

# Программы – союзные, масштабы – космические



Космические полеты давно стали неотъемлемой частью жизни человечества. Нынешние реалии таковы: не прекращается работа на Международной космической станции, просторы космоса бороздят множество спутников, а на Земле разрабатываются все новые и новые технологии, подстегивающие космический прогресс. Научные открытия продвигают фундаментальные науки, пополняют наши знания о Вселенной.

Колоссальный эффект для экономики Беларуси и России приносят программы Союзного государства, направленные на развитие космической сферы. Концентрация авангардных решений и творческого потенциала ученых и высококлассных специалистов двух стран позволяет решать самые сложные задачи. По программе «Технология-СГ» совместными усилиями сегодня создаются комплексные технологии, устройства и новые материалы для снижения массы и улучшения качественных характеристик малых космических аппаратов. Инновации призваны способствовать совершенствованию ракетно-космической техники и, вполне вероятно, откроют новые горизонты для исследования внеземного пространства.

Характеризуя программы Союзного государства, связанные с космосом, заместитель Государственного секретаря Союзного государства Алексей Кубрин в одном из своих интервью отметил, что они создавались с применением наиболее правильного и системного подхода. В основе его – очень плотное белорусско-российское взаимодействие в области космоса, берущее начало еще в Советском Союзе, а также понимание спектра задач, стоящих перед исследователями. Проблемы решались системно и в России, и в Беларуси, в дальнейшем – уже в рамках космических программ Союзного государства. Разрабатывалась и нормативно-правовая база.

– К сегодняшнему дню пять связанных с космосом программ уже реализованы, – подчеркнул А. Кубрин. – Еще три находятся в работе. Получается так, что мы либо чередовали разработку нормативов и технические аспекты, либо совмещали. Например, отработали программу, которая позволила создать белорусский космический аппарат. А потом вышли на программу «Разработка космических

и наземных средств обеспечения потребителей информацией дистанционного зондирования Земли». Там уже есть и технологические процессы, и нормативная база. Следом идет программа «Технология-СГ», нацеленная на разработку материалов, устройств и ключевых элементов космических средств – она носит больше технологический характер.

Неоднократно подчеркивал значимость совместной работы с российскими коллегами и руководитель аппарата Национальной академии наук Беларуси академик Петр Витязь:

– Формирование программ и их выполнение в рамках Союзного государства является основой развития интеграции между Беларусью и Россией. Очень важно создавать не только новое оборудование, технологии и материалы, но и нормативную базу, чтобы мы говорили на одном техническом языке. Программы, которые мы выполнили с «Роскосмосом», – пример этого. Они позволили создать также систему дистанционного зондирования Земли и систему получения информации, запустить

спутник, сформировать космическую группировку.

Как сообщил на совещании в НАН Беларуси в январе текущего года А. Кубрин, в следующей программе «Интеграция-СГ» («Разработка, модернизация и гармонизация нормативного, организационно-методического и аппаратно-программного обеспечения целевого применения космических систем дистанционного зондирования Земли России и Беларусь» на 2019–2023 годы) будет преобладать нормативно-правовой аспект: планируется сделать акцент на разработке, модернизации и гармонизации нормативного, организационно-методического и аппаратно-программного обеспечения.

– Предполагается корректировка и гармонизация новой правовой базы, которая сочетается и с мировой, и с российской, и с белорусской. Предусмотрено дополнительное создание новых элементов и систем в вопросах взаимодействия космической группировки с наземной, – рассказал Алексей Кубрин. – Программа будет направлена на переход к более масштабному освоению космоса. Активно обсуждается вопрос создания спутниковых систем, которые должны быть значительно меньше по габаритам и существующей массе именно в рамках дистанционного зондирования Земли.

В целом «Интеграция-СГ» – это фактически шаг к новому направлению при разработке и создании космических аппаратов и техники. Речь идет о спутниках нового поколения. Продолжит космическую технологическую инновационную составляющую и программа «Комплекс-СГ», запланированная на начало 2022 года.

### **Для освоения внеземного пространства**

Выполнение основного комплекса работ в космической отрасли Беларуси обеспечивают более 20 научных и производственных организаций. Одним из крупных научно-исследовательских центров, в котором еще со времен СССР



◀ Заместитель  
Государственного  
секретаря Союзного  
государства Алексей  
Кубрин

прямо или косвенно решались задачи военной и космической сфер, является Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова (ИТМО) Национальной академии наук Беларусь. Надо сказать, что наследство советской эпохи и теперь находит применение в институте. В частности, на экспериментальных стендах до сих пор испытываются материалы и элементы конструкций аппаратов для «Роскосмоса» и Европейского космического агентства (ЕКА). Все потому, что многие из этих установок и в наше время не имеют аналогов в мире. Хотя в целом тематика научно-исследовательских работ существенно расширилась: в институте создаются энергоэффективные и экологически безопасные технологии и техника, аппараты и приборы для энергетики и машиностроения, агропромышленного комплекса и стройиндустрии, медицины, химической, электронной, радиотехнической, пищевой промышленности. И, конечно, космической отрасли. И в этом плане Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова, безусловно, знаменит. Ведь именно в его стенах в свое время испытывали теплозащитные материалы, использовавшиеся при создании советского аналога американских

«шаттлов» – челнока «Буран». Здесь тестиировалась и обшивка спускаемого аппарата Европейского космического агентства «Скиапарелли».

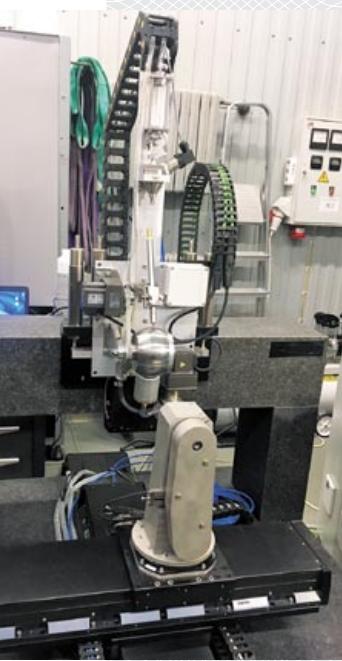
В настоящее время ИТМО является головной организацией с белорусской стороны, а ФГПУ «НПО «Техномаш» и НИИ КС имени А.А. Максимова – филиал ГКНПЦ имени М.В. Хруничева – с российской по выполнению научно-технической программы Союзного государства «Разработка комплексных технологий создания материалов, устройств и ключевых элементов космических средств и перспективной продукции других отраслей» («Технология-СГ» 2016–2020 годы). Госзаказчиком-координатором программы выступила Госкорпорация «Роскосмос», госзаказчиком – Национальная академия наук Беларусь.

Главная задача союзной программы – создание комплексных технологий, устройств, которые позволяют обеспечивать снижение массы и улучшение качественных характеристик малых космических аппаратов. Разработки принципиально новых элементов этих аппаратов ведутся в том числе на базе инноваций, созданных в ходе реализации таких программ Союзного государства, как «Нанотехнологии» и «Мониторинг-СГ». За счет применения новых материалов и технологий масса малых космических аппаратов будет уменьшена до 120–180 кг и, как рассчитывают ученые, в 2–3 раза снизятся ценовые характеристики аппаратов, которые выводятся на орбиту. Вместе с тем качество их будет выше, чем у предшественников, увеличится и срок службы. Белорусские и российские ученые планируют также добиваться повышения надежности разработанных ранее устройств. Новые космические технологии, не сомневаются исследователи, найдут применение не только на внеземной орбите, но и на Земле, и будут востребованы для решения локальных задач в народном хозяйстве. К слову, многие из них уже стали вестниками прогресса. По сути, все новые виды коммуникаций требуют поддержки спутниковых систем, которые находятся на гео-

стационарных орbitах и обеспечивают работу по обмену и передаче информации на более высоких скоростях, гарантируют качество цветных изображений и сотовой связи, включая развитие 5G технологий. Спутниковые группировки военного назначения, наблюдая из космоса за процессами, происходящими на планете, обеспечивают обороноспособность стран. Системы дистанционного зондирования Земли ежесуточно картиграфируют местность с достаточно высоким пространственным разрешением от 0,2 до 0,3 м в различных спектральных диапазонах. Такая, получаемая из космоса, информация актуальна и незаменима для оперативной работы МЧС и других структур. Может использоваться и для сельского хозяйства: по специальному спектральному анализу изображения определяют уровень созревания сельскохозяйственных культур на определенных участках территории. Поступающая ежедневная компьютерная информация с космических систем позволяет и органам власти принимать правильные управлочные решения.

– Практически все, что мы сейчас делаем в рамках научно-технической программы Союзного государства «Технология-СГ», потенциально или напрямую связано с исследованиями внеземного пространства, – поясняет директор Института тепло- и массообмена НАН Беларусь, доктор физико-математических наук, профессор Олег Пенязьков. – Те же испытания теплозащиты спускаемых к планетам Солнечной системы аппаратов очень актуальны в связи с планами по освоению Марса. За последние несколько лет мы построили новые стенды, благодаря которым можем испытывать экраны для защиты космических аппаратов от столкновения с микрометеоритами и космическим мусором. Проводим большое количество исследований по созданию плазменных микродвигателей, которые могут использоваться для коррекции орбиты и ориентации космических аппаратов. По некоторым отраслям мы, без преувеличения, диктуем повестку дня, например, в физике плазменных ускорителей. Это, кстати,

▼ Автоматизированная установка магнитореологического полирования оптических элементов для малых космических аппаратов



одно из «фирменных» для нашего института направлений, которое нашло отражение в программе «Технология-СГ».

Как объяснил директор ИТМО НАН Беларуси, теплозащитные материалы для «Роскосмоса» и ЕКА испытываются на холловском ускорителе плазмы. Таких устройств в мире действительно всего несколько. Поток ионизованного газа здесь разгоняется до скорости 20 км в секунду, причем система может работать при пониженном давлении, симулируя условия различных планет. Когда спускаемый аппарат входит в атмосферу, он нагревается до огромных температур. Именно это и моделирует холловский ускоритель. Он может работать непрерывно на протяжении 5–6 минут, что позволяет воспроизвести практически любые условия. Материал при этом нагревается вплоть до 6000 градусов Цельсия. К слову, на данном плазмотроне испытывают не только материалы, устойчивые к тепловым воздействиям, но и миниатюрные сопла для корректирующих двигателей ракетной техники.

Понятно, что освоение космоса – это не только эксплуатация Международной космической станции во время полета на орбите, но и функционирование достаточно сложной наземной инфраструктуры для подготовки и запуска космических аппаратов. Существует большое количество технологических процедур, требующих серьезного контроля. Так, исследователями двух институтов НАН Беларуси, тепло- и массообмена и прикладной физики, создан специальный комплекс ультразвуковой аппаратуры, который позволяет диагностировать состояние никелевого покрытия, нанесенного на сопла.

О еще одном применении плазменных ускорителей в двигателях для маневрирования космических аппаратов рассказал заместитель директора ИТМО, заведующий отделением физики плазмы и плазменных технологий Валентин Асташинский:

– Наше предложение заключается в том, чтобы использовать плазменные двигатели с управляемым вектором тяги.



► Директор ИТМО НАН Беларуси Олег Пенязьев демонстрирует интерферометрический стенд по контролю качества обработанных поверхностей

Иначе говоря, управлять космическим аппаратом не с помощью направленных в разные стороны сопел, а самой струей плазмы. За счет собственных токов поток может изгибаться на угол до 30 градусов и поворачивать аппарат в нужную сторону. Таким образом, мы сократим количество двигателей с шести-восьми до двух или трех. Работающие прототипы у нас уже есть. В потенциале данные двигатели могут использоваться не только для маневрирования, но и для межпланетных полетов, только для этого еще нужно увеличить габариты и мощность плазменных устройств.

Работая по программе «Технология-СГ», белорусские ученые применили инновационные подходы в обработке материалов высокоскоростными высокоэнергетическими плазменными потоками. И результаты действительно оказались впечатляющими: сталь становится тверже в 5–6 раз и превосходит по характеристикам самые дорогие аналоги. А ведь модифицируется только тонкий верхний слой толщиной до 100 микрон. Таким способом ученые теперь изменяют даже те материалы, которые раньше считались не поддающимися улучшению с помощью температуры, например титан.

## Защита для МКС

Сложно представить себе более экстремальные условия технической эксплуатации, чем в космосе. Там, например, сам спутник и аппаратура, размещенная на нем, находятся под прицелом метеоритов, ощущается и негативное воздействие электромагнитных полей и потоков частиц. Не случайно одна из задач программы «Технология-СГ», на которой концентрируют сегодня свои усилия представители научно-исследовательских центров Беларуси и России, – разработка технологии нанесения многофункциональных защитных покрытий на изделия ракетно-космической техники и создание промышленной установки для этих целей.

Большую опасность для спутников, находящихся на околоземной орбите, представляют микрометеориты – небольшие тела, проносящиеся в космосе на скорости от 3 до 5 км в секунду. Для защиты от них используются специальные экраны. Однако как их испытывать в земных условиях? Специально для этих целей в ИТМО НАН Беларуси создана «пушка», метающая частицы диаметром до 5 мм со скоростью, близкой к первой космической (до 5 км в секунду). В ней используются плазма и водород под высоким давлением, что позволяет разогнать частицы до огромных скоростей. Такие «выстрелы» записывают на высокоскоростную камеру, которая делает один кадр в миллионную долю секунды и фиксирует глубину вхождения в материал пробивших преграду осколков. По словам исследователей, защита рассчитывается исходя из характеристик космического аппарата. Как правило, в спутниках специальными экранами защищают только устройства, потеря работоспособности которых приведет к гибели аппарата. Основная задача создаваемого защитного экрана – раздробить летящую в космосе частицу, чтобы она не смогла пробить корпус.

Свою негативную лепту в функционирование систем малых спутников в открытом космосе вносят и внешние маг-

нитные поля, создавая помехи в работе аппаратуры. Поэтому ученые разрабатывают технологию нанесения электромагнитных экранов, которые обеспечат защиту элементов малого космического аппарата от излучения. Ноу-хау белорусских ученых – технология изготовления многослойных защитных экранов: в них чередуются слои из разных сплавов, что позволяет в несколько раз уменьшать толщину и вес изделия.

Особое место в программе занимают технологии создания измерительных устройств. В частности, в Институте тепло- и массообмена НАН разработана уникальная измерительная аппаратура – мультиспектральный термограф для измерения высоких температур в диапазоне 1200–2500 градусов Кельвина, а также фотоэмиссионный термометр – прибор для бесконтактных измерений температур. Он необходим при термообработке уникальных металлов и сплавов: почти после каждой микросекунды позволяет получить информацию о текущей температуре объекта с очень высокой скоростью. Приемником в этом устройстве служит специальный фотоэлектронный умножитель, подобранный и откалибранный. Этот подход, утверждают исследователи ИТМО, является абсолютно новым и позволяет использовать приборы для выполнения различных задач, где надо очень быстро и точно измерять температуру объекта. Например, при истечении горящих газов из сопла, испарении материала с поверхности космического аппарата. Одновременно данное устройство может быть имплементировано в не связанные с космосом технологические процессы. Особенностью данной техники является и то, что она на порядок дешевле западных аналогов.

## Оптика аэрокосмического назначения

За счет новых конструкционных материалов для средств космического назначения исследователи ИТМО НАН Беларуси намерены снизить массу ап-

паратов ракетно-космической техники. В этом плане акцент сделан на разработанной в рамках заданий программы Союзного государства технологии создания карбидокремниевой керамики для использования в оптоэлектронных устройствах аэрокосмического назначения. Ее прочность в 2–3 раза выше, а значит, можно изготовить более легкие конструкции, например, подложку для зеркал значительно тоньше и меньшего веса. Новый материал обладает превосходными теплопроводными качествами, что очень важно для космической техники, где критичны вопросы теплоотвода. Кроме того, для космических аппаратов, фотографирующих поверхность Земли или объекты космического пространства в экстремальных условиях внеземного пространства, нужна специальная оптика.

Как подчеркнул директор ИТМО НАН Беларуси Олег Пенязьков, оптика из карбида кремния позволяет делать снимки в высоком разрешении, при этом весит крайне мало, что уменьшает стоимость вывода аппарата на орбиту. Карбид кремния примерно в десять раз легче обычного стекла, из которого делают оптику для спутников. Кроме того, материал мало подвержен температурному расширению, что очень важно для аппаратов, постоянно то попадающих на теневую сторону Земли, то оказывающихся под прямым воздействием Солнца. Как правило, спутник вращается вокруг Земли, где в зависимости от траектории на теневой стороне температура может достигать минус 120, на солнечной – плюс 100 градусов Цельсия. Иначе говоря, в течение одного оборота сложная техническая система, которой является спутниковый аппарат, начиненный различной целевой аппаратурой, испытывает достаточно серьезные температурные нагрузки. Это вызывает термомеханическое напряжение в его конструкции, приводящее к тому, что со временем она начинает разрушаться.

– Давно известно использование карбида кремния в оптике, – отмечает Олег Пенязьков. – У нас эта работа



▲ Заготовки изделий из карбидокремниевой керамики, созданной по технологии Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларусь, были представлены на выставке «Беларусь интеллектуальная». 7 августа 2020 года

только начинается. Мы в Институте тепло- и массообмена, работая в рамках мероприятий программы Союзного государства, планируем полностью завершить линию по производству оптических зеркал из кремния, предназначенных для космических проектов, к концу текущего года. Уже сейчас получаем зеркала, превосходящие китайские аналоги и ничем не уступающие западным: мы в тройке лучших в мире по качеству таких изделий. Отмечу, что в созданной под руководством член-корреспондента НАН Беларуси Павла Гринчука линии по производству конечных зеркал из карбида кремния применяется технология, включающая большое количество операций. По сути, здесь присутствует полностью вся технологическая линейка: от начальных порошков карбида до получения конечного продукта – зеркала с оптическим компонентом.

Незаменимым при выполнении заданий союзной программы стало и фирменное высокоточное магнитореологическое полирование. Технология обработки оптических элементов с помощью жидкости была разработана в институте еще в 1980-е годы, но,

благодаря постоянному совершенствованию, – ведь требования к разрешающей способности оптики, используемой в космосе, постоянно растут – мировой приоритет в этой сфере до сих пор принадлежит именно нашему белорусскому научно-исследовательскому центру. Показательно, что данная технология, согласно американской классификации, вошла в топ-200 технологий XX века. Ее применение позволяет достигать шероховатости поверхности до 0,1 нанометра, а это фактически несколько атомных слоев, даже при обработке деталей очень больших размеров.

– С помощью наших российских коллег сейчас пытаемся придать новый импульс развитию данного направления, – подчеркнул О. Пенязьков. – Фактически мы создаем технологию оптической промышленности будущего: программируемая обработка полностью осуществляется без участия человека. Сейчас задача выйти на рынок таких технологий. Мы уже поставили около 10 элементов оборудования на различные предприятия в Китай, Россию, страны Персидского залива. Но надо научиться реализовывать готовые изделия – высокотехнологичную продукцию, изготовленную с помощью уникального оборудования. Пока для заказчиков мы проводим испытательные полировки.

– Технология магнитореологической полировки позволяет получать поверхности еще и чрезвычайно радиационно стойкие, – дополнил заместитель директора ИТМО, заведующий отделением физики плазмы и плазменных технологий В. Асташинский, – поскольку в ходе мягкой обработки изделий удается снимать дефектные слои, вызывающие разрушение материала. Работая по программе «Технология-СГ», мы создали специальную машину для полировки кристаллов для лазеров, которые действуют в новом оптическом диапазоне и будут востребованы в аппаратуре дистанционного зондирования земли. Готовые лазерные системы изготавливаются в Институте прикладной физики Российской академии наук.

В рамках союзной программы создаются высокотехнологичные материалы, датчики, измерительные устройства, аппараты, которые позволят производить важные конструкционные узлы или обеспечивать ориентацию спутниковых аппаратов в пространстве. В белорусской части – порядка 26 заданий, в выполнении которых участвуют более 20 организаций. К нынешнему году разработано свыше 20 комплектов конструкторской и технологической документации, изготовлены 34 образца, 20 установок и комплектов деталей, выполнено 37 испытаний.

В 2020 году научно-техническая программа Союзного государства «Технология-СГ» будет завершена. Но исследователи Беларуси и России уже продумывают, как можно использовать созданный фундамент их уникальных разработок в рамках следующей программы «Комплекс-СГ» на 2022–2026 годы. Концепция ее уже сформирована. Директор Института тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси Олег Пенязьков отметил, что есть несколько глобальных интересных задач, которые планируют заложить в новую программу. В частности, создание спутниковой группировки, в режиме реального времени в течение суток предоставляющей информацию о наличии определенных химических веществ в атмосфере Земли (как в высоких слоях, так и в приземном). Это позволит решить много экономических, научных и оборонных проблем, а в дальнейшем – вести глобальный мониторинг окружающей среды как в масштабах планеты, так и в Беларуси и России.

По мнению Олега Пенязькова, реализация программ Союзного государства важна еще и тем, что в процессе выполнения обширных задач и проектов воспитывается кадровый слой технических и научных специалистов, которые будут работать в данной области. Сохранение преемственности в отраслях высоких технологий, в самых передовых направлениях науки, а космос относится именно к таким, – необходимый компонент успешного сотрудничества.

Снежана МИХАЙЛОВСКАЯ