



Федеральное государственное унитарное предприятие  
«Научно-производственное объединение  
имени Семёна Алексеевича Лавочкина»

КОРПОРАТИВНОЕ ИЗДАНИЕ ПРИ УЧАСТИИ ПРОФСОЮЗНОГО КОМИТЕТА ОРГАНИЗАЦИИ. СПЕЦВЫПУСК

# НОВАТОР

Июль 2016 года № 9 (1963)

Газета издаётся с 29 января 1962 года



**КА «СПЕКТР-Р»**  
**5 ЛЕТ НА ОРБИТЕ**  
**18 ИЮЛЯ 2011 ГОДА БЫЛ УСПЕШНО**  
**ОСУЩЕСТВЛЕН ЗАПУСК ОРБИТАЛЬНОЙ**  
**АСТРОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ**  
**«СПЕКТР-Р»**

## СОЗДАНИЕ УНИКАЛЬНОГО ИЗДЕЛИЯ

**5** лет назад – 18 июля 2011 года был успешно осуществлен запуск орбитальной астрофизической обсерватории «Спектр-Р». Космическая миссия «Радиоастрон» – уникальный по своим масштабам и сложности проект. Сегодня это доказанный успех, а за ним труд сотен коллективов, огромного количества специалистов.

Мне бы хотелось сказать несколько слов о том, как создавали этот аппарат, работа над любым проектом это труд многих людей, каждый, кто отдал частичку себя этому проекту, это человек который любит свою работу, даже одержим ей, создавать историю покорения космоса – дело жизни, если хотите, призвание. В рамках данного проекта и с целью приема сигналов была сконструирована и создана прецизионная термостабилизированная антенна радиотелескопа. Впервые были разработаны: технология изготовления трехслойной оболочки из углепластика, конструкция из 27 технологических лепестков и центрального зеркала для обеспечения точности и низкой температурной деформативности.

Точные установки каждой оболочки лепестка на своем каркасе с возможностью автономной регулировки формы отражающей поверхности осуществлялись юстированными винтами по 45 точкам. Особое внимание необходимо было уделить выдержке зазоров между полотном лепестка и винтами. За короткое время были разработаны методики и стендовое оборудование для установки лепестков на конструкцию космического радиотелескопа (КРТ). Много сил было потрачено на создание верхней и нижней систем обезвешивания, которые потребовали высочайшей регулировки и точности. Без создания такой системы невозможно было бы создание и отработка конструкции КРТ.

Созданные элементы КРТ и методики проведения испытаний, технологии изготовления деталей, сборки позволили создать уникальную конструкцию космического радиотелескопа.

Наличие большого количества регулируемых механизмов позволили добиться необходимых точностей, а это требовало большого количества испытаний: тепловых, прочностных, электрических. Высокоточные углепластиковые лепестки были изготовлены в России и прошли тепловакуумные испытания на сохранение геометрии. Вибромеханические испытания антенна КРТ проходила в виде специального макета, на котором были установлены только три штатных лепестка, остальные были имитированы. Для подтверждения работоспособности систем СОТР также были проведены тепловакуумные испытания. Все основные испытания проводились в составе КА «Спектр-Р».

Раскрытия рефлектора на Земле, максимально приближенного к условиям реальной эксплуатации, добились в ходе испытания всех механизмов с помощью очень точных систем обезвешивания, которые обеспечивали качество проведения наземных испытаний и проведенные приемо-сдаточные испытания летного изделия КРТ, подтвердили многозначную правильность принятых конструкторских решений. Основы, которые были заложены А.П. Кузьминым и команда, которая реализовала этот проект, максимально осторожно подходила ко всем доработкам. Большой вклад в создание этого уникального проекта внесли коллективы под руководством В.С. Ковалева, Д.А. Терехова, В.В. Горюнова, В.А. Лошачкова, А.С. Селькова, М.И. Артюхова, М.И. Бычкова, М.В. Мелехина, А.С. Золотова

Вообще успех КРТ – «Спектр-Р» был обеспечен атмосферой в коллективе, создававшем этот проект. Отсутствие формализма, компетентность, доверие друг другу. При том, что финансирование проекта было, мягко говоря, недостаточным.

Прекрасные отношения сложились с заказчиком – АКЦ ФИАН требовательные и деловые.

Общее руководство проекта вел В.Е. Бабышкин. Меня всегда удивляло, как он мог все выдерживать. Заботы об отчетах, контроль состояния работ у смежников, соблюдение графиков выпуска технической документации, работа была очень напряженной и трудной.

Особо хочется отметить роль В.А. Серебрянникова Героя социалистического труда, лауреата государственной премии. Это был проект завершающий его долгий творческий путь в создании космической техники. Не одна проблема при создании КРТ не обходила его. А проблем было очень много и не было случая, когда мы обнаруживали какие-то серьезные недостатки в процессе создания, мы не искали обходных путей, как бы ситуация не заставляла это делать.

Хочу отметить еще раз, что творческая атмосфера, которая сложилась в работе коллектива, отношения с представителями заказчика, требовательность к друг другу, доверие к нам – команде НПО имени С.А. Лавочкина, способствовали реализации проекта. Меня удивило, как очень быстро были вовлечены в проект самые значимые наземные радиотелескопы. За очень короткое время, с ними было налажено сотрудничество.

Были решены сложные технические проблемы взаимодействия участников проекта и очень скоро он стал международным.

Результатом всех усилий коллективов, создававших этот радиотелескоп, является блестящая работа космического аппарата «Спектр-Р», который удивляет весь научный мир в течение 5 лет. Оценка же работы впереди. Поздравляю весь коллектив НПО имени С.А. Лавочкина с очередным успехом и всех кто принимал участие в создании этого уникального изделия. Надеюсь, что мы еще ни один раз будем говорить о работе этого замечательного космического аппарата и праздновать его юбилейные даты. Это удивительный проект, в ценность которого мало кто верил, кроме его создателей.

**Р.В. КОМАЕВ,**  
ведущий специалист дирекции №53.



Команда разработчиков космического радиотелескопа «Спектр-Р» в сборочном цехе НПО имени С.А. Лавочкина

## ПЯТЬ ЛЕТ ЖИЗНИ

5 лет космическому аппарату «Спектр-Р» – знаменательное событие для НПО имени С.А. Лавочкина – создателя аппарата-долгожителя с уникальным радиотелескопом и наземным комплексом управления, демонстрирующий качество проектирования, разработки, испытаний, и, наконец, управления КА в полете. Это достижение для космической отрасли нашей страны, не имеющей в настоящее время других научных космических проектов такого масштаба. Это важная веха и для мировой космонавтики и не только потому, что проект международный, объединяющий десятки стран, но и по значимости полученных научных результатов, что наглядно продемонстрировало состоявшееся 22-23 июля сего года ежегодное совещание Международного Координационного Совета проекта «Радиоастрон» (RISC - Radioastron International Science Committee). В ходе совещания руководство и члены Совета выразили большую признательность коллективу главной оперативной группы управления (ГОГУ) «Спектр-Р» и всем работникам предприятия, внесшим вклад в развитие проекта и обеспечивающим управление КА в течение всего полета.

5 лет работы КА «Спектр-Р» стали возможны благодаря заложенным при проектировании КА техническим решениям,

повышающим надежность работы КА, включая резервирование бортовых систем, возможность внесения изменений в бортовые алгоритмы и ввода новых задач путем перепрограммирования процессора бортового комплекса управления в полете.

Так в ходе полета, путем ввода на борт программных вставок было дополнительно обеспечено, решение следующих задач:

- возможность автономного функционирования КА в течение нескольких месяцев в случае длительного сбоя в работе бортового радиоконтекста;
- отключение приемников КРТ в случае их одновременной работы с передатчиком бортового служебного радиоконтекста;
- принудительное включение аппаратуры бортового, водородного стандарта частоты в случае снижения его температуры ниже заданного порога, что возможно при его нештатном самопроизвольном отключении;
- возможность закладки на борт командно-программной информации путем последовательной выдачи групп команд прямого (непосредственного) исполнения, в случае нештатного функционирования бортового радиоконтекста.

Это позволило минимизировать потери от случившихся и подготовиться к возможным новым нештатным ситуациям.

В ходе полета для решения оперативных задач был разработан и успешно реализован ряд оригинальных методик работы с КА «Спектр-Р»:

- обеспечение запуска в рабочий режим теплопровода радиатора;
  - системы обеспечения теплового режима бортового водородного стандарта частоты с использованием теплового потока от Земли при прохождении перигея орбиты КА;
  - подтверждение поляризационных характеристик канала передачи научных данных с борта КА на наземную научную станцию, путем вращения КА вокруг направления на наземную станцию.
- Стабильность и отсутствие замечаний по управлению КА «Спектр-Р» демонстрируют правильность организационных и технических решений, обеспечивающих процессы планирования и управления КА, в частности:
- управление КА непосредственно обеспечивают специалисты – разработчики КА, разработавшие эксплуатационную полетную документацию, участвовавшие в испытаниях КА в КИСе НПО имени С.А. Лавочкина;
  - средства управления КА прошли отработку в ходе испытаний КА в КИСе НПО имени С.А. Лавочкина;
  - тестирование всех программ сеансов управления КА, включая тестирование автономных участков функционирования КА с многочисленными динамическими операциями в ходе проведения сеансов наблюдения, с использованием эмуляционной модели процессора БКУ, разработки МОКБ «Марс»;

- обеспечение автоматического контроля телеметрической информации в ходе сеансов с использованием процедуры сравнения текущих значений ТМ параметров с прогнозными значениями, полученными при моделировании программ сеансов в ходе их предсеансного тестирования;
- обеспечение оперативного доступа специалистов АКЦ ФИАН и ИКИ к телеметрической информации КА для анализа функционирования научной аппаратуры;
- обеспечение оперативного доступа специалистов МОКБ «Марс» со служебной ТМИ при парировании НШС БКУ;
- обеспечение контроля функционирования КА в ходе проведения научных сеансов наблюдений, когда не задействуется российский наземный комплекс управления, а научные станции слежения из Пушино или Грин-Банк (США) передают в ЦУП-Л служебную информацию, выделяя ее из научного потока данных;
- обеспечение информационного обмена данными между ЦУП-Л и внешними абонентами с использованием специально организованной проектной сети передачи данных, а также публичных каналов связи.

5 лет жизни КА «Спектр-Р» – это и наши пять лет жизни. Уже не трудятся на предприятии наши коллеги-ветераны В.А. Серебренников, К.Г. Суханов, А.И. Шейхет, А.М. Жданов, А.С. Астафин, Д.А. Терехов, А.Г. Мигаль, В.И. Машков и многие другие, заложившие успех проекта. Низкий им поклон.

Через дежурные смены ГОГУ прошли десятки специалистов предприятия, получив бесценный опыт работы с живым изделием. Молодые инженеры А.И. Калашников, И.Н. Меркулов, П.С. Гуреев, П.С. Сак, О.В. Чернышевская, А.В. Теснова, С.С. Ивлев, С.В. Комовкин, А.Н. Ручин, А.А. Крылов, П.А. Худорожков, Е.А. Михайлов, С.Ю. Алексеева и многие другие сформировались как самостоятельные грамотные специалисты. Последние годы состав смен минимален: операторы ЦУП, специалисты группы управления и группы анализа и баллистической группы. Руководят группой управления многоопытные сотрудники В.А. Молодцов и его заместитель А.З. Воробьев. Группу анализа возглавляет М.Е. Чурикова. Главным тепловиком ГОГУ все эти годы выступал и продолжает быть А.С. Привезенцев, главными оперативными баллистами – Е.Н. Филиппова и А.В. Погодин, главным динамиком – В.П. Федотов,

главным специалистом по БКУ – А.А. Винокуров, главным двигателем Л.Г. Александров, главным оперативным программистом ЦУП – А.В. Ефанов. Их вклад в успех проекта трудно переоценить – это истинные патриоты предприятия.

Огромное спасибо специалистам нашего предприятия, постоянно задействованным в управлении или привлекаемым в отдельных ситуациях – В.Е. Бабышкину, Ю.В. Казакевичу, Д.Н. Корсакову, А.И. Назимко, М.А. Балыкину, И.Д. Церенину, Е.И. Кулагину, К.В. Молчанову, И.Н. Мельникову и многим другим, а также коллегам из предприятий смежников – Д.А. Добрынину, А.Ю. Ковалеву, Г.С. Иодко, В.Н. Соколову (МОКБ «Марс»), М.В. Попову, Б.С. Новикову, Ю.Ю. Ковалеву, Т.И. Мезякиной (АКЦ ФИАН), Г.Н. Застенкеру, Л.С. Чесалину, А.А. Петруковичу (ИКИ РАН), Л.В. Кудрину (ОКБ «МЭИ»).

С пятилетием, РАДИОАСТРОН!

**А.Е. ШИРШАКОВ,**  
руководитель ГОГУ.  
**М.И. АРТЮХОВ,**  
технический руководитель ГОГУ.

## ВСЕВИДЯЩЕЕ ОКО «РАДИОАСТРОНА»

18 июля 2011 года с космодрома Байконур был выведен на орбиту космический аппарат «Спектр-Р» с 10-метровым радиотелескопом на борту. Эта дата является началом реализации проекта «Радиоастрон», который представляет собой наземно-космический радиоинтерферометр, работающий в диапазонах длин волн 92, 18, 6 и 1.35 см при поддержке сети наземных радиотелескопов всего мира. Уже миновало пять лет успешного функционирования наземно-космического интерферометра. За это время проведено несколько тысяч научных сеансов, сотни юстировочных и командных сессий, исследовано несколько сотен источников космического радиоизлучения различных типов, опубликовано несколько десятков научных статей в российских и зарубежных научных журналах (Вестник НПО имени С.А. Лавочкина, Космические исследования, Астрономический журнал, Astrophysical Journal, Astronomy and Astrophysics), результаты исследований были представлены на российских и международных конференциях и вызвали большой интерес в среде научной общественности. В этой короткой заметке мы хотим сформулировать и обосновать особенности научных достижений проекта и их значение для науки.

Радиоастрономия возникла в тридцатые годы прошлого века усилиями американского инженера Карла Янского, который обнаружил радиоизлучение от центра нашей галактики (Сагитариус А), как источник помех для радиосвязи в метровом диапазоне радиоволн. Он забросил борьбу с помехами и переключился на поиск других космических радиоисточников. Тогда, на заре радиоастрономии радиоисточники можно было пересчитать по пальцам одной руки, им давали простые названия по имени созвездия с приложением букв (А, В, С...). Так появились радиоисточники Лебедь А (NGC1275), Персей А (3С 84), Дева А (M87), Телец А (Крбовидная туманность), Кассиопея А. Эти имена до сих пор находят в употреблении, по многим таким источникам проводится юстировка 10-м космического радиотелескопа, так как они остаются самыми яркими радиоисточниками на небе. На раннем этапе развития радиоастрономия была самая «слепая» ветвь астрономии, так как угловое разрешение любого устройства определяется отношением длины волны к диаметру приемного устройства, а первые радиотелескопы были диаметром около 20 м и работали в метровом диапазоне, так что эти красавцы Лебедь А, Дева А, Телец А и другие представлялись туманными пятнами размером почти с Луну, так как угловое разрешение телескопов составляло десятки минут и было на порядок хуже углового разрешения человеческого глаза.

Однако, вскоре были изобретены радиоинтерферометры, то есть, несколько телескопов, соединенных кабелями или радиорелейными линиями в одну систему, в которую входил коррелятор, или перемножитель принятых отдельными телескопами сигналов. Угловое разрешение интерферометра теперь определяется отношением длины волны к расстоянию между телескопами и составляет в настоящее время для таких «связанных» интерферометров десятки доли угловой секунды. Наконец, в середине шестидесятых годов прошлого века по предложению советских радиоастрономов (Н.С. Кардашев, Г.С. Шоломицкий и Л.И. Матвеев) был создан интерферометр с независимой регистрацией сигналов и с последующей обработкой (корреляцией) в специальном вычислительном центре. Такой метод получил название радиоинтерферометрия со сверхдлинными базами (РСДБ), он обеспечивает на длине волны 1 см угловое разрешение около одной тысячной доли угловой секунды. Это угловое разрешение ограничивается размерами земного шара. РСДБ исследования широко распространены и в настоящее время. Трижды в год почти все радиотелескопы мира прекращают все другие исследования и работают около трёх недель чисто по программам РСДБ. Эти исследования привели к важным открытиям, например, были обнаружены видимые сверхсветовые скорости движения выбросов из окрестностей сверхмассивных черных дыр. Впоследствии сверхсветовые движения были объяснены релятивистскими эффектами. Наземные РСДБ исследования указывают на существование в структуре радиоисточников неразрешенных деталей, то есть таких деталей, которые не удалось разглядеть и при максимальном наземном разрешении. Дальнейший прогресс был связан с выводом хотя бы одного радиотелескопа в космическое пространство.

Возможность реализации наземно-космического интерферометра была впервые продемонстрирована в 1983 году американскими радиоастрономами (Леви и др.), которые использовали связной спутник TDRSA с антенной диаметром 4.9 метра, находившийся на геостационарной орбите, для приема сигналов от космических радиоисточников. При этом было реализовано угловое разрешение 0.1 mas в диапазоне 2 см и 0.8 mas в диапазоне 13 см. Исследованные несколько источников опять остались неразрешенными. Другой целевой наземно-космический интерферометр был реализован в Японии в 1997-2005 годах с использованием восьмисеточного радиотелескопа (проект VSOP), обращавшегося вокруг Земли по эллиптической орбите с

периодом обращения 6 часов и наибольшим удалением от Земли 22100 км. Радиотелескоп работал в двух диапазонах радиоволн 18 см и 6 см в одной круговой поляризации. Этот наземно-космический интерферометр обеспечивал наилучшее угловое разрешение в 0.6 mas. Было исследовано несколько пульсаров и мазерных источников гидроксила OH и более сотни внегалактических источников: активных ядер галактик и квазаров. Снова оказалось, что эти радиоисточники остаются неразрешенными на максимальных базах интерферометра VSOP. Единственным полезным результатом VSOP, было указание на необходимость создания наземно-космического интерферометра с десятикратным увеличением максимальных баз. Таким интерферометром и явился «Радиоастрон».

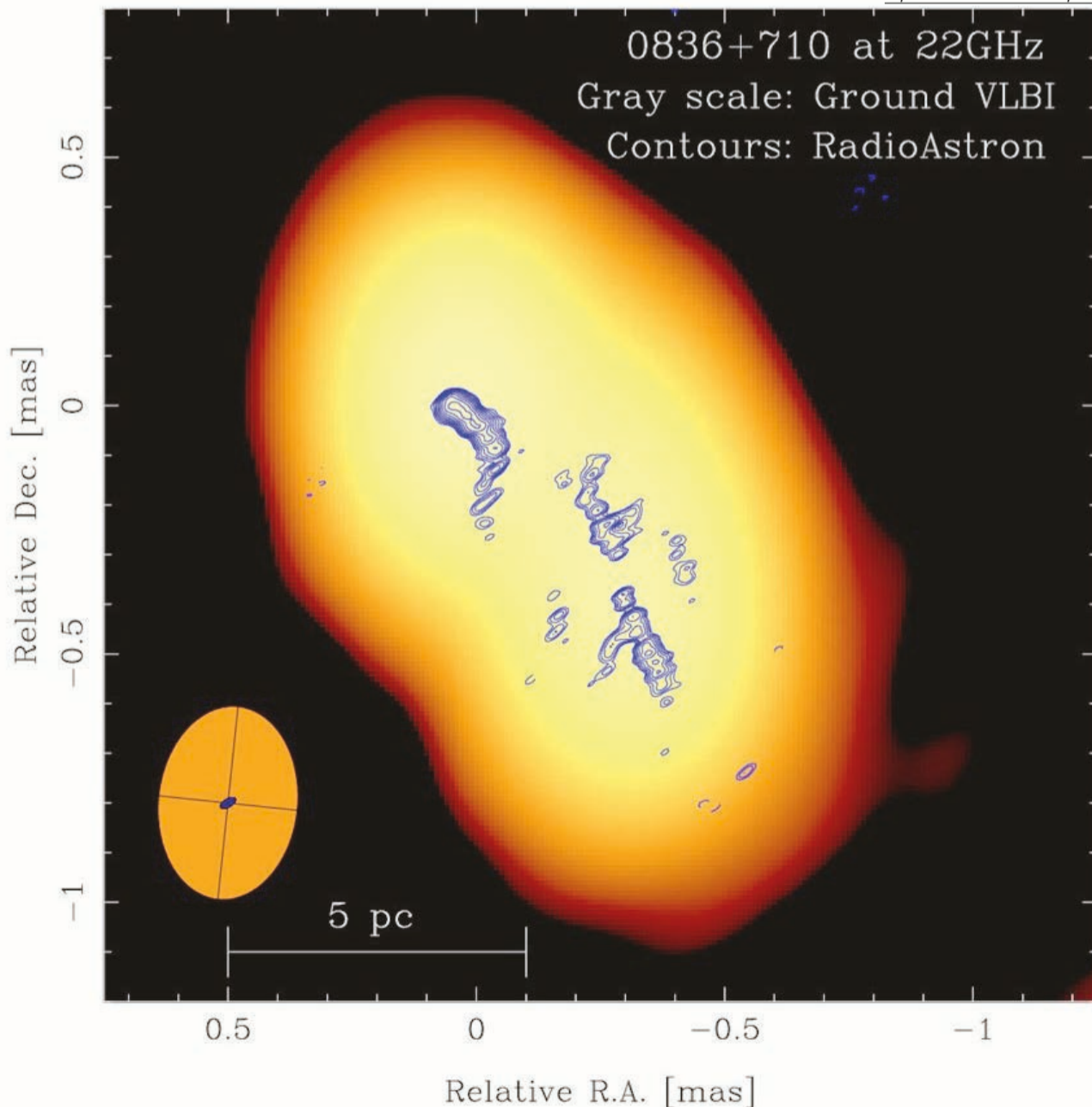
Таким образом, основная цель реализации проекта «Радиоастрон» состояла в том, чтобы наземно-космический интерферометр обеспечивал такие большие базы, на которых основная масса внегалактических источников окажется разрешенной. При этом, разумеется, мы осознавали, что на этих максимальных базах не будет получено интерферометрического отклика. Такое отсутствие отклика несет в себе важную информацию о свойствах исследуемых источников. Основными объектами изучения в проекте «Радиоастрон» являются активные ядра галактик и квазары. Таких объектов, доступных для детектирования с 10-м космическим радиотелескопом, на небе можно выбрать несколько сотен. Это самые мощные по энерговыделению объекты во Вселенной. Их активность объясняется процессами, происходящими вблизи сверхмассивных черных дыр, находящихся в центрах хозяйских галактик. Черная дыра поглощает всё вещество в своих окрестностях, а процесс поглощения происходит с образованием вращающегося аккреционного диска. При этом в перпендикулярном диску направлении, вдоль его оси, происходит ускорение заряженных частиц (электронов, позитронов, протонов), которые излучают синхротронным механизмом в магнитном поле черной

дыры или диска. Эти выбросы (джеты, струи) и наблюдаются во всем диапазоне электромагнитных волн, в том числе и в радио. Изучение параметров этих выбросов с высоким угловым разрешением дает новую информацию к пониманию процессов, происходящих в экстремальных физических условиях, недостижимых в лабораториях на Земле.

Одна из важнейших задач миссии «Радиоастрон» состояла в измерении яркостных температур самых компактных структур у основания радиовыбросов. Согласно теории синхротронного излучения таких структур эта яркостная температура не может превышать определенного предела, обусловленного неизбежными потерями излучающих электронов на обратный комптоновский эффект (чем ярче излучение, тем больше потери); такой предел по яркостной температуре составляет величину около 1012K. Для измерения яркостных температур необходимо измерить угловые размеры излучателя. Наземные РСДБ системы позволяют измерить яркостные температуры как раз до 1012 K, то есть до комптоновского предела. «Радиоастрон» же в принципе позволяет измерять яркостные температуры компактных деталей во внегалактических источниках вплоть до величины 1017K. По ключевой научной программе обзора компактных источников за время полета было выполнено более тысячи измерений для примерно 150 объектов. Вычисленные яркостные температуры зачастую превышают значение 1014K; эти значения несовместимы со стандартной теорией упомянутой выше и, соответственно, требуют дальнейшего развития теории или изменения наших представлений о генерации радиоизлучения в джетах вблизи сверхмассивных черных дыр.

Другой важной задачей проекта «Радиоастрон» было построение изображений исследуемых радиоисточников со сверхвысоким угловым разрешением. Для такой задачи необходимы длительные (до 24 часов) наблюдения с меняющимися наземно-космическими проекциями базы интерферометра от минимальных до максимальных значений, совместимых с функциональными ограничениями, при этом в наземной поддержке участвуют до

Продолжение на стр. 4



Радиокарта квазара 0836+710. Оранжевая зона представляет собой изображение, полученное на наземной сети РСДБ, а контуры показывают результат работы РадиоАстрона. Этот квазар находится на самой границе Вселенной, радиоволны путешествовали в пространстве больше 10 миллиардов лет.

20 радиотелескопов. Были построены радиокарты для нескольких объектов (ЗС 84, ЗС 273, BL Lac, 0642+449 и других). Прилагаемый рисунок иллюстрирует выигрыш от использования «Радиоастрона». На рисунке сплошным цветом показано наземное изображение источника, а в виде контуров, изображение, полученное с привлечением наземно-космических проекций базы. Отчетливо видно, что на фоне туманного пятна, по которому нельзя было бы опознать личность (будь это фотография) появляются во множестве подробностей «черты лица» исследуемого объекта. Эти детали структуры важны для построения модели

магнитного поля и распределения плотности релятивистских частиц в струе, порожденной процессами в окрестности сверхмассивной черной дыры.

Кроме внегалактических источников непрерывного спектра «Радиоастрон» исследовал нейтронные звезды-пульсары и источники линейчатого мазерного излучения от областей звездообразования в нашей Галактике и в других галактиках. В этих исследованиях также было получено несколько неожиданных результатов, но о них мы планируем сообщить в будущих статьях. Всего было опубликовано 65 статей в российских и зарубежных научных журналах.

На состоявшемся 23 июня пленарном заседании Международного координационного совета (RISC), на котором с докладом о состоянии служебных систем аппарата «Спектр-Р» выступил М.И. Артюхов, члены RISC выразили глубокую признательность и всевозможные благодарности сотрудникам НПО имени С.А. Лавочкина за высокую квалификацию в управлении уникальной миссией «Радиоастрон».

**М.В. ПОПОВ,**  
заведующий отделом космической радиоастрономии  
АКЦ ФИАН.

## БОРТОВОЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ КА «СПЕКТР-Р» - «РАДИОАСТРОН»

### СОЗДАНИЕ И РАЗРАБОТКА

Совместная работа МОКБ «Марс» с НПО имени С.А. Лавочкина началась еще в 50-е годы прошлого века. МОКБ «Марс» (тогда еще номерной п/я) разработало астронавигацию для крылатой ракеты «Буря». Затем в 60-е годы были реализованы системы астронавигации «Юпитер» и «А31» для лунных аппаратов «Луна-9» - «Луна-24», обеспечивших первую мягкую посадку на естественный спутник Земли, доставку лунного грунта на Землю.

Новый XXI век – новые совместные с НПО имени С.А. Лавочкина замечательные инженерные задачи. МОКБ «Марс» к этому времени стал системной фирмой (система посадки ОК «Буря», СУРБ «Бриз-М») и имел как технический задел по негерметичной бортовой аппаратуре (бортовая машина – БЦВС, блоки силовой автоматики, астродатчики), так и наработки по СУ для КА ГКНПЦ им. Хруничева (КА «Монитор-Э», «Казсат», «Экспресс-МД»). В результате в 2003 году руководство НПО имени С.А. Лавочкина предложило МОКБ «Марс» участвовать в разработке бортовых комплексов управления для КА «Электро-Л» и «Спектр-Р». В кварталный срок совместная рабочая группа подготовила техническое задание и техническое предложение по унифицированной аппаратуре БКУ с отличиями в кабельной сети и бортовом программном обеспечении для конкретного КА.

Очень быстро в работе проявила себя третья сторона – заинтересованный и критически настроенный заказчик спутника – АКЦ ФИАН и лично академик РАН Н.С. Кардашев. Ученые интересовали как точность наведения основной антенны телескопа, так и реализация и методы наведения связанной антенны на Землю, что должно обеспечить качественное использование данных радиотелескопа. В итоге по результатам совещаний и экспертиз АКЦ ФИАН были приняты предложения НПО имени С.А. Лавочкина и МОКБ «Марс» по подходам к обеспечению стабилизации КА. Другим важным вопросом, который беспокоил руководителя проекта Н.С. Кардашева, было качество отработки борта, его характеристики и надежность в полете.

В итоге действовала договоренность, что уникальный КА «Спектр-Р» полетит после пуска и летных испытаний КА «Электро-Л». Так и случилось КА «Электро-Л» №1 был выведен на орбиту 20 января 2011 года, а КА «Спектр-Р» через полгода 18 июля 2011 года.

### ЭКСПЛУАТАЦИЯ

С июля 2011 года бортовой комплекс управления (БКУ) КА «Спектр-Р» разработки МОКБ «Марс» успешно прошел летные испытания и эксплуатируется в интересах, как астрофизиков

академии наук, так и международного астрообщества. Уже достигнутый срок эксплуатации 5 лет превышает расчетные сроки службы, заданные в техническом задании, но интересы ученых к познанию Вселенной куда больше.

Архитектура реализованного БКУ учитывает специфику данного аппарата, который реализует научные наблюдения с помощью 10-метрового зеркала радиотелескопа. Космический аппарат выведен на высокую орбиту с апогеем более 300 000 км. Орбита КА предъявляет серьезные требования к автономности функционирования БКУ и КА, за последние годы частотой сеансов связи и управления снизили до 2, чтобы увеличить количество наблюдений радиоисточников.

В данном БКУ впервые реализовывались режимы раскрытия телескопа, расчета целеуказаний остронаправленной антенны непосредственно на фоне наблюдений для обеспечения сброса гигабайтов данных на Землю без записи на борту.

При проведении наблюдений радиоисточников от БКУ требуется обеспечить знание ориентации КА с точностью 18 угловых секунд и точность наведения не хуже 2,5 угловых секунд, так же предъявляются жесткие требования по поддержанию заданной скорости. Для исключения систематических ошибок наведения на КА успешно проводятся операции взаимной юстировки астродатчиков, союстировки астродатчиков и электрической оси телескопа, определения поправки к масштабным коэффициентам и осям ДУС ГИВУС. Данные операции позволили снизить систематическую погрешность и повторяются на спутнике ежегодно как контрольные. В условиях регулярных разворотов КА между радиоисточниками традиционная схема обеспечения точности в виде последовательности астрокоррекций неэффективна. В результате сформирована и практически используется трехэтапная схема обеспечения точностных параметров:

- а) астрокалибровка ГИВУС вне наблюдений (остаточный дрейф ГИВУС доводится до 0,007 °/ч);
- б) астрокоррекция (АКР) проводится перед серией наблюдений и устраняет накопленную ошибку знания ориентации КА с сотен угловых секунд до десятков;
- в) непосредственно в ходе наблюдения используется режим непрерывной астрокоррекции (НАК), который по информации с звездных датчиков АД-1 «гладко» корректирует основную бортовую ориентацию, полученную от ГИВУС.

Суммарно данная схема позволила достичь 2-х секундных точностей при динамических операциях на спутнике.

За эти пять лет были не только радости от успехов, но и ряд инженерных задач по преодолению нерасчетных ситуаций как

в БКУ, так и в смежных системах. Оперативно они решались в рамках ЦУП – слаженного коллектива под руководством А.Е. Ширшакова и М.И. Артюхова, сформированного как из специалистов НПО имени С.А. Лавочкина, так и кооперации по космическому аппарату, в том числе и МОКБ «Марс» (Д.А. Добрынина, М.А. Шатского, А.Ю. Ковалева).

Современную техническую реализацию оперативной связи МОКБ и ЦУП обеспечивает группа программистов в лице А.В. Ефанова, Ю.В. Воронцова, В.И. Луцкиной, М.С. Морозова. Телеметрия доставляется к нам в КБ в живом режиме, с обеих сторон созданы средства сопровождения полета (обработчики ТМИ, математический стенд сопровождения и т.д.).

В результате для обеспечения дальнейшей долговременной и безопасной эксплуатации КА внедрялись новые бортовые функции, корректировалось ПО БКУ и все это без прерывания целевого функционирования: корректировалась логика взаимодействия с БАКИС, СУ ОНА, комплексом научной аппаратуры, внедрено дополнительное долговременное ПЗ с набором дежурных ориентаций на годовой цикл.

За пятилетнюю бережливую эксплуатацию КА «Спектр-Р» хочется от МОКБ «Марс» поблагодарить специалистов НПО имени С.А. Лавочкина, уже имевший богатый опыт работы с техникой на орбите: В.А. Молодцова – по управлению КА, М.Е. Чурикову – по оценке функционирования, А.А. Винокурова и В.П. Федотова с коллегами – по БКУ, Е.Н. Филиппову – по всем околобаллистическим вопросам, по «теплу» – А.С. Превезенцева.

Кроме того, нельзя не отметить тех сотрудников, для кого КА «Спектр Р» стал надежной первой практической площадкой и основой для качественного роста:

- нынешнего начальника группы реализации и управления А.З. Воробьева и его многочисленных воспитанников, в том числе отдельно П.С. Гуреева и И.Н. Меркулова.

Полученный за эту пятилетку опыт эксплуатации, несомненно, позволяет НПО имени С.А. Лавочкина и МОКБ «Марс» рассчитывать на плодотворные работы по КА «Спектр-РГ» и дальнейшей перспективе работ по автоматическим космическим научным лабораториям, создаваемым в городском округе Химки.

Поздравляем всех сотрудников НПО имени С.А. Лавочкина, МОКБ «Марс», АКЦ ФИАН со знаменательной датой – 5-летием реализации программы «Радиоастрон»!

**М.В. СОКОЛОВ,**  
заместитель генерального конструктора  
МОКБ «МАРС».

## МОНИТОР ЭНЕРГИЧНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ И ПРОТОНОВ МЭП

Спектрометр энергичной плазмы МЭП разработан и изготовлен в Институте экспериментальной физики Словацкой академии наук (г. Кошице, Словакия) в сотрудничестве с Институтом космических исследований Российской академии наук (г. Москва, Россия) и университетом Демокрита (г. Ксанти, Греция). Он проводит измерения спектров по энергии потоков энергичных частиц плазмы: электронов (30 кэВ-350 кэВ) и протонов (30 кэВ-3.2 МэВ), используя две пары кремниевых детекторов. Энергичными обычно называют компоненты с энергиями существенно выше средней («тепловой») энергии основной массы частиц. Они обычно возникают под действием различных механизмов ускорения во время солнечных вспышек, взрывов сверхновых звезд и прочих динамических процессов в космической плазме. Околосолнечная плазма – удобное место для изучения подобных процессов, здесь измерения можно проводить «изнутри», в то время как астрофизические процессы ускорения частиц мы можем исследовать, только смотря на них «со стороны». В советских и российских космических проектах накоплен большой опыт подобных наблюдений. Спутник «Спектр-Р» стал удобной платформой для реализации специализированного эксперимента такого рода для изучения тонкой структуры ускорительных процессов в солнечном ветре, на околосолнечной ударной волне и внешней магнитосфере.

В приборе МЭП установлено четыре детектора – по два для измерений потоков электронов и ионов соответственно. Пары ионного и электронного детекторов ориентированы одна в сторону, близкую к Солнцу, вторая – «назад», от Солнца, насколько позволяет конструкция аппарата. Электронный детектор включает в себя коллиматор, фольгу, отсекающую поток ионов, имеющих низкую проникающую способность, и кремниевый чувствительный элемент, позволяющий измерять энергию электронов по их полному энергетическому делению в диапазоне энергий 40-400 килоэлектронвольт. Детектор ионов включает в себя коллиматор, кольцевой магнит, отсекающий электроны с энергиями до 1 МэВ и кремниевый чувствительный элемент, позволяющий измерять энергию ионов в диапазоне 40-1000 килоэлектронвольт. Детекторы имеют относительно большой геометрический фактор 0,77 стер•см<sup>2</sup>, что обеспечивает

высокую чувствительность к малым потокам измеряемых частиц. Электронный блок прибора включает в себя узлы, осуществляющие формирование импульсного сигнала с детекторов и интерфейсы с системами КА (телеметрия, питание, команды). Как правило, ранее подобные измерения проводились с накоплением сигнала за время порядка одной минуты. В данном же эксперименте реализована схема со временем регистрации не хуже 1 секунды и до 32 отсчетов в секунду. Такое высокое разрешение по времени по-

разработан специальный режим работы на наиболее интересных участках орбиты, предусматривающий разворот всего КА в положение, более благоприятствующее измерениям на 3-6 часов. Данный режим успешно используется с 2012 года.

Интересно, что самые приоритетные наблюдения были проведены прибором МЭП в солнечном ветре буквально в первые часы в ходе первого пробного включения. Наблюдалось возрастание потока ионов в диапазоне энергий до 200 КэВ. Это достаточно необычное явление, связанное с отражением и ускорением ионов на ударной волне, возникающей на границе магнитосферы Земли и солнечного ветра (т.н. «форшок»). Однако на переднем фронте возмущения отчетливо наблюдаются колебания потока с периодом порядка 20-30 секунд, имеющие синфазный характер в широком диапазоне энергий. Это совершенно новое явление, ранее таких зарегистрировано не было, в основном, из-за недостаточного временного разрешения приборов. Рассмотрение возможных вариантов происхождения этого явления позволяет сделать вывод о связи обнаруженных колебаний потока с колебаниями границ магнитосферы, появляющимися в интервалы высокой скорости солнечного ветра. Однако открытым вопросом, до сих пор требующим более глубокого изучения, остается проблема синфазности колебаний на всех регистрируемых энергиях. Ионы различных энергий движутся по существенно различным траекториям и на значительном удалении от источника должно происходить перемешивание.

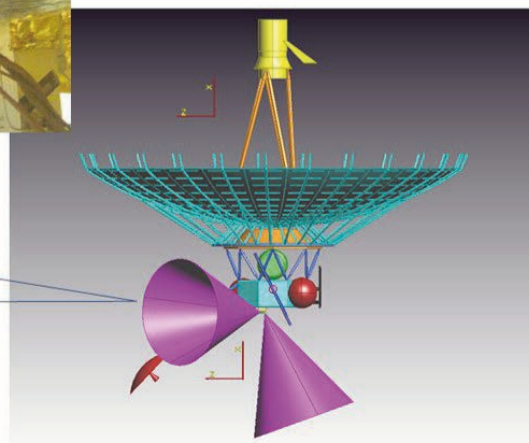
В течение 5 лет работы прибора всего получено несколько гигабайт научной информации. В дополнение к вышеописанным наблюдениям в первые часы работы прибора, зарегистрировано большое количество схожих явлений, ведется их статистический анализ. Опубликовано несколько научных статей в ведущих международных журналах. Начиная с 2013 года прибор включается только на примыкающих к перигею участках орбиты общей длительностью 2-3 суток, представляющих основную научный интерес. Такой режим работы позволяет сохранить ресурс работы детекторов и следует ожидать еще несколько лет плодотворных наблюдений.

**А.А. ПЕТРУКОВИЧ,**  
заведующий отделом физики космической плазмы  
ИКИ РАН.



фото прибора на борту КА

поля зрения прибора на макете КА



звоняет получить уникальные результаты.

Прибор был включен 31 июля 2011 года и с тех пор успешно функционирует. В ходе полета была зарегистрирована повышенная чувствительность прибора к солнечному свету, выразившаяся в увеличении шума детектора ионов (этот детектор, в отличие от детектора электронов, не закрыт фольгой). По всей видимости, причиной подобной помехи являются блики солнечного света от элементов конструкции. Для парирования таких помех был