхности океана, проводилось оперативное распространение обработанных изображений путём ретрансляции их через КА отечественным и зарубежным потребителям в рамках мировой службы погоды. Оперативная информация распространялась также на сети Internet.

Изображения облачности в ИК-диапазоне спектра, получаемые с КА «Электро», восполняли пробел обзора Земли с геостационарных спутников в районе от 20° в. д. до 130° в. д.

Эта информация давала возможность уточнять синоптический прогноз службы глобального анализа и прогноза погоды, кроме того, позволяла иметь краткосрочные прогнозы погоды и опасных явлений, и, в том числе, давала возможность повысить достоверность погоды для авиации и мореплавания.

Бортовая радиационно-магнитометрическая система работала непрерывно, при этом сброс гелиогеофизических данных с борта КА осуществлялся каждый час.

Эта информация обрабатывалась в Институте прикладной геофизики и использовалась при оперативном контроле геофизической обстановки в околоземном космическом пространстве в интересах пилотируемой космонавтики.



Рис. 3. Снимок Земли в ИК-диапазоне спектра

Сбор данных с платформ не производился, поскольку в каналах связи с частотным диапазоном 401 – 403 МГц была обнаружена сильная помеха, связанная с работой радиолокационных средств Минобороны.

До февраля 1996 г. полезная информация передавалась с КА «Электро» по дециметровую радиолинии бортового радиотехнического комплекса (диапазон 11,7 ГГц) на ППИ п. «Медвежьи Озера». Однако отказ двух бортовых передатчиков из трёх, а также наличие сильных помех в радиорелейной линии, связывающей ППИ с Москвой (НПО «Планета» на Красной Пресне), привели к необходимости перейти на передачу информации с КА по сантиметровую радиолинию (диапазон 7,5 ГГц) на ППИ в г. Обнинске.

До июня 1996 г. управление КА осуществлялось из ЦУП «Рокот», а в дальнейшем – из ЦУП «Голицыно-2». В НПО «Планета» после смены ЦУП был оборудован сектор Главного конструктора, который осуществлял оперативный контроль за работой КА и формирование командно-программной информации для передачи в ЦУП.

За период лётных испытаний средствами НКУ было проведено около 3500 сеансов связи с КА. Наблюдавшиеся сбои и задержки при функционировании средств НКУ, которые были задействованы при работе с КА «Электро», в основном были вызваны их изношенностью (более чем трёхкратное превышение гарантийного ресурса). Несмотря

на это, НКУ в основном обеспечил решение задач контроля и управления КА.

Созданный в НПО «Планета» новый современный микропроцессорный комплекс обеспечивал приём и оперативную обработку полезной информации с КА «Электро», накопление и архивацию результатов обработки, формирования базы данных для тематической обработки видеозображений, подготовку данных для дальнейшего распространения.

Наземный микропроцессорный комплекс (НМК) обработки и оперативного накопления цифровой информации работал с КА «Электро» с момента его запуска. Комплекс был выполнен на основе высоконадёжных компьютеров с процессорами Intel (U86 DX2-66, Pentium-90) фирмы Hewlett Packard, работающих под управлением операционной системы SCOUNIX324, и обеспечивал обработку всего объёма информации, поступающей с КА.

Основным назначением НМК являлось:

- обеспечение проведения лётных испытаний КА «Электро», в частности анализ и оценка качества получаемой информации;
- по завершению ЛИ оперативная обработка исходной информации, накопление и распространение результатов обработки, используемых для синоптического анализа и прогноза погоды;
- получение данных скорости ветра, карт температуры поверхности моря, характеристик облачности и подстилающей поверхности;
- подготовка данных для аналоговой передачи в формате WEFAX.

Далее необходимо отметить, что к 1998 г. КА «Электро» № 1 не был полностью работоспособен и, в результате переговоров между Россией и EUMETSAT, в 1998 г. было решено перевести КА «Meteosat-5» в точку стояния 63° в. д. для покрытия Восточного полушария.

В результате миссия КА «Электро» № 1 была полностью прекращена в ноябре 2000 г.

Надо отметить, что КА «Электро» № 1 в составе космической системы «Планеты-С», успешно прошёл лётные испытания и Решением Коллегии Росгидромета была дана высокая оценка работам по созданию, испытаниям и опытной эксплуатации КА «Электро» № 1.

### Итоги разработки, проведения лётных испытаний и эксплуатации КА «Электро» № 1

Подводя итоги создания и эксплуатации КА «Электро» можно отметить следующее:

1. Лётные испытания геостационарного КА «Электро» № 1 были начаты 1 ноября 1994 г. По-

сле отделения КА от ракеты-носителя произошло гашение начальной угловой скорости, нормально раскрылись солнечные батареи и все антенны КА. После успокоения КА принял одноосную ориентацию на Солнце, однако ориентация на Землю и режимы трёхосной ориентации не реализовались ввиду отказа обоих каналов датчика Земли – построителя местной вертикали (ДВ).

На первом этапе лётных испытаний удалось перевести КА в стабильный энергетический и тепловой режимы, провести необходимую коррекцию орбиты, установить и удерживать КА в рабочей «точке стояния» ( $76^\circ$  в. д.). В ходе дальнейших действий была разработана и реализована программа восстановления трёхосной орбитальной ориентации КА путём использования функциональной избыточности с применением штатных датчиков Полярной Звезды (ДПЗ) и точного солнечного координатора (СК).

Для этого потребовалось доработать, отладить на наземных стендах и ввести по радиоканалу в бортовую управляющую систему КА (БУС-1) дополнительное программное обеспечение.

2. Нормальный режим трёхосной ориентации был установлен на КА «Электро» в феврале 1995 г.

Система ориентации КА обеспечивала точность ориентации  $2'$  по крену и тангажу и  $5'$  по рысканию и точность стабилизации не хуже  $0,001$  град/с.

Наличие трёхосной системы ориентации на тот момент было большим достижением: для геостационарных метеоспутников такого типа система ориентации была впервые реализована лишь на американском КА второго поколения GOES-8, запущенным в апреле 1994 г., т. е. всего лишь на полгода раньше.

3. Благодаря наличию БЦВМ, программа работы КА программировалась на 18 дней вперёд, после чего КА каждый час производил передачу отснятых телевизионных материалов на центры приёма на Земле.

Таким же образом программировалась коррекция орбиты КА по долготе, по широте коррекция не предусматривалась.

В связи с этим спутник был выведен на орбиту с начальным наклоном  $1^\circ 18' 31''$ , которое по законам орбитальной динамики уменьшилось за полтора-два года до нуля, а затем опять начало расти в другом направлении. Таким образом, в течение всего срока активного существования ( $> 3$  лет), наклонение оставалось приемлемым.

4. В период с августа 1995 г. по сентябрь 1998 г. проводилась опытная эксплуатация КА «Электро», при этом параметры бортовых служебных и информационно-радиотехнических систем, а также режимы их работы сохранялись.

5. Решением Государственной комиссии от 29 января 1995 г. по проведению лётных испытаний КА «Электро» было отмечено, что КА «Электро» № 1, запущенный 31 октября 1994 г., отработал с положительными результатами два гарантийных полётных ресурса.

КА «Электро» № 1 использовался по целевому назначению в интересах Гидрометцентра, ИПГ и др. одновременно с лётными испытаниями.

В сентябре 1998 г. при работе КА на орбите с максимальной тенью, произошёл отказ центрального процессора бортовой вычислительной машины, что привело к потере ориентации на Солнце и разряду химической батареи.

В связи с этим Госкомиссия решила закрыть работы с КА «Электро» № 1 и передать КА на хранение с ЦККП.

### Литература

1. Баллистическое обеспечение лётных испытаний КА «Электро» № 1. Опыт высокоточной стабилизации центра масс / Я. В. Дубровинский, К. В. Журавлёв, Н. И. Шершнева // Труды ВНИИЭМ. Геостационарный метеорологический космический аппарат «Электро». – 1998. – Т. 98. – С. 104 – 115.
2. Начальный этап лётных испытаний КА «Электро» / О. М. Мирошник, В. А. Кожевников, А. Д. Беленький и др. // Труды ВНИИЭМ. Геостационарный метеорологический космический аппарат «Электро». – 1998. – Т. 98. – С. 26 – 32.

Поступила в редакцию 18.11.2016

*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»).*

## SUMMARY of DEVELOPMENT and BASIC RESULTS OF FLIGHT TESTS and EXPERIMENTAL OPERATION OF ELECTRO No. 1 SC

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

First Russian operative geostationary hydro-meteorological spacecraft ELECTRO (GOMS) was launched to geostationary orbit by Proton launch vehicle (with upper stage) on November 01, 1994 with observation point at 76 degrees east longitude, where it successfully operated for almost 4 years. GOMS was the part of a global meteorological system in cooperation with GOES (USA), METEOSAT (EKA), GMS (Japan). A number of complex scientific and technological issues have been solved during the development of ELECTRO spacecraft. On the first stage of flight testing the spacecraft was put into stable energy and thermal control mode, all the necessary orbit corrections have been performed successfully, SC was put and maintained on the 'operational' observation point. During further activities a SC three-axis orbital attitude recovery program has been developed and implemented, and the normal three-axis attitude mode has been set (roll and yaw accuracy is 2' while the pitch accuracy is 5', stabilization accuracy is not less than 0,001 deg./sec.). Between August 1995 and September 1998 the experimental operation of ELECTRO No.1 SC was performed, while the SC was used for mission purposes in the interests of Hydrometeorological Center of Russia, Institute of Applied Geophysics and others. In September 1998 the central processor of onboard computer failed which lead to the loss of Sun acquisition and the following discharge of chemical battery. Thus, the Governmental commission decided to shut down all the activities with ELECTRO No.1 SC and forward it to Space Surveillance Center for monitoring.

**Key words:** spacecraft, space system, onboard television complex, onboard control system, correction and unloading system, vertical sensor, Pole Star sensor, pointing system, orbit correction, flight tests.

### References

1. Ballistic support of ELECTRO No. 1 SC flight tests. Experience of high-precision stabilization of the center of mass / Ia. V. Dubrovinskii, K. V. Zhuravlev, N. I. Shershneva // VNIIEМ Studies. Geostationary meteorological spacecraft ELECTRO. – 1998. – Т. 98. – Pp. 104 – 115.
2. The initial stage of ELECTRO spacecraft flight tests / O. M. Miroshnik, V. A. Kozhevnikov, A. D. Belenkii and others // VNIIEМ Studies. Geostationary meteorological spacecraft ELECTRO. – 1998. – Т. 98. – Pp. 26 – 32.

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

*Sergei Nikolaevich Volkov, Doctor of Tech. Sciences (D. Sc.), First Deputy Director General, tel. (495) 366-42-56.*

*Aleksandr Victorovich Gorbunov, Candidate of Tech. Sciences (Ph. D.), Deputy Director General, tel. (495) 623-41-81.*

*Vladimir Pavlovich Khodnenko, Doctor of Tech. Sciences (D. Sc.), Chief Researcher, tel. (495) 624-94-98.*

*E-mail: vniiem@orc.ru.*

*(JC «VNIIEМ Corporation»).*

---

*Редакция доводит до сведения читателей, что в персональных данных авторов статьи «Оценка надёжности информационно-диагностического компьютерного комплекса», опубликованной в Т. 152, № 3, 2016 (с. 39 – 51), указана ошибочная информация об одном из соавторов – Майорове А. А. Должно быть:*

*на русском языке – Андрей Александрович Майоров, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой, т. (499) 261-85-64, e-mail: [maiorov@miigaik.ru](mailto:maiorov@miigaik.ru). Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК),*

*на английском языке – Andrei Aleksandrovich Maiorov, Doctor of Technical Sciences (D. Sc.), Professor, Head of the Department, tel. (499) 261-85-64, e-mail: [maiorov@miigaik.ru](mailto:maiorov@miigaik.ru). Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK).*