

Космос	На фото
Текст: Надежда Фетисова Фото: МОКБ «Марс», Роскосмос	Транспортировка космического аппарата «Арктика-М»



Над «мировой кухней погоды»

Спутник «Арктика-М» помогает прокладывать маршруты по СМП, прогнозировать погоду и спасать терпящих бедствие

«Арктика» — это не только головной атомный ледокол «Атомфлота»: такое название носит и уникальный российский метеорологический спутник. О том, как работают такие спутники, каково значение «Арктики-М» для всего научного сообщества и какое участие в разработке аппарата принимало конструкторское бюро «Марс», рассказывает заместитель генерального конструктора, главный конструктор бортовых комплексов управления космическими аппаратами МОКБ «Марс» Дмитрий Добрынин.

Что видит «Арктика»

— Дмитрий Алексеевич, расскажите о задачах, которые стоят перед «Арктикой».

— На этом космическом аппарате установлены несколько систем, которые собирают информацию для метеослужб российского Гидрометцентра. На основе собранных данных метеорологи составляют карты распределения ветров и облаков, получают температуру земной и водной поверхностей. Используя эти данные, ученые могут предсказать даже вулканическую активность в том или ином регионе. Также

появляется возможность спрогнозировать ледовую обстановку на Северном морском пути. Совместив снимки в инфракрасном и видимом диапазонах, метеорологи определяют расположение, площадь, характеристики ледовых полей, их движение в районе СМП, и в результате можно прокладывать маршруты движения судов в этом районе. Кроме того, ведется прогноз погоды в районе этих маршрутов. То есть получается большое количество продуктов, которыми пользуются, например, транспортные службы и сельскохозяйственные ведомства.

На уникальной орбите

— Существуют ли аналоги «Арктики-М» — советские, российские или зарубежные?

— «Арктика-М» сегодня является уникальным аппаратом для России, однако высокоэллиптическую орбиту, на которой вращается аппарат, впервые начали использовать еще в Советском Союзе — по ней летали аппараты серии «Молния». Они использовались для обеспечения связью и телевидением районов Крайнего Севера.

— В чем особенность высокоэллиптической орбиты?

— Существует несколько типов орбит: отлетные, круговые и эллиптические. Отлетные — это незамкнутые орбиты, например, когда космический аппарат улетает в межпланетное пространство.

Круговые — орбиты, вращаясь по которым, спутник всегда находится на одинаковом расстоянии от Земли. Один из видов такой орбиты — стационарная (она одна такая, единственная и неповторимая): это круг в плоскости экватора на определенной высоте. На этой орбите — настоящее столкновение спутников со всего мира, идет даже некая борьба за точки расположения на этой орбите. Спутник движется одновременно с точками на поверхности Земли, как будто бы «висит» над ними. Это удобно для передачи сигналов — не надо куда-то перенацеливаться. Но с этой орбиты связь с самыми северными и южными широтами установить не получится.

Эллиптические — орбиты в форме эллипса. У них есть перигей — ближайшая к поверхности земли точка, и апогей — самая далекая. На орбите, где вращались «Молнии» и по которой теперь движется «Арктика-М», апогей находится на расстоянии порядка 40 тыс. километров от поверхности Земли. Когда аппарат совершает подлет к апогею, он постепенно повышает высоту и теряет скорость. После достижения апогея он, наоборот, снижает высоту и повышает скорость. Все это время аппарат хорошо виден с полюса и из районов северной части нашей страны. Если целый виток вокруг орбиты занимает для «Арктики-М» 12 часов, то на этой самой высокой части аппарат находится 6 часов. Довольно приличное время, в течение которого с ним можно обмениваться информацией.

Как это работает

Аппаратура «Арктики-М»

Основная аппаратура — это многоспектральное съемочное устройство (МСУ-ГС), которое с интервалом в 15 или 30 минут делает снимок полного диска земного шара. Разрешение для видимого человеческого глазом диапазона — около 1–4 километров на пиксель. Также там есть 7 каналов, которые работают в инфракрасном диапазоне. На основе этих данных метеорологи составляют свои прогнозы.

Гелиогеофизический комплекс (ГГАК) занимается измерением параметров тех условий, в которых аппарат в данный момент находится: фиксируется количество пролетающих космических частиц, их энергия, направление, а также магнитное поле вокруг аппарата. Данные, полученные ГГАК, позволяют, например, заблаговременно предсказать геомагнитные бури. Внешние воздействия из космоса оказывают сильное влияние на аппаратуру, которая работает в этих условиях, и данные, полученные ГГАК, позволяют проводить оценку стойкости такой аппаратуры, в том числе радиационной стойкости.

Кстати, «Арктика-М» регулярно, несколько раз за виток, проходит через так называемые радиационные пояса Земли — это тороиды, внутри которых сосредоточено повышенное количество заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли. Все эти заряженные частицы оказывают негативное влияние на работу систем космического аппарата. Соответственно, вся аппаратура на «Арктике-М» проектировалась так, чтобы противостоять этому влиянию.

Аппаратура, подобная МСУ-ГС и ГГАК, установлена, конечно, не только на «Арктике-М» — она есть и на отечественных «Электро-Л», и на аппаратах других стран. Все данные, которые приходят со спутников, объединены в мировую систему обмена информацией — в большинстве случаев это происходит безвозмездно. Доступ к этой базе есть у большинства представителей глобального научного сообщества.

Бортовой радиотехнический комплекс (БРТК) предназначен, например, для ретрансляции данных, полученных с платформ, размещенных по всей нашей стране, в том числе, в самых труднодоступных районах — северных, горных, пустынных. Полученные данные БРТК отправляет в крупные центры приема и обработки данных (в Москве и Новосибирске).

«КоСПАС-SARSAT» (КоСПАС (Космическая Система Поиска Аварийных Судов) — SARSAT (Search And Rescue Satellite-Aided Tracking)). Это международная система, которая занимается передачей сигналов от терпящих бедствие — путешественников, экспедиций и так далее.

Дмитрий Добрынин демонстрирует стенд испытаний бортового комплекса управления



«Марс» для «Арктики»

— Разработкой какой аппаратуры для «Арктики-М» занимается МОКБ «Марс»?

— Принципиально «Арктика-М» состоит из двух частей: целевая аппаратура, о которой я рассказывал выше и которая служит интересам ученых, и служебный борт — двигательная установка, система обеспечения тепловых режимов, система энергоснабжения, солнечные батареи и т. д. За всеми этими системами надо следить, ими нужно управлять, причем управление идет по нетривиальным алгоритмам. При этом необходимо определять положение аппарата на орбите, положение аппарата относительно звезд, Земли, Солнца и управлять режимом ориентации этого аппарата.

МОКБ «Марс» является разработчиком и изготовителем бортового комплекса управления (БКУ), который и выполняет эти функции.

— Почему именно «Марсу» поручили изготовить БКУ для «Арктики-М»?

— Аппараты серии «Арктика-М» создаются на базе универсальной платформы «Навигатор». Эту платформу изготавливает «НПО им. Лавочкина» совместно с МОКБ «Марс», и она чуть раньше была применена

для аппаратов серии «Электро-Л», которые работают сейчас на геостационарной орбите.

Похожие бортовые комплексы управления бюро изготавливало и для предыдущих серий космических аппаратов. Накопленный «Марсом» огромный опыт и позволил получить контракт по изготовлению БКУ для «Арктики». У разных аппаратов — разные заказчики. Для «Арктики-М» это Роскосмос и Росгидромет. Договор был заключен в 2013 году, а летный комплект «Марс» изготовил и поставил в декабре 2016 года. Мы выполнили все свои задачи в срок, определенный требованиями договора.

Что нового?

— Насколько сильно БКУ «Арктики-М» отличается от предыдущих проектов?

— Управление этим аппаратом (и, соответственно, логика работы БКУ) кардинально отличается от, например, геостационарных спутников, которые вращаются вокруг Земли с постоянной скоростью и квазипостоянной ориентацией. В отличие от них, на «Арктике-М» съемка ведется на разной высоте, при этом аппарат нужно поворачивать так, чтобы съемочная аппаратура смотрела на центр Земли. Плюс ко всему орбита накладывает свои условия на нагрузку двигателей (органов управления

ориентацией). Аппарат на каждом витке совершает регулярные и частые развороты: перед каждой съемкой, перед заходом за Землю, после выхода из-за Земли. При этом учитываются условия засветки бортовой аппаратуры Солнцем и Землей, которым нельзя попадать в поле зрения съемочной аппаратуры или радиаторов, установленных на борту. А для этого надо постоянно контролировать процесс и разворачивать изделие в ту или иную сторону.

«Пока спутник находится на этапе летных испытаний, которые планируется завершить в сентябре этого года. Затем аппарат должен быть принят в эксплуатацию. Но, конечно, данные со спутника приходят уже сейчас, и могу сказать: все работает хорошо»

Орбита, по которой вращается «Арктика-М», вытянутая, высокая. А значит, все спутники, которые используются для навигации на Земле (ГЛОНАСС, GPS), оказываются под «Арктикой-М»: это не позволяет постоянно определять его положение на орбите по навигационным спутникам. Поэтому на борту есть система спутниковой навигации, которая либо ловит сигналы с этих спутников, либо формирует прогнозное значение. А в БКУ работает собственный бортовой навигационный прогноз, который позволяет, если нужно, автономно прогнозировать положение спутника на орбите и учитывать это в расчетах. Это тоже интересная и сложная задача.

В целом, отвечая на ваш вопрос, хотя каждый спутник по-своему уникальный, изготовление БКУ для «Арктики-М» стало более сложной задачей чем, например, для геостационарных аппаратов.

— Где проходят испытания оборудования? Оно же, наверное, очень большое по габаритам?

— Совсем нет. Вес всего космического аппарата — около двух тонн, габариты при закрытых солнечных батареях — менее 5 метров, это сравнимо с габаритами небольшого грузовичка типа «Газели». А каждый из блоков БКУ (как правило, их семь) размером чуть больше коробки из-под обуви.

Все оборудование «Арктики» испытывается на Земле: сначала по частям, отдельно от космического аппарата, потом в комплексе, и в конце концов испытания проходит весь космический аппарат.

С какими органами и системами человеческого организма можно сравнить системы БКУ?

Начнем с бортового вычислителя — это, несомненно, «мозг» космического аппарата, где решаются все функциональные задачи. Интересно, что внутри одного корпуса вычислителя находятся четыре функционально одинаковых компьютера — это сделано для резервирования устройств и обеспечения сроков службы вычислителя: то есть вышедший из строя элемент заменяется аналогичным, ранее находящимся в резерве. Вычислительный блок может функционировать, пока работает хотя бы одно из четырех устройств.

Также несколько компьютеров нужно для принятия правильных решений по принципу голосования. «Голосование» идет по принципу большинства, т.е. за истину принимается результат, совпадающий у двух из трех машин.

Вокруг этого вычислителя работают блоки силовой автоматики. Они получают сигналы со всех служебных и целевых приборов и систем космического аппарата, преобразуют их в сигналы, понятные цифровому программному обеспечению, и выдают нужные команды, например: повернуть солнечную батарею, включить-выключить съемочную аппаратуру или нагреватели и т.д.

Также в состав бортового комплекса управления входят «глаза» и «уши» «Арктики-М» — это датчики солнца и звездные датчики. Первые дают направление на центр Солнца, вторые регулярно делают снимок звездного неба. В зависимости от расположения звезд рассчитывается, куда направлены датчики, и таким образом определяется ориентация аппарата в пространстве.

Для того чтобы понимать, как аппарат движется вокруг своего центра масс, устанавливается гироскопический измеритель. Бортовой вычислитель обсчитывает эти измерения и получает возможность управлять его стабилизацией и ориентацией.

Мало понимать ориентацию аппарата — надо еще суметь его развернуть. Для этого на «Арктике-М» установлены четыре двигателя маховика (тоже входят в состав БКУ): если они вращаются в одну сторону, то аппарат — в другую. Если продолжать нашу аналогию с человеческим телом, то маховики — это «опорно-двигательный аппарат» «Арктики-М». Для перемещения по орбите на борту есть, конечно, и реактивная двигательная установка — она в состав БКУ не входит, но им управляется.

«Кровеносная система» спутника — это, вероятно, передача энергии между разными его частями, коммутация и переключение которой также есть среди задач БКУ. Еще существуют интерфейсные каналы, по которым происходит обмен сведениями между всеми приборами, — это «нервная система» «Арктики-М».

Так что без БКУ аппарат превратился бы в неуправляемую «болванку», космический мусор.

Точно также — сначала по частям, потом целиком — проходят и испытания блоков БКУ и БКУ в целом. Вся эта работа проводится здесь, в «Марсе».

Бортовая логика

— В СМИ встречаются такие фразы: «спутник потерялся», «спутник потерял ориентацию». Что это значит? И может ли «Марс» это исправить?

— Потеря ориентации и потеря спутника — это разные термины, но если потеря ориентации произошла безвозвратно, то есть спутник не может определить свое пространственное положение, то в большинстве случаев это приводит к потере самого изделия.

Как это происходит? В космосе сложно привязаться к каким-то ориентирам. Если не работает, например, астродатчик, то нельзя увидеть звезды, если не работает гироскопия, то невозможно определить изменение положения аппарата, если вышла из строя бортовая вычислительная часть, то все получаемые данные уже не смогут быть обсчитаны. Поэтому в каждом конкретном случае возникающие проблемы решаются по-разному.

Первым делом, конечно, нужно понять, что произошло. Для этих целей в БКУ предусмотрена расширенная, всесторонняя телеметрическая информация, которая автоматически формируется по всем событиям, фиксирует любое отклонение от нормы и передает данные на Землю. На Земле сопровождением полета занимаются несколько служб, в том числе «Марс». Анализируя полученные данные, специалисты разбираются, что произошло, и выдают рекомендации по управлению полетом.

К сожалению, не всегда получается устранить неполадки. Но «Марс» гордится тем, что на БКУ применены такие системы, которые при некатастрофичных выходах из строя аппаратуры или сбоях программного обеспечения позволяют либо переключить резервы, либо изменить логику управления, либо даже переписать часть программного кода, то есть изменить бортовое программное обеспечение. В частности, на всех наших изделиях работает так называемый режим САД (стабилизация на астродатчиках): когда нужно без гироскопии определить ориентацию аппарата, то используются алгоритмы, которые могут это сделать по показаниям только астродатчиков.

В нашей практике был такой случай: космический аппарат, летающий на околоземной орбите (это был аппарат дистанционного зондирования Земли), потерял ориентацию. Произошло это так: до вхождения спутника в тень Земли не пришла команда на отключение двигательной установки — очень энергоемкой системы. В тени, естественно, солнечные батареи, которые обеспечивают подпитку электричеством всех бортовых систем, от Солнца энергию получать не могли, и бортовые аккумуляторные батареи разрядились. В результате после выхода из тени спутник уже не мог



Дмитрий Добрынин

Родился в Москве в 1974 году.

Окончил МАИ (НИУ), специальность «ракетостроение». Кандидат технических наук.

Работать в МОКБ «Марс» начал в 1996 году, совмещая с учебой в МАИ. Спустя три года был назначен заместителем начальника отдела комплексирования СУ. Первым проектом для него стало участие в разработке системы управления для спутника ДЗЗ «Монитор-Э».

В 2001 году был назначен начальником отдела телеметрического обеспечения и телекомандного управления. В это время в том числе был сформирован коллектив и выполнены работы по подготовке и обеспечению летных испытаний БКУ ряда космических аппаратов (КА «Монитор-Э», спутников связи КА «Казсат» №1 и 2, «Экспрес-МД1»).

С 2006 года Дмитрий Добрынин — заместитель генерального конструктора ФГУП МОКБ «Марс» по созданию БКУ КА.

За этот период были запущены три метеоспутника серии «Электро-Л», международная орбитальная астрофизическая обсерватория «Спектр-Р», российско-германская орбитальная астрофизическая обсерватория «Спектр-РГ» и первый КА «Арктика-М» с БКУ, разработанными в МОКБ «Марс».

В настоящее время под его руководством в МОКБ «Марс» функционируют подразделения, отвечающие за создание бортовых комплексов и отдельных систем КА, а также Центр сопровождения полетом (ЦСП), обеспечивающий оперативное взаимодействие предприятия с ЦУПами ЦНИИМаш, ГКНПЦ им. М.В. Хруничева, НПО им. С.А. Лавочкина и Казахстана и сопровождающий испытания и эксплуатацию в полете космических аппаратов в режиме близком к реальному времени.

Подготовка к запуску ракеты-носителя «Союз-2.1б» с космическим аппаратом «Арктика-М» с космодрома Байконур



сориентироваться, это был фактически полностью отключившийся космический аппарат.

Специалисты «Марса» вместе с коллегами из головного предприятия смогли решить эту проблему. Мы установили связь со спутником, «поймав» его в определенный момент времени, когда аккумуляторы частично зарядились от солнечных батарей, и специалисты дали необходимые команды на борт. Была разработана сложнейшая алгоритмика, работы продолжались более трех месяцев. В результате спустя чуть более полугода этот аппарат вернулся к решению своих задач и отработал весь срок службы.

С тех пор мы еще более серьезно относимся к проработке бортовой логики. Моделируем все возможные нештатные ситуации и приспособливаем борт к автоматическому решению таких ситуаций с минимальными вмешательствами с Земли.

— А как специалисты «Марса» узнают, что что-то пошло не так?

— За аппаратом наблюдает в первую очередь Центр управления полетами (он относится к Роскосмосу). Информация со спутника приходит туда, а затем по наземным линиям связи передается нам — участникам сопровождения. Далее происходит первичная автоматизированная обработка данных: программа самостоятельно оценивает, есть ли повод для вмешательства человека? Если да, то на экранах сотрудников загораются красные семафоры и начинается работа. Информация с борта до нас доходит за две-три минуты. В данный момент мы сопровождаем пять космических аппаратов, на которых работают бортовые комплексы «Марса»: две геостационарных «Электро-Л», связной спутник Казахстана «КазСат-2», одна «Арктика-М» и еще «Спектр-РГ» — телескоп рентгеновского диапазона, в создании которого принимал активное участие Росатом.

«Арктика» на высоте

— Какие новости приходят с «Арктики-М»?

— Пока спутник находится на этапе летных испытаний, которые планируется завершить в сентябре этого года. После этого аппарат должен быть принят в эксплуатацию. Но, конечно, данные со спутника приходят уже сейчас, и могу сказать: все работает хорошо.

— Этот спутник — первый аппарат «арктической» серии. Всего планируется построить до пяти таких космических аппаратов, причем работы над вторым уже активно ведутся. А зачем нужно столько спутников?

— Как мы помним, спутник не все время находится на верхней части своей орбиты: когда он заходит за земной шар, то северное полушарие уже не наблюдается. Два аппарата будут перемещаться в пересекающихся плоскостях, но с одинаковыми параметрами,

и тогда можно будет попеременно наблюдать северное полушарие с помощью то первого, то второго спутника. Если их будет больше — четыре, то наблюдение можно будет вести с двух сторон одновременно (с запада и с востока). Надеюсь, это будет реализовано.

— Насколько важной вы считаете работу «Арктики-М»?

— Я не метеоролог, но я знаю, как обрадовались специалисты Росгидромета, когда стали поступать первые снимки с «Арктики-М». Я помню, сколько поздравлений по случаю запуска спутника поступило от всего мирового научного сообщества. Не зря ведь Арктику называют мировой кухней погоды: процессы, происходящие здесь, оказывают колоссальное влияние на климат всего земного шара. «Арктика-М» действительно обладает уникальными возможностями для наблюдения за этим регионом, за процессами, которые раньше никто не изучал. Поэтому работа этих спутников вызывает огромный интерес у специалистов всего мира.